Парадигма развития науки

А. Е. Кононюк

Основы фундаментальной теории искусственного интеллекта

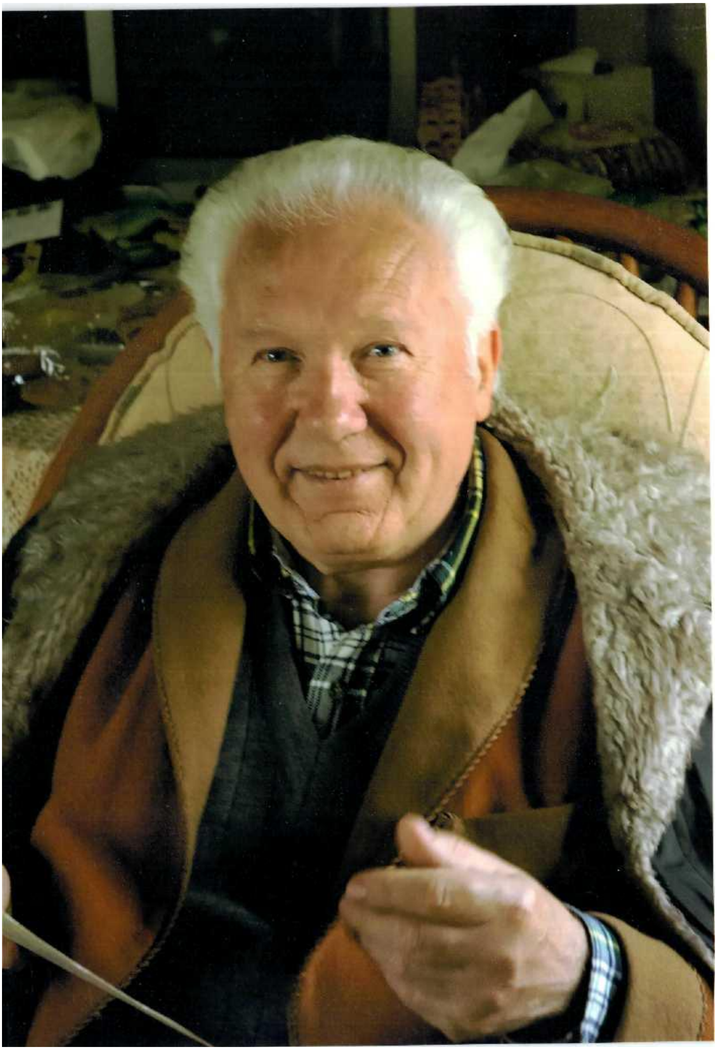
Книга 7

Меры, размерности, измерения – фундаментальные атрибуты ИИ

Часть 2 (окончание)

Система физических величин, понятий и обозначений

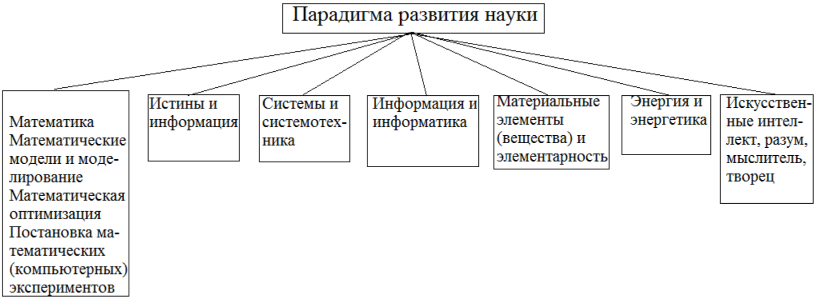
Киев
«Освіта України»
2018



Кононюк Анатолий Ефимович

Структурная схема развивающейся панмедийной системы наук

Структурная схема
парадигмы развития науки



УДК 51 (075.8)
ББК В161.я7
К65

Рецензент:
Н.К.Печурин - д-р техн. наук, проф. (Национальный авиационный университет).

Кононюк А. Е.
К213 Основы фундаментальной теория искусственного интеллекта.
— В 20-и кн. Кн.7, ч.2 (Окончание). — К.:Освіта України. 2018.— 562 с.

ISBN 978-966-373-693-8 (многотомное издание)
ISBN 978-966-373-694-17 (книга 7, ч.2 (Окончание))

Многотомная работа посвящена систематическому изложению общих формализмов, математических моделей и алгоритмических методов, которые могут быть используемых при моделировании и исследованиях математических моделей объектов искусственного интеллекта.

Развиваются представления и методы решения, основанные на теориях эвристического поиска и автоматическом доказательстве теорем, а также процедуральные методы, базирующиеся на классе проблемно-ориентированных языков, сочетающих свойства языков программирования и автоматических решателей задач отображения искусственного интеллекта различными математическими средствами.

В работе излагаются основы теории отображения искусственного интеллекта такими математическими средствами как: множества, отношения, поверхности, пространства, алгебраические системы, матрицы, графы, математическая логика и др.

Для бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов, докторантов всех специальностей.

УДК 51 (075.8)
ББК В161.я7
ISBN 978-966-373-693-8 (многотомное издание)
ISBN 978-966-373-694-17 (книга 7,ч. 2 (окончание))

Оглавление

Итоги и выводы из систематизации физических величин

1. Критический анализ основных понятий механики

1.1. О понятии "масса" в современной физике (масса – это мера чего?)

1. Путаница в терминологии, относящейся к массе.

К термину “масса“ в современной физике имеется много дополняющих прилагательных (инертная масса, гравитационная масса, электромагнитная масса, динамическая масса, релятивистская масса, масса покоя, продольная и поперечная массы, активная и пассивная массы). Почти все они подробно проанализированы в монографии М.Джеммера (1961) и через 27 лет с учетом состояния физики к концу XX века в статье Л.Б.Окуня (1989). Но в справочниках и стандартах до сих пор существует неопределенность в отношении термина “масса“.

Согласно справочнику по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) масса является “*мерой инертности материальной точки*“. Однако сам термин “материальная точка“ − это математическая абстракция, применение которой при систематизации физических величин недопустимо. В популярном учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1) указывается на то, что “*термин “материальная точка“ представляется не очень удачным, что более подошел бы термин “точечная масса“* (*по аналогии с “точечным зарядом“ в электричестве*)“. Но и здесь оба термина (“точечная масса“ и “точечный заряд“) являются математическими абстракциями. К тому же, термин “точечный заряд“ исходит из гипотетической модели электрона в виде сферы чрезвычайно малого радиуса, приводящей к понятию электромагнитной массы.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано, что масса является “*мерой инертности и гравитации любого материального объекта*“. Из этого определения следует, что массу необходимо считать и мерой инертности при прямолинейном движении, и статическим зарядом гравитационного поля. Но в словарной статье БСЭ о массе говорится: “*В принципе ниоткуда не следует, что масса, создающая поле тяготения, определяет и инерцию того же тела*“. В то же время в Физической энциклопедии (1992) подчеркнуто, что “*речь идет не о* *равенстве двух различных масс, а об одной и той же физической величине – массе, определяющей различные явления*“. Именно так трактует массу Л.Б.Окунь (1989).

В современной метрологии измерительным эталоном массы является устройство, в котором массу измеряют взвешиванием. Это международный прототип килограмма (А.Чертов, 1990), утвержденный в 1901 году. Да и сам килограмм первоначально был введен в 1799 году как единица веса. То есть **метрологи измеряют лишь <u>гравитационную массу тел</u>.**

В статье Л.Окуня (1989) разъясняется, что все названия массы, кроме двух (гравитационная и инертная), возникли на рубеже XIX и XX веков, когда от ньютоновой механики и принципа относительности Галилея (при скоростях тел $v << c$) физика стала переходить к релятивистской механике и принципу относительности Эйнштейна (при значениях v, близких к c). Он показывает, как исторически “*... на границе столетий из-за, как мы теперь понимаем, незаконного использования нерелятивистских формул для описания релятивистских объектов, возникло семейство «масс», растущих с энергией тела*“. Отсюда делается вывод: исторически возникшее “семейство масс“ релятивистской механики должно уйти в историю физики и не влиять на определение массы. То же самое можно сказать и о не существующей “динамической массе“, то есть о массе, изменяющейся со скоростью (В.Эткин, 2011). У Л.Окуня: “*масса тела в ньютоновой механике и масса того же тела в релятивистской механике – это одна и та же величина*“.

В ньютоновой механике гравитационную массу иногда подразделяют на “активную массу“ и “пассивную массу“. Но это указывает лишь на характер взаимодействия масс в гравитационном поле [1]. **Активная масса создает поле, а пассивная масса вносится в уже существующее поле.** Так что принципиальное различие между активной и пассивной массами отсутствует (М.Джеммер, 1961).

В связи с определением массы у А. Чертова (1990, с. 59) необходимо проанализировать метрологическое различие между понятиями “инертная масса“ и “гравитационная масса“, потому что размерности этих масс определяются из разных уравнений (первая – из закона всемирного тяготения Ньютона, вторая – из второго закона Ньютона). При различном подборе комплекта основных величин размерности указанных масс оказываются разными.

2. Килограмм является единицей гравитационной массы.

Применяемая в СИ единица массы килограмм определяется пока с учетом ускорения свободного падения в той точке гравитационного поля Земли, где расположен прототип килограмма. Это конкретно свидетельствует о том, что **единица килограмм является в СИ единицей гравитационной массы. Гравитационная масса − это статический заряд гравитационного поля, и ни от каких сторонних воздействий на тело, находящееся в этом поле, она не зависит**. Но в метрологии до сих пор считается, что единица гравитационной массы килограмм является в СИ также и единицей инертной массы, потому что в условиях Земли при скоростях $v << c$ соблюдается принцип эквивалентности масс.

На принципе эквивалентности масс базируется так называемая LT-система размерностей, сторонники которой возражают против того, чтобы у гравитационной и инертной масс были разные размерности. LT-система размерностей была проанализирована в статье И.Когана (2012), в которой показано, что **принцип эквивалентности масс доказывается в земных условиях только численно при условии v << c.** Поэтому ссылки на то, что эксперименты, проведенные в земных условиях, доказывают, что точность соблюдения численного равенства гравитационной и инертной масс доведена до 10^{-12}, еще не доказывают релевантность принципа эквивалентности масс в релятивистской механике, где v → c. Если учесть, что понятие "инертная масса" введено в физику искусственно, как показано ниже, то теряет смысл проведение эксперимента на дорогостоящих установках с такой высокой точностью, .

3. Что подразумевается сейчас под "инертной массой".

Будем применять разные обозначения для гравитационной и инертной масс: m и m_{in} . “Инертная масса“ m_{in} присутствует сейчас во втором законе Ньютона в записи

$\mathbf{a} = \mathbf{F}/m_{in}$. (1)

Покажем, что подобную запись второго закона Ньютона можно применять лишь для механической прямолинейной формы движения, да и то с поправкой. Второй закон Ньютона, который часто называют уравнением динамики, является лишь частным случаем обобщенного уравнения динамики в записи

$D\,\mathbf{\Delta q} + R\,\mathrm{d}(\mathbf{\Delta q})/\mathrm{d}t + I\,\mathrm{d}^2(\mathbf{\Delta q})/\mathrm{d}t^2 = -\,\mathbf{\Delta P}$, (2)

где $\mathbf{\Delta P}$ − разность потенциалов между системой и окружающей средой; $\mathbf{\Delta q}$ − приращение координаты состояния системы; D – жесткость системы; R − диссипативное сопротивление системы; I – инертность системы. Для прямолинейной формы движения, в которой $\mathbf{\Delta q}$ соответствует перемещению $\mathbf{x}$, уравнение (2) записывается в виде:

$D\mathbf{x} + R(\mathrm{d}\mathbf{x}/\mathrm{d}t) + I\,(\mathrm{d}^2\mathbf{x}/\mathrm{d}t^2) = -\,\mathbf{F}$, (3)

где $\mathbf{F}$ − сторонняя сила, воздействующая на систему; $\mathbf{x}$ − линейное перемещение; D – жесткость механической системы; R − сопротивление трения. А параметр I соответствует **линейной инертности** тела при ускорении тела $\mathbf{a} = \mathrm{d}^2\mathbf{x}/\mathrm{d}t^2$. Именно под линейной инертностью I и подразумевают сейчас "инертную массу".

Воздействующая на тело сторонняя сила $\mathbf{F}$ равна по модулю и противоположна по направлению сумме трех слагаемых левой части уравнения (3): силы упругого противодействия $\mathbf{F}_D$, силы трения $\mathbf{F}_R$ и силы инерции $\mathbf{F}_I$. Силу инерции $\mathbf{F}_I$ следует рассматривать как возможность тела воспринять определенное количество кинетической энергии, поступающей из окружающей среды, а линейную инертность − как характеристику этой возможности.

Второй закон Ньютона, таким образом, ограничивается только третьим слагаемым левой части уравнения (3), и в нем сторонняя сила $\mathbf{F}$ равна по модулю только силе инерции $\mathbf{F}_I$, остальные две силы противодействия не учитываются. При этом условии воздействующая сила $\mathbf{F}$ и сила инерции $\mathbf{F}_I$ становятся равными по модулю, и вместо "инертной массы" m_{in} в уравнении (1) должна стоять линейная инертность I. То есть, второй закон Ньютона должен записываться уравнением

$\mathbf{a} = \mathbf{F}_I / I$. (4)

Добавим справедливые замечания Л.Окуня (1989) по поводу применения понятия "инертная масса" в релятивистской механике: “*Если попытаться определить как “инертную массу“ отношение силы к ускорению, то эта величина в теории относительности зависит от взаимного направления силы и скорости, и потому однозначным образом* *ее определить нельзя*“. И еще: “*Масса релятивистски движущегося тела не является мерой его инертности. Более того, единой меры инертности для релятивистски движущихся тел вообще не существует, поскольку сопротивление тела ускоряющей его силе зависит от угла между силой и скоростью*“.

4. Должно ли существовать вообще понятие "инертная масса"?

Проанализируем два разных ответа на этот вопрос в статьях Г.Трунова (2004) и В.Эткина (2011), сохранив авторские обозначения в приводимых формулах.

В статье Г.Трунова приводится мысленный эксперимент, на основании которого второй закон Ньютона представляется в такой записи:

$\mathbf{a} = \mathbf{F}/m_0\, nV$, (5)

где $m_0 = m/N$, m – гравитационная масса однородного макроскопического тела, N – число структурных элементов тела, m_0 – гравитационная масса одного структурного элемента тела, $n = N/V$ – концентрация структурных элементов, из которых состоит тело, а V – объем тела. Г.Трунов пишет: “*масса структурного элемента (масса атома или молекулы) по своей сути является гравитационной массой*“. Он включает ее во второй закон Ньютона в записи (5) и приходит к выводу: “*Таким образом, для количественной характеристики инерционных свойств однородного макротела не нужно вводить понятие инертной массы*“.

В статье В.Эткина (2011) обращено внимание на то, что вместо общепринятой в физике записи второго закона Ньютона в виде $\mathrm{d}\mathbf{p}/\mathrm{d}t = \mathbf{F}$, где $\mathbf{p}$ – импульс тела, “*в общем случае релятивистских скоростей второй закон Ньютона должен записываться в форме*:

$\mathbf{F}_a = R_a\, \mathrm{d}\mathbf{p}/\mathrm{d}t$ “, (6)

В уравнении (6) $\mathbf{F}_a$ названа ускоряющей силой, она соответствует силе $\mathbf{F}$ из уравнений (3) и (5). В.Эткин вводит в уравнение (6) нелинейный феноменологический коэффициент R_a , который, как полагает В.Эткин, “*характеризует «инерционность» системы по отношению к ускоряющей силе* $\mathbf{F}_a$ *. Сопоставляя уравнение (6) со 2-м законом*

Ньютона в записи d**p**/dt = **F**, *находим, что в нем единицы измерения физических величин выбраны таким образом, чтобы коэффициент* R_a *был равен единице, и в случае его постоянства просто мог быть опущен*“. Учитывая, что единицы величин определяются системой единиц и изменены быть не могут, следует сделать вывод, что единица коэффициента R_a равна 1, то есть этот коэффициент безразмерен.

Вот ход дальнейших рассуждений В.Эткина. При приближении скорости тела *v* к скорости света *c*, никакая внешняя сила $\mathbf{F}_a$ не может вызвать рост ускорения тела, то есть d**p**/d*t* → 0. При этом, как следует из уравнения (6), численное значение коэффициента R_a стремится возрасти до бесконечности. Это и наблюдается в ускорителях элементарных частиц, что в СТО ошибочно приписывается возрастанию массы.

Далее В.Эткин указывает на то, что масса *m*, играющая в выражении ($m\mathbf{v}$) роль меры количества вещества, не имеет никакого отношения к коэффициенту R_a как мере его инертности. **Гравитационная масса *m* является функцией состояния, в то время как R_a – функцией процесса (его скорости v).** И делается вывод: “*Как видим, подход к механике с более общих позиций энергодинамики позволяет обнаружить в законе Ньютона* **F** = d**p**/dt *отсутствие коэффициента* R_a *, характеризующего сопротивление системы процессу ускорения. Это привело к тому, что массе стали приписывать смысл экстенсивной меры инертности* (mR_a). *В последующем это сделало незаметной подмену в СТО массы m как функции состояния инертной массой* m_{in} *как функцией процесса, что заведомо некорректно*“.

Иными словами, с возрастанием скорости **v** изменяется не гравитационная масса *m*, играющая в выражении ($m\mathbf{v}$) в соответствии с определением, данным ей И.Ньютоном, роль **меры количества вещества**, а изменяется **феноменологический коэффициент** R_a , являющийся **мерой инертных свойств тела**. Последнее означает, что трактовка массы во втором законе Ньютона как **меры инертных свойств тела** основана на подмене гравитационной массы *m* инертной массой m_{in} , равной

$m_{in} = (R_a\, m)$. (7)

Уравнение (7) нелинейно, и в той же статье сказано, что *“частным случаем этой нелинейности является зависимость коэффициента* R_a *от скорости* **v** (*или импульса* **p**), *не известная механике*“. Зависимость (7), по утверждению В.Эткина, “*не требует привлечения принципа* *относительности Пуанкаре-Лоренца-Эйнштейна и вытекающего из него преобразования Лоренца, для которых* $R_a = \gamma$, где $\gamma = (1 – v^2/c^2)^{-½}$ – *множитель Лоренца. С позиций феноменологической теории необратимых процессов и энергодинамики такая зависимость устанавливается опытным путем... Характер зависимости* $R_a = R_a$ (**v**) *в этом случае может отличаться от множителя Лоренца* γ“.

В заключение В.Эткин (вслед за Л.Окунем, 1989) приходит к выводу: ...***существует единственная масса m, являющаяся мерой количества вещества***, *а понятия “массы покоя”, “релятивистской”, “инертной”, “электромагнитной”, “гравитационной” и т.п. масс должны быть отброшены как излишние*“.

Сказанное подтверждает мнения о том, что понятие "инертная масса" можно и нужно из физики исключить. И тогда исчезнет смысл в дискуссии по поводу того, эквивалентна ли она "гравитационной массе", да и само понятие "гравитационная масса" тоже станет излишним. К тому же, Л.Окунь подчеркивает, что "для **релятивистского тела понятие гравитационной массы неприменимо**", поскольку **значение массы зависит от взаимного направления векторов силы и скорости релятивистской частицы**. Поэтому для релятивистского тела инертность имеет два компонента: в плоскости вдоль направления движения и в плоскости, перпендикулярной к этому направлению, по какой причине и возникли термины "продольная масса" и "поперечная масса". Под "продольной массой" понимается **линейная инертность**, разъясненная выше. А под "поперечной массой" понимается **вращательная инертность**, определяющая инертность тела при собственном вращении, которая зависит не напрямую от массы вращающегося тела, а от его момента инерции.

При исключении понятия "инертная масса" становится ясно, что проводившиеся эксперименты с целью подтверждения равенства "гравитационной массы" и "инертной массы" при скорости тел $v << c$, оказались излишними, так как они лишь подтвердили равенство друг другу одной и той же величины – массы m. Что касается погрешности этих экспериментов, доведенной до 10^{-13}, то это погрешность экспериментальной установки.

5. Проверка предложений об устранении понятия "инертная масса" анализом размерностей.

В статье Г.Трунова (2004) в знаменателе уравнения (5) записано выражение (m_0nV), имеющее в СИ размерность массы. При этом концентрация n в уравнении (5) получает в СИ размерность L^{-3} и единицу $м^{-3}$ (обратный кубометр). Подобные размерности исчезают, если в **набор основных величин** ввести **число структурных элементов** (И.Коган, 2011), оно же количество считаемых величин, с новой размерностью С и единицей, например, cnt (названия и обозначения размерности и единицы количества считаемых величин в стадии обсуждения, например, в статье П.Мора и В.Филлипса, 2015). Тогда правило размерностей в знаменателе уравнения (5) будет соблюдаться при единице кг/cnt для массы m_0 одного структурного элемента, а при единице $cnt/м^3$ – для концентрации n.

В статье В.Эткина (2011) в уравнениях (6) и (7) размерность коэффициента R_a зависит от набора основных величин в той системе величин, которая применяется для анализа размерностей. В частности, в **СИ** коэффициент $R_a = m_{in} / m$ имеет размерность, равную 1, так как в СИ нет различия между размерностями инертной и гравитационной масс.

6. В итоге масса – это мера чего?

Если отбросить все дополняющие прилагательные к термину “масса“, как это предлагают Л.Окунь и В.Эткин, то каждый будет волен понимать под термином “масса“ то, что ему захочется. Например, в статье В.Эткина подразумевается, что масса – это мера количества вещества. По поводу последнего заметим, что в СИ единицей “количества вещества“ является моль, а не килограмм. Поэтому в СИ нельзя говорить, что масса играет роль меры количества вещества.

Но такое утверждение бытует в физике со времен И.Ньютона, поскольку понятие “количество вещества“ вплоть до начала XX века идентифицировалось с понятием “количество материи“. Это исторически связано с цитатой из трактата И.Ньютона “*Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее*“, и с подтверждающей эту цитату теоремой Л.Эйлера “*Сила инерции в любом теле пропорциональна количеству материи, которое содержит тело*“ (цитаты взяты из монографии М.Джеммера, 1961). В комментариях к этой монографии приведено важное разъяснение: “*Классическое понятие массы в смысле количества материи сохраняет свое значение для вещества, т. е. для частиц, обладающих собственной массой, и имеет силу лишь для определенных условий движения этих частиц (сравнительно малые скорости их движения) и соответствующих макроскопических тел. Но оно теряет свою силу в качестве общего понятия*“.

Анализ понятия “масса“, приведенный в данном разделе, говорит о том, что в современной метрологии **масса должна считаться только мерой гравитации**. Это полезно было бы закрепить в терминологическом стандарте. Однако авторы планируемого переопределения основных единиц СИ ничего в этом плане менять не собираются (И.Миллс и др., 2006).

В XX веке в связи с приобретшим важное значение понятия “дефект массы“ укрепилось мнение, что “*масса может выступать как мера освобожденной или поглощенной энергии*“ (М.Джеммер, 1961). Еще в 1905 г. А.Эйнштейн приходит к выводу: “*Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии*“. Существует даже предложение рассматривать величину под названием “массэргия“ (М.Джеммер, 1961). В статье Л.Окуня (1989) также сказано: “*...масса частицы является мерой энергии, «спящей» в покоящейся частице, мерой энергии покоя*“. В этих цитатах термин "мера" понимается не так, как это принято в метрологии. **Масса - это не мера энергия, а коэффициент пропорциональности в формуле, определяющей энергию покоя.**

Сказанное приводит к выводу, что в **естественных системах величин** естественной основной величиной должна быть **энергия, а не масса**. Именно это позволило, например, И.Когану (1998) провести систематизацию физических величин. Однако авторы планируемого переопределения основных единиц СИ (Mills I.M. и др., 2016) отказываются от этого, мотивируя тем, что для практической метрологии и для практической физики это было бы слишком непривычным, психологически и экономически неоправданным мероприятием.

7. Необходимо ли понятие "масса" в релятивистской механике?

В статье Л.Окуня (§11, п.7) сказано: “*Масса элементарной частицы является одной из ее важнейших характеристик. Ее стараются измерить с наилучшей точностью*“. И абзацем выше: “*Согласно теории* *относительности масса частицы является мерой энергии, «спящей» в покоящейся частице, мерой энергии покоя*: $E_0 = mc^2$ “. Это так, но в монографии К.Томилина (2006) говорится о том, что в качестве фундаментальной физической константы в естественных системах физических величин стали в последнее время вместо массы электрона m_e применять энергетические величины, одной из которых является планковская единица энергии. Наконец, широко известно, что в релятивистской механике массы элементарных частиц измеряют не в килограммах, а в электрон-вольтах, а электрон-вольт - это единица энергии. **Так не следует ли вместо массы считать важнейшей характеристикой элементарных частиц их энергию покоя E_0 ? А массу считать всего лишь размерным коэффициентом пропорциональности между энергией покоя и квадратом скорости света**.

В том же §11 у Л.Окуня, но в п.2, сказано: “*В релятивистской теории, когда энергии частиц очень велики по сравнению с их массами, масса системы частиц определяется не только и не столько их числом, сколько их энергиями и взаимной ориентацией импульсов*“. Таким образом, для **системы частиц важнейшими характеристиками являются энергия, импульс, момент импульса и число частиц.** А для конкретной **элементарной частицы важнейшими характеристиками являются ее энергия покоя, определяющая частицу количественно, импульс, определяющий направление движения частицы, и момент импульса, определяющий направление вращения.** И тогда масса оказывается в релятивистской механике второстепенной физической величиной.

Литература

1. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – Законодательная и прикладная метрология. – 5 – с.с. 30-43.
2. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.
3. Коган И.Ш., 2012, Система величин на основе длины L и времени T: Pro et Contra. – Законодательная и прикладная метрология, 3, с.с. 50-57.
4. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: ”Успехи физических наук”, т. 158, вып.3, с.с.511-530
5. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (кн. 1). – М.: АСТ: Астрель
6. Томилин К.А., 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. – 368 с.

7. Трунов Г.М., 2004, К вопросу о равенстве инертной и гравитационной масс макроскопического тела. – “Законодательная и прикладная метрология”, **2**, с. с. 60-61.
8. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
9. Физическая энциклопедия. Т.3.– 1992. – М.: Большая Российская Энциклопедия – 672 с.
10. Эткин В.А., 2011, Изменяется ли масса со скоростью? – http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10904.html
11. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.
12. M. Jammer, 1961, Concepts of mass in classical and modern physics. Harvard University press. Ambridge-Massachusetts, (М. Джеммер, 1967, Понятие массы в классической и современной физике. Перевод и комментарии Н. Ф. Овчинникова. М.: Изд. «Прогресс». – 255 с.)
13. Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Edwin R., Williams E.R., 2006, Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005) . – Metrologia. – v. 43. – p.p. 227-246.
14. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.

1.2. Размерность и единица массы

1. Размерность и единица массы в СИ.

В разделе, посвященном понятию “масса“, показано, что **масса существует только одна, и это масса гравитационная**. **Инертной массы как таковой не существует**. Применяемая в СИ единица массы килограмм определяется с учетом ускорения свободного падения в той точке гравитационного поля Земли, где расположен прототип килограмма. Это конкретно свидетельствует о том, что единица килограмм является в СИ единицей гравитационной массы. Однако поскольку в физике до сих пор считается, что единица гравитационной массы килограмм является также и единицей инертной массы, то в данном разделе будем применять разные обозначения для гравитационной и инертной масс: m и m_{in} .

В СИ единица массы килограмм установлена произвольно (А.Чертов, 1990, с. 59). Размерность силы **F**, равная LMT^{-2}, и единица силы 1 Н = 1 кг м $с^{-2}$ устанавливаются (А.Чертов, 1990, с. 61) на основании анализа размерностей второго закона Ньютона в записи $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m_{in}$ без учета того, что единица килограмм должна принадлежать только гравитационной массе m. И вот к чему приходят в СИ, анализируя единицы параметров гравистатического поля. Не на основании закона всемирного тяготения Ньютона, а на основании уравнения $\mathbf{G} = \mathbf{F}/m_{in}$, аналогичного второму закону Ньютона, устанавливаются (А.Чертов, 1990, с. 76) размерность напряженности **G** гравистатического поля, равная LT^{-2}, и ее единица м $с^{-2}$. В результате в СИ единицей напряженности гравитационного поля становится единица ускорения свободного падения м $с^{-2}$.

Разве не странно, что в единице напряженности гравистатического поля отсутствует напрямую или в скрытой форме единица энергии джоуль, хотя **гравитационное поле, как и любое силовое поле, обладает энергией.** Если продолжать идти тем же путем, то единицей напряженности гравидинамического (гравитационного вихревого) поля после соответствующего анализа размерностей становится единица $с^{-1}$, в которой отсутствует даже единица длины.

2. Размерность и единица массы в естественной системе единиц М.Планка.

Идея создания естественных систем единиц, зависящих только от **фундаментальных физических констант** (ФФК) и не зависящих от измерительных эталонов, возникла еще в XIX веке. История их возникновения подробно описана в монографии К.Томилина (2006). Первым предложил две "универсальные системы единиц" в 1870 и 1873 г.г. английский физик Дж.Максвелл, а первую естественную систему единиц, основанную только на ФФК, предложил в 1874 г. ирландский физик Дж.Стони.

Наиболее популярна предложенная немецким физиком М.Планком в 1899 г. **естественная система единиц**, базирующаяся на **постоянной Планка *h*, электродинамической постоянной *c*, гравитационной постоянной *G* и постоянной Больцмана *k*.** Постоянная Планка h представляет собой элементарный квант физической величины, называемой “действием“. Цель создания естественной системы единиц предельно четко описана самим М.Планком. Эта цель заключается в том, чтобы естественные единицы "*сохраняли своё значение для всех времен и для всех культур, в том числе, и внеземных, и нечеловеческих*".

Главной метрологической особенностью системы единиц М.Планка является то, что основными физическими величинами являются в ней ФФК, а их **единицы являются комбинациями единиц энергии, длины, времени и температуры**. То, что единицы ФФК включают в себя единицу энергии, является главной особенностью системы М.Планка. Единицей постоянной Планка в СИ является Дж с, единицей постоянной Больцмана *k* является Дж $К^{-1}$. Так называемые планковские величины, измеряемые в единицах длины, времени, массы и температуры, представляют собой выражения, составленные из ФФК, единицы которых включают в себя единицу энергии.

3. Размерность и единица массы в естественной системе величин.

Указанные выше метрологические алогизмы в СИ в отношении единицы массы невозможно устранить, сохраняя тот набор из **семи основных единиц, который имеется сейчас**. Но эти алогизмы естественным образом устраняются в **естественной системе величин ЭСВП,** в которую включены, как основные величины, энергия с символом размерности Е и единицей джоуль и число структурных элементов (И.Коган, 2011), оно же количество считаемых величин, с символом размерности С и единицей cnt. Размерность и единица количества считаемых величин находятся в стадии обсуждения, например, в статье П.Мора и В.Филиппса (2015), в русскоязычной литературе иногда применяют название штука.

Единицы электромагнитных величин, входящие в состав системы величин ЭСВП, совпадают с единицами из системы СГСЭ, описанной в работе А.Власова и Б.Мурина (1990). В обеих системах единиц размерные коэффициенты ε_0 и μ_0 (неверно называемые физическими постоянными) соответствуют $\varepsilon_0 = 1$ с размерностью 1 и $\mu_0 = 1/c^2$ с размерностью $L^{-2}T^2$. Размерность массы определяется в системе ЭСВП из закона всемирного тяготения, а не из второго закона Ньютона. И при этом размерный коэффициент *G*, неверно называемый гравитационной постоянной, в системе ЭСВП равен 1 с размерностью, равной 1, точно так же, как и в электростатическом поле $\varepsilon_0 = 1$.

Заметим, что в монографии К.Томилина (2006, раздел 3.4.12) также указывается на то, что *G* не является естественным масштабом какой-либо физической величины, и вместо *G* в естественную систему единиц рекомендуется включить в качестве единицы основной величины фундаментальный масштаб энергии. Анализ размерностей закона тяготения Ньютона при размерности dim $G = 1$ приводит к размерности массы dim $m = E^{1/2}L^{1/2}$, и к единице, равной 1 кг = 1 Дж$^{1/2}$ м$^{1/2}$. Соответственно, это приводит к размерности одного структурного элемента массы $E^{1/2}L^{1/2}C^{-1}$ и единице, равной 1 кг cnt^{-1} = 1 Дж$^{1/2}$ м$^{1/2}$ cnt^{-1}. Однако единицы, имеющие дробные показатели размерностей, раздражают многих физиков. Поэтому в системе ЭСВП для массы условно оставлена единица килограмм без расшифровки. Но следует иметь в виду, что единица килограмм является единицей производной величины, условно сделанной основной величиной.

Размерность и единица силы в системе ЭСВП определяются не из второго закона Ньютона, а из уравнения для определения работы силы $dA = \mathbf{F}d\mathbf{x}$, из которого размерность силы равна EL^{-1}, а единица силы – 1 Н = 1 Дж м$^{-1}$. Что же касается размерности m_{in} из второго закона Ньютона, замененной на понятие "линейная инертность" I, то в системе ЭСВП она равна $EL^{-2}T^{2}$, что соответствует единице Дж с^{2} м$^{-2}$, а не килограмму. И единица напряженности гравистатического поля получается равной Дж$^{1/2}$ м$^{-3/2}$, а вовсе не алогичной единице м с$^{-2}$ в СИ.

Литература

1. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике.– М:. Энергоатомиздат. – 176 с.
2. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.
3. Томилин К.А., 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. – 368 с.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
7. Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Edwin R Williams E.R., 2006, Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005) . – Metrologia. – v. 43. – p.p. 227-246.
8. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47

1.3. Принцип эквивалентности масс не релевантен

1. Что означает принцип эквивалентности.

В физике рассматривается несколько принципов эквивалентности. Согласно одному из них поле тяготения в небольшой области пространства и времени тождественно по своему проявлению ускоренной системе отсчёта. Этот принцип лежит в основе общей теории относительности и имеет своим следствием эквивалентность инертной и гравитационной масс, рассматриваемой обычно как их равенство. Сам же А.Эйнштейн говорил не о равенстве, а о пропорциональности: "*...пропорциональность между инертной и тяжелой массой соблюдается без исключения для всех тел с достигнутой до настоящего времени точностью, так что впредь до доказательства обратного мы должны предполагать универсальность этой пропорциональности...*".

В данном разделе мы будем говорить о **принципе эквивалентности масс**, имея в виду именно **пропорциональность**.

В общей теории относительности существует также **принцип эквивалентности сил гравитации и инерции**, излагаемый так: "*Силы гравитационного взаимодействия пропорциональны гравитационной массе тела, силы инерции же пропорциональны инертной массе тела. Если инертная и гравитационная массы равны, то невозможно отличить, какая сила действует на данное тело — гравитационная или сила инерции.*" Из определения этого принципа видно, что обоснованность принципа эквивалентности сил зависит от обоснованности принципа эквивалентности масс. И здесь также говорится лишь о предполагаемом равенстве.

2. Принцип эквивалентности масс опровергается в теории.

В созданной О.Бондаренко и С.Кадыровым (2000) **теории уровневой физики** принцип эквивалентности масс не рассматривается, так как считается, что **на разных уровнях структуры материи соотношение масс может быть разным**. Из чего делается вывод о том, что на микроскопическом и субмикроскопическом уровнях требуется свое собственное экспериментальное доказательство справедливости принципа эквивалентности масс. А это доказательство в современной физике считается существующим лишь для макромира.

В развитой О.Репченко (2006) **теории полевой физики** указано на то, что инертная и гравитационная массы пропорциональны друг другу лишь в земных условиях, и численное значение коэффициента пропорциональности равно 1. Но в других областях космоса это значение должно отличаться от 1. Более того, указывается, что “*во всех экспериментах, проведенных на Земле по проверке принципа эквивалентности, все внешние влияния намеренно тщательно исключаются*“. В другой своей работе О.Репченко (2008) высказывается еще более категорически: “*принцип эквивалентности является еще одним локальным принципом, несправедливо возведенным в ранг фундаментального принципа*“.

В работе В.Киреева и др. (2010) высказывается следующее мнение по поводу приницпа эквивалентности: “*Для всех объектов на Земле создается видимость равенства инертной и гравитационной масс. Это происходит благодаря тому, что инертные массы таких объектов определяются взаимодействием с гравитационным полем Вселенной, а величина этого взаимодействия - гравитационной массой данного объекта… Внесение любого дополнительного взаимодействия, например электрического, которое добавляет к инертной массе тела негравитационную компоненту, разрушает равенство и даже пропорциональность между массами*“.

3. Принцип эквивалентности масс опровергается в опыте.

Несмотря на достаточно высокую точность подтверждения принципа эквивалентности масс в земных экспериментах, дискуссия по этому поводу не прекращается. Действительно, опыты Л.Этвеша и его последователей проведены в земных условиях и при участии макроскопических тел, то есть в рамках классической механики. А классическая механика рассматривает ситуацию, при которой скорость тела $v << c$, где c − скорость света в вакууме. Из чего следует, что отношение v^2/c^2 в земных условиях практически равно нулю, и, следовательно, изменение этого отношения в земных условиях не ощутимо. Но разве следует из этого, что при сравнимых значениях v^2 и c^2 отношение инертной и гравитационной масс не будет изменяться? Л.Окунь (1989) приводит примеры того, что в этом случае "*понятие гравитационной массы не применимо*", и что вообще не следует разделять массу на гравитационную и инертную, что детально разъясняется в разделе о массе.

Как бы в подтверждение сказанного Л.Римша и В.Римша (2003) сообщили об экспериментально наблюдавшемся ими нарушении принципа эквивалентности масс. Они исходили из изменения скорости течения времени на поверхности Земли, наблюдаемого с помощью атомных часов, вследствие наличия разности потенциалов в гравитационном поле Солнца. И сделали вывод: “*силы инерции могут компенсировать гравитационные силы, но не являются им тождественными*“.

Теория физических аналогий показывает прямую аналогию между “инертной массой“ в уравнении вынужденных колебаний в механике и индуктивностью в уравнении вынужденных колебаний в электродинамике. Но ведь никому не приходит в голову утверждать на этом основании, что существует принцип эквивалентности электрического заряда (аналога гравитационной массы) и индуктивности электрической цепи (аналога инертной массы).

Наконец, в разделе о массе приводятся доказательства того, что понятие “инертная масса“ можно и нужно исключить из физики, что масса по своему физическому содержанию является гравитационной. А если согласиться с тем, что нет понятия “инертная масса“, то исчезает смысл дискуссии по поводу того, эквивалентна ли она гравитационной массе.

И тогда получается, что опыты, проводившиеся для подтверждения принципа эквивалентности масс, подтверждали лишь равенство друг другу одной и той же величины – массы. То есть все эти опыты, возможно, оказались излишними. Что касается погрешности этих опытов, которая снижена уже до 10^{-13}, то это, возможно, просто погрешность экспериментальной установки.

4. Метрологические парадоксы принципа эквивалентности масс.

В СИ, в которой не ставится под сомнение принцип эквивалентности масс, гравитационная масса имеет ту же размерность и ту же единицу измерений, что и инертная масса. И вот к каким парадоксам приходит современная физика, анализируя единицы параметров гравитационного поля.

В СИ единицей напряженности гравистатического поля (гравитационного центрального поля) считается единица м $с^{-2}$, то есть единица ускорения свободного падения. Но разве это не странно, что в единице напряженности гравитационного поля отсутствует единица энергии джоуль? Хотя гравитационное поле, как и любое силовое поле, обладает энергией. В разделе, посвященном напряженностям физического поля, поясняется, в чём ошибочность применения единицы ускорения для оценки напряженности поля.

Единицей напряженности гравидинамического поля (гравитационного вихревого поля) после соответствующих расчетов становится с$^{-1}$. Но в этой единице отсутствует даже единица длины, хотя гравидинамическое поле существует в пространстве. В разделе, содержащей Таблицу напряженностей разных форм физического поля, показано, что в системе величин ЭСВП, преложенной И. Коганом, в единицах напряженностей любой формы физического поля такого нет.

Поскольку единица массы определяется пока еще расчетным путем с учетом ускорения свободного падения в той точке гравитационного поля, где расположен прототип килограмма или токовые весы (ватт-весы), то из этого следует, что единица килограмм является в СИ единицей гравитационной массы. К тому же, международный эталон килограмма основан пока (до его переопределения) на процессе взвешивания, да и сама единица килограмм была введена первоначально как единица веса.

Но, к сожалению, в метрологии до сих пор не уточняется, эталоном какой из масс является прототип килограмма, как не говорится и о том, единицей измерений какой из масс является килограмм. Возможно, поскольку эксперименты показывают, что в условиях Земли принцип эквивалентности масс соблюдается с очень высокой точностью, то килограмм предполагается считать единицей измерений обоих видов масс. Но ведь физика уже давно вышла за пределы Земли и вошла вглубь атома. Можно ли распространить земные эксперименты и на эти условия?

В принципе, на вопрос о том, единицей какого вида массы является килограмм, должны ответить метрологи, но так, чтобы этот ответ не вызвал новые вопросы. Если в СИ будет принято решение считать килограмм единицей только гравитационной массы, то тогда придется указать, как расшифровывать единицы измерений производных величин, связанных с инертной массой. В разделах, посвященных понятию масса и размерностям и единицам массы, детально рассматриваются вопросы, связанные с устранением из физики понятия "инертная масса" и с метрологическими аспектами этого.

Литература

1. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, - http://www.newphysics.h1.ru.
2. Киреев В.Ю., Сосновцев В.В., Недзвецкий В.С., Врублевский Э.М., Философские, физические и химические аспекты объектов и методов нанотехнологий. – М.: Information and Innovations. Quarterly International Journal, ICSTI, – 2010, 90 с.
3. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: ”Успехи физических наук”, т. 158, вып.3, с.с.511-530
4. Трунов Г.М., 2004, К вопросу о равенстве инертной и гравитационной масс макроскопического тела. –“Законодательная и прикладная метрология”,
5. Репченко О. Н. , 2006, Сущность Полевой физики. – http://www.fieldphysics.ru
6. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерия, 320 с.
7. Эйнштейн А., 1965, Собрание научных трудов (в 4 томах). - М.: Наука, т.1., с.с.95-96.
8. Rimsha L., Rimsha V., О наблюдаемом нарушении принципа эквивалентности Эйнштейна. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6432.html

1.4. Что такое количество движения, импульс тела и импульс силы?

1. Что такое количество движения и импульс тела?

Исторически первым возникло понятие “**количество движения**“. Соответствующая физическая величина, обозначаемая символом **p**, была введена еще в XVII веке Р.Декартом, а И.Ньютон доказал закон сохранения количества движения. Обычно количество движения записывается в виде уравнения

$\mathbf{p} = (m\mathbf{v})$, (1)

где m - масса тела, а **v** - его линейная скорость. Заключение произведения $m\mathbf{v}$ в скобки означает, что **количество движения является самостоятельной величиной, и разделять его на части с возможностью сокращение одного сомножителя недопустимо.** В принципе, количество движения тела рассматривается как сумма количеств движения всех частей тела.

Постепенно понятие "количество движения" вытеснилось в физике понятием "**импульс тела**", которое чаще всего в текстах сокращается до одного слова "**импульс**". **Однако в переводе с латыни impulsus - это толчок, а количество движения характеризует прямолинейное, в том числе, и равномерное движение.** В учебнике И.Савельева (2005, кн.1) указывается на то, что понятие "количество движения" устарело. Но **выражение "количество движения" правильнее отражает физическое содержание величины, чем выражение "импульс тела".**

Вдобавок заметим, что, следуя условию реальности, нами не признается понятие "материальная точка". Поэтому под термином "импульс" понимается именно "**импульс тела**" **p**.

2. В чем различие между импульсом тела и импульсом силы?

Импульс силы S – это частный случай импульса разности потенциалов Δ**P**, применяемый лишь при прямолинейной механической форме движения, когда в роли разности потенциалов Δ**P** выступает сторонняя сила **F**. Определяющее уравнение для импульса силы записывается в виде:

$$\mathbf{S} = \int \mathbf{F} dt \quad (2)$$

или

$$d\mathbf{S} = \mathbf{F} dt \,. \ (3)$$

Поэтому импульс силы **S** и импульс тела **p** обозначаются разными символами, несмотря на то, что их размерности совпадают. В СИ размерность импульса силы LMT^{-1}, но единица − Н с, то есть запись единицы не согласуется с записью размерности. В системе величин ЭСВП размерность импульса силы равна $EL^{-1}T$ и единица силы равна Дж $м^{-1}$ с, то есть полностью соответствует размерности. Впрочем, единицы импульса силы в ЭСВП и в СИ после преобразования равны, так как Н = Дж $м^{-1}$.

Размерность импульса тела в СИ такая же, как у импульса силы, то есть, LMT^{-1}, и единица импульса силы в СИ на этот раз согласуется с размерностью, то есть, она равна кг м с$^{-1}$. А в ЭСВП размерность и единица измерений импульса силы те же, что у импульса тела, то есть EL^{-1}T и Дж м$^{-1}$ с.

На первый взгляд, общность количества движения (импульса тела) и импульса силы можно было бы обосновать тем, что у них в СИ одинаковые размерности, хотя единицы у них в той же СИ при этом оказываются различными. Но это недостаток самой СИ. **Обосновывать общность или различие физического содержания величин можно только на базе сравнения их определяющих уравнений, но не размерностей.** Разобравшись в этом вопросе, выясняется, что это разные векторные физические величины именно потому, что они определяются по разным определяющим уравнениям. Только это и является решающим аргументом.

3. Понятие "импульс тела" не связано со вторым законом Ньютона.

В понятии “количество движения“ ($m\mathbf{v}$) в соответствии с определением, данным И.Ньютоном, масса m играет роль **меры количества вещества**. В разделе о массе показано, что m должна пониматься, как мера гравитации тела (как **статический заряд гравитационного поля**), а **v** – как линейная скорость перемещения этого заряда (см. Таблицу величин физического поля). А коэффициент пропорциональности между силой **F** и ускорением **a** из второго закона Ньютона, нельзя считать гравитационной массой. Не случайно в современной физике этот коэффициент называют инертной массой, безосновательно приравнивая к количеству вещества. При этом ссылаются на **принцип эквивалентности масс**, неадекватность которого показана в отдельном разделе.

В разделе, посвященном обобщенному уравнению динамики, показано, что коэффициент пропорциональности из второго закона Ньютона является частным случаем инертности физической системы в механической прямолинейной форме движения, и поэтому его следует называть **линейной инертностью**, **а не массой**, и обозначать, допустим, символом I в отличие от массы m. В разделе о массе показано, что в соотношении между I и m должен существовать размерный коэффициент и что понятие "инертная масса" следует вообще изъять из обращения.

Из классификации зарядов физического поля следует, что выражение ($m\mathbf{v}$) есть не что иное, как движущийся гравитационный заряд, создающий гравидинамическое поле. **Этот движущийся**

гравитационный заряд является частным случаем обобщенной характеристики движения, называемой количеством движения, которая не связана с передачей импульса от одного тела к другому при соударении. А **импульс тела** является частным случаем другой обобщенной характеристики движения, называемой **потоком энергоносителей**. И поэтому название “импульс тела“ не следует применять для величины (***I*v**), для которой нужно применить другое обозначение, допустим, $\mathbf{p}_I$, определяющее уравнение для которого будет таким:

$\mathbf{p}_I = I\,\mathbf{v}$ (3)

или

$d\mathbf{p}_I = I\,d\mathbf{v}$, (4)

где I − линейная инертность, частный случай инертности системы, применяемый лишь при прямолинейной механической формы движения, когда в роли линейной инертности принимается величина, неверно называемая в современной физике "инертной массой". Даже в макромире, где числовые значения массы и линейной инертности совпадают, различие в их размерностях и единицах должно остаться.

Как уже было сказано, в СИ нет различия между размерностями количества движения и импульса тела. В системе величин ЭСВП у линейной инертности I и у массы m разные размерности ($\dim I = EL^{-2}T^2$ и $\dim m = Q$). Импульс тела ($I\mathbf{v}$) и количество движения ($m\mathbf{v}$) тоже имеют в системе величин ЭСВП разные размерности:
($\dim \mathbf{p}_I = \dim (I\mathbf{v}) = EL^{-1}T$ и $\dim \mathbf{p} = \dim (m\mathbf{v}) = LT^{-1}Q$).

4. При взаимодействии тел импульс тела и импульс силы не совпадают.

Импульсом **p** обладает любое движущееся тело. Если на тело не действует никакая сила, то есть если тело движется по инерции, то оно движется равномерно (первый закон Ньютона). И при этом к движущемуся телу нельзя применить понятие ”импульс силы”, поскольку при наличии силы движение было бы уже неравномерным. Таким образом, **у равномерно и прямолинейно движущегося тела импульс тела p имеется, а импульс силы S отсутствует.**

Импульс силы появляется лишь после приложения к телу **сторонней (ускоряющей) силы**. При этом приращение импульса силы d**S** преобразуется в равное по значению приращение импульса движущегося тела d**p**. И то только в том случае, если тело недеформируемо и если предполагается, что отсутствует диссипация энергии. В противном случае приложение сторонней силы к деформируемому телу приводит к тому, что импульс силы становится равным на время переходного процесса алгебраической сумме приращения импульса тела, приращения импульса силы упругого сопротивления и приращения импульса силы трения. И только по завершению переходного процесса приращение импульса силы d**S** преобразуется в равное по значению приращение импульса тела d**p**. И опять же только в том случае, если не учитывать то, что трение приводит к необратимой деградации энергии.

При столкновении движущегося неупругого тела с другим неупругим телом изменение импульса первого тела d$\mathbf{p}_1$ преобразуется в приращение импульса силы d**S**, которое, в свою очередь, приводит к изменению импульса второго тела d$\mathbf{p}_2$. В этом и заключена вся суть: не импульс силы **S** оказывается равным импульсу тела **p**, а приращение импульса силы d**S** переходит в равное ему приращение импульса тела d**p**. А это не одно и то же. **Импульс силы S может появляться и исчезать, а импульс тела p – постоянно существующая характеристика движущегося тела.**

Когда появляются две физические величины со сходно звучащими, но разными названиями: импульс тела **p** и импульс силы **S**, появляются серьезные педагогические затруднения. Поэтому, на наш взгляд, было бы рационально импульс силы S называть **действием силы**. Это было бы рационально еще и потому, что **термин “действие“ предполагает любой (не обязательно очень малый) промежуток времени действия, тогда как слово “импульс“ означает в переводе “толчок“, то есть предполагается очень малый промежуток времени.**

В англоязычной литературе эта проблема несколько упрощена, так как там термины пишутся и звучат по-разному: импульс силы – force impulse, а количество движения и импульс тела – momentum. Лингвистический анализ дает возможность предположить причину возникновения обсуждаемой проблемы в русскоязычной литературе. По латыни impulsus – это толчок, возбуждение, и, поскольку приращение импульса силы переходит в равное ему приращение количества движения тела, возможно, это и послужило причиной того, что количество движения было названо более коротким словом “импульс“, и это прижилось в русскоязычной научной литературе.

Материал данного раздела статьи показывает, что стремление к упрощению терминологии или к сокращению терминов в данном случае приводит к искажению их физического содержания.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

1.5. О понятиях масса и импульс в релятивистской механике

Импульс тела и количество движения в классической механике

В классической механике количество движения тела **p** определяется уравнением

$\mathbf{p} = m\,\mathbf{v}$. (1)

где m − масса прямолинейно движущегося тела (частицы); **v** − линейная скорость тела (частицы). В разделе, посвященном различию между импульсом тела и количеством движения, показано, что масса m должна трактоваться как гравитационная масса, а в разделе о массе указывается, что понятие "инертная масса" следует изъять из обращения. Уравнение (1) должно относиться к определению количества движения **p**.

В том же разделе показано, что масса, фигурирующая во втором законе Ньютона и неверно называемая инертной массой, должна трактоваться, как инертность тела I при его прямолинейном движении, и называться **линейной инертностью**. Поэтому импульс тела, обозначаемый как $\mathbf{p}_I = I\,\mathbf{v}$, не идентичен количеству движения **p**.

Импульс тела в классической физике характеризует поток энергоносителей, это соответствует высказанному в разделе о движении и энергии положению: "***Энергия является количественной характеристикой движения, а импульс – качественной***

характеристикой прямолинейного движения (указывает на направление движения)".

Импульс и энергия безмассовых частиц

В релятивистской механике (Л.Окунь, 1989) импульс свободно движущейся частицы **p** рассматривается как ее неотъемлемая характеристика и определяется по уравнению:

$\mathbf{p} = (E/c^2)\mathbf{v}$, (2)

где E − **полная энергия** прямолинейно движущейся частицы; c − электромагнитная постоянная, равная по значению **скорости света** в вакууме и имеющая ту же размерность. В уравнении (2) масса частицы m_{in} отсутствует. Обратим также внимание на то, что в уравнении (2) энергия E учитывает только энергию прямолинейного движения и не учитывает энергию возможного собственного **вращения** частицы.

Релятивистская механика допускает существование **безмассовых частиц** при $v = c$. Если представить вектор скорости **v** в виде $\mathbf{v} = v\mathbf{e}_v$, где $\mathbf{e}_v$ - орт скорости, то при $v = c$ модули скорости c сокращаются, и уравнение (2) упрощается до вида:

$\mathbf{p} = (E/c)\ \mathbf{e}_v$. (3)

Из уравнения (3) видно, что импульс частицы **p** пропорционален энергии прямолинейно движущейся частицы, а фундаментальная константа (1/c) является коэффициентом пропорциональности. **Массы в уравнении (3) нет, из чего следует, что релятивисткая механика может обходиться без этого понятия.**

В релятивистской механике рассматривается 4-вектор, компонентами которого являются энергия *E*, импульс p, расстояние *r* и время *t*, масса в нем отсутствует. Это подтверждает необходимость включения в набор естественных основных величин энергии, а массу можно вести в этот набор лишь в качестве условной основной величины, чтобы не иметь дела с дробными показателями размерностей. В уравнении (2) вместо массы присутствует выражение (E/c^2). Это выражение и можно трактовать, как **линейную инертность** *I* **безмассовой частицы** при ее прямолинейном движении.

Вместо понятия "линейная инертность" частицы иногда применяется понятие "**продольная масса**" (например, В.Пакулин, 2010). А энергия собственного вращения частицы характеризуется термином "поперечная масса". Подобные термины распространяют понятие о массе на безмассовые частицы, что может вызвать недопонимание, так как понятие о массе обычно ассоциируется с веществом, состоящим из массивных частиц и тел. В релятивистской механике прилагательные "продольная" и "поперечная" говорят лишь о характеристиках движения, рассматриваемых в плоскостях, расположенных вдоль и поперек направления движения.

Инертность массивных частиц.

Для частиц, обладающих массой покоя и называемых **массивными частицами**, в релятивистской механике применяется уравнение А.Эйнштейна

$E_0 = mc^2$, (4)

где E_0 называют **энергией покоя**. Это название вытекает из основного соотношения релятивистской механики

$E^2 - \mathbf{p}^2c^2 = m^2c^4$. (5)

При подстановке в это уравнение значения импульса $\mathbf{p} = 0$ (так называемого "нулевого импульса"), соответствующего скорости покоящейся частицы $\mathbf{v} = 0$, уравнение (5) после извлечения квадратного корня превращается в уравнение (4), в котором полная энергия E становится как бы равной энергии покоя E_0 . Следует заметить, что термины "нулевой импульс" и "энергия покоя" не совсем удачны, так как при их применении может возникнуть иллюзия об отсутствии движения у частицы, тогда как **в природе неподвижных (покоящихся) частиц не существует.**

Поскольку под инертной массой следует понимать линейную инертность движущейся массивной частицы, то и само понятие "инертная масса" появляется лишь тогда, когда часть полной энергии E прямолинейно движущейся частицы становится энергией покоя E_0 , то есть частью **внутренней энергии** движущейся частицы. Другая часть полной энергии E прямолинейно движущейся частицы, остающаяся после вычитания из нее энергии покоя E_0 , является кинетической энергией прямолинейного движения E_k . Поэтому понятия "инертная масса" и "массивная частица" возникают только при скорости $v << c$.

Импульс массивных частиц.

В релятивистской механике импульс массивной частицы, движущейся прямолинейно, определяется уравнением

$\mathbf{p} = \gamma m\mathbf{v}$, (6)

где $\gamma = [1 - (v/c)^2]^{-½}$. В зависимости от значения соотношения (v/c) рассматриваются два предельных случая:

1. при $v = c$ выражение γm становится неопределенностью типа 0:0. В релятивистской механике в этом случае пользуются уравнением (2).
2. при $v << c$ отношение $(v/c) \to 0$, а $\gamma \to 1$, что приводит к уравнению (1).

Уравнение (1) с учетом уравнения Эйнштейна (4) можно записать также в виде:

$\mathbf{p} = (E_0 /c^2)\, \mathbf{v}$, (7)

из которого видно, что нет необходимости вводить понятие "инертная масса" в уравнение (1) для определения импульса частицы в релятивистской механике.

Как показывает Л.Окунь (1989), для релятивистского тела понятие гравитационной массы также неприменимо. **О гравитационной массе *m*, как о заряде гравитационного поля, должна идти речь, когда количество вещества становится достаточно большим, чтобы принимать во внимание силы тяготения.** Наконец, **масса согласно уравнению (4) есть не что иное, как размерный коэффициент пропорциональности между энергией покоя и скоростью света.**

Отсюда вывод: ***в релятивистской механике нет смысла применять понятие "масса". Следует применять понятие "импульс частицы"***.

Литература

1. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: ”Успехи физических наук”, т. 158, вып.3, с.с.511-530
2. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра

1.6. Закон сохранения импульса вытекает из закона сохранения энергии

1. Закон сохранения импульса не является фундаментальным законом сохранения.

Закон сохранения импульса считается в современной физике одним из трех фундаментальных законов сохранения, наряду с законом сохранения энергии и законом сохранения момента импульса. В данном разделе будет **показано, что закон сохранения импульса вытекает из закона сохранения энергии при соблюдении определенных условий, является частным случаем закона сохранения энергии. Поэтому закон сохранения импульса не должен считаться фундаментальным законом сохранения.**

Кроме того, **закон сохранения импульса справедлив только в одной форме движения − механической прямолинейной.**

2. Замена силы импульсом силы в законе сохранения энергии.

В разделе о закone сохранения энергии была приведена такая запись уравнения состояния системы:

$\mathrm{d}W = \Sigma_i\, \Delta\mathbf{P}_i\, \mathrm{d}\mathbf{q}_i$. (1)

где $\mathrm{d}W$ − изменение энергообмена системы с окружающей средой; $\Delta\mathbf{P}_i$ − разность потенциалов между системой и средой; $\mathrm{d}\mathbf{q}_i$ − приращение координаты состояния рассматриваемой формы движения. Только при рассмотрении прямолинейной механической формы движения уравнение (1) можно записать в виде:

$\mathrm{d}W = \Sigma_i\, \mathbf{F}_i\, \mathrm{d}\mathbf{x}_i$, (2)

где $\mathbf{F}_i$ − воздействующая на систему i-ая сторонняя сила; $\mathrm{d}\mathbf{x}_i$ − линейное перемещение системы под воздействием i-ой сторонней силы. Рассматривая только одну i-ую стороннюю силу, можно для упрощения опустить нижний индекс при обозначении силы. Затем, введя фактор времени, уравнение (2) можно записать следующим образом:

$\mathrm{d}W = (\mathbf{F}\mathrm{d}t)(\mathrm{d}\mathbf{x}/\mathrm{d}t) = \mathrm{d}\mathbf{S}\ \mathbf{v}$, (3) где d**S** = **F** d*t* − приращение импульса силы **F**; **v** − линейная скорость системы. Из уравнения (3) следует, что приращение энергии системы d*W* пропорционально приращению импульса силы d**S**, воздействующей на систему, независимо от значения линейной скорости системы **v**.

3. Закон сохранения количества движения − частный случай закона сохранения энергии.

Закон сохранения импульса физической системы основан на том, что для замкнутой системы изменение энергообмена d*W* = 0. Следовательно, и приращение импульса силы d**S** = 0 согласно уравнению (3), поскольку скорость системы **v** не обязательно должна быть равной 0. Но если d**S** = 0, из чего следует, что из закона сохранения энергии непосредственно вытекает **закон сохранения импульса силы**.

Для консервативных систем справедлив второй закон Ньютона в записи d**p**/d*t* = **F**, который можно записать и в виде d**p** = **F**d*t* = d**S**. Следовательно, при приращении импульса силы d**S** = 0 и приращение количества движения системы d**p** = 0. Окончательный вывод: **для движущейся замкнутой механической системы количество движения тела p = const**. Этот вывод и является записью **закона сохранения количества движения** тела. Поскольку равенство d**S** = d**p** относится лишь к консервативным системам, то и закон сохранения количества движения является лишь частным случаем **закона сохранения импульса силы**.

Физическое содержание закона сохранения количества движения с учетом сделанных замечаний заключается в следующем: ***если замкнутая движущаяся механическая система (тело) содержит несколько недеформируемых тел, движущихся прямолинейно без внешнего диссипативного сопротивления с разными по значению и направлению скоростями, то их суммарное количество движения не изменяется при изменении скоростей или масс движущихся внутри системы тел***.

Закон сохранения количества движения, основанный на уравнении d**p** = *m* d**v**, может работать лишь в микромире, где можно пренебречь жесткостью элементарных частиц и вязким сопротивлением окружающей их полевой среды, а в макромире его следует применять с осторожностью. Но в микромире, как показано в разделе, посвященном импульсу частиц в релятивистской механике, можно обойтись без понятия "масса", пртименяя лишь понятие "импульс".

4. Закон сохранения импульса следует именовать законом сохранения количества движения.

Поскольку количество движения $m\mathbf{v}$, где m – это характеристика гравитационных свойств системы, массу можно идентифицировать с движущимся гравитационным зарядом (см. Таблицу величин физического поля).

Таким образом, закон сохранения количества движения тела не является законом сохранения импульса тела, так как количество движения и импульс тела - это разные физические величины.

1.7. Обобщенная таблица упругих деформаций

Таблица упругих деформаций

Таблица обобщает четыре обычно рассматриваемые упругие деформации. Эта таблица может быть использована достаточно эффективно в учебном процессе. Расшифровка обозначений величин, представленных в Таблице деформаций, приведена в таблицах конкретных деформаций, для чего следует пройтись по ссылкам верхней строки Таблицы.

Вид деформации	**Растяжение-сжатие** **(центральное)**	**Сдвиг** **(чистый)**	**Кручение**	**Изгиб** **(плоский, чистый, прямой)**
Начальный размер	l	a	l	l
Абсолютная деформация	Δl	Δa	φ	θ
Относительная деформация	$\varepsilon = \Delta l / l$	$\gamma = \Delta a / a$	$\theta = \varphi / l$	$k = \theta / l$
Внутренний силовой фактор	N_z	Q_x Q_y	M_z	M_x
Геометрическая	S_z	S_x	$J_p = \Sigma_i$	$J_x = \Sigma_i y_i^2 S_i$

характеристика сечения		S_y	$r_i^2 S_i$	
Параметр сопротивления	S	S	$W_p = J_p / r_m$	$W_x = J_x / y_m$
Напряжение	$\sigma = N_z / S_z$ $\sigma = F/S$	$\tau_x = Q_x / S_y$ $\tau_y = Q_y / S_x$	$\tau = M_z / W_p$	$\sigma = M_x / W_x$
Модуль упругости	E	G	G	E
Закон Гука	$\varepsilon = \sigma/E$ $\Delta l = Fl / ES$	$\gamma = \tau/G$ $\Delta a = Qa / GS$	$\theta = \tau/r_m G$ $\varphi = M_z l / GJ_p$	$k = \sigma/y_m E$ $\theta = M_x l / EJ_x$
Жёсткость сечения	ES	GS	GJ_p	EJ_x
Потенциальная энергия деформации	$F\,\Delta l/2$	$Q\,\Delta a/2$	$M_z \varphi/2$	$M_x \theta/2$

Примечание к таблице: Термины в скобках в верхней строке таблицы указывают на чаще всего рассматриваемый в инженерной практике вариант данного вида упругой деформации.

Особенность таблиц упругих деформаций

В качестве приращения координаты состояния в деформационных формах движения обычно принимают линейную или угловую деформацию. Тогда, согласно главному определяющему уравнению, разностью потенциалов должны быть деформирующая сила или деформирующий момент силы. Именно это и отражено в соответствующих таблицах.

Тот факт, что деформация тела является объёмной, хотя на практике обычно рассматривается точечное приложение силы, не вносит коррекцию в таблицы, так как при систематизации можно не учитывать те участки тела, в пределах которых происходит перераспределение по сечению нормальных или касательных напряжений. Поэтому, в частности, при деформации кручения динамическим воздействием является крутящий момент, но не как произведение какой-то силы, приложенной в одной точке, на радиус этой точки, а как **интегральная сумма подобных произведений для всех участков поперечного сечения**.

В таблице растяжения-сжатия сила противодействия деформируемого тела определяется жесткостью тела и внутренним сопротивлением. При этом такая величина, как нормальное напряжение, становится производной величиной более дальней очереди, чем деформирующий фактор (сила). Например, при растяжении изменение нормального напряжения становится следствием изменения деформирующей силы. Такую трактовку дает упругим деформациям инженерная дисциплина “Сопротивление материалов“.

В теории упругости, как разделе физики, это не так. Внутреннее сопротивление деформируемого тела определяется в теории упругости, например, при растяжении, не силой, а нормальным напряжением, так что причиной деформации становится напряжение. Такая ситуация оказывается возможной, поскольку координатой состояния деформационной формы движения при систематизации в теории упругости является объёмная деформация тела, а не линейная, как в инженерной практике. И поэтому разностью потенциалов в этом случае является **давление, а не сила**. А деформирующий фактор (сила) становится производной величиной более дальней очереди, чем напряжение.

Последовательность систематизации, рассматриваемая в теории упругости, верная по своей сути, оказывается неудобной для инженеров потому, что очень им непривычно воспринимать силу, как производную величину более дальней очереди, чем напряжение. Ведь инженерные расчеты конструкций базируются, в основном, на балансах сил.

Если же попробовать совместить желания и инженеров, и физиков, то есть, изменением координаты состояния (например, при растяжении-сжатии) считать линейную деформацию, а разностью потенциалов считать деформирующее давление, то логика системного подхода приводит к тому, что изменением энергообмена пришлось бы считать удельную энергию деформирования (то есть, изменение энергообмена, отнесенное к площади поперечного сечения). А это уже неудобно ни для инженеров, ни для физиков.

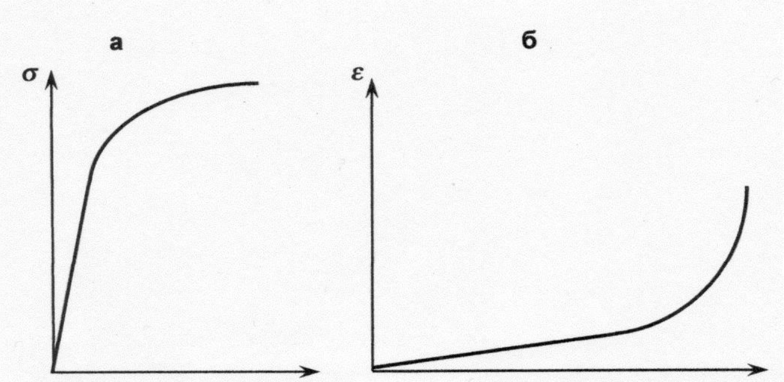
Мы составили таблицы упругих деформаций такими, какими они приняты в инженерной практике. Впрочем, любой пользователь может построить таблицу упругой деформации, использовав в качестве координаты состояния объёмную деформацию.

1.8. Некорректное толкование закона Гука

Нарушение принципа причинности при толковании закона Гука

Нельзя обойти вниманием пример очевидного несоблюдения принципа причинности при построении **диаграмм напряженного состояния материала**. Эти диаграммы отображают зависимость между деформацией материала и нагрузкой на него и играют чрезвычайно важную роль при изучении физико-механических свойств материалов. Приходится констатировать, что они строятся с таким нарушением принципа причинности, которое влечет за собой неверную форму записи **закона Гука** – основы всей теории упругости.

На рисунке **а** показан типичный пример такой диаграммы. По оси ординат, где полагается располагать функцию (то есть, следствие), откладывают нормальное напряжение σ, возникающее в материале после его нагружения и являющееся причиной деформации тела. А по оси абсцисс, где полагается располагать аргумент, откладывают деформацию (абсолютную деформацию Δl или, чаще всего, относительную деформацию ε), которая является функцией, то есть, следствием



приложения нагрузки.

Причина такого нарушения принципа причинности проста – так сконструировано измерительное устройство испытательной машины, оно вычерчивает диаграмму именно таким образом. Видимо, конструкторы этой машины не очень-то задумывались о принципе причинности, хотя небольшое изменение конструкции измерительного устройства не представило бы никакой сложности.

Если бы измерительное устройство вычерчивало диаграмму напряженного состояния в координатах (ε, σ), как это показано на рисунке **б**, диаграмма стала бы и логичнее, и понятнее.

Некорректная и корректная формы записи закона Гука

Из графика на рисунке **а** вытекает часто встречающаяся некорректная форма записи закона Гука в виде:

$\sigma = E\varepsilon$, (1)

где модуль Юнга E (модуль упругости 1-го рода) является коэффициентом пропорциональности. Если же исходить из принципа причинности, то закон Гука должен иметь следующую корректную запись:

$\varepsilon = \sigma /E$, (2)

которая как раз и вытекает из первоначально изучаемой в теории упругости формы записи закона Гука:

$\Delta l = Fl /ES$, (3)

где l – длина испытуемого образца постоянного сечения; S – площадь его поперечного сечения. Переход от формы записи (3) к форме записи (2) есть не что иное, как переход к критериальному уравнению подобия в виде:

$\Delta l / l = (F/S)/E$. (4)

Подчеркнем, что в случае образца, площадь сечения S которого не постоянна в направлении линия действия деформирующей силы, в уравнения (3) и (4) должна подставляться усредненная площадь поперечного сечения. Точно так же следует иметь в виду, что модуль упругости *E* постоянен по всем направлениям лишь для аморфных или квазиаморфных материалов. Например, для кристаллов и древесины значение модуля упругости *E* зависит от направления линия действия деформирующей силы, в частности, для древесины модуль упругости вдоль волокон и поперек волокон различен.

Некорректно и корректно выбранные координаты диаграммы по закону Гука

Еще одной некорректностью построения диаграммы напряженного состояния на рисунке **а** является то, что эта диаграмма представлена в виде зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$, то есть в виде зависимости размерной величины σ от безразмерной ε. А модуль упругости *E* интерпретируется как коэффициент пропорциональности линейного участка кривой на диаграмме (σ, ε). Студенты, привыкшие в математике и физике к тому, что коэффициент пропорциональности часто не имеет размерности, с трудом привыкают к наличию размерности у модуля упругости *E*.

Точнее было бы на диаграммах напряженного состояния откладывать не напряжение σ, а параметрический критерий подобия типа $\sigma' = \sigma/E$, и тогда наклон линии $\varepsilon = f(\sigma')$ просто определялся бы соотношением масштабов по осям координат.

На результатах научных и практических исследований указанные несоблюдения принципа причинности не сказываются, но затрудняют понимание учебного материала.

2. Новый взгляд на вращательное движение

2.1. Анализ понятий “угловое перемещение“ и “угол поворота“

1. Современная физика и метрология не дают ответа на важные вопросы.

В современной метрологии трудно найти более спорную тему, чем вопрос о том, какой величиной является угол поворота: основной или производной, размерной или безразмерной, а если размерной, то с какой единицей. Вот главные вопросы, на которые ответа пока нет:

1. Если угловое перемещение считать производной физической величиной, то почему в физике нет уравнения, которое определяет его по основным физическим величинам?
2. Если угловое перемещение считать безразмерной величиной, то почему оно имеет в СИ единицу?
3. Почему в СИ только единицы угловой скорости и углового ускорения включают в себя единицу радиан, а единицы других производных физических величин, определяемых уравнениями, в которые входят угловое перемещение или его производные по времени, не включают в себя единицу радиан?
4. Почему в физической теории пользуются радианной мерой углового перемещения, а на практике - только градусной мерой?

Путаница при оперировании единицей угловой скорости, куда единица радиан входит, и единицей частоты вращения, куда единица радиан не входит, привела к появлению статей А.Митрохина (1996, 2000), в которых приведены примеры расчетных ошибок в научно-технической литературе вследствие этой путаницы и выражено убеждение в необходимости ее устранения. А неясность с применением единицы радиан в других величинах вращательного движения привела к появлению статьи И.Когана (1998), в которой сделана попытка исправить этот пробел в метрологии.

Проанализируем различные определения “углового перемещения“ и “угла поворота“, чтобы убедиться, что общепринятого определения этих понятий не существует, а существующие определения недостаточно обоснованы. Заметим попутно, что точно такая же ситуация наблюдается и в литературе на английском и немецком языках.

2. Угловое перемещение и угол поворота − координаты состояния разных форм движения.

Процитируем определение **углового перемещения** из метрологического справочника А.Чертова (1990): “*Угловое перемещение* $d\boldsymbol{\varphi}$ *– векторная величина, модуль которой равен бесконечно малому углу* $d\varphi$ *поворота тела*“. Так что в этой фразе определяется и угол поворота. Имеется еще одно определение в Википедии: "*векторная величина, характеризующая изменение угловой координаты в процессе её движения*". Википедия в англоязычном варианте приводит такое определение: “*Угловое перемещение тела – угол в радианах (градусах, оборотах), при котором точка или линия вращаются определенным образом вокруг определенной оси*“.

Согласно лексическим нормам любого языка **перемещение означает смену места.** Но с этой точки зрения слово “перемещение“ не подходит для описания вращательной формы движения при собственном вращении тела. Ведь при этом тело вращается либо вокруг центра вращения, совмещенного с началом координат выбранной системы отсчета, либо вокруг оси вращения, проходящей через начало координат. То есть **вращающееся тело в выбранной системе отсчета не меняет свое место (не перемещается). Перемещаются лишь точки вращающегося тела, но не тело в целом. Следовательно, понятие “угловое перемещение“ по отношению к собственному вращению тела неуместно.**

Точки вращающегося тела действительно перемещаются, но каждая из них перемещается по своей круговой орбите. Значит, по отношению к точкам вращающегося тела можно вести речь не о вращательной, а об **орбитальной форме движения, об орбитальном перемещении точек**. В реальном же движении точек по их орбитам нас интересует пройденный ими по орбите путь, а не их перемещение (см. раздел, посвященный видам движения, где показано различие между перемещением и пройденным по орбите путем). Если же говорить о собственном вращении тела, то можно сделать вывод, что к нему применимо только понятие “**угол поворота**“.

Таким образом, мы приходим к выводу, что **угол поворота и угловое перемещение**, как координаты состояния разных форм движения (вращательной и орбитальной), являются, несмотря на одинаковые размерности, **разными физическими величинами**. Значит, у них должны быть разные определяющие уравнения. И вышеприведенное метрологическое определение, указывающее на то, что угол поворота является модулем углового перемещения, следует считать неверным. Более того, угол поворота и угловое перемещение не зависят друг от друга.

3. Нет доказательств того, что угловое перемещение и угол поворота безразмерны.

Продолжим цитировать справочник А.Чертова (1990): “*Из определения углового перемещения следует, что это безразмерная величина, выражаемая в радианах*“. Но из процитированного в начале раздела 2 определения вовсе не следует вывод о том, что угловое перемещение является безразмерной величиной. Из него следует вывод лишь о том, что угловое перемещение и угол поворота должны иметь одинаковые размерность и единицу. А так как в СИ принято считать угол поворота безразмерной величиной, то его безразмерность перенесена и на угловое перемещение.

Однако доказательств того, что угол поворота и угловое перемещение безразмерны, тоже нет. Угол поворота и угловое перемещение оцениваются в единицах плоского угла, а в математике условились о том, что плоский угол определяется отношением длины дуги окружности к длине ее радиуса. Но, во-первых, принятие условия не является доказательством. Во-вторых, в разделе об определениях плоского угла показывается противоречивость между существующим в математике определением плоского угла и способом измерения угла поворота в физике. **Ведь плоский угол – понятие математическое, а угол поворота – измеряемая физическая величина, координата состояния вращательной формы движения.**

Возникает, например, путаница при определении единицы угловой скорости (В.Эмерсон, 2005). Если угол − безразмерная величина, то единица угловой скорости может быть равна $с^{-1}$, но такая единица не имеет ссылки на угол поворота, являющийся координатой состояния вращательной формы движения. В СИ единица угловой скорости равна рад/с, но это означает, что единица радиан присвоена безрамерной величине. Б.Скотт (1985) и К.Броунштейн (1997) давно указали на то, что существует путаница в учебниках по поводу того, когда единица радиан должна быть вставлена или удалена из формулы единиц. В статье В.Эдера (1982) доказывается, что плоский угол должен иметь свою размерность А, и при этом приводится 11 ссылок на предыдущие статьи. В статье П.Мора и В.Филлипса (2015) рассматриваются единицы только для угла, как математической величины, а угол поворота или угловое перемещение даже не упоминаются.

Уместно привести мнение Л.Седова (1977): “*Подразделение величин на размерные и безразмерные является до некоторой степени делом условности. Так, например, угол мы называем безразмерной величиной. Но известно, что углы можно измерять в радианах, в градусах, в долях прямого угла, т.е. в различных единицах. Следовательно, число, определяющее угол, зависит от выбора единицы измерения. Поэтому угол можно рассматривать и как величину размерную*“. **А в разделе о безразмерных величинах доказывается, что таковых вообще нет в природе.**

4. Угловое перемещение и угол поворота − псевдовекторные величины.

Еще раз процитируем справочник А.Чертова (1990): “*В отличие от углового перемещения конечный угол поворота φ тела является величиной скалярной, а не векторной*“. А в учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1) приведено доказательство того, что угловое перемещение считается векторной величиной, но лишь при условии, что оно имеет бесконечно малое значение. Это доказательство основано на такой математической условности: “*путь, проходимый любой точкой (вращающегося) тела при очень малом повороте, можно считать прямолинейным*“.

В этом доказательстве мы сталкиваемся с математической абстракцией, которая противоречит условию реальности. **В реальности** же наоборот: **любая прямолинейная траектория является дугой окружности, соприкасающейся с траекторией в данный момент времени и в данной точке, с радиусом кривизны траектории, значение которого стремится к бесконечности.** Так что приводимое у И.Савельева допущение необоснованно объединяет две различные формы движения: прямолинейную и вращательную. В разделе, анализирующем вопрос о векторности углов, как физических величин, показано, что и угловое перемещение, и угол поворота являются псевдовекторными величинами.

5. Важность изучения свойств углового перемещения и угла поворота.

Исключительная важность вопроса о свойствах углового перемещения и угла поворота подтверждается следующей выдержкой из англоязычной Википедии: “*В современном применении почти вся научная реальность строится на понятии углового перемещения. Можно сказать, что все измерения физических свойств составляются из понятий углового перемещения некоторой рассматриваемой системы.* ***Время – это мера представления углового перемещения между двумя событиями, связанными с одним телом, пространство – это мера представления углового перемещения между двумя событиями, связанными с двумя различными телами, масса – это функция времени и пространства*“.**

Почему же по отношению к таким важнейшим, основополагающим понятиям, как угловое перемещение и угол поворота, отсутствуют строгие доказательства, оправдывающие современные метрологические стандарты? **Потому что таких доказательств пока нет**. Привести соображения по этому поводу нам поможет тщательный анализ тех ошибок, которые скрыты в определении математического понятия “плоский угол“. Этот анализ проведен в разделе, посвященной плоскому углу.

Литература

1. Коган И.Ш., 1998, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров, “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, 3, с.62-64.
2. Митрохин А.Н., 1996, О взаимодействии размерностей в математических преобразованиях.– М.:”Транспорт”,102 с.
3. Митрохин А.Н., 2000, Математика и ее роль в анализе размерностей и образовании единиц измерения. – М.: ”Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с.39-47
4. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
5. Седов Л.И., Методы подобия и размерности в механике.- 8-е изд., - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 440 с.
6. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с. 78.
7. Brownstein K.R., 1997, Angles — let’s treat them squarely. Am. J. Phys. **65**, p.p.605–614
8. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, 18, p.p. 1–12
9. Emerson W.H., 2005, Differing angles on angle. Metrologia, **42**, p.p. L23–26.
10. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.
11. Scott B.L., 1985, Where do the radians go? Am. J. Phys. **53**, p.520

2.2. Плоский угол - ошибки в его определении

1. Мера плоского угла – отношение площадей, а не длин.

Известно определение, взятое из БСЭ: “**Плоский угол** – *это геометрическая фигура, образованная двумя лучами (сторонами угла), выходящими из одной точки (вершины угла)*“. Имеется аналогичное определение, принятое в геометрии: “*Плоский угол – это фигура,* *состоящая из двух лучей, исходящих из общей точки, и ограниченной ими части плоскости*”. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) плоский угол “*представляет собой участок между двумя линиями, заканчивающимися в одной точке*“. Что понимается под понятием “участок“ в этом определении, в справочнике не поясняется. Из определения следует, что под “участком“ можно понимать ограниченную плоским углом часть плоскости.

В БСЭ приводится такое важное дополнение к определению плоского угла: “*Ряд практических задач приводит к целесообразности рассматривать угол как фигуру, получающуюся при вращении фиксированного луча вокруг точки О (из которой исходит луч) до заданного положения.* ***В этом случае угол является мерой поворота луча*****“**. Это дополнение перебрасывает мостик от геометрического понятия “плоский угол“ к физической величине “угол поворота“.

Из определения плоского угла, как геометрической фигуры, площадь которой ограничена двумя лучами (**бесконечно длинными линиями**), следует, что **площадь плоского угла бесконечна**. Для оценки значения плоского угла применяют отношение оцениваемого плоского угла к полному плоскому углу, образованному путем полного оборота одного из лучей по отношению к другому лучу. **Отношение площадей, получаемое при делении бесконечной площади оцениваемого плоского угла на бесконечную площадь полного плоского угла, является величиной конечной. Это отношение изменяется от 0 до 1.**

Плоский угол в справочнике А.Чертова (1990) считается безразмерной величиной, безразмерной единицей которого считатеся **радиан**. Но в практической метрологии **полный плоский угол** имеет единицу, называемую **оборотом**, а единица **угловой градус** - это дольная единица оборота. 360 угловых градусов соответствуют одному обороту. Именно для угловых градусов в метрологии существуют измерительные эталоны. Например, государственный эталон России воспроизводит значения плоских углов в угловых градусах (Л.Брянский, 2002), а не в радианах. Плоские углы в навигации, в геодезии, в астрономии, на производстве измеряют только в градусной мере плоского угла.

2. Радианная мера плоского угла не годится для физики.

В современной физике применяется радианная мера плоского угла. В статье П.Мора и В.Филиппса (2015) приводится довод о том, что единица радиан, в отличие от других единиц угла, **когерентна (не**

требует дополнительных численных множителей) в тех случаях, когда в физике применяются **экспоненциальные функции и функции комплексного переменного**. Но измерительного эталона у радиана нет, Такой эталон, если бы его создали, был бы более сложен и менее точен, чем эталон для углового градуса, да и нужен ли такой эталон на практике? В конце концов, радиан – это тоже доля оборота, которую, впрочем, можно рассчитать только приближенно.

В физику радианная мера плоского угла пришла из математики и практически вытеснила из физики градусную меру. Вплоть до того, что в существующей СИ единицу оборот (и его доли - угловые градусы) предписано изъять из обращения, а единицей считать только радиан. Но в физике (в динамике) при рассмотрении вращательного движения применяют такие понятия, как угловое перемешение и угол поворота, которые лишь оцениваются в единицах плоского угла, а измеряются на практике в градусной мере, а не в радианной. В этом заключается **первая ошибка** в отношении взаимосвязи между углом поворота и плоским углом.

Было бы логично, если бы в применении к углу поворота из словесных формулировок в метрологических стандартах, обслуживающих физику и технику, было бы изъята ссылка на плоский угол, как геометрическую фигуру. Но это определение плоского угла в стандартах оставлено. Стандарт определяет плоский угол как математическую величину, но предписывает его для оценки угла поворота, как физической величины, и оценивает угол поворота в радианах. Более того, в метрологической документации, касающейся единиц плоского угла, не упоминается о применении плоского угла для оценки физических величин.

3. Плоский угол не может оцениваться отношением длин дуги и радиуса.

Второй ошибкой является то, что во всех определениях и стандартах плоский угол оценивается отношением двух длин (длины дуги и длины радиуса). Но что на деле должно означать измерение угла в радианной мере? Это означает измерение длины дуги в радиусах окружности. Когда говорят, что полный плоский угол равен 2π рад, то это означает, что на длине окружности должно уложиться примерно 6,282 длины радиуса. Но ведь метрологи эту операцию не проводят, метрологи не измеряют ни длину дуги, ни длину радиуса.

Вот как поясняет БСЭ: “*Всякий угол, имеющий вершину в центре О* *некоторой окружности, определяет на окружности дугу АВ, ограниченную точками пересечения окружности со сторонами угла. Это позволяет свести измерение угла к измерению соответствующих дуг*“. Сказано очень осторожно – “позволяет свести“, хотя длины дуг никто не измеряет. И далее “*...под аргументом тригонометрических функций принято понимать число, которое можно рассматривать геометрически как длину дуги или радианную меру угла. Если аргумент тригонометрической функции рассматривают как угол, то его значение может быть выражено и в градусной мере*“. И опять осторожно – “принято понимать“, “можно рассматривать“ и “может быть выражено“. **Но это в математике все <u>принято</u> понимать, а физика описывает реальные явления, и в ней надо не только понимать, но и измерять.**

Так же осторожна и Интернет-энциклопедия Кругосвет: “*величина угла пропорциональна длине высекаемой им дуги, и единицы измерения можно задавать, указывая, какую часть окружности составляет соответствующая дуга*“. **Тут уже четко говорится о пропорциональности, а не о равенстве. То есть дуга, как часть окружности, соответствует радиану, как части оборота. <u>Соответствует, а не равна</u>.**

Из всех этих определений совершенно неясно, что же в итоге оценивается: <u>плоский угол или длина дуги?</u> Ведь длина дуги, пройденной физическим объектом, – это не число, а физическая величина "путь", имеющая свою размерность, тогда как плоский угол является безразмерной величиной.

Обратим внимание также еще на один алогизм ситуации. Если для определения плоского угла, согласно существующим стандартам, выбрано отношение длин, то это означает, что речь идёт об отношении отрезков линий, ибо только отрезки имеют длину. Однако в определение плоского угла, как геометрической фигуры, входят не отрезки линий конечной длины, а лучи, длина которых бесконечна. Не помогает и анализ тригонометрических функций, являющихся отношениями длин сторон прямоугольного треугольника, ведь о длинах дуги и радиуса при определении тригонометрических функций не упоминается.
Теоретический анализ применения плоских углов в метрологии приведен в работах В.Эдера (1982) и А.Торренса (1986).
Подведем итог. **В определениях плоского угла имеется достаточно алогизмов и неопределенностей. С точки зрения физики и метрологии <u>угол поворота, чем бы он не оценивался, должен иметь</u>**

свою размерность и единицу. Это и доказывается в разделе, посвященной углу поворота.

Литература

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
3. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, 18, p.p. 1–12
4. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.
5. Torrens A.B., 1986, On angles and angular quantities. Metrologia, 22, 1–7

2.3. Угол поворота – основная физическая величина

1. В физике нет определения и определяющего уравнения для угла поворота.

В разделе о терминологии угловых величин говорится, что общепринятое определение угла поворота отсутствует, что его путают с угловым перемещением и с плоским углом. На самом деле **угол поворота - это физическая величина,** и он принципиально отличается от углового перемещения, другой физической величины. Обе эти угловые величины только оцениваются в единицах плоского угла, как математической величины.

Вот для определения значения плоского угла φ пользуются уравнениями, принятыми в математике, а не в физике. В математике это либо уравнение

$\varphi = s/R$, (1)

где s – длина дуги окружности; R – длина радиуса этой окружности, либо уравнение обратной тригонометрической функции, например,

$\varphi = \mathrm{arctg}\,(a/b)$, (2)

где a и b – длины катетов прямоугольного треугольника. Парадокс в том, что в существующих в геометрии определениях плоского угла ничего не говорится ни об окружностях, ни о треугольниках.

Угол поворота - это физическая величина, характеризующая поворот тела вокруг неподвижной относительно тела плоскости, или поворот луча, исходящего из центра вращения тела, относительно другого луча, считающегося неподвижным. Это характеристика вращательной формы движения. Именно в таком плане ее понимал В.Эдер (1982), хотя и применял термин "плоский угол".

Как физическая величина угол поворота никаким уравнением не определяется. Величины, для которых в физике нет определяющего уравнения, являются основными величинами. Это главный аргумент в пользу того, что угол поворота должен принадлежать к основным величинам, а единица угла поворота должна быть основной единицей.

2. Современная физика не решается признать угол поворота основной величиной.

О существующей неопределенности в СИ было сказано еще в метрологическом справочнике А.Чертова (1990): "XI Генеральная конференция по мерам и весам (1960) классифицировала единицы СИ радиан и стерадиан как "дополнительные единицы", умышленно оставив нерешенным вопрос относительно того, как рассматривать плоский и телесный углы - как основные или производные величины". Международный стандарт ИСО 31 (1992) отнес плоский угол к производным величинам.
И это несмотря на то, что немало ученых высказывало мнение о том, что единица угла должна иметь собственную размерность, то есть быть основной единицей. Приведем лишь ссылки на известные статьи (Г.Кортум, 1972, Дж.Винанс, 1976, П.Мурдок, 1978, Р.Штиллер, 1978, Л.Барброу, 1978, В. Эдер, 1982, А.Торренс, 1986, Е.Оберхофер, 1992, К.Броунштейн, 1997). Эти авторы обозначали размерность плоского угла символом А. И.Коган (2007) предложил включить угол поворота в набор основных физических величин с тем же символом размерности А, а плоский угол считать численным значением единицы угла поворота.

Угол поворота при собственном вращении тела является координатой состояния вращательной формы движения. Необходимость выделения вращения тела в отдельную форму движения вытекает из обобщенного уравнения закона сохранения, представленного в статьях И.Когана (1998b, 2011), М. Юдина (1998), а также в работах В.Эткина (2008, 2011). А **угловое перемещение радиуса кривизны** траектории орбиты относится к орбитальной форме движения. Угол поворота и угловое перемещение объединяет лишь то, что они оба оцениваются в единицах плоского угла. Авторы предыдущих работ по угловым величинам не указывали на различие между углом поворота и угловым перемещением.

В обзорной статье М.Фостера (2010) указывается на то, что объявление угла основной величиной должно признать, что это такая же значимая основная величина, как длина. В то же время в статье П.Мора и В.Филиппса (2015) снова говорится только о математической величине плоский угол и о его единице радиан, как когерентной, но не основной единице. Эти авторы рассматривают лишь угловое перемещение центра масс тела, движущегося по орбите, как бесконечно малую величину, а пройденный телом по орбите путь рассматривают как бесконечно малую длину дуги.

Складывается впечатление, что проблема признания угла поворота основной величиной не сможет быть решена кардинально, пока не будет сделано разграничение между математической величиной (плоский угол) и двумя разными физическими величинами (угол поворота тела и угловое перемещение центра масс тела). К сожалению, о необходимости такого разграничения ничего не говорится в продолжающейся уже много лет дискуссии среди метрологов по этому поводу.

3. Угол поворота должен иметь свою размерность и свою единицу.

Коль скоро для **размерности угла поворота предлагается символ А (от английского angle – угол)**, то в размерности всех физических величин, в определяющее уравнение которых входит угол поворота, должна входить и его размерность А. И тогда отпадет необходимость считать единицу угла поворота внесистемной или дополнительной единицей. В разделе о плоском угле показано, что естественной единицей угла поворота является “оборот” (об). П.Мор и В.Филиппс (2015) считают, что единица оборот становится некогерентной при применении в физике таких математических абстракций, как экспоненциальные функции и функции комплексного переменного при их разложении в ряд. Это один из примеров того, как применение математики в физике уводит в сторону от физического содержания.

Л.Брянский (2002) считает, что “*Плоские и телесные углы описываются абсолютными шкалами. А этим шкалам свойственны естественные, безразмерные единицы, значения которых никак не зависят от принятых систем величин и единиц.*“ Но, во-первых, системы величин и системы единиц − понятия разные (И.Коган, 2007). Во-вторых, безразмерность единицы радиан основана на применении уравнений (1) и (2), а эти уравнения не относятся к углу поворота, как к физической величине. К тому же, в разделе, где приводятся определения плоского угла, показаны две ошибки при его определении.

При орбитальной форме движения длина пути d*s*, пройденного телом по орбитне с **радиусом кривизны** орбиты **R** (в англоязычной литературе **угловым радиусом кривизны** определяется скалярным произведением

$$ds = \mathbf{R}\, d\boldsymbol{\varphi} , \quad (3)$$

в котором **угол поворота** d**φ** радиуса кривизны **R** (**угловое перемещение** движущегося по орбите тела) является псевдовекторной определяющей, а не определяемой величиной. Векторность углового перемещения доказывается в отдельном разделе. Анализ уравнения (3) показывает, что правило размерностей выполняется в нем лишь при том условии, что размерность пути *s* равна L, размерность углового перемещения d**φ** равна A и размерность радиуса кривизны **R** равна LA^{-1} при единице м об$^{-1}$. В СИ это должно соответствовать единице м рад$^{-1}$.

4. Последствия введения своей размерности для угла поворота.

Размерность радиуса кривизны орбиты LA^{-1} означает, что размерность **кривизны орбиты** (**угловой кривизны** в англоязычной литературе), как величины, обратной радиусу кривизны, равна $L^{-1}A$ с единицей м$^{-1}$ об. В СИ это соответствует единице м$^{-1}$ рад. Пока еще в СИ размерность кривизны равна L^{-1} с единицей м$^{-1}$, что противоречит условию показателей размерности. Если же оставить размерность радиуса кривизны **R** равной L при размерности угла поворота равной A, то размерность пути d*s* из уравнения (3) станет равной LA с единицей м об, что не имеет физического смысла. И это строго обосновано в статье В.Эдера (1982).

П.Мор и В.Филиппс (2015) считают, что радиус кривизны *R* из уравнения (3) нельзя сравнивать с радиусом окружности *R* из уравнения (1), поскольку у них разные единицы. Поэтому в их статье приведены только бесконечно малые длина дуги d*s* и угол d*φ*. Дело, однако, в другом, уравнение (1) принято в математике и к физической реальности (к перемещению тела по орбите) не имеет отношения. А потому различия в единицах бесконечно малых и конечных значений угла поворота и длины пути быть не должно.

В статье П.Мора и В.Филиппса (2015) также говорится об аргументах экспоненциальных и тригонометрических функций, в которых присутствует плоский угол. В статье В.Эдера (1982) детально и математически строго рассмотрен этот вопрос. Мы полагаем, что применение плоского угла в указанных двух функциях в качестве аргумента не идентично. В тригонометрических функциях речь идет только об отношениях двух длин с размерностью 1. Численное значение этого отношения переводится в значение плоского угла при помощи математических справочников, причем в этих справочниках оно приводится в градусной, а не в радианной мере. Использование единиц угла в аргументах тригонометрических функций полезно лишь в том случае, когда такой аргумент представляет собой сумму разных величин. В этом случае можно использовать правило размерностей, чтобы убедиться в правильности записи слагаемых этой суммы.

5. Какая единица больше подходит для угла поворота: оборот или радиан?

Почему в СИ угол поворота измеряют в радианах, а единицу оборот рекомендуется не применять? Более того, П.Мор и В.Филлпс (2015) говорят о единице градус, хотя угловой градус - это дольная единица от оборота. Да и сам радиан - тоже доля оборота. Эти авторы считают радиан когерентной единицей, потому что это позволяет использовать плоский угол в математической физике (в теории функции комплексного переменного, при разложении в ряд).

Интернет-энциклопедия Кругосвет честно отвечает: “***никакой принципиальной разницы между градусной и радианной мерой угла нет, однако введение радианной меры позволяет придать многим формулам более простой вид***“. То есть слегка отойти от физики ради математики. В статье М.Фостера (2010) также указывается на то, что оборот можно было бы принять в качестве основной единицы, но это потребовало бы пересмотра определяющих уравнений когерентных производных единиц других угловых величин. Надо заметить, что утверждение о более простом виде формул не бесспорно. Введение единицы радиан упрощает одно, усложнив другое.

Чтобы найти удобный выход, А.Торренс (1986) и К.Броунштейн (1997) предложили ввести в уравнение (3) размерный коэффициент k с единицей угла в минус первой степени в качестве универасальной константы для вращательной формы движения, с чем согласен и

М.Фостер (2010). Но этот приём будет снова означать нарушение условия показателей размерности. Проще перейти на единицу оборот и пересмотреть определяющие уравнения других величин вращательной формы движения.

К сожалению, резко изменить стандарты трудно. Целесообразно, видимо, временно смириться с тем, что единицей измерений угла поворота в СИ останется радиан. **Но при очень важном условии, что радиан будет определяться не как отношение дуги к радиусу, а как доля полного плоского угла, то есть так: 1 рад = 1/6,283... об. И вторым условием должно быть отсутствие в определении плоского угла упоминания о дуге окружности.**

Что же касается системы величин ЭСВП, то, поскольку метрологические стандарты, касающиеся систем единиц, на системы величин не распространяются, то в **таблице вращательной формы движения мы будем пользоваться естественной единицей угла поворота об (оборот).**

6. Подмена в физике угла поворота путем, пройденным по орбите.

При применении математических условностей при оценке угла поворота в физике делается на первый взгляд мало заметная, но чреватая последствиями замена: желая оценить угол поворота собственного вращения тела, мы на деле оцениваем путь, пройденный какой-нибудь точкой этого тела по дуге окружности. А это уже подмена одной физической величины другой величиной, подмена вращательной формы движения, при которой тело вращается, не перемещаясь, **другой формой движения – орбитальной**, при которой точка вращающегося тела перемещается по круговой орбите.

В статье И.Когана (1998b) были высказаны сомнения относительно обоснованности сочетания определения плоского угла с методикой его оценки. В ответной статье Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин (1999) указали на то, что определение плоского угла “*относится к углу, только как геометрической фигуре*” и “*попытка интерпретировать это определение как относящееся к измеряемой величине просто неуместна. Противопоставить это определение известному определению угла, как величины (отношения длины окружности к радиусу) тоже неправомочно*”.

Слова ”неуместна” и ”неправомочно” вряд ли можно считать научными аргументами без дополнительных доказательств. Тем более, что эти слова неверны: **угол не является отношением длины окружности к радиусу, он только оценивается этим отношением, да и то это математическая условность.** Возможно, полезнее было бы продумывать такие формулировки для метрологических стандартов, чтобы поводов для разночтений не было.

Литература

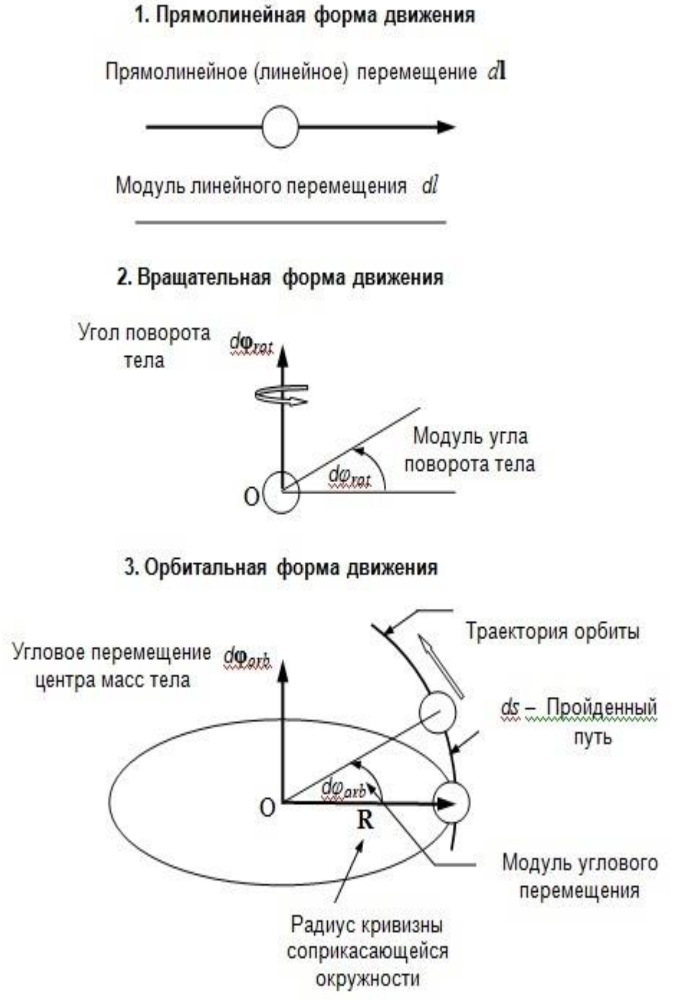
1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. – М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 48-50.
3. Коган И.Ш., 1998a, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, **3**, с.с.62-64.
4. Коган И.Ш., 1998b, К вопросу о размерности и единицах измерений безразмерных физических величин. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 55-57.
5. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html
6. Коган И.Ш., 2011, Угол поворота – основная физическая величина. – “ Законодательная и прикладная метрология, **6**, с.с. 55-66.
7. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
8. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.,
9. Etkin V.A., 2011, Energodynamics (Thermodynamic Fundamentals of Synergetics). – N.Y., 479 p.
10. Barbrow L.E., 1978, Dimensionally correct units for rotation. Mech. Eng., **100**, 129
11. Brownstein K.R., 1997, Angles—let’s treat them squarely. Am. J. Phys., **65**, 605–614
12. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, **18**, 1–12
13. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, **47**, R41–R51
14. Kortum H., 1972, Bemerkungen zu den Masseinheiten in Rotationssystemen. Feingeratetechnik, **21**, 518-519

15. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.
16. Murdoch P., 1978, Taking another look at the angle. Eng. Educ. News, **5**, No. 6, 2
17. Oberhofer E.S., 1992, What happens to the “radians“? Phys. Teach., **30**, 170–171.
18. Stiehler R.D., 1978, Getting the right angle. Eng. Educ. News, **5**, No. 2, 2
19. Torrens A.B., 1986, On angles and angular quantities. Metrologia, **22**, 1–7
20. Winans J.G., 1976, Definitions and units in mechanics. Found. Phys., **6**, 209-219
21. Yudin M.F., 1998, The problem of the choice of the basic SI units. Meas. Tech., **4**, p.p.873–875

2.4. Угловое перемещение и орбитальное перемещение – разные физические величины

1. В чем различие между угловым перемещением и орбитальным перемещением.

На приведенном ниже рисунке схематично показаны три формы механического движения (прямолинейная, вращательная и орбитальная), их векторные координаты состояния и модули этих координат.



В разделе о <u>формах механического движен</u>

ия было установлено, что термин **угловое перемещение** не применим к вращательной форме движения. Вращающееся тело с неподвижной относительно системы

координат осью вращения не перемещается в этой системе координат. Угловое перемещение относится лишь к центру масс тела, движущегося по криволинейной орбите. Его надо понимать, как приращение угла поворота $d\boldsymbol{\varphi}_{orb}$ радиуса кривизны траектории **R**.

Само же **орбитальное перемещение** − это элементарный путь d*s*, пройденный телом по криволинейной траектории, и он равен

$ds = \mathbf{R}\, d\boldsymbol{\varphi}_{orb}$. (1)

Обратим еще раз внимание на то, что угол поворота тела $d\boldsymbol{\varphi}_{rot}$ и угловое перемещение тела $d\boldsymbol{\varphi}_{orb}$ являются разными величинами, хоть и имеют одну природу. При этом они обе являются псевдовекторными величинами. **Угол поворота относится только к собственному вращению тела, а угловое перемещение относится к движению тела по криволинейной траектории.** При этом тело может вращаться вокруг собственной оси или не вращаться. И поэтому $d\boldsymbol{\varphi}_{orb} \neq d\boldsymbol{\varphi}_{rot}$.

2. Единицы углового перемещения и других величин при движении по орбите.

Если применять единицы СИ, то анализ размерностей уравнения (1) показывает, что единица левой части (метр) не соответствует единице произведения в правой части (м рад). На такое несоответствие в СИ уже обращалось внимание ранее в работах И.Когана (1998a, 1998b, 2004). В работе (1998a) было предложено считать размерность радиуса кривизны траектории **R** равной LA^{-1}, где A в системе величин ЭСВП − размерность угла поворота. Это соответствовует единице радиуса кривизны **R** равной м об$^{-1}$, а в СИ единице м рад$^{-1}$. Такая точка зрения уже была опубликована ранее в статьях В.Эдера (1982) и Е.Оберхофера (1992).

Единица радиуса кривизны **R**, равная м об$^{-1}$ (в СИ соответствует м$^{-1}$ рад), – непривычный вывод, но к нарушению правила размерностей он не приводит. Более того, он приводит к размерности кривизны траектории, равной $L^{-1}A$, и единице об м$^{-1}$ (в СИ – рад м$^{-1}$) вместо принятой в СИ единицы кривизны м$^{-1}$, которая не соответствует условию показателей размерности. Не может этот вывод помешать и самой СИ. Ведь в СИ угол поворота не имеет размерности, следовательно, в СИ размерность радиуса остается равной L.

Непонятно, почему метрологи не обращают внимание на то, что при анализе единиц левой и правой частей в уравнении (1) теряется единица радиан. Придраться вроде бы не к чему, ведь формально радиан является в СИ единицей безразмерной величины. Только **Природу не заставишь признавать условности, принятые людьми.**

Повторим еще раз, что все приведенные в данном разделе рассуждения не касаются геометрических величин. В геометрии речь идет лишь о такой геометрической величине, как плоский угол, а не об угле поворота тела, как о физической величине. В математике имеется понятие "размерность пространства", и оно имеет совершенно иное содержание, чем "размерность величины".

3. Таблица сравнения единиц физических величин в разных формах движения.

В заключение приводим таблицу сравнения единиц физических величин разных форм механического движения в СИ и в системе величин ЭСВП.

Название величины	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
	Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
Линейное перемещение	$\mathbf{l}$	метр	$\mathbf{l}$	метр
Угол поворота тела	φ	радиан	$\boldsymbol{\varphi}_{rot}$	оборот
Радиус вращения точки тела	R	метр	R	метр
Угловое перемещение тела по орбите	$\boldsymbol{\varphi}$	радиан	$\boldsymbol{\varphi}_{orb}$	оборот
Радиус орбиты (Радиус кривизны)	R	метр	$\mathbf{R}$	м об$^{-1}$
Кривизна орбиты	k	м$^{-1}$	k	м$^{-1}$ об

Литература

1. Коган И.Ш., 1998а, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, **3**, с.62-64.
2. Коган И.Ш., 1998b, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., 2004, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html
4. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, 18, p.p. 1–12
5. Oberhofer E.S., 1992, What happens to the “radians“? Phys. Teach., 30, p.p. 170–171

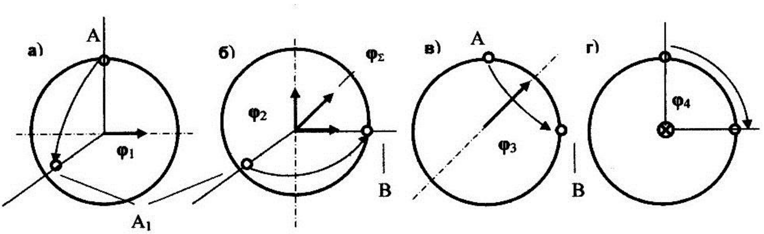
2.5. Угол поворота и угловое перемещение - псевдовекторы

1. Современные представления о векторности угла поворота и углового перемещения.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) приведено такое определение: ”*конечный угол поворота тела является величиной скалярной, а не векторной*”, причем векторной величиной считается лишь бесконечно малое угловое перемещение. В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1) приведен мысленный эксперимент, доказывающий, почему вектором можно считать бесконечно малое угловое перемещение $d\boldsymbol{\varphi}$. Этот мысленный эксперимент предназначен для доказательства того, что конечное угловое перемещение тела не отвечает требованию, предъявляемому к истинным векторам, а именно: к требованию возможности сложения векторов по правилу параллелограмма. Доказательство приводится И.Савельевым по методу от обратного.

2. Мысленный эксперимент по поводу векторности углового перемещения.

Познакомимся со схемой, составленной для мысленного эксперимента. В качестве исходного положения предполагается, что конечное угловое перемещение **φ** точки А вращающегося тела является векторной величиной. Естественно, что угловое перемещение **φ** точки А равно углу поворота вращающегося тела.



Пусть тело (рисунок **а**) повернется вокруг горизонтальной оси на угол $\boldsymbol{\varphi}_1$, модуль которого равен $\pi/2$. При этом точка тела А переместится по дуге в точку A_1 . Пусть после этого (рисунок **б**) тело повернется вокруг вертикальной оси на угол $\boldsymbol{\varphi}_2$, тоже равный $\pi/2$, а точка A_1 переместится по дуге в точку В. По правилу суммирования векторов угловое перемещение тела $\boldsymbol{\varphi}_\Sigma = \boldsymbol{\varphi}_1 + \boldsymbol{\varphi}_2$, а модуль $\boldsymbol{\varphi}_\Sigma$ будет равен $\pi/\sqrt{2}$.

Перемещение точки А в ту же самую точку В может быть осуществлено и другим путем (см. рисунок **в**): поворотом тела вокруг наклонной оси, повернутой относительно горизонтальной оси на угол 45°. Обозначим этот угол поворота оси тела символом $\boldsymbol{\varphi}_3$, модуль угла $\boldsymbol{\varphi}_3$ равен π. Угловое перемещение точки А в точку В относительно наклонной оси вращения, следовательно, равно π.

Выше установлено, что последовательное угловое перемещение точки А в точку В через точку A_1 равно углу $\boldsymbol{\varphi}_\Sigma$, модуль которого равен $\pi/\sqrt{2}$. Получается, что модули углов $\boldsymbol{\varphi}_3$ и $\boldsymbol{\varphi}_\Sigma$ не равны друг другу. На основании этого сделан вывод, что исходное предположение о том, что конечное угловое перемещение **φ** точки А обладает свойствами истинной векторной величины, неверно.

Действительно, конечное угловое перемещение **φ** точки А не обладает всеми свойствами истинной векторной величины, в частности, свойством коммутативности. Поэтому оно не является **истинным вектором**.

3. Мысленный эксперимент по поводу векторности угла поворота.

Рассмотрим мысленный эксперимент по-другому. Предположим, что конечный угол поворота тела φ является скалярной величиной.

Уравнение для длины пути, пройденного точкой А по окружности, упрощается до вида $s = R\varphi$. Тогда путь точки А согласно рисунку **а** $s_1 = R\varphi_1 = \pi R/2$, а путь точки A_1 на рисунке **б** равен $s_2 = \varphi_2 R = R\pi/2$. Значит, значение суммарного пути точки А равно
$s_\Sigma = s_1 + s_2 = R(\varphi_1 + \varphi_2) = \pi R$.

Согласно рисунку **в** путь точки А в точку В по полуокружности радиуса $R/\surd 2$ должен быть равен $s_3 = \pi(R/\surd 2)$. И мы приходим к выводу о том, что $s_3 \neq s_\Sigma$.
В варианте перемещения точки А в точку В, показанном на рисунке **г**, путь точки А равен $s_4 = \varphi_4 R = \pi R/2$. В этом варианте значение пройденного пути больше, чем в варианте на рисунке **в**, но меньше, чем на рисунках **а** и **б**.
В итоге, принятое нами и совпадающее с метрологическим стандартом предположение о том, что конечный угол поворота φ тела является скалярной величиной, оказалось неверным. Так что конечный угол поворота тела φ не является скалярной величиной.

4. Угол поворота и угловое перемещение - псевдовекторы.

Для величин, подобных угловому перемещению и углу поворота, имеется своё понятие: **аксиальный вектор** или **псевдовектор**. Согласно определению из Википедии — это ”*величина, преобразующаяся как вектор при операциях поворота, но, в отличие от вектора, не меняющая свой знак при инверсии (обращении знака) координат*”. В это определение можно внести только маленькое дополнение: ”*в отличие от истинного вектора*”.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

2.6. Телесный угол, его размерность и единица

1. Имеющееся определение телесного угла и его недостаток.

Определение, взятое из БСЭ, гласит: “***Телесный угол** – часть пространства, ограниченная некоторой конической поверхностью. Телесный угол измеряется отношением площади S той части сферы с центром в вершине конической поверхности, которая вырезается этим телесным углом, к квадрату радиуса R сферы*“. Соответственно, приведено уравнение, определяющее телесный угол Ω:

$\Omega = S / R^2$. (1)

Определение телесного угла из метрологического справочника А.Чертова (1990) отличается от вышеприведенного лишь тем, что слово “часть“ заменено словом “участок“. В соответствии с уравнением (1) телесный считается в современной физике безразмерной величиной.

Возникает тот же вопрос, который относился и к плоскому углу. Что оценивается уравнением (1): телесный угол, как часть пространства, ограниченная согласно определению некоторой конической поверхностью, или отношение площади части сферической поверхности радиусом R к квадрату этого радиуса? Согласно первому предложению из определения телесный угол – это объем части пространства, ограниченной конической поверхностью, и, следовательно, он бесконечен. А согласно второму предложению определения телесный угол – это конечное отношение площадей.

2. Математическое содержание телесного угла.

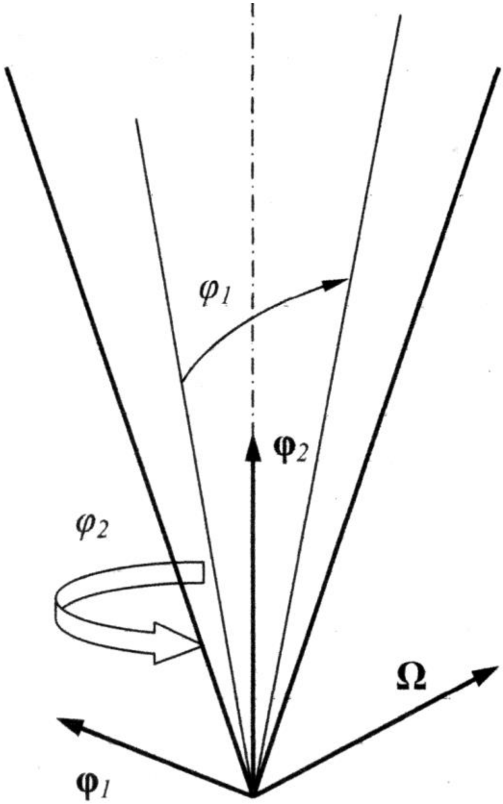
Конкретизируем коническую поверхность. Пусть это будет коническая поверхность с кругом в поперечном сечении. Для определения значения телесного угла при вершине конической поверхности БСЭ предлагает такое выражение:

$2\pi[1 - \cos(\alpha/2)]$, (2)

где α − угол раствора конуса при вершине. Из выражения (2) следует, что телесный угол является функцией только угла раствора конуса, и никакие пространственные линейные величины его не определяют.

Согласно выражению (2) телесный угол также должен быть безразмерным, так как число π в математике безразмерно.

3. Определяющее уравнение для телесного угла в физике.



Рассмотрим телесный угол с точки зрения физики. Это означает, что телесный угол будет определять углы поворота реального тела, являющиеся псевдовекторными величинами.

Пусть на рисунке один из лучей боковой поверхности конуса, вырезанного из поворачивающегося тела, поворачивается в продольном сечении конуса на угол поворота $\boldsymbol{\varphi}_1$ до противоположной стороны конической поверхности, образуя при этом плоский угол φ_1 . Псевдовектор угла поворота $\boldsymbol{\varphi}_1$ перпендикулярен оси симметрии конуса.

Пусть после этого рассматриваемый плоский угол φ_1 поворачивается вокруг своей оси на угол поворота $\boldsymbol{\varphi}_2$, равный одному полному обороту. Псевдовектор угла поворота $\boldsymbol{\varphi}_2$ коллинеарен оси конуса. В результате этих двух поворотов получается круговая коническая поверхность, телесный угол при вершине которой и требуется определить.

Псевдовектор телесного угла $\boldsymbol{\Omega}$ пропорционален псевдовекторам обоих углов поворота: $\boldsymbol{\varphi}_1$ и $\boldsymbol{\varphi}_2$. Однако телесный угол не может быть скалярным произведением, так как угол между векторами $\boldsymbol{\varphi}_1$ и $\boldsymbol{\varphi}_2$ равен 90^o, а $\cos 90^o = 0$. Остается допустить, что телесный угол $\boldsymbol{\Omega}$ является векторным произведением. При перемножении двух псевдовекторов получается псевдовектор

$$\mathbf{\Omega} = [\boldsymbol{\varphi}_1\ \boldsymbol{\varphi}_2\ ]\ ,\ (\ 3\ )$$

изображенный на рисунке. Уравнение (3) является определяющим уравнением для телесного угла как физической величины. Поскольку модуль угла поворота $\varphi_2 = 2\pi$, то, согласно уравнению (3), модуль телесного угла

$$\Omega = \varphi_1\ \varphi_2\ \sin 90^o = 2\pi\varphi_1\ .\ (\ 4\ )$$

4. Размерность и единица телесного угла.

Размерность угла поворота, как описано в разделе, посвященном углу поворота, имеет символ A. Значит, размерность телесного угла, согласно уравнению (4), равна A^2. Отсюда единица телесного угла − $об^2$. В СИ это соответствовало бы единице $рад^2$.

Замена круговой конической поверхности любой другой конической поверхностью лишь усложнит математическую запись уравнения (3) за счет введения безразмерных коэффициентов, но не поменяет размерность телесного угла.

В СИ единицей телесного угла сейчас является стерадиан (ср). То есть вместо того, чтобы говорить о том, что полный телесный угол равен 4π ср, можно говорить о том, что он равен 4π $рад^2$. И это соответствует практике измерений, поскольку во всех справочниках значения телесного угла приводятся в квадратных угловых градусах, квадратных угловых минутах и квадратных угловых секундах. Так что от применения единицы измерений стерадиан (ср) вообще можно отказаться.

К аналогичному выводу приходит и М.Фостер (2010), полагая, что единица ср для телесного угла может определяться как специальное название для единицы $рад^2$.

5. Теория шкал не обязывает использовать единицу стерадиан.

Рассмотрим утверждение из работы Л.Брянского, А.Дойникова и Б.Крупина (1999): “*Радиан и стерадиан – единицы измерений величин,* *описываемых абсолютными шкалами, и поэтому принципиально безразмерны*“.

Согласно теории шкал тех же авторов (Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин, 1993), абсолютные шкалы применяются для отношений одноименных величин, то есть, величин, имеющих одну и ту же размерность. Однако в разделе, посвященной орбитальному перемещению, показано, что путь, пройденный по криволинейной траектории, и радиус кривизны траектории имеют различные размерности. По этой причине, согласно той же теории шкал, к ним нельзя применять абсолютные шкалы.

Измерение таких физических величин, как угол поворота и телесный угол, осуществляется, выражаясь в терминах теории шкал измерений, на базе шкал разностей (интервалов), для которых нуль шкалы устанавливается по соглашению, а диапазон шкалы определяется реальными потребностями (Л.Брянский, 2002). Из этого следует, что вопрос о том, какими единицами следует пользоваться для измерения угла поворота и телесного угла, – тоже дело соглашения. Принятое в СИ соглашение о том, чтобы принять в качестве единицы угла поворота единицу радиан, а в качестве единицы измерений телесного угла стерадиан, является именно соглашением, и не более того. И поэтому с ним вполне можно и не соглашаться.

Литература

1. Брянский Л.Н., 1993, Кое-что о размерностях единиц измерений. – Законодательная и прикладная метрология, **3**.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 48-50.
3. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51

2.7. Размерности и единицы физических величин, характеризующих вращение тела

В настоящее время, несмотря на многочисленные статьи, посвященные необходимости признания угла поворота основной величиной со своей размерностью A, рассмотрение этой проблемы не предусматривается ближайшей повесткой дня международного метрологического сообщества. В данной статье будет показано, как введение этой величины в состав основных физических величин может коренным образом повлиять на образование размерностей и единиц производных величин, характеризующих вращение тела. Об этом уже говорилось ранее в работах И.Когана (2004, 2006, 2011), это уже сделано в системе величин ЭСВП.

1. Размерности и единицы угловой скорости и углового ускорения.

Размерность угловой скорости тела **ω** становится в системе ЭСВП равной AT^{-1}, а размерность углового ускорения **ε** – равной AT^{-2}, единица угловой скорости – равной об $с^{-1}$, а единица углового ускорения – об $с^{-2}$. Таким образом, в ЭСВП наблюдается соответствие между размерностями и единицами во вращательной форме движения, которого в СИ нет. Угловая скорость в СИ имеет размерность T^{-1}, а угловое ускорение – размерность T^{-2}, но при этом единица угловой скорости в СИ равна рад $с^{-1}$, а единица углового ускорения – рад $с^{-2}$. То есть, единицы этих величин в СИ не соответствуют их размерностям или, точнее, соответствуют, но при условии, что угол поворота является безразмерной величиной с размерностью 1.

2. Термин “частота вращения“ не имеет отношения к вращению тела.

В СИ имеется величина под названием **частота вращения**. Эта величина отличается от угловой скорости тем, что она, согласно ее определению, обозначается символом n и равна “*отношению числа ΔN полных оборотов равномерно вращающегося тела за интервал времени Δt к этому интервалу*“ (А.Чертов, 1990, с.58). Из определения следует, что различие между угловой скоростью и частотой вращения состоит в том, что частота вращения определяется лишь при равномерном вращении тела и что доли оборота при ее измерении не учитываются. Хотя это нелогично, ибо доли оборота существуют и при равномерном вращении.

Имеются еще два существенных различия между угловой скоростью и частотой вращения. Во-первых, угловая скорость является псевдовекторной величиной, а вновь введенная частота вращения – величиной скалярной. Во-вторых, несмотря на то, что размерности угловой скорости и частоты вращения в СИ совпадают, то есть равны T^{-}

^{1}, единицы у этих величин в СИ разные. У угловой скорости единицей является рад с$^{-1}$, а у частоты вращения единицей является с$^{-1}$. Внешне это как бы объясняет различие между угловой скоростью и частотой вращения.

Истинное отличие угловой скорости от частоты вращения выясняется лишь после введения основной величины – количества считаемых величин, для которой в системе величин ЭСВП предлагается размерность C. До 1960 г. в качестве единицы для подобных величин использовался 1 **цикл**. А в статье П.Мора и В.Филлипса (2015) для считаемых величин подобного рода предложена единица **evt** (от английского слова event - событие). Событием при рассмотрении вращательного движения является 1 цикл вращения. При рассмотрении однонаправленного вращательного движения единица evt совпадает с единицей оборот. Эта единица является одним из вариантов единицы cnt, как единицы количества считаемых величин.

При таком рассмотрении становится ясным, что угловая скорость в об с$^{-1}$ характеризует процесс только **однонаправленного вращения**, а частота, например, колебаний относится к периодическому процессу с разнонаправленным движением, включая и крутильные колебания. В этом состоит принципиальное отличие вращения тела, как периодического процесса, от колебаний, которые тоже являются периодическим процессом.

Сам же термин “частота вращения“ – это лексическая бессмыслица, один из примеров понятийной бессистемности. Если тело вращается, то оно не обязано колебаться, а если оно не колеблется, то нет смысла говорить о частоте. Если даже на процесс вращения накладываются крутильные колебания, то эти две формы движения (вращение и колебания) надо рассматривать раздельно, характеризуя их разными физическими величинами.

Истинной причиной появления в физике такой величины, как частота вращения, является применение математического метода векторных диаграмм при анализе периодических процессов. В этом методе под частотой вращения понимается угловая скорость радиус-вектора на координатной плоскости. Но последняя есть чисто математическая условность, которой приписывается физическое содержание. Угловая скорость радиус-вектора не имеет никакого отношения к угловой скорости равномерно вращающегося тела.

3. Размерности и единицы вращающего момента и момента силы.

В статье, где рассматривались разные варианты записи закона сохранения энергии в виде уравнения состояния, мы привели это уравнение в виде суммы векторных произведений:

$\mathrm{d}W = \Sigma_i\ \Delta\mathbf{U}_i\ \mathrm{d}\mathbf{q}_i$, (1)

где $\mathrm{d}W$ − изменение энергообмена системы с окружающей средой; $\Delta\mathbf{U}$ − обобщенная разность потенциалов; $\mathrm{d}\mathbf{q}$ − элементарное количество движущихся энергоносителей. Если рассматривать конкретно вращательную форму движения системы, то уравнение (1) можно записать в виде:

$\mathrm{d}W = \mathbf{M}\ \mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}_{rot}$, (2)

где $\mathbf{M}$ − воздействующий на систему **вращающий момент**; $\mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}_{rot}$ − **угол поворота** вращающейся системы. Из уравнения (2) следует, что вращающий момент

$\mathbf{M} = (\mathrm{d}W/\mathrm{d}\varphi_{rot})\ \mathbf{e}_{\mathrm{M}}$, (3)

где орт $\mathbf{e}_{\mathrm{M}}$ указывает направление вращения. БСЭ определяет вращающий момент примерно так же: “*мера внешнего воздействия, изменяющего угловую скорость вращающегося тела*“. Продифференцированное по времени уравнение (2) приводит к уравнению для определения **мгновенной мощности** P собственного вращения тела:

$P = \mathbf{M}\ \boldsymbol{\omega}_{rot}$. (4)

Вместо вращающего момента, как динамической величины, определяемой уравнением (3), в справочнике А.Чертова (1990) говорится о **моменте силы** $\mathbf{M}_0$, который является условной статической величиной, применяемой в технических расчетах, и определяется уравнением

$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\ \mathbf{F}]$, (5)

где $\mathbf{r}$ − радиус-вектор, хотя до этого в справочнике А.Чертова приводится пояснение не относительно радиус-вектора, а относительно

плеча силы, обозначаемого символом **h**. Момент силы имеет в СИ размерность, равную L^2MT^{-1}, и единицу Н м, вместо единицы кг м^2 с$^{-1}$, вытекающей из указанной размерности. В системе величин ЭСВП единица момента силы равна единице энергии Дж, но, повторяем, момент силы - это величина условная.

Согласно уравнению (3) размерность вращающего момента в системе величин ЭСВП должна быть EA^{-1} с единицей Дж об$^{-1}$. Эта единица может быть преобразована в единицу кг м^2 об$^{-1}$ с$^{-2}$, что не соответствует единице момента силы кг м^2 с$^{-1}$. Это лишний раз свидетельствует о том, что вращающий момент и момент силы – величины разные.

4. Размерность и единица момента импульса.

Размерность момента импульса (или момента количества движения), обозначаемого в справочнике А.Чертова, как и для момента силы, символом $\mathbf{M}_0$, определяется из уравнения

$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\ m\mathbf{v}_\tau]$, (6)

где **r** – радиус-вектор центра масс движущегося по круговой орбите частицы вращающегося тела (радиус кривизны траектории орбиты **R**); *m* – масса этой частицы; $\mathbf{v}_\tau$ – тангенциальная скорость частицы. Это же уравнение относится и к любому телу, движущемуся по криволинейной орбите. Согласно уравнению (6) размерность момента импульса в СИ такая же, как у момента силы, то есть L^2MT^{-1}, но в данном случае с единицей кг м^2 с$^{-1}$, а не с единицей Н м.

В системе величин ЭСВП момент импульса $\mathbf{M}_0$ определяется по уравнению

$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{R}\ (m\mathbf{v}_\tau)]$, (7)

где **R** – радиус кривизны криволинейной траектории движения тела. Уравнение (7) приводит в системе величин ЭСВП к размерности момента импульса, равной $EA^{-1}T$ с единицей Дж об$^{-1}$ с = кг м^2 об$^{-1}$ с$^{-1}$. Отсюда ясно видно, чем отличаются друг от друга размерности и единицы момента импульса в СИ и в системе величин ЭСВП.

5. Размерности вращающего момента и энергии различны.

Во многих первоисточниках, в частности, в обзорной статье М.Фостера (2010), указывается на серьезный недостаток СИ, заключающийся в том, что у вращающего момента и у энергии одинаковые размерности и единицы. Это явно противоречит тому естественному положению, согласно которому физические величины разной природы не должны иметь одинаковые размерности и единицы. То, что в метрологических справочниках единицей энергии считается Дж (Джоуль), а единицей вращающего момента считается Н м, ситуации не меняет, так как 1 Н м = 1 Дж, то есть размерности и единицы всё равно одинаковы.

Кроме того, поскольку единица углового перемещения **φ** в СИ равна радиану, то остается неясным, куда девалась единица радиан в СИ при образовании единицы вращающего момента **М** в соответствии с уравнением (3). Почему для образования единицы угловой скорости в СИ можно применять единицу радиан, а для образования единицы вращающего момента – нельзя? СИ на эти вопросы ответа не дает. Да и не сможет дать, пока радиан в этой системе является безразмерной единицей.

На подобные вопросы находятся ответы только в системе величин ЭСВП, в которой энергия и угол поворота являются основными физическими величинами и имеют размерности, обозначенные символами Е и А. Из анализа размерностей уравнения (3) следует, что в ЭСВП размерность вращающего момента **М** равна EA^{-1}, а единица вращающего момента равна Дж $об^{-1}$, а не Джоуль. (В СИ это соответствукт единице Н м $рад^{-1}$.) Единица единица вращающего момента Дж $об^{-1}$ сразу устраняет ложное равенство размерностей единиц энергии и вращающего момента.

6. Размерность и единица момента инерции вращающейся системы.

Момент инерции вращающегося тела J играет при вращении ту же роль, что и линейная инертность (неверно называемая инертной массой тела) при прямолинейном движении. Коэффициент пропорциональности m_{in} во втором законе Ньютона − это **линейная инертность** тела при его прямолинейном движении, а момент инерции − это **вращательная инертность** тела при его вращении. С учетом размерности угла поворота А размерность момента инерции J_z в системе величин ЭСВП равна EA^{-}

^{2}T^2 с единицей Дж об$^{-2}$ с^2. В СИ это соответствовало бы единице, равной Дж с^2 рад$^{-2}$.

Но в справочнике А.Чертова момент инерции в СИ, определяемый уравнением

$J = mr^2$, (8)

имеет единицу кг м^2. Если единицу массы m расшифровать с помощью второго закона Ньютона ($m\mathbf{a} = \mathbf{F}$) в виде Дж м$^{-2}$ с^2, то легко придти к выводу, что в СИ единица момента инерции кг м^2 равна Дж с^2, а вовсе не Дж с^2 рад$^{-2}$. Вот такая единица соответствовала бы единице Дж с^2 об$^{-2}$ в системе величин ЭСВП. Сравнивая после этого единицу Дж с^2 с единицей Дж с^2 рад$^{-2}$, которая должна была бы быть, если бы у единицы момента инерции J не потерялась единица рад^2, снова приходишь к вопросу: почему для единицы углового ускорения в СИ можно применить единицу радиан, а для момента инерции тела ее применить нельзя.

Ответ не лежит на поверхности. Но чтобы разобраться в этом, следует проанализировать определение и физическое содержание некоторых других физических величин при вращательном движении, что и сделано в статье, посвященной подробному разъяснению различия между вращающим моментом и моментом силы.

7. Бессмысленность названия термина “момент инерции площади“.

В механике (в статике) существуют геометрические характеристики тела под названиями **момент инерции объема** относительно оси и **момент инерции площади** относительно оси, применяемые для расчета конструкций. Момент инерции площади может быть центробежным, осевым, полярным. Но суть не в этом, а в том, что словосочетание “момент инерции площади” является бессмыслицей с точки зрения физики. Ведь площадь плоской фигуры не имеет массы, и, следовательно, не может обладать какой-либо инерцией. Что и подтверждается размерностью момента инерции объема, равной L^5 с единицей м^5, и размерностью момента инерции площади, равной L^4 с единицей м^4. В размерности и единице обеих величин нет размерности и единицы времени, чьё присутствие характерно для любых инерционных процессов.

Мы полагаем, что термины “момент инерции объема” и “момент инерции площади” следует заменить хотя бы, например, терминами “**характеристика объема тела**” и “**характеристика сечения тела**”.

8. Объединенная таблица единиц величин вращательного движения.

Название величины	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
	Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
Угол поворота тела	φ	радиан	$\boldsymbol{\varphi}_{rot}$	оборот
Угловая скорость тела	$\boldsymbol{\omega} = \mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}/\mathrm{d}t$	рад с$^{-1}$	$\boldsymbol{\omega}_{rot} = \mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}_{rot}/\mathrm{d}t$	об с$^{-1}$
Частота вращения (Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме)	n	с$^{-1}$	$\boldsymbol{\omega}_0$	об с$^{-1}$
Угловое ускорение	$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathrm{d}\boldsymbol{\omega}/\mathrm{d}t^2$	рад с$^{-2}$	$\boldsymbol{\varepsilon}_{rot} = \mathrm{d}\boldsymbol{\omega}_{rot}/\mathrm{d}t^2$	об с$^{-2}$
Момент инерции	$J = mr^2$	кг м^2	$J = mr^2$	кг м^2 = Дж с^2 об$^{-2}$
Момент импульса	$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\,(m\mathbf{v})]$	кг м^2 с$^{-1}$	$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{R}\,(m\mathbf{v}_\tau)]$	Дж с об$^{-1}$
Вращающий момент (согласно размерности)	$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\;\mathbf{F}]$	Н м кг м^2 с$^{-1}$	$\mathbf{M} = (\mathrm{d}W/\mathrm{d}\varphi_{rot})\textbf{eм}$	Дж об$^{-1}$
Момент силы (согласно размерности)	$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\;\mathbf{F}]$	Н м кг м^2 с$^{-1}$	$\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\;\mathbf{F}]$	Н м = Дж

Литература

1. Коган И.Ш., 2004, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html
2. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
3. Коган И.Ш., 2011, Угол поворота – основная физическая величина. – “ Законодательная и прикладная метрология, 6, с.с. 55-66.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51
6. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.

2.8. Вращающий момент и момент силы – разные физические величины

Вращающий момент

Вращающий момент M является частным случаем обобщенной разности потенциалов при вращательной форме движения. Поэтому, согласно обобщенному уравнению состояния, вращающий момент определяется по уравнению:

$\mathbf{M} = (\mathrm{d}W/\mathrm{d}\varphi)\mathbf{e}_\mathbf{M}$, (1)

где $\mathrm{d}W$ − изменение энергообмена системы с окружающей средой; $\mathrm{d}\varphi$ − модуль приращения угла поворота, как координаты состояния вращательной формы движения, $\mathbf{e}_\mathbf{M}$ - орт вектора вращающего момента. Поскольку угол поворота в системе величин ЭСВП является размерной величиной с размерностью A, то размерность вращающего момента в соответствии с уравнением (1) $\dim \mathbf{M} = \mathrm{EA}^{-1}$, а единица вращающего момента − Дж об^{-1}.

В СИ вращающий момент отождествляют с моментом силы. У угла поворота в СИ нет размерности, но есть единица радиан. Однако в единицу вращающего момента единица радиан в СИ не включена, по какой причине единица вращающего момента в СИ равна единице энергии 1 Н·м = 1 Дж. Это вызывает многочисленные замечания физиков и метрологов, поскольку две совершенно разные по физическому содержанию величины имеют одинаковые размерности и единицы. Рассмотрим эту проблему подробнее.

Вращающееся тело можно представить в виде суммы отдельных его частей, каждая из которых движется по круговой орбите. Следовательно, вращающий момент можно представить в виде суммы моментов всех побуждающих тело к вращению касательных сил $\mathbf{F}_{\tau i}$, перпендикулярных оси вращения и действующих на элементарные i-ые площадки сечения тела (будем называть их **вращающими силами**). Соответственно, вращающий момент может быть определен как сумма векторных произведений:

$\mathbf{M} = \Sigma_i\ [\mathbf{R}_i\ \mathbf{F}_{\tau i}\ ]$, (2)

где $\mathbf{R}_i$ – вектор **радиуса кривизны** круговой орбиты i-ой точки приложения силы $\mathbf{F}_{\tau i}$. Как показано в разделе об угловом переимещении, размерность радиуса кривизны $\mathbf{R}_i$ равна LA^{-1}. Поэтому применение правила размерностей в уравнении (2) приводит к положительному результату лишь при условии, что размерность вращающего момента равна EA^{-1}.

Вращающий момент является **псевдовекторной** величиной, направленной вдоль оси вращения. Его направление зависит от направления векторов сил $\mathbf{F}_{\tau i}$.

Момент силы

Рассмотрим применяемую в современной механике и особенно в технике величину − **момент силы**. Она иногда обозначается другим символом **N**. Момент силы определяется уравнением

$\mathbf{N} = [\mathbf{r}\ \mathbf{F}]$, (3)

где **r** – **радиус-вектор**, проведенный из начала координат к точке приложения силы **F**.

Уравнение (3) похоже на определяющее уравнение вращающего момента (2), но между ними имеется принципиальное различие. При применении момента силы речь идет о статике, о неподвижных системах, в которых нет ни вращательного, ни орбитального движения, и потому модуль радиус-вектора **r** является обычным расстоянием с размерностью L и единицей метр. Не случайно в учебнике И.Савельева (2005) имеется такая фраза: "***Момент силы* N *характеризует способность силы вращать тело***" . То есть **момент силы − это искусственно введенная величина**.

Размерность момента силы **N**, судя по уравнению (3), может совпадать с размерностью энергии E, а единица момента силы может совпадать с единицей энергии джоуль. Ведь **момент силы не является физической величиной, это математическая расчетная величина**. И поэтому правильно, что единицу момента силы принято записывать, как Н·м, а не Дж.

Причина различия размерностей вращающего момента и момента силы

Момент силы N (равно как и момент пары сил) − математическая абстракция. Эта величина широко и плодотворно применяется при расчете статических систем, когда речь не идет о повороте систем. Правда, любое приращение момента силы приводит к упругой деформации, в которой присутствует поворот системы, но тогда речь уже идет о переходном процессе, в котором момент силы становится вращающим моментом. Динамические системы подчиняются иным закономерностям, чем статические, они обязаны учитывать поворот системы при воздействии на нее вращающего момента, возникающего вследствие появления вращающей силы или пары вращающих сил.

Различие размерностей и единиц у вращающего момента **M** и момента силы **N** в уравнениях (2) и (3) в системе величин ЭСВП естественно, тогда как их соответствие в СИ неестественно. И это возникло потому, что в современной механике не принимается во внимание переход от статики к динамике, от отсутствия движения к вращательной и орбитальной формам движения, в которых угол поворота и угловое перемещение имеют размерность. К сожалению, это обстоятельство в современной метрологии пока не учитывают.

Проблема собственной размерности у угла поворота (углового перемещения) поднята в работах И.Когана (2006, 2007). Но ситуация, когда в СИ то принято, то не принято применять единицу радиан для величин вращательной формы движения, существует по причине опасений физиков и метрологов включить указанную ситуацию в повестку дня вследствие больших сложностей, которые возникнут при расширении перечня основных единиц (М.Фостер, 2010).

Проблему стараются обойти стороной. Вот пример: в таблице, сравнивающей поступательное и вращательное движения (см. табл. 5.1 у И.Савельева, 2005, кн.1), сравниваются две скорости (для прямолинейного движения в м/с, для вращательного движения в рад/с). И при этом не указывается, от каких физических величин взяты производные по времени при определении линейной и угловой скоростей. А не указывается, возможно, потому, что пришлось бы показывать, что у этих двух разных форм движения и координаты состояния должны быть разными.

О неувязках в СИ можно было бы и не упоминать, если бы повсеместно на практике не заменяли бы анализ размерностей анализом единиц. А единицы берут, разумеется, из СИ. В саму СИ пора уже вносить коррекцию, как бы не хотелось этого делать. А в системы величин вносить их в размерности надо обязательно. В работе И.Когана (2007) показано, что **системы физических величин и системы единиц физических величин – это независимые друг от друга понятия**.

Итак**, главная причина всех недоразумений с размерностями и единицами во вращательной и орбитальной формах движения одна и та же – непризнание современной физикой и метрологией наличия размерности у угла поворота**.

Литература

1. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
2. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
4. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51

2.9. Угловой момент вращающегося тела

В современной физике в отношении **трех различных физических величин (углового момента, момента импульса и момента количества движения)** имеет место понятийная и символьная бессистемность. Более того, в метрологических справочниках их считают синонимами. Это неверно. В разделе о физических величинах орбитальной формы движения разъяснена некорректность подобной синонимизации. Ниже будет показано, каким образом при вращении тела приходят к понятию “угловой момент” и при каких условиях угловой момент отличается от момента импульса.

Что такое угловой момент?

Физическую величину “**угловой момент**” следует применять только в том случае, когда радиусы, проведенные из центра вращения тела или от оси вращение тела ко всем точкам тела, вращаются с одинаковой угловой скоростью. Можно сказать и так: если рассматриваемая физическая система вращается, как **твердое тело**. В теории вихревого движения указано, что ядро жидкого вихря вращается как твердое тело, значит, и при вращении ядра вихря следует применять угловой момент.

Угловым моментом системы (угловым моментом вращающегося тела) является физическая величина

$\mathbf{L}_z = J_z\boldsymbol{\omega}$, (1)

где J_z – собственный **момент инерции** тела, вращающегося вокруг оси Oz; **ω** – угловая скорость вращения тела. Осью вращения тело может может быть любая ось, просто в физике чаще всего принято осью вращения тела считать ось Oz.

В разделе, посвященном обобщению второго закона Ньютона, собственный момент инерции J_z назван **вращательной инертностью** тела (инертностью тела при его вращении). Аналогично инертностью тела при его прямолинейном движении (линейной инертностью) считается масса тела (более детально см. раздел о понятии масса).

Если вращающееся тело закреплено в точке, то уравнение (1) справедливо, если ось Oz является **главной осью инерции** вращающегося тела. Если же центр вращения не лежит на главной оси инерции или если ось вращения тела не совпадает с главной осью инерции, то этот вариант рассматривается уже в разделе, посвященном движению тела по орбите тела, поскольку движущееся по орбите тело может и не вращаться вокруг собственной оси.

При орбитальной форме движения вращение тела вокруг собственной оси и движение тела по орбите рассматриваются раздельно. Это обстоятельство как раз и подчеркивает то, что угловой момент вращающегося тела и момент импульса этого тела, движущегося по орбите, синонимами не являются и имеют различные значения, хотя и имеют одинаковые размерности.

Размерность и единица углового момента

В СИ размерность момента инерции J_z равна L^2M, а единица равна кг м^2. Поэтому в СИ размерность углового момента $\mathbf{L}_z$ равна L^2MT^{-1}, а единица равна кг м^2 с$^{-1}$. Включение размерности и единицы длины в размерности и единицы величин собственного вращения тела не соответствукт физическому содержанию вращательной формы движения.

Поскольку в системе величин ЭСВП размерность момента инерции тела J_z (вращательной инертности) равна $ЕА^{-2}Т^2$, и единица равна Дж $с^2$ $об^{-2}$, то размерность углового момента $\mathbf{L}_z$ равна в этой системе $ЕА^{-1}Т$, а единица равна Дж с $об^{-1}$. В СИ размерность момента инерции J_z равна L^2M, а единица равна кг $м^2$. Поэтому в СИ размерность углового момента $\mathbf{L}_z$ равна L^2MT^{-1}, а единица равна кг $м^2$ $с^{-1}$. Включение размерности и единицы длины в размерности и единицы величин собственного вращения тела не соответствукт физическому содержанию вращательной формы движения.

Как уже было показано в разделе о физических величинах вращательной формы движения, в СИ в единицу углового момента, как и в единицы других величин вращения, не включена единица радиан, хотя она и разрешена к применению в СИ. Если исправить этот недостаток, то единица углового момента в СИ должна быть равной кг $м^2$ $рад^{-1}$ $с^{-1}$. В системе величин ЭСВП это соответствовало бы единице кг $м^2$ $об^{-1}$ $с^{-1}$, равной единице Дж с $об^{-1}$, если единицу килограмм расшифровать с помощью единицы джоуль, а единицу радиан заменить единицей оборот.

Почему в ядерной физике не применяется понятие “угловой момент“

В определяющее уравнение момента инерции J_z в классической механике входит масса тела m, но в ядерной физике элементарные частицы могут и не обладать массой покоя. Поэтому в ядерной физике понятие “угловой момент” либо не применяется, либо применяется как синоним понятия “момент импульса”, но это неверно. Причины этого разъяснены в разделе, посвященном орбитальной форме движения, где показано, что угловой момент и момент импульса определяют по разным уравнениям, поскольку это разные физические величины.

В ядерной физике считается, что элементарные частицы нельзя рассматривать как вращающиеся твердые тела. Их вращение вокруг собственной оси характеризуется собственным моментом импульса, называемым спином.

2.10. Закон сохранения углового момента

1. Уравнение состояния для вращающейся системы

В разделе, где рассматривались разные варианты записи уравнения состояния, это уравнение приведено в виде:

$\mathrm{d}W = \Sigma_i\ \Delta\mathbf{P}_i\ \mathrm{d}\mathbf{q}_i$, (1)

где $\mathrm{d}W$ – изменение энергообмена системы с окружающей средой; $\Sigma_i\ \Delta\mathbf{P}_i$ – разность потенциалов между системой и средой для i-ой формы движения; $\mathrm{d}\mathbf{q}_i$ – изменение координаты состояния i-ой формы движения. Если рассматривать в качестве i-ой формы движения вращательную форму движения, то уравнение (1) запишется в виде:

$\mathrm{d}W = \mathbf{M}\ \mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}$ (2)

где вращающий момент **M** соответствует разности потенциалов $\Delta\mathbf{P}$ для вращательной формы движения, а изменение угла поворота системы $\mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}$ соответствует изменению координаты состояния вращающейся системы.

2. Уравнение динамики для вращающейся системы

Запишем обобщенное уравнение динамики:

$a_0\ \mathbf{q} + a_1\ (\mathrm{d}\mathbf{q}/\mathrm{d}t) + a_2\ (\mathrm{d}^2\mathbf{q}/\mathrm{d}t^2) = -\ \Delta\mathbf{P}$. (3)

где a_0 , a_1 и a_2 – коэффициенты пропорциональности при производных по времени от изменения координаты состояния. Для вращательной формы движения это уравнение примет вид:

$k_\varphi\ \Delta\boldsymbol{\varphi} + \rho\boldsymbol{\omega} + J_z\ \boldsymbol{\varepsilon} = -\ \mathbf{M}$, (4)

где k_φ , ρ и J_z – параметры вращательной формы движения (k_φ – жесткость вращающейся системы, ρ – вязкое сопротивление окружающей среды, J_z – **вращательная инертность** системы, не совсем точно называемая **моментом инерции**). Таким образом, уравнение (4) учитывает все виды противодействий во вращательной форме движения системы.

Обозначение момента инерции символом J является стандартным. Нижний индекс при символе обычно указывает на обозначение оси вращения системы, в данном случае вращение происходит вокруг оси

Oz. Момент инерции определяют по уравнению:

$J_z = \Sigma_i\, m_i\, r_i^2 = m\, R^2$, (5)

где m_i – масса i-ой части вращающейся системы; r_i – радиус центра масс i-ой части вращающейся системы; m – общая масса вращающейся системы; $R = \sqrt{}(J_z / m)$ – радиус инерции вращающейся системы.

Третье слагаемое в уравнении (4), то есть $J_z\, \boldsymbol{\varepsilon}$, является противодействием вращательной инертности тела. Его можно записать как $J_z\, (\mathrm{d}\boldsymbol{\omega}/\mathrm{d}t)$. Физическая величина, равная

$\mathbf{L}_z = J_z\, \boldsymbol{\omega}$, (6)

называется **угловым моментом** вращающегося тела. Она соотвествует импульсу тела при прямолинейном движении. Более подробно об этом рассказано в разделе об угловом моменте. Угловой момент тела при собственном вращении тела нельзя путать с моментом импульса тела, движущегося по орбите, поскольку момент импульса определяется другим уравнением. К сожалению, в физике и метрологии часто ошибочно считают угловой момент синонимом момента импульса.

Следует учесть, что в уравнении (4) имеются еще первое и второе слагаемые. Это противодействия, зависящие от жесткости вращающегося тела k_φ и сопротивления окружающей среды ρ. Следовательно, изменение вращающего момента, учитывающее все слагаемые, и изменение противодействующего углового момента системы, соответствующего только третьему слагаемому, друг другу численно не равны. Запись второго закона Ньютона применительно к вращательной форме движения в виде

$J_z\, \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{M}$ (7)

не учитывает ни деформируемости системы, ни диссипативного сопротивления при собственном вращении системы. Эта запись является приближенной.

3. Как приходят к закону сохранения углового момента

Для замкнутой системы изменение энергообмена dW = 0, то есть, согласно уравнению (2), вращающий момент $\mathbf{M} = 0$, а согласно уравнению (7) угловое ускорение $\boldsymbol{\omega} = 0$. Тело продолжает равномерно вращаться вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью **ω**. Следовательно, в соответствии с уравнением (6) для замкнутой вращающейся системы угловой момент $\mathbf{L}_z$ = const.

Поскольку при этом ни угловая скорость **ω**, ни момент инерции вращающейся системы J_z нулю не равны, то в замкнутой вращающейся системе любое изменение одного из этих сомножителей из уравнения (6) влечет за собой изменение в другую сторону второго сомножителя. Этот вывод и определяет физическое содержание **закона сохранения углового момента** замкнутой системы, которое можно сформулировать следующим образом: ***в замкнутой вращающейся системе любое изменение момента инерции системы вызывает изменение ее угловой скорости***.

Если вращающаяся система состоит из нескольких автономных систем, то из закона сохранения углового момента вытекает в качестве частного случая **закон сохранения момента импульса**. Он разъясняется отдельно в разделе, посвященном орбитальной форме движения.

3. Движение по орбите − сложная форма движения

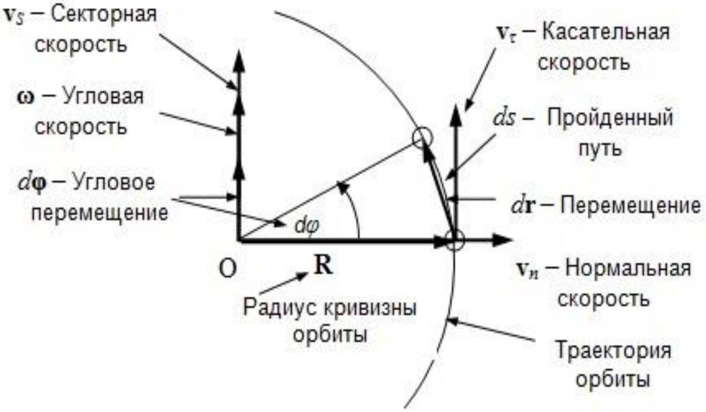
3.1. Особенности движения тела по орбите

1. Движение по орбите - сложная форма движения.

Орбитальная форма движения (движение по орбите) отличается от других двух форм механического движения (прямолинейной и вращательной). Это сложная форма движения, проиллюстрированная ниже на рисунке, включает в себя **сочетание двух прямолинейных и двух вращательных форм движения**:

1. прямолинейного движения центра тела вдоль радиуса кривизны орбиты **R**,
2. прямолинейного движения центра тела нормально к радиусу кривизны орбиты **R**,
3. вращения тела вокруг собственной оси,
4. вращения радиуса кривизны орбиты **R** вокруг центра О соприкасающейся с орбитой окружности.

Напомним, что при движении по орбите координатой состояния процесса вращения радиуса кривизны является угловое перемещение d**φ**, для которого в системе величин ЭСВП существует размерность А, как для основной физической величины. (В СИ угловое перемещение безразмерно.) Поэтому движение тела по орбите характеризуется угловой скоростью вращения радиуса кривизны **ω** = d**φ**/d*t* с размерностью AT^{-1} (единица - об c^{-1}) и угловым ускорением **ε** = d**ω**/d*t* с размерностью AT^{-2} (единица - об c^{-2}).



2. Параметры движения по орбите.

Покажем отдельно схему орбитальной формы движения тела, взятую из рисунка в разделе о классификации форм движения.

Только здесь у обозначения углового перемещения $\mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}$ опущен нижний индекс "$_{orb}$", поскольку в данном разделе речь будет идти только о движении тела по орбите.
При движении тела по орбите центр вращения тела проходит **путь** по дуге

$\mathrm{d}s = \mathbf{R}\,\mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}$. (1)

Поскольку размерность углового перемещения $\mathrm{d}\boldsymbol{\varphi}$ в системе величин ЭСВП равна A, а размерность пути $\mathrm{d}s$ равна L, то из уравнения (1) следует, что размерность радиуса кривизны орбиты **R** равна LA^{-1}, а единица равна м об^{-1}. Это соответствует в СИ единице м рад^{-1}. Подобная единица радиуса кривизны выведена в статье И.Когана (1998), а также подтверждена в статье П.Мора и В.Вильямса (2015) со ссылками на многих авторов.

3. Названия скоростей при движении тела по орбите.

В современной физике движение по орбите характеризуется скоростью

$\mathbf{v} = \mathrm{d}\mathbf{r}/\mathrm{d}t$, (2)

где $\mathrm{d}\mathbf{r}$ − элементарное перемещение центра масс тела (см. рисунок). То есть вектор скорости **v** из уравнения (2) коллинеарен вектору прямолинейного перемещения. Однако для орбитальной формы движения необходимо применять другие термины и обозначения, чтобы не спутать скорость движения тела по орбите со скоростью тела при прямолинейной форме движения.

Мгновенная скорость движущегося по орбите тела касательна к орбите, она называется **касательной скоростью** (встречается также термин "**тангенциальная скорость**") и обозначается символом $\mathbf{v}_{\tau}$. Особенностью касательной скорости является то, что ее направление постоянно меняется.

Прямолинейная скорость центра тела, направленная вдоль радиуса кривизны, называется **нормальной скоростью** и обозначается символом $\mathbf{v}_{n}$.

Движение тела по орбите характеризуются **двумя разными угловыми скоростями**. Первая из них − это **угловая скорость** $\boldsymbol{\omega}$ поворота радиуса кривизны **R**. Другая угловая скорость характеризует вращение тела вокруг собственной оси и называется **собственной угловой скоростью** вращения тела. При оперировании с обеими скоростями их обозначения следует индексировать разными индексами.

4. Секторная скорость при движении по замкнутой орбите.

Для движущегося по замкнутой орбите тела применяют также понятие **секторная скорость** $\mathbf{v}_S$. Модуль секторной скорости

$v_S = \mathrm{d}S/\mathrm{d}t$, (3)

где S – площадь сектора, заключенного между двумя радиусами кривизны, проведенными к орбите из начала координат в начале и в конце промежутка времени dt. Секторная скорость это векторная величина, она определяется по формуле

$\mathbf{v}_S = [\mathbf{R}\ \mathbf{v}_\tau\ ]/2$. (4)

В книге С.Тарга (1995) сказано, что "понятие секторная скорость играет важную роль при изучении движения под действием центральной силы — силы, линия действия которой всё время проходит через центр О, например силы тяготения; в этом случае секторная скорость остаётся величиной постоянной. Такой результат имеет, в частности, место при движении планет (2-й закон Кеплера), а также искусственных спутников Земли (если силу тяготения считать направленной к её центру) и космических летательных аппаратов."

Вектор секторной скорости $\mathbf{v}_S$ перпендикулярен плоскости орбиты и коллинеарен вектору угловой скорости радиуса кривизны **ω**. Размерность секторной скорости в системе величин ЭСВП равна $L^2A^{-1}T^{-1}$, а единица равна м^2 об$^{-1}$ с$^{-1}$, что соответствует единице м^2 рад$^{-1}$ с$^{-1}$ в СИ.

Литература

1. Коган И.Ш., 1998, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, 3, с.62-64.
2. Тарг С.М., 1995, Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 334 с.

3. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.

3.2. Поворот вектора скорости не является ускорением

1. Поворот вектора касательной скорости не является ускорением.

Движение тела по орбите отличается от прямолинейного движения тела тем, что вектор касательной скорости тела постоянно изменяется по направлению. В современной механике любое изменение скорости называют **ускорением**. Но при рассмотрении орбитального движения тела это может привести к неверным выводам.

Применять термин "ускорение" можно лишь при прямолинейном движении тела, при котором скорость тела может изменяться только по модулю, но не по направлению. Применять термин "угловое ускорение" тела можно лишь при вращении тела вокруг собственной оси, когда вектор угловой скорости тела изменяется только по модулю. В этих двух случаях называть изменение скорости по времени ускорением легитимно с точки зрения лексического значения этого слова.

Иное положение при движении тела по орбите. Например, при равномерном движении тела по круговой орбите изменение модуля касательной скорости центра масс движущегося по орбите тела отсутствует. А поскольку касательная скорость не изменяется по модулю, то ее изменение по направлению не может называться ускорением.

2. Различия между изменением касательной скорости по модулю и поворотом вектора касательной скорости.

В разделе, посвященной повороту вектора, было показано, что между изменением модуля векторной величины и поворотом векторной величины имеется принципиальное различие.

У орта (единичного вектора) радиуса кривизны $\mathbf{e}_R$ изменения по модулю быть не может по определению орта. В то же время **поворот орта**, как и любой поворот вектора, существует, и он может иметь свою размерность и свою единицу.

Модуль углового перемещения dφ имеет в системе величин ЭСВП размерность A. Элементарный поворот орта d$\mathbf{e}_R$ = dφ $\mathbf{n}_R$, где $\mathbf{n}_R$ – орт, нормальный к радиусу кривизны **R** (см. рисунок).

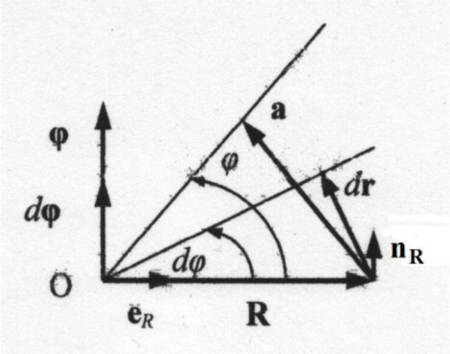
Сам орт $\mathbf{n}_R$, как математический оператор, не имеет своей размерности. Поскольку у dφ имеется размерность A, то у поворота орта d$\mathbf{e}_R$ тоже появляется размерность A.

В итоге различие между вектором изменения касательной скорости по модулю и поворотом вектора этой скорости заключается в том, что у них различные размерности. То есть это разные векторные величины, и их можно суммировать только как векторы. Это подтверждает вывод о том, что применение термина ”**ускорение**” для названия изменения касательной скорости по направлению недопустимо. К термину ”ускорение” при орбитальном движении приходится добавлять дополнительные прилагательные, что будет детально обосновано в разделе об ускорениях при орбитальном движении.

3. Элементарное перемещение при орбитальной форме движения.

Рассмотрим в этой связи элементарное перемещение d**r**, которое определяется по уравнению

d**r** = [d**φ** **R**] , (1)



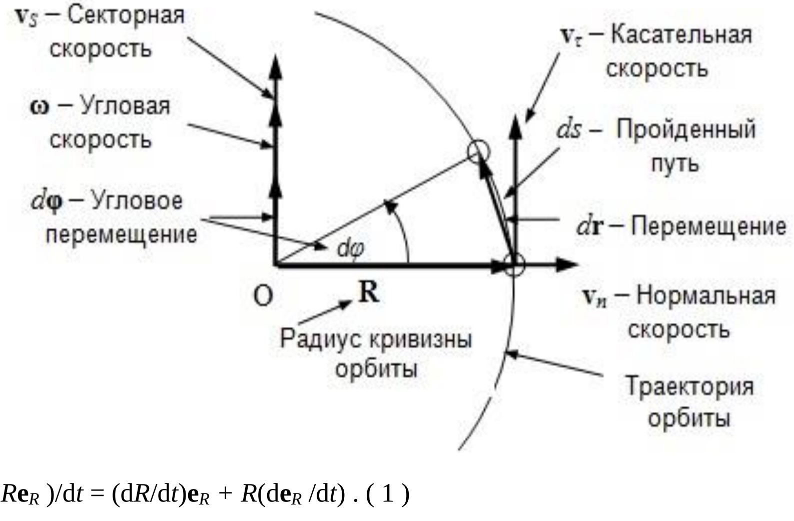
где угол между d**r** и **R** предполагается равным прямому углу.

При рассмотрении бесконечно малого перемещения по хорде d**a** пользоваться векторным произведением (1) можно, лишь считая d**a** = d**r**. Но при конечных приращениях (см. рисунок) угол между векторами **a** и **R** уже не равен прямому углу, и уравнение, подобное (1), записать уже нельзя.

3.3. Касательная и нормальная скорости тела, движущегося по орбите

1. Нормальная скорость тела, движущегося по орбите.

Проанализируем производную по времени $\mathrm{d}\mathbf{R}/\mathrm{d}t$ от радиуса кривизны **R** траектории орбиты. В разделе , посвященном угловому перемещению тела по орбите показано, что в отличие от СИ радиус кривизны **R** имеет свою размерность в системе величин ЭСВП, и она равна LA^{-1}, поскольку в системе ЭСВП угловое перемещение имеет размерность А, чего нет в СИ. Учитывая, что радиус кривизны определяется уравнением $\mathbf{R} = R\mathbf{e}_R$, где $\mathbf{e}_R$ – орт радиуса кривизны, получаем:



$$\mathrm{d}(R\mathbf{e}_R)/\mathrm{d}t = (\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)\mathbf{e}_R + R(\mathrm{d}\mathbf{e}_R/\mathrm{d}t) \;.\; (1)$$

Первое слагаемое правой части является в общем случае скоростью изменения модуля радиуса кривизны, она коллинеарна радиусу кривизны, показана на рисунуе и называется **нормальной скоростью**

$\mathbf{v}_n = (\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)\mathbf{e}_R$. (2)

Если модуль радиуса кривизны **R** не меняется, то есть, если орбита имеет форму круга, то $\mathbf{v}_n = 0$ (нормальная скорость отсутствует).

2. Касательная (тангенциальная) скорость тела, движущегося по орбите.

Второе слагаемое правой части уравнения (1) является скоростью, перпендикулярной радиусу кривизны, она называется **касательной (тангенциальной) скоростью**

$\mathbf{v}_\tau = R(\mathrm{d}\mathbf{e}_R /\mathrm{d}t)$. (3)

Если радиус кривизны **R** изменяется по модулю, то есть при движении тела по некруговой орбите, скорость движения тела в общем случае следует считать равной геометрической сумме касательной и нормальной скоростей согласно уравнению:

$\mathrm{d}\mathbf{R}/\mathrm{d}t = \mathbf{v}_n + \mathbf{v}_\tau$. (4)

Согласно выводу, сделанному в разделе, посвященном вектору поворота скорости, вектор $(\mathrm{d}\mathbf{e}_R/\mathrm{d}t)$ из уравнения (3) равен

$\mathrm{d}\mathbf{e}_R/\mathrm{d}t = \omega\ \mathbf{n}_R$, (5)

где $\mathbf{n}_R$ − орт нормали к радиусу кривизны **R**, а ω − модуль угловой скорости радиуса кривизны. Подставляя уравнение (5) в уравнение (3), получаем определяющее уравнение для касательной скорости:

$\mathbf{v}_\tau = R\omega\ \mathbf{n}_R$. (6)

3. Контрнормальная скорость тела, движущегося по орбите.

Если бы при движении тела по орбите не существовало бы силы, удерживающей тело на орбите, то тело стало бы удаляться от центра соприкасающейся окружности О со скоростью, равной нормальной скорости $\mathbf{v}_n$. Чтобы этого не случилось, необходимо наличие **удерживающей силы** (в современной физике - **центростремительной силы**). Наличие центростремительной силы является свидетельством наличия скорости, противоположной нормальной скорости $\mathbf{v}_n$, но равной ей по модулю. Назовем ее **контрнормальной скоростью** и обозначим $\mathbf{v}_{cn}$. Ее определяющее уравнение

$\mathbf{v}_{cn} = [\mathbf{v}_\tau\ \boldsymbol{\varphi}]$. (7)

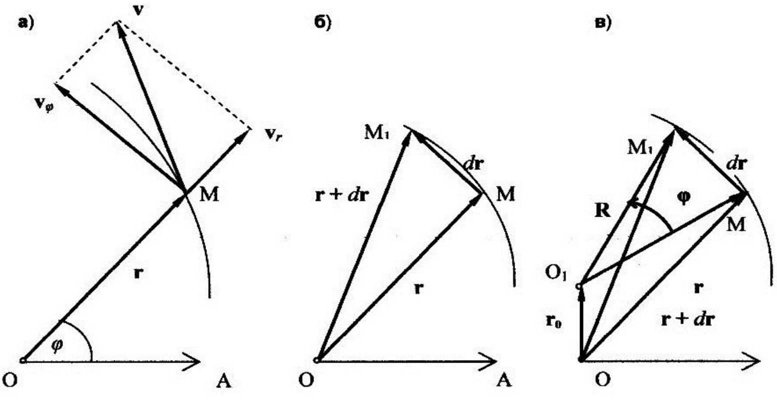
Контрнормальная скорость $\mathbf{v}_{cn}$ коллинеарна нормальной скорости $\mathbf{v}_n$ и равна ей по модулю, но направлена противоположно ей к центру кривизны O. Поскольку векторы $\mathbf{v}_\tau$ и $\boldsymbol{\varphi}$ лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях, то модуль контрнормальной скорости $\mathbf{v}_{cn}$ с учетом уравнений (3), (5) и (6) равен

$v_{cn} = R\omega\varphi$. (8)

Размерность $\mathbf{v}_{cn}$ в системе величин ЭСВП равна LAT^{-1}, а единица равна м $с^{-1}$ рад . В СИ единица этой скорости остается равной м $с^{-1}$. Контрнормальная скорость $\mathbf{v}_{cn}$ в современной физике не рассматривается.

4. Скорости движения тела по орбите в современной физике.

Рассмотрим трактовку скоростей при движении по криволинейной траектории в современной литературе.



Справочник по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) рассматривает орбитальное движение в полярных координатах (рисунок **а**), приводя такие термины для компонент скорости тела **v**: $\mathbf{v}_r$ – **радиальная**

скорость, а $\mathbf{v}_{\varphi}$ – **трансверсальная скорость**. Составляющие скорости $\mathbf{v}_r$ и $\mathbf{v}_{\varphi}$ взаимно перпендикулярны.

О положении начала полярных координат О не сказано в справочнике ничего, значит, оно может быть расположено произвольно. Разумеется, обе составляющие настолько же произвольны, насколько произволен выбор места начала координат. То есть, **радиальная и трансверсальная скорости – это две абстрактные векторные величины**. Это подтверждается и метрологическим справочником А.Чертова (1990), который рассматривает скорость материальной точки М (см. рисунок **б**) как векторную величину, определяемую уравнением $\mathbf{v} = \mathrm{d}\mathbf{r}/\mathrm{d}t$ “*в рассматриваемой системе отсчета*“.

Справочник Б.Яворского и А.Детлафа (1990) приводит следующее уравнение для расчета скорости материальной точки М по схеме на рисунке **а**:

$$v = \sqrt{(v_r^2 + v_{\varphi}^2)} = \sqrt{[(\mathrm{d}r/\mathrm{d}t)^2 + r^2(\mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t)^2]}\ . \quad (9)$$

Анализ размерностей уравнения (9) при применении системы величин ЭСВП показывает, что радиальная скорость $\mathbf{v}_r$ имеет размерность LT^{-1}, а трансверсальная скорость $\mathbf{v}_{\varphi}$ имеет размерность LAT^{-1}. Следовательно, подкоренное выражение в уравнении (9) оказывается суммой величин с разными размерностями, что, разумеется, недопустимо. “Нестыковки” с размерностями и единицами в орбитальной форме движения возникают потому, что угол поворота не имеет в СИ своей размерности, а его единица в СИ (радиан) то учитывается, то не учитывается. Поэтому в СИ нарушение правила размерностей в уравнении (9) не выявляется.

Если положение начала координат выбрать так, чтобы оно совпадало с центром кривизны орбиты O_1 (см. рисунок **в**), то трансверсальная скорость $\mathbf{v}_{\varphi}$ совпадет с касательной скоростью $\mathbf{v}_{\tau}$, а радиальная скорость $\mathbf{v}_r$ совпадет с нормальной скоростью $\mathbf{v}_n$. Таким образом, перенос начала координат в центр кривизны орбиты O_1 (в центр соприкасающейся с орбитой окружности) может позволить перейти от радиус-вектора **r** к радиусу кривизны траектории **R** с помощью векторной разности

$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0\ , \quad (10)$$

где $\mathbf{r}_0$ – радиус-вектор центра кривизны O_1 относительно начала координат О.

В теоретической механике центр кривизны O_1 называют **мгновенным центром скорости**, а траекторию мгновенного центра скорости называют **центроидой**. Функции $\mathbf{r}_0(t)$ и $\mathbf{R}(t)$ удобно анализировать по отдельности.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

3.4. Ускорения тела, движущегося по орбите

1. Ускорения при неравномерном движении по орбите.

Для вывода уравнений, определящих ускорения при неравномерном движении по орбите возьмем вторую производную по времени от радиуса кривизны траектории **R**, воспользовавшись выражениями для касательной скорости $\mathbf{v}_\tau$ и нормальной скорости $\mathbf{v}_n$, полученными в разделе о скоростях движения по орбите:

$$d^2\mathbf{R}/dt^2 = d(\mathbf{v}_\tau + \mathbf{v}_n)/dt = d(R\omega\,\mathbf{n}_R + v_n\,\mathbf{e}_R)/dt = v_n\,\omega\mathbf{n}_R + R\varepsilon\mathbf{n}_R + R\omega^2\mathbf{e}_n + (dv_n/dt)\mathbf{e}_R + v_n\,\omega\mathbf{n}_R\,, \quad (1)$$

где $\mathbf{n}_R$ – орт нормали к направлению радиуса кривизны; $\mathbf{e}_n$ – орт вектора поворота касательной скорости, направленный перпендикулярно к плоскости орбиты, в которой расположена соприкасающаяся окружность.

Введем следующие обозначения и названия для слагаемых уравнения (1):

$\mathbf{a}_\tau = R\varepsilon\mathbf{n}_R$ (2) − **касательное ускорение**,

$\mathbf{a}_n = (\mathrm{d}v_n /\mathrm{d}t)\mathbf{e}_R$ (3) − **нормальное ускорение**,

$\mathbf{a}_{k\tau} = 2v_n\, \omega\mathbf{n}_R$ (4) − **касательное кориолисово ускорение**,

$\mathbf{a}_{kn} = R\omega^2\mathbf{e}_n$ (5) − **нормальное кориолисово ускорение**, направлено перпендикулярно к плоскости рисунка.

Тогда уравнение (1) для неравномерного орбитального движения можно записать в таком виде:

$\mathrm{d}^2\mathbf{R}/\mathrm{d}t^2 = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_{k\tau} + \mathbf{a}_{kn}$. (6)

2. Ускорения при равномерном движении по круговой орбите.

При равномерном движении по круговой орбите (простейший вариант) угловое ускорение $\varepsilon = 0$ и нормальная скорость $v_n = 0$. Следовательно, при равномерном движении по круговой орбите все три ускорения по уравнениям (2), (3) и (4) равны нулю. А оставшуюся величину $\mathbf{a}_{kn}$ тоже нельзя назвать ускорением, поскольку при равномерном движении все векторные величины не изменяются по модулю, то есть не ускоряются.

Отсюда следует непривычный для современной физики, но очень важный вывод: при равномерном движении по круговой орбите применение такого понятия, как **центростремительное ускорение**, лишено физического смысла. Этот вывод вытекает из различия между изменениями касательной скорости по модулю и по направлению, описанными в разделе, посвященном скоростям при орбитальном движении. К такому же выводу приходит В.Коновалов (2006), только с помощью иного доказательства. Отметим также важный вывод, сделанный в работе В.Эткина (2001), о том, что при равномерном движении электрона по круговой орбите причиной волнового излучения не может являться центростремительное ускорение, как об этом пишут в современной литературе.

3. Девиация касательной скорости при равномерном движении по круговой орбите.

При равномерном движении по круговой орбите речь может идти только о **конрнормальной скорости** $\mathbf{v}_{cn} = [\mathbf{v}_\tau\ \boldsymbol{\varphi}]$, подробно описанной в разделе, посвященном скоростям при орбитальном движении. Размерность производной от этой скорости в системе величин ЭСВП равна LAT^{-2}, а единица − м об c^{-2} (что соответствовало бы в СИ единице, равной м рад c^{-2}).

Эта не рассматриваемая в современной физике величина имеет в СИ единицу ускорения м c^{-2} потому, что в СИ единицу радиан применяют не всегда. Но производная от контрнормальной скорости $d\mathbf{v}_{cn}/dt$ отличается от нормального кориолисова ускорения $\mathbf{a}_{kn}$ при неравномерном движения тела тем, что она существует также и при равномерном движении тела по круговой орбите.

Производную $d\mathbf{v}_{cn}/dt$ нельзя назвать ускорением, поскольку движение равномерное, то есть модуль контрнормальной скорости не меняется. Поэтому назовем ее **девиацией касательной скорости** (от английского deviation, то есть **отклонение от курса**) и обозначим ее символом $\mathbf{d}_\tau$. Девиация определяется по уравнению:

$$\mathbf{d}_\tau = d\mathbf{v}_{cn}/dt = d[\mathbf{v}_\tau\ \boldsymbol{\varphi}]/dt = [(d\mathbf{v}_\tau/dt)\ d\boldsymbol{\varphi}] + [\mathbf{v}_\tau\ (d\boldsymbol{\varphi}/dt)]\ .\ (7)$$

Поскольку при равномерном движении по круговой орбите первое слагаемое в уравнении (7) равно 0, то остается лишь второе слагаемое $[\mathbf{v}_\tau\ (d\boldsymbol{\varphi}/dt)]$. Учитывая, что $d\boldsymbol{\varphi}/dt = \boldsymbol{\omega}$, то есть является угловой скоростью поворота радиуса кривизны, приходим после преобразований к следующему определяющему уравнению для девиации касательной скорости:

$$\mathbf{d}_\tau = [\mathbf{v}_\tau\ \boldsymbol{\omega}] = [[\mathbf{R}\boldsymbol{\omega}]\boldsymbol{\omega}] = (\boldsymbol{\omega}\mathbf{R})\boldsymbol{\omega} - \mathbf{R}\boldsymbol{\omega}^2.\ (8)$$

В первом слагаемом $(\boldsymbol{\omega}\mathbf{R}) = \omega R\cos(\boldsymbol{\omega}, \mathbf{R})$, а $\cos(\boldsymbol{\omega}, \mathbf{R}) = 0$. А во втором слагаемом можно записать $\boldsymbol{\omega}^2 = \omega^2$. И мы приходим к окончательной форме записи определяющего уравнения для девиации касательной скорости:

$$\mathbf{d}_\tau = -\mathbf{R}\omega^2,\ (9)$$

где знак (−) указывает на противоположность направлений вектора девиации скорости $\mathbf{d}_\tau$ и радиуса кривизны $\mathbf{R}$, что и показано выше на рисунке. Модуль вектора девиации скорости $\mathbf{d}_\tau$ равен

$d_\tau = R\omega^2 = v_\tau^2/R$. (10)

Как уже указывалось, в системе величин ЭСВП девиация скорости имеет размерность, равную LAT^{-2} и единицу, равную м об $с^{-2}$ (это соответствовало бы в СИ единице, равной м рад $с^{-2}$).

4. Центростремительное ускорение при равномерном движении по круговой орбите отсутствует.

В современной физике при равномерном движении по круговой орбите вместо девиации скорости говорят о **центростремительном ускорении**. Но ускорений, или изменений скорости по модулю, при равномерном движении по круговой орбите быть не может, девиация скорости ускорением тоже не является. Вектор девиации $\mathbf{d}_\tau$ направлен к центру вращения, как и должен был бы быть направлен тот не существующий вектор, который называют центростремительным ускорением. Если убрать единицу радиан из единицы девиации, то единица девиации оказывается соответствующей м $с^{-2}$, то есть единице обычного ускорения. Это и является причиной того, что вместо девиации касательной скорости говорят о центростремительном ускорении.
Но заменять девиацию скорости центростремительным ускорением нельзя, ибо при этом допускаются сразу две ошибки. Во-первых, при равномерном движении по круговой орбите нет изменения модуля касательной скорости, то есть **нет ускорения в принципе**. Во-вторых, **согласно второму закону Ньютона ускорение является функцией от силы и от массы, а в определяющих уравнениях (9) и (10) нет ни силы, ни массы.** Наконец, расчет значения девиации скорости $\mathbf{d}_\tau$ по уравнению (10) может производиться либо по радиусу кривизны R и угловой скорости его вращения ω, либо по R и касательной скорости v_τ . Значения всех этих величин при равномерном движении постоянны, так что и с этой точки зрения ускорению взяться неоткуда.

Литература

1. Коновалов В.К., 2006, Основы новой физики и картины мироздания. 4-ое изд. – http://www.new-physics.narod.ru
2. Эткин В.А., 2001, Классические основания квантовой механики. – http://www.n-t.org/tp/ng/ kokm.htm.

3.5. Обобщение второго закона Ньютона

Систематизация физических величин приводит к тому, что второй закон Ньютона не следует ограничивать рамками прямолинейной формы движения, а распространить его на все механические формы движения, а также следует уточнить терминологию, касающуюся величин, описывающих этот закон в обобщенной форме записи.

1. Второй закон Ньютона при прямолинейной форме движения.

Второй закон Ньютона декларируется как **уравнение динамики при неравномерном движении в механической прямолинейной форме движения** и приводится в учебниках по физике обычно в двух формах записи:

$\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$ или $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, (1)

где $\mathbf{F}$ – воздействующая на тело сила; m – масса тела; $\mathbf{a}$ – линейное ускорение тела. При раскрытии ускорения в виде $\mathbf{a} = \mathrm{d}\mathbf{v}/\mathrm{d}t$ уравнение $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$ записывают в виде $\mathrm{d}\mathbf{p}/\mathrm{d}t = \mathbf{F}$, где $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ - импульс тела.

Вторая запись уравнения (1) противоречит принципу причинности, так как **ускорение является следствием приложения воздействующей на тело силы и, следовательно, должно находиться в левой части уравнения. Принципу причинности не противоречит первая форма записи $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$.**
Но при детальном анализе выясняется, что первая запись справедлива при ограниченных условиях, и что второй закон Ньютона в записи (1) не является основным уравнением динамики. В **разделе**, посвященном обобщенному уравнению динамики, показана запись этого уравнения для прямолинейной формы движения в виде:

$D\,\Delta\mathbf{x} + R\,\mathrm{d}\mathbf{x}/\mathrm{d}t + I\,\mathrm{d}^2\mathbf{x}/\mathrm{d}t^2 = -\,\mathbf{F}$, (2)

где $\mathbf{F}$ − сила, воздействующая на систему; $\mathbf{x}$ − линейное перемещение; D – жесткость механической системы; R − сопротивление трения; I − **линейная инертность**, которую в современной физике неверно называют “инертной массой“. (Подробно о ненужном в физике понятии “инертная масса“ см. в разделе о понятии "масса".)

Из раздела, посвященном обобщенному уравнению динамики, следует, что под воздействием на тело следует понимать изменение внешней силы, отсчитываемое от нуля в начальный момент времени, а не абсолютное значение внешней силы. Это изменение внешней воздействующей силы равно и противоположно по знаку сумме трех противодействующих сил (сил противодействия физической системы), также отсчитываемых от нуля в начальный момент времени. Это **сила инерции, сила упругого сопротивления при деформации тела и сила диссипативного сопротивления, то есть сила трения при движении в вязкой среде.**

В уравнении (1) из трех противодействующих сил присутствует только одна − **сила инерции**, которую обозначим символом $\mathbf{F}_I$. Остальные две силы противодействия (**сила упругого сопротивления и сила трения**) при записи второго закона Ньютона в виде уравнения (1) не принимаются во внимание по умолчанию. То есть **уравнение (1) применимо в качестве уравнения динамики только для консервативной механической системы, не учитывающей сжимаемость тела.** Поэтому форма записи второго закона Ньютона для прямолинейной формы движения с учетом сказанного должна выглядеть иначе, а именно:

$$\mathbf{a} = \mathbf{F}_I / I \, , \quad (3)$$

учитывая, что сила инерции $\mathbf{F}_I$ равна и противоположно направлена воздействующей силе **F**.

2. Второй закон Ньютона при вращательной форме движения.

При неравномерном вращении тела запись второго закона Ньютона, аналогичная уравнению (3), должна выглядеть так:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{M}_I / J_z \, , \quad (4)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}$ – угловое ускорение тела; $\mathbf{M}_I$ – момент сил инерции, противодействующий изменению угловой скорости тела; J_z – момент инерции тела, который можно назвать **вращательной инертностью**.

В современной физике вращающуюся систему совмещают с неинерциальной системой отсчета, указывая на то, что в неинерциальной системе отсчета второй закон Ньютона несправедлив. Система величин ЭСВП, рассматриваемая в данной работе, построена **на признании существования обобщенной физической системы, которая является**

системой инерциальной. Понятие "неинерциальная система отсчета" не рассматривается, как не отражающее реального физического содержания вращательной формы движения. Второй закон Ньютона применим для вращательной формы движения в записи (4) и с теми же ограничениями, которые были описаны выше для прямолинейной формы движения.

3. Второй закон Ньютона при орбитальной форме движения.

Орбитальная форма движения, как показано в статье о формам движения, состоит в общем случае из 4-х простых форм движения (двух прямолинейных и двух вращательных). В статье, посвященной ускорениям при орбитальной форме движения, выведены уравнения для определения ускорений в каждой из этих 4-х форм движения. Поэтому второй закон Ньютона можно записать для каждой из них в виде уравнений (3) или (4).

Например, для такого частного случая, как неравномерное движение тела по круговой орбите, можно записать такое уравнение:

$\mathbf{a}_\tau = -\,\mathbf{F}_{I\tau}/m$, (5)

где $\mathbf{a}_\tau$ – касательное ускорение центра вращения неравномерно движущегося по круговой орбите тела;
$\mathbf{F}_{I\tau}$ – касательная сила инерции, противодействующая изменению касательной скорости; m – масса тела, движущегося по круговой орбите.

4. Обобщенный второй закон Ньютона.

Все три уравнения (3, 4, 5) имеют, как и следовало ожидать, одинаковую структуру, в которой учитывается только одно **обобщенное противодействие инертности** $\mathbf{U}_I$, описанное в разделе, посвященном обобщенным параметрам форм движения. На этом основании можно вывести обобщенную запись второго уравнения Ньютона в виде:

$\mathrm{d}^2\mathbf{q}\,/\mathrm{d}t^2 = -\,\mathbf{P}_I\,/I_\Sigma$, (6)

где $\mathbf{q}$ – обобщенная координата состояния; $\mathrm{d}^2\mathbf{q}/\mathrm{d}t^2$ – **обобщенное ускорение**; $\mathbf{P}_I$ – обобщенное противодействие инертности; I_Σ – **обобщенная инертность** системы. Из уравнения (6) следует, что под массой m в уравнении (1) понимается лишь частный случай обобщенной инертности I_Σ, применяемый при прямолинейной форме движения.

Инертностью вращающегося тела является момент инерции тела J_z . Поэтому во вращательной форме движения момент инерции предпочтительнее называть **вращательной инертностью** и обозначать символом I_φ .

Для тела, движущегося по орбите, имеется столько видов инертности, сколько рассматривается простых форм движения, составляющих орбитальную форму движения.

5. Размерности и единицы линейной и вращательной инертностей.

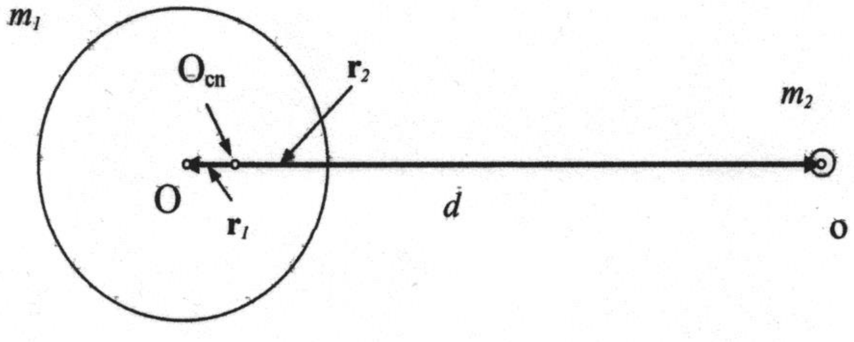
В СИ для инертной массы применяют единицу килограмм, так как в СИ придерживаются нерелевантного принципа эквивалентности масс. В системе величин ЭСВП линейная инертность I имеет размерность $EL^{-2}T^2$ и единицу Дж м$^{-2}$ с^2. В разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, показано, что масса во втором законе Ньютона и масса в законе всемирного тяготения должны иметь разные размерности и единицы. Вращательная инертность имеет в ЭСВП размерность $EA^{-2}T^2$ и единицу Дж об$^{-2}$ с^2. В СИ это соответствовало бы единице Дж рад$^{-2}$ с^2, но фактически равна Дж с^2, поскольку в СИ в данном случае единицу радиан опускают. Согласно стандарту единицей момента инерции J_z является кг м^2. Эту единицу несложно преобразовать в единицу Дж с^2, которая должна быть в СИ предпочтительнее единицы кг м^2.

3.6. Момент импульса тела и его отличие от углового момента тела

1. Угловой момент системы, состоящей из двух тел.

Рассмотрим вариант, показанный на рисунке, когда система состоит из двух тел с массами m_1 и m_2 , причем $m_2 < m_1$. Расстояние между центрами масс двух тел равно d. Центр вращения системы из двух тел **О**$_{сп}$ лежит на прямой, соединяющей центры масс **О** и **о**.

Пусть оба тела вращаются вокруг собственных центров с угловыми



скоростями **ω_1** и **ω_2** и одновременно с этим пусть рассматриваемая система из двух тел вращается с угловой скоростью **ω** вокруг общего центра системы **O_{cn}** , который находится на оси Oz, перпендикулярной плоскости рисунка. Соответственно, и псевдовекторы **ω**, **ω_1** и **ω_2** также перпендикулярны плоскости рисунка.

Момент инерции J_{zi} i-го тела при вращении вокруг собственной оси при этих условиях (собственную вращательную инертность) можно определить по **теореме Штайнера** (в литературе теорема Штейнера, но на немецком языке эта фамилия звучит как Штайнер)

$$J_{zi} = J_{zsi} + m_i\, r_i^2 \text{ , (1)}$$

где J_{zsi} – собственный момент инерции i–го тела относительно своей оси вращения, параллельной оси Oz; m_i – масса i–го тела; r_i – расстояние от общей оси вращения до собственной оси вращения i–го тела.

Если векторы угловых скоростей **ω_1** и **ω_2** не параллельны друг другу и вектору угловой скорости всей системы **ω**, то каждый из векторов **ω_1** и **ω_2** следует разложить на два вектора: параллельный и перпендикулярный вектору **ω**. Теорема Штайнера учитывает только компоненты векторов **ω_1** и **ω_2** , параллельные вектору **ω**.

В разделе , посвященном угловому моменту вращающейся системы, приведено определяющее уравнение для углового момента тела в виде **L_z** = J_z**ω**. Подставив сюда выражение для момента инерции i–го тела J_{zi} из уравнения (1), мы приходим к определяющему уравнению углового момента системы, изображенной на рисунке:

$\mathbf{L}_z = [(J_{zs})_1 + m_1 r_1^2]\,\boldsymbol{\omega} + [(J_{zs})_2 + m_2 r_2^2]\,\boldsymbol{\omega}$. (2)

Естественно, что аналогичное уравнение может быть получено для системы, состоящей из скольких угодно составных частей.

2. Как мы приходим к понятию "момент импульса тела".

Предположим, что собственные моменты инерции тел $(J_{zs})_i$ пренебрежимо малы по сравнению со вторыми слагаемыми в теореме Штайнера, то есть предположим, что собственными угловыми моментами тел, составляющих систему, можно пренебречь. Тогда угловой момент системы можно будет переписать в виде

$\mathbf{L}_z = m_1 r_1^2\boldsymbol{\omega} + m_2 r_2^2\boldsymbol{\omega} = \mathrm{const}$. (3)

Угловая скорость системы из нескольких тел может быть определена по любой из составных частей системы по уравнению

$\boldsymbol{\omega} = [\mathbf{e}_{ri}\,(\mathbf{v}_{\tau i}/r)]$, (4)

где $\mathbf{v}_{\tau i}$ – касательная скорость центра вращения i-го тела относительно общего центра вращения $\mathbf{O}_{\text{сп}}$; $\mathbf{e}_{ri}$ – орт i-го радиуса, проведенный из точки $\mathbf{O}_{\text{сп}}$. Уравнение (3) для углового момента системы в виде после введения в него угловой скорости согласно уравнению (4) запишется в виде:

$\mathbf{L}_z = m_1 r_1\,[\mathbf{e}_r\,\mathbf{v}_{\tau 1}] + m_2 r_2\,[\mathbf{e}_r\,\mathbf{v}_{\tau 2}]$. (5)

Введем скалярные величины m и r в квадратные скобки. Учитывая, что $r\mathbf{e}_r = \mathbf{r}$, и умножив скаляр m на вектор $\mathbf{v}$, приходим к уравнению

$\mathbf{L}_z = [\mathbf{r}_1\,(m_1\,\mathbf{v}_{\tau 1})] + [\mathbf{r}_2\,(m_2\,\mathbf{v}_{\tau 2})]$. (6)

Векторную величину ($m\mathbf{v}$), присутствующую в уравнении (6), называют в физике **импульсом тела** и обозначают символом **p**. А величину $[\mathbf{r}\,\mathbf{p}] = [\mathbf{r}\,(m\mathbf{v})]$ называют в физике **моментом импульса тела**. Ее также обозначают символом $\mathbf{L}_z$, то есть тем же символом, который применяется для обозначения углового момента. Но при этом не учитывают, что к уравнению (6) мы пришли при пренебрежении собственными моментами инерции тел. Подобное умолчание является причиной того, что между угловым моментом и моментом импульса часто, но не обосновано, ставят знак равенства. Однако это разные величины, так как у них разные определяющие уравнения и разное физическое содержание.

Размерность момента импульса тела совпадает с размерностью углового момента, так как определяющее уравнение для момента импульса силы (6) вытекает из определяющего уравнения для углового момента (2). В СИ размерность момента импульса равна L^2MT^{-1}, а единица равна кг м^2 с$^{-1}$. Та же размерность в системе величин ЭСВП выглядит как $EA^{-1}T$, но единица равна Дж об$^{-1}$ с. Подробнее об этих размерностях и единицах рассказано в разделе, посвященном угловому моменту.

3. Закон сохранения момента импульса системы невращающихся тел.

Каждое из слагаемых уравнения (6), записанное в виде $\mathbf{L}_{zi} = [\mathbf{r}_i\ (m_i\mathbf{v}_{\tau i}\ )] = [\mathbf{r}_i\ \mathbf{p}_i\ ]$ является **моментом импульса** *i*–го тела относительно общей оси вращения системы. А суммируя слагаемые уравнения (6), мы приходим к определяющему уравнению для момента импульса системы тел в виде

$$\mathbf{L}_z = \Sigma_i\ [\mathbf{r}_i\ (m_i\ \mathbf{v}_{\tau i}\ )] = \Sigma_i\ [\mathbf{r}_i\ \mathbf{p}_i\ ]\ .\ (\ 7\ )$$

Сравнение уравнений (2) и (7) показывает, что угловой момент тела и момент импульса вращающейся составной системы друг другу не равны. И уж, во всяком случае, синонимами не являются, как об этом говорится в метрологическом справочнике А.Чертова (1990). Но поскольку их принято обозначать одинаковым символом $\mathbf{L}_z$, то это приводит часто к ложному выводу о том, что угловой момент и момент импульса тела являются синонимами. Поэтому, во-первых, обозначение момента импульса тела должно отличаться от обозначения углового момента дополнительным нижним индексом, например, $\mathbf{L}_{zp}$. И, во-вторых, в каждом случае применения обозначения $\mathbf{L}_z$ следует пояснять, что именно имеется в виду: угловой момент тела или момент импульса тела.

При отсутствии энергообмена движущейся по орбите системы с окружающей средой момент импульса системы тел $\mathbf{L}_{zp}$ постоянен, что приводит к **закону сохранения момента импульса**

$$\mathbf{L}_{zp} = \Sigma_i\ [\mathbf{r}_i\ \mathbf{p}_i\ ] = \text{const.}\ (\ 8\ )$$

Физическое содержание закона сохранения момента импульса системы, состоящей из невращающихся тел, описываемого уравнением (7), заключается в следующем: ***если замкнутая система содержит несколько недеформируемых и не вращающихся вокруг своего центра тел разной массы, движущихся без внешнего сопротивления по орбитам разного радиуса вокруг общего центра с одинаковыми угловыми скоростями, то их суммарный момент импульса не изменяется при изменении масс, касательных скоростей и радиусов кривизны орбит движущихся внутри системы тел***.

Любое вращающееся тело можно представить в виде интегральной суммы вращающихся участков тела. Тогда момент импульса вращающегося тела как целого также определяется по уравнению (7) и называется **собственным моментом импульса** вращающегося тела. В этом случае уравнение (7) можно назвать также **законом сохранения собственного момента импульса** вращающегося тела.

Этот закон показывает, что собственный момент импульса вращающейся системы может являться синонимом углового момента, только если речь идет о системе, которую можно рассматривать как сумму вращающихся подсистем. Если же систему необходимо рассматривать как единое целое, то следует говорить только об угловом моменте системы.

4. Закон сохранения момента импульса системы вращающихся тел.

Если необходимо учесть собственные моменты импульса вращающихся тел, входящих в замкнутую вращающуюся систему, то закон сохранения момента импульса уже не может быть описан уравнением (7). Следует вернуться к рассмотрению уравнения (2) и записать другое уравнение:

$$\mathbf{L}_{zp} = \Sigma_i \left(J_{zi}\, \boldsymbol{\omega}_{\mathrm{II}i} + [\mathbf{r}_i\, \mathbf{p}_i\,]\right) = \mathrm{const}\ ,\ (\ 8\ )$$

где под $\boldsymbol{\omega}_{\mathrm{II}i}$ подразумеваются параллельные $\boldsymbol{\omega}$ компоненты векторов $\boldsymbol{\omega}_i$. А перпендикулярные $\boldsymbol{\omega}$ компоненты векторов $\boldsymbol{\omega}_i$ не вносят свой вклад в суммарный момент импульса вращающейся системы. Уравнение (8) описывает **закон сохранения момента импульса** замкнутой системы с учетом собственных моментов импульса вращающихся тел, составляющих систему.

Наконец, если в орбитальной форме движения в системе, движущейся по орбите с постоянной по модулю касательной скоростью, изменение энергообмена системы с окружающей средой dW равно нулю, то, можно говорить о том, что приращение модуля импульса касательной силы dS_τ

и приращение модуля касательного импульса тела $\mathrm{d}p_\tau$ равны нулю, и на этом основании говорить о **законе сохранения орбитального момента** движущейся по орбите вращающейся системы.
Говорить следует при этом именно о модулях $\mathrm{d}S_\tau$ и $\mathrm{d}p_\tau$, потому что вектор касательной скорости $\mathbf{v}_\tau$, являющийся сомножителем импульса тела, не меняется в данном случае только по модулю. В то же время каждое мгновение касательная скорость $\mathbf{v}_\tau$, а вместе с ней импульс, меняются по направлению. Однако при этом векторное произведение $[\mathbf{r}_i\ \mathbf{p}_i\ ]$ из уравнения (8) остается постоянным как по модулю, так и по направлению.

Закон сохранения момента импульса является **следствием** **закона сохранения углового момента,** который, в свою очередь, является **следствием закона сохранения энергии системы**. Поэтому неверно, когда закон сохранения момента импульса считают основным законом сохранения наравне с законом сохранения энергии. **Следствие не может быть поставлено наравне с причиной, его вызывающей.**

5. В чем состоит различие между моментом импульса тела и импульсом момента?

Момент импульса силы и импульс момента силы являются разными физическими величинами, так как у них разные определяющие уравнения. **Импульс момента силы $\mathbf{S}_M$** определяется уравнением

$$\mathbf{S}_M = \int \mathbf{M}\mathrm{d}t\ .\ (\ 9\ )$$

А элементарный **момент импульса силы** определяется уравнением:

$$\mathrm{d}\mathbf{L}_z = [\mathbf{R}\ \mathrm{d}\mathbf{S}]\ ,\ (\ 10\ )$$

то есть векторным произведением радиуса кривизны траектории **R** на элементарный импульс силы d**S**. В уравнении (10) отсутствуют массы, а элементарный импульс силы d**S** можно определить напрямую через работу сторонних сил.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

3.7. Момент импульса тела и угловой момент – разные физические величины

В современной физике имеет место бессистемность в отношении двух родственных, но различных физических величин: углового момента и момента импульса тела. В деталях это становится понятным из статей, посвященных по отдельности угловому моменту и моменту импульса тела. В данной статье это показано в упрощенном виде. Ниже приведены определяющие уравнения для этих двух разных физических величин.

1. Определяющее уравнение углового момента.

В статье, посвященной **угловому моменту** $\mathbf{L}_z$ тела , вращающегося относительно оси Oz, приведено такое определяющее уравнение углового момента:

$\mathbf{L}_z = J_z\boldsymbol{\omega}$, (1)

где J_z – момент инерции тела; $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость тела.

2. Определяющее уравнение момента импульса тела.

В статье, посвященной **моменту импульса** $\mathbf{L}_z$ системы, состоящей из i тел и вращающейся относительно общей оси Oz, приведено такое определяющее уравнение момента импульса тела:

$\mathbf{L}_{zp} = \Sigma_i\,[\mathbf{r}_i\,(m_i\,\mathbf{v}_{\tau i}\,)] = \Sigma_i\,[\mathbf{r}_i\,\mathbf{p}_i\,]$, (2)

где $\mathbf{r}_i$ – радиус-вектор центра масс i-го тела; m_i – масса i-го тела; $\mathbf{v}_{\tau i}$ – касательная скорость центра масс i-го тела; $\mathbf{p}_i = m_i\,\mathbf{v}_{\tau i}$ – импульс i-го тела. К сожалению, угловой момент и момент импульса тела имеют в современной физике одно и то же обозначение, что обычно и приводит к тому, что эти величины считают синонимами.

3. Терминологическая путаница в отношении углового момента, момента импульса и момента количества движения.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) указано на то, что термин “**угловой момент**” применяется, согласно терминологическому сборнику АН СССР (Вып. 104, 1985), в квантовой механике. Одновременно с этим в том же справочнике говорится о том, что этот термин является синонимом термина “**момент количества движения**”, применяемого, согласно терминологическому сборнику АН СССР (Вып. 102, 1984), в теоретической механике, а также синонимом термина “**момент импульса**”, применяемого в учебниках и справочниках по физике. Уже сам факт ссылок А.Чертова на разные первоисточники говорит о неблагополучии с терминологией. Из приведенных выше различных определяющих уравнений для этих физических величин следует, что эти они синонимами не являются.

В теоретической механике применяется еще один синоним указанных терминов − **кинетический момент** относительно центра или оси вращения. А в квантовой механике применяют **собственный момент импульса** или **спин** вращающейся частицы. Собственный момент импульса электрона и его момент импульса при движении по орбите вокруг ядра атома, называемый **орбитальным механическим моментом**, − это тоже разные физические величины.

Основанием для того, чтобы назвать все эти термины синонимами, по-видимому, служит одинаковая размерность всех указанных физических величин. Но наличие одинаковой размерности еще не говорит об идентичности физического содержания этих величин. Необходима еще идентичность определяющих уравнений, а она, как сказано выше, отсутствует. Поэтому не случайно то, что в современной физике для этих величин применяются различные термины, хотя нередко указывается и то, что эти термины являются якобы синонимами.

Наконец, и это очень важно, не учитывается различие форм движения. Непосредственно к вращательной форме движения относится лишь **угловой момент**, а **момент импульса тела** относится к орбитальной форме движения.

Обозначения обсуждаемых физических величин тоже различны в разных первоисточниках. Справочник А.Чертова (1990) рекомендует для момента количества движения обозначение $\mathbf{M}_0$, а учебники по физике рекомендуют для углового момента и для момента импульса тела одинаковое общее обозначение **L** с добавлением нижнего индекса, указывающего на ось, относительно которой вращается тело.

Подобная путаница, естественно, не способствует правильному усвоению учебного материала, а порою приводит и к неверным выводам.

Литература

1. Сборники рекомендуемых терминов КНТТ АН СССР. Вып. 104, Квантовая механика. Терминология, - М.:, 1985
2. Сборники рекомендуемых терминов КНТТ АН СССР. Вып. 102, Теоретическая механика. Терминология, - М.:, 1984
3. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

3.8. Момент импульса тороидального вихря

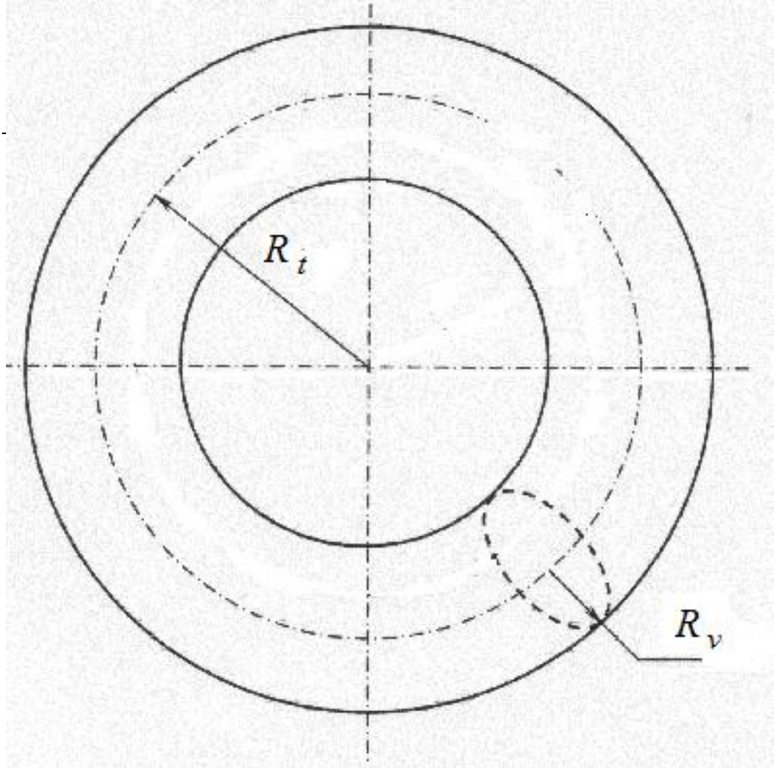
1. Вихреобразование – один из приемов самоорганизации материи.

Анализ разных физических полей взаимодействия показывает, что вихреобразование в них происходит по одной и той же схеме. Образование тороидальных вихрей в полевой среде, состоящей из гравитонов, убедительно проиллюстрировано в работе В.Пакулина (2004).

Образование соленоидальных вихрей с прямой остью симметрии и последующим превращение их в тороидальные вихри имеет место в гидродинамическом пограничном ламинарном слое, что хорошо наблюдается на практике. Такие торообразные вихри получили название «**герпины**», что в переводе на русский язык означает «**веретенообразные**». Астрофизика также представляет в наше распоряжение убедительные свидетельства образования вихрей в гравитационных полях галактик. Эти примеры подтверждают выводы уровневой физики (О.Бондаренко, 2005, В.Пакулин, 2004) о том, что **природа фрактальна, то есть обладает ограниченным числом приемов самоорганизации материи.**

Мы будем опираться на **уровневую модель полевой среды**, разработанную В.Пакулиным (2010). **Эта модель предполагает, что среда любого уровня структуры материи заполнена высокоэнергичными тороидальными вихрями, значительно меньшими по размерам, чем элементарные частицы этой среды.**

Предположение о тороидальности вихрей базируется на **теореме Гельмгольца о вихрях в идеальной жидкости**. Согласно этой теореме **вихревой шнур должен или замыкаться на себя, или оканчиваться на границах жидкости**. Поскольку полевая среда границ не имеет, то,



согласно теореме Гельмгольца, для вихревого шнура остается один вариант – замкнуться в **торообразное кольцо** (**тороид**). В этой связи необходимо детально проанализировать свойства тороидального вихря, как физической структуры, являющейся основой для создания материальных объектов на любом уровне структры материи.

2. Модель простейшего вращающегося тороида.

Рассмотрим простейший вариант тороидального вихря (см. рисунок).

Обозначим радиус **круговой оси** симметрии соленоидального кольца тороида (ядра вихря, керна вихря) символом R_t , а собственный радиус сечения ядра вихря обозначим символом R_v (от английского vortex – вихрь).

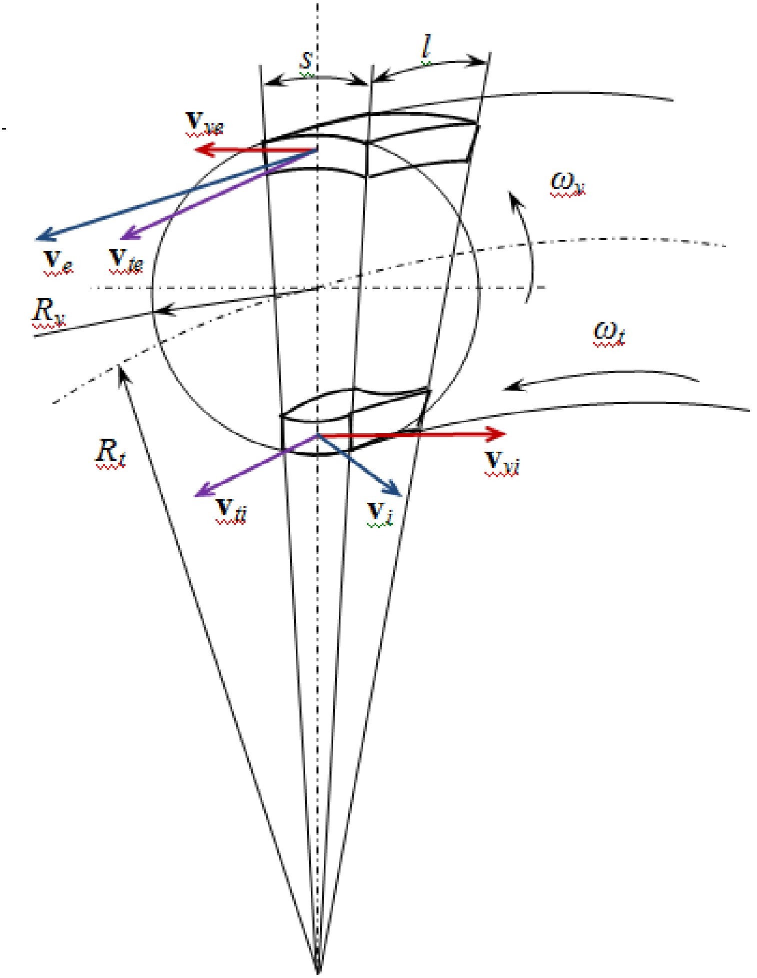
В тороидальном вихре имеют место две вращательные формы движения:

1. **тороидальное вращение** частиц полевой среды, из которых состоит ядро вихря, это вращение происходит относительно круговой оси ядра тороида с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}_v$,
2. **кольцевое вращение** всего тороидального вихря относительно его центральной оси, перпендикулярной плоскости рисунка, с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}_t$.

3. Скорости вращающегося тороидального вихря.

Тангенциальные скорости частиц полевой среды, составляющих тороидальный вихрь, имеют две составляющие, показанные ниже на схеме:
1. **вихревые скорости** $\mathbf{v}_v$ (векторы этих скоростей лежат в плоскости рисунка и обозначены красным цветом), их значения растут линейно от нуля на круговой оси ядра вихря до поверхности ядра вихря с радиусом R_v , поскольку

ядро вихря согласно теории Гельмгольца вращается вокруг своей круговой оси подобно твердому телу.



2. **кольцевые скорости $\mathbf{v}_t$** (векторы этих скоростей перпендикулярны плоскости рисунка и обозначены фиолетовым цветом), их значения растут линейно от нуля на центральной оси тороида до текущего значения (при их расчете следует учитывать радиус тороида R_t).

Модуль вихревой скорости $\mathbf{v}_v$ при текущем значении радиуса r_v , откладываемого от оси ядра вихря, при $r_v = R_v$ равен

$$v_v = R_v \, \omega_v \, . \quad (1)$$

Если считать полевую среду, окружающую ядро вихря, вязкой, то при $r_v > R_v$, то есть в присоединенном к ядру вихря пограничном слое полевой среды, модули вихревых скоростей в пограничном слое v_{vb} (от английского boundary layer – **пограничный слой**) быстро уменьшаются пропорционально ($1/r_v$). Простой расчет приводит к уравнению для определения модуля вихревой скорости в присоединенном пограничном слое:

$v_{vb} = (R_v^2/r_v)\,\omega_v$. (2)

Вырежем с помощью конуса прямоугольного поперечного сечения с центром на оси тороида два участка вихря одинаковой бесконечно малой толщины, очерченные на рисунке жирными линиями. У этих участков будут отличаться друг от друга ширина s и длина l. Отношение объёма внешнего участка V_e (от английского external − внешний) к объёму внутреннего участка V_i (от английского inside − внутренний) будет равно

$V_e/V_i = l_e\,s_e/l_i\,s_i = [(R_t + R_v)/(R_t - R_v)]^2$. (3)

Согласно уравнению непрерывности отношение модулей средних линейных скоростей этих двух участков с учетом уравнения (1) равно отношению угловых скоростей. И оно должно быть обратно пропорционально отношению объёмов V_e/V_i , следовательно:

$v_{ve}/v_{vi} = \omega_{ve}/\omega_{vi} = [(R_t - R_v)/(R_t + R_v)]^2 = [(1 - R_t/R_v)/(1 + R_t/R_v)]^2$. (4)

Уравнение (4) указывает, во-первых, на то, что касательные скорости одних и тех же частиц ядра вихря тороида меняются при вращении ядра вокруг собственной оси, следовательно, меняются и угловые скорости вращения с частотой $f_v = 2\pi\omega_v$. Во-вторых, из уравнения (4) следует, что основным конструктивным параметром тороида является отношение радиусов (R_t/R_v). Суммарные линейные скорости частиц полевой среды, обозначенные на рисунке синим цветом, изменяются в течение одного оборота частицы ядра вихря достаточно причудливым образом, зависящим от отношения (R_t/R_v).

Момент импульса тороидального вихря относительно центральной оси можно определить по уравнению

$\mathbf{L}_z = \Sigma_i\, J_{zi}\,\boldsymbol{\omega}_i$, (5)

где J_{zi} – **момент инерции** i-ой частицы полевой среды; $\boldsymbol{\omega}_i$ – угловая скорость i-ой частицы относительно центральной оси вращения, в данном случае, оси Oz. Моментом инерции частицы является физическая величина I_φ , названная в статье, посвященной обобщению второго закона Ньютона, **вращательной инертностью**. И тогда определяющее уравнение для момента импульса $\mathbf{L}_z$ частиц можно записать так:

$\mathbf{L}_z = \Sigma_i I_\varphi \boldsymbol{\omega}_i$, (6)

4. Энергия движения тороидального вихря.

Суммарная энергия E_Σ прямолинейно движущейся и одновременно вращающейся торообразной частицы состоит из **кинетической энергии прямолинейного движения** E_l частицы, **кинетической энергии кольцевого вращения** тороидального вихря E_{tor} вокруг центральной оси симметрии и **кинетической энергии вращения свернутого в круг соленоидального вихря** E_{vor} вокруг оси ядра вихря. Таким образом, суммарная энергия E_Σ тороидального вихря определяется уравнением

$E_\Sigma = E_l + E_{tor} + E_{vor}$. (7)

<u>Изменение кинетической энергии вращения</u> ΔW_k определяется уравнением:

$\Delta W_k = J_z \Delta(\omega^2)/2$. (8)

Поскольку при образовании тороидального вихря речь идет об изменении кинетической энергии **от нуля до образования энергии кольцевого вращения и энергии тороидального вращения**, то вместо изменения энергии ΔW_k можно поставить энергию вращательного движения E_{tor} либо E_{vor} , а вместо изменения квадрата угловой скорости $\Delta(\omega^2)$ поставить квадрат угловой скорости ω^2.

Момента инерции J_z , зависящего от массы, тороидальный вихрь может не иметь. Поэтому вместо него введем вращательную инертность кольцевого вращения вихря I_{tor} и вращательную инертность свернутого в круг ядра вихря I_{vor} . В итоге вместо уравнения (8) получим два уравнения:

$E_{tor} = I_{tor}\, \omega_{tor}{}^2/2$ (9)

и

$E_{vor} = I_{vor}\, \omega_{vor}{}^2/2$. (10)

Практические расчеты значений трех слагаемых уравнения (7) показывают, что ($E_{tor} + E_{vor}$) >> E_l . Это означает, что основное количество энергии вращающегося тороидального вихря сосредоточено внутри самого вихря. Другими словами, **энергия вращающегося тороидального вихря практически равна энергии покоя движущегося тороидального вихря. Поэтому природа использует для хранения своей потенциальной энергии именно тороидальные вихри на любом уровне структуры материи. Современная физика не акцентирует внимание на этом основополагающем обстоятельстве.**

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, а также Структура материи. 2004 – http://www.valpak.narod.ru

3.9. Собственный момент импульса системы в роли спина

1. Что подразумевается под собственным моментом импульса частицы?

В научной литературе иногда применяется мало понятный термин "**собственный момент импульса**", причем применяется он, как правило, как **момент импульса элементарной частицы, а не тела**. При этом в Википедии говорится, что он "*имеет квантовую природу и не связан с перемещением частицы как целого*". Все эти признаки полностью соответствуют моменту импульса рассмотренного в отдельном разделе тороидального вихря. Чаще всего, однако, момент импульса тороидального вихря в литературе называют **спином**. Одно из значений слова spin на английском языке - **запускать волчком**, что близко к физическому содержанию тороидального вихря.

Спин, как любой момент импульса, является векторной величиной. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) спин обозначают символом $\mathbf{M}_s$, где нижний индекс "$_s$" указывает на слово "spin". Но обозначение $\mathbf{M}_s$ следует признать неудачным, так как символом **M** в физике обозначают вращающий момент, то есть величину с совершенно другим физическим содержанием. Поэтому спин следует обозначать, как и любой момент импульса, символом $\mathbf{L}_s$, где индекс "$_s$" указывает на то, что момент импульса относится к спину.

В Википедии написано: «*Спин измеряется в единицах ħ (приведенных постоянных Планка, или постоянных Дирака) и равен ħJ, где J - характерное для каждого сорта частиц целое (в том числе нулевое) или полуцелое положительное число - так называемое спиновое квантовое число, которое обычно в физике называют просто спином (одно из квантовых чисел)*".

Совершенно очевидно, что называть безразмерное спиновое квантовое число *J* и постоянную Планка *ħ*, имеющую размерность, одним и тем же термином недопустимо, это одно из проявлений понятийной бессистемности в физике.

В качестве векторной величины спин в соответствии с вышеприведенным определением из Википедии определяется уравнением

$\mathbf{L}_s = \pm J\,\mathbf{ħ}$, (1)

в котором редуцированная постоянная Планка *ħ* определяется уравнением

$ħ = h/2\pi$. (2)

где h − постоянная Планка. Причина, по которой сомножители *ħ* и *J* в уравнении (1) переставлены местами по сравнению с определением из Википедии, поясняется в разделе , посвященном единицам безразмерных величин. Там указано, что редуцированная постоянная Планка *ħ* является внесистемной единицей для модуля спина L_s , а единица должна стоять после определяемой ею величины.

Обозначение редурированной постоянной Планка в уравнении (1) в виде векторной величины **ħ** выглядит непривычно, но собственный момент импульса $\mathbf{L}_s$ является векторной величиной, а спиновое число *J* - безразмерная скалярная величина. В дополнение к этому напомним, что **постоянная Планка считается квантом физической величины "действие".** И в разделе , посвященном физическому содержанию величины "действие", показано, что действие **H** является векторной величиной. **Следовательно, вектором является и квант действия, то есть постоянная Планка ħ.**

Физическое содержание постоянной Планка h подробно разъясняется в разделе, посвященном числу структурных элементов в физике. Там поясняется, что редуцированная постоянная Планка $\hbar$ является математической интерпретацией постоянной Планка h при применении метода векторных диаграмм. Поэтому **сама редуцированная постоянная Планка $\hbar$, в отличие от постоянной Планка h, физического содержания не имеет.**

2. Спиновое число и спин - разные физические величины.

Спиновое число J зависит от взаимного расположения составных частей элементарной частицы. Из уравнения (1) следует, что

$J = \pm L_s / \hbar$. (3)

В соответствии с терминологией, разъясняемой в разделе, посвященном теории подобия, спиновое число J является **константой подобия**, базовой физической величиной которой является редуцированная постоянная Планка $\hbar$.

Во многих справочниках и энциклопедиях под термином "спин" понимается спиновое число. Это же следует из цитаты из Википедии, приведенной выше. **То есть термин "спин" просто заменяет термин "спиновое число", сокращая его. Из приведенных выше уравнений и определений совершенно ясно, что такая замена с целью сокращения термина неверна.** Физиков подобная неточность не смущает, она вошла в их профессиональный сленг. Нечто подобное происходит с авиаторами, когда они говорят, что летательный аппарат движется со скоростью в "два Маха", подразумевая под этим, что критерий подобия "число Маха" равно 2. Но этот сленг приводит иногда к недопониманию физического содержания.

Спин L_s , как собственный момент импульса, имеющий свои размерность и единицу, нельзя смешивать с безразмерной константой подобия J под названием "**спиновое квантовое число**", имеющей размерность 1, как это сплошь и рядом делают в современной физике. Двуликость термина противопоказана, и об этом надо постоянно напоминать при преподавании.

3. Почему спин нельзя считать угловым моментом частицы?

Слово "**спин**" в переводе с английского языка "spin" означает "**вертеться вокруг собственной оси**". Действительно, первоначально электрон представляли как волчок или юлу и, соответственно, спин электрона считали собственным угловым моментом электрона. Однако в разделе об угловом моменте говорится о том, что эта величина характеризует вращение твердого тела как целого. Представление об электроне как о волчке привело к ряду противоречий, и от этой модели электрона физики отказались. Но спин, свойственный именно волчку, продолжили считать неотъемлемым внутренним свойством элементарных частиц, имеющим квантовый характер.

В настоящее время появилось много новых разных моделей элементарных частиц, позволяющих по-новому взглянуть на физическое содержание спина. Большинство этих моделей исходит из вихревой природы элементарных частиц. Согласно наиболее развитой вихревой модели материи в работах В.Пакулина (2004, 2011), представленной в разделе об элементарном электрическом заряде, даже **простейшие элементарные частицы состоят из тороидальных вихрей.** Как показано в разделе о природе физического поля, движение элементарных частиц происходит в **полевой среде** (термин, широко используется в работе О.Репченко, 2008), заполненной **тороидальными вихрями**, вращение которых определяется их собственным моментом импульса.

Предположение о тороидальной форме вихрей базируется на теореме Гельмгольца о вихрях в текучей среде. Согласно этой теореме вихревой шнур любой формы должен либо замыкаться на себя, либо оканчиваться на границах среды. Поскольку полевая среда безгранична, то, согласно теореме Гельмгольца, для вихревого шнура любой первоначальной конфигурации остается один вариант − замкнуться в торообразный вихрь (**тороид**). **Такая первичная элементарная частица, как нейтрино, является подобным тороидальным вихрем. Фотон, электрон и позитрон состоят из нейтрино, объединенных по разным принципам**. Со своей стороны, **электроны, позитроны и нейтрино являются составными частями протонов, нейтронов и других элементарных частиц.**

В разделе о тороидальном вихре показано, что не следует говорить только о вращательной форме движения частиц ядра вихря при тороидальном вращении, потому что имеет место еще и **орбитальная**

форма кругового движения самого ядра вихря при кольцевом вращении. Поэтому такая сложная система, как тороидальный вихрь, должна быть охарактеризована именно моментом импульса, а не угловым моментом.

4. Спин электрона.

В справочнике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) спин электрона обозначается символом $\mathbf{L}_{es}$ и направлен под углом к направлению вектора напряженности магнитного поля вещества (магнитной индукции **B**). Модуль спина электрона определяется в этом справочнике по уравнению

$L_{es} = (\sqrt{3})\hbar/2$. (4)

В том же справочнике модуль проекции спина электрона L_{esB} на направление вектора магнитной индукции **B** определяется по уравнению:

$L_{esB} = \pm\, \hbar\, J_e$, (5)

аналогичному уравнению (1) с переставленными сомножителями, где J_e – спиновое число электрона, равное 1/2.

Следует также обратить внимание на то, что спиновое число электрона J_e в уравнении (5) определяет модуль проекции спина L_{esB} на направление вектора магнитной индукции **B**, а не модуль самого спина L_{es} . Согласно уравнению (4) для расчета модуля спина электрона необходим еще числовой коэффициент, равный √3. Это еще раз доказывает, что **термины спин и спиновое число идентифицировать не следует.**

5. Размерность и единица спина и спинового числа.

Размерность и единица спина, как момента импульса, в СИ равна L^2MT^{-1}, а единица − кг м^2 с$^{-1}$. В системе величин ЭСВП размерность момента импульса равна $EA^{-1}T$, а единица − Дж об$^{-1}$ с. Это соответствует уравнению (1), так как размерность редуцированной постоянной Планка $\hbar$ в ЭСВП также равна $EA^{-1}T$. А спиновое число J является константой подобия, и поэтому его размерность равна 1.

Размерность постоянной Планка h в системе величин ЭСВП отличается от таковой в СИ, что подробно разъяснено в разделах о числе структурных элементов и о количестве считаемых величин, она равна ЕС$^{-2}$Т. А единица постоянной Планка *h* равна Дж с cnt^{-2} (cnt - предварительное название единицы количества считаемых величин, международное название еще не установлено). Числом структурных элементов (количеством считаемых величин) с единицей cnt является в данном случае число элементарных частиц. Как показано в разделе, посвященном интерпретации числа 2π при использовании метода векторных диаграмм, в уравнении (2) число 2π имеет свою размерность АС$^{-1}$ и свою единицу об cnt^{-1}.

Поскольку спиновое число является критерием подобия, оно относится к группе величин с размерностью 1. О размерностях и единицах критериев подобия рассказывается в разделе о "безразмерных величинах".

Литература

1. Пакулин В.Н., 2011, Развитие материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НПО "Стратегия будущего", 121 с.
2. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru
3. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерия, 320 с.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

3.10. Виды энергии и центробежные силы при движении по орбите

1. Виды энергии при движении по орбите.

При равномерном движении по орбите тело обладает **потенциальной энергией вращения**, приобретенной им при ускорении от неподвижного состояния до состояния равномерного движения. Потенциальную энергию вращения тела можно определить либо в зависимости от жесткости упругой связи с центром вращения, либо по силе тяготения в гравитационном поле, либо по кулоновской силе в электромагнитном поле.

Кинетическая энергия тела, движущегося по орбите, определяется по его касательной скорости v_τ , она равна $mv_\tau^2/2$. Кинетическая энергия тела выделяется при столкновении с преградой, в этом случае она переходит в энергию диссипации.

Если движущееся тело удерживается на орбите упругой связью и в какой-то момент эта связь исчезает, то центробежная сила инерции заставляет тело двигаться в радиальном направлении. И тогда потенциальная энергия вращения переходит в кинетическую энергию радиального движения тела. Причем тело можно считать движущимся прямолинейно только в полярной системе координат, а в ортогональной системе координат тело движется по спирали.

2. Центробежные силы, действующая на тело при движении по орбите.

Будем различать силы, перпендикулярные к траектории движения тела и касательные к ней. Все прочие силы, действующие на тело при его движении по орбите, можно разложить по этим двум направлениям. Соответственно, силы, направленные касательно к траектории движения, можно называть **касательными силами**. А силы, направленные к центру кривизны траектории или от центра кривизны, можно называть **центральными силами**. **К центральным силам относятся силы физического поля (силы тяготения или кулоновские силы), силы упругой связи, центробежные силы инерции, радиальные составляющие обобщенных сил Кориолиса и Лоренца.**

При равномерном движении тела по круговой орбите существует баланс центральных сил, при котором их геометрическая сумма равна нулю. Для того, чтобы тело не двигалось в радиальном направлении, **центробежная сила инерции** должна быть равна и противоположна по знаку сумме прочих центральных сил, действующих на тело. Нарушение баланса центральных сил может быть вызвано любыми сторонними силами (в частности, силами внешнего трения об окружающую среду).

Для отдельных частей вращающегося тела или системы тел центральными силами являются **силы упругой связи**. Появление сторонних касательных сил обусловливает в этом случае возможность возникновения во вращающейся системе деформаций изгиба. Если же сторонние касательные силы распределены по всему сечению вращающегося тела, то они обусловливают возможность возникновения деформаций кручения.

3. Энергия при движении тела по некруговой орбите.

При движении тела по эллиптической или, в общем случае, некруговой орбите переменны и радиус кривизны **R**, и касательная скорость $\mathbf{v}_\tau$. Значит, возникают и касательное, и нормальное ускорения тела. Однако с учетом закона сохранения момента импульса (при отсутствии диссипации) изменения касательной скорости и радиуса кривизны обратно пропорциональны. Таким образом, **полная энергия движущегося по орбите тела сохраняется, а потенциальная и кинетическая энергии попеременно переходят друг в друга.** Консервативное движение тела по эллиптической орбите не выходит за рамки равновесного состояния движущегося тела с точки зрения полной энергии движущегося тела.

Рассмотрим, например, вариант с приближением тела к центру кривизны орбиты. Если центральная сила является силой тяготения, то уменьшение радиуса, увеличивающее силу тяготения, происходит одновременно с возрастанием касательной скорости движения по орбите, увеличивающей центробежную силу инерции.

При возникновении диссипации наступает переходный процесс, при котором наблюдается переход кинетической энергии движения тела по орбите в равное количество потенциальной энергии вращения и наоборот, что занимает какое-то время. Это может привести, в частности, к возникновению колебаний модуля касательной скорости. В любом случае наличие диссипации приводит к изменению баланса центральных сил и к неравномерности движения.

3.11. Сила Кориолиса

Как возникает сила Кориолиса.

Приведем рисунок, поясняющий возникновение дополнительных ускорений как в радиальном, так и в касательном направлениях при неравномерном движении тела по орбите, что описано в разделе,

посвященной ускорениям при движении по орбите. В механике их объединяют общим названием **кориолисовы ускорения**.

Дополнительные ускорения приводят к дополнительным силам инерции, которые называют в физике **силами Кориолиса**.

Касательная сила Кориолиса определяется касательным кориолисовым ускорением, а **нормальная сила Кориолиса** определяется нормальным кориолисовым ускорением и направлена перпендикулярно плоскости орбиты.

Касательная сила Кориолиса векторно суммируется с касательной силой инерции, в результате чего последняя изменяется по модулю. Нормальное и касательное кориолисовы ускорения лежат в разных плоскостях, поэтому суммарное кориолисово ускорение тоже не находитя в плоскости орбиты. Оно определяет **обобщенную силу Кориолиса**.

В справочниках и учебных пособиях приводятся лишь частные примеры проявления действия силы Кориолиса. Например, рассматриваются нормальные силы Кориолиса при полете тел в широтном направлении или касательные силы Кориолиса при течении рек в меридиональном направлении. Эти примеры не дают возможности осознать в полном объёме общую картину проявления **обобщенной силы Кориолиса**. О ней, как правило, вообще не упоминается. Достаточно полно о силе Кориолиса расказывается в монографии О.Репченко (2008).

Влияние сил Кориолиса на изменения скоростей и ускорений при неравномерном движении по орбите.

Изменение касательной силы $\mathbf{F}_\tau$, воздействующей на тело при движении по орбите, вызывает последовательно изменение момента этой силы, касательной скорости $\mathbf{v}_\tau$, угловой скорости $\boldsymbol{\omega}$ поворота радиуса кривизны **R** и углового ускорения $\boldsymbol{\varepsilon}$. Это приводит к изменению касательного ускорения $\mathbf{a}_\tau$ и к изменению девиации касательной скорости $\mathbf{d}_\tau$, поясняемой в разделе, посвященном производным от касательной скорости.

Касательное ускорение $\mathbf{a}_\tau$ приводит к появлению противодействия инертности в виде касательной силы инерции, а изменение девиации $\mathbf{d}_\tau$ приводит к появлению дисбаланса центральных сил, действующих на тело, то есть таких сил, которые коллинеарны радиусу кривизны **R**. Следствием появления этого дисбаланса является изменение радиуса кривизны **R**. При этом изменяется нормальная скорость $\mathbf{v}_n$, перпедикулярная орбите.

Как следствие появляется касательное кориолисово ускорение $\mathbf{a}_{k\tau}$, описанное в разделе, посвященном ускорениям при движении по орбите. Вместо радиуса кривизны **R** в определяющих уравнениях появляется сумма ($\mathbf{R}$ + d$\mathbf{R}$), а вместо угловой скорости $\boldsymbol{\omega}$ появляется сумма ($\boldsymbol{\omega}$ + d$\boldsymbol{\omega}$). Вместо углового перемещения радиуса кривизны d$\boldsymbol{\varphi}$ появляется сумма (d$\boldsymbol{\varphi}$ + d$\boldsymbol{\varphi}_1$), указывающая на появление в течение переходного процесса дополнительного углового перемещения радиуса кривизны d$\boldsymbol{\varphi}_1$.

Разумеется, все эти причины и следствия появляются одновременно, но каждое из них обусловливает появление других. Поэтому приходится решать сложную систему уравнений векторной алгебры с несколькими неизвестными.

Влияние нормальной силы Кориолиса при равномерном движении по орбите.

При равномерном движении по круговой орбите, как показано в разделе об ускорениях при движении по орбите, все ускорения равны нулю, кроме нормального кориолисова ускорения. И это приводит к тому, что тело стремится уйти в сторону от плоскости орбиты.

Самый известный пример этого явления наблюдается при течении рек вдоль меридиана. Частицы воды стремятся уйти в сторону от той меридиональной плоскости, в котрой течет река, и при этом подмывается один из берегов реки. Какой именно берег, зависит от того, в какую сторону течет река: с севера на юг или наоборот.

Влияет нормальная сила Кориолиса и на поведение самолета, летяшего в направлении меридиана, и это учитывается при полете.

Дополнение Юсупа Хизирова о влиянии силы Кориолиса на водовороты

Юсуп Хигиров. Кафедра океанологии СПбГУ (25.04.2015).
Одним из проявлений силы Кориолиса в природе является формирование водоворотов, циклонов и антициклонов. И, чтобы в полной мере проявилась сила Кориолиса, должна произойти разбалансировка линейной и угловой скорости как относительно оси Земли, так и относительно оси Солнца. Сила Кориолиса также зависит от наклона оси Земли к плоскости орбиты Земли. Без учета орбитального вращения Земли и наклона оси Земли сила Кориолиса, останется в науке как декорация, бесполезная для научно-практического применения, и как задача для развития мышления у школьников. При кажущейся простоте сила Кориолиса крайне трудна для восприятия. И объективно изучать и анализировать её без макета Солнечной системы невозможно.

Воды озер, морей и океанов северного полушария вращаются против часовой стрелки, а воды южного полушария вращаются по часовой стрелке, образуя гигантские водовороты. А все что вращается, в том числе и водовороты, обладают свойством гироскопа (юлы) сохранять вертикальное положение оси в пространстве независимо от вращения Земли. Если смотреть на Землю со стороны Солнца, водовороты вращаясь вместе с Землей опрокидываются два раза в сутки, благодаря чему водовороты прецессируют (1-2 градуса) и отражают от себя приливную волну. Воды Белого моря вращаются против часовой стрелки, образуя огромный водоворот-гироскоп, прецессируя отражающий приливную волну по всему периметру Белого моря. Аналогичная схема приливов и отливов наблюдается во всех озерах, морях и океанах.

Приливную волну реке Амазонка создает огромный планетарный водоворот диаметром несколько тысяч км, вращающийся между Южной Америкой и Северной Африкой, охватывая и устье реки Амазонка. Ширина приливной волны зависит от диаметра водоворота. Высота приливной волны зависит от скорости опрокидывания водоворота (за 12часов) и скорости вращения водоворота. А скорость вращения водоворота зависит от силы Кориолиса, от осевой и орбитальной скорости Земли и от наклона оси Земли. Роль Луны косвенная, это создание неравномерной орбитальной скорости Земли..

Воды Средиземного моря вращаются против часовой стрелки, образуя приливы высотой 10-15 см. Но в заливе Габес, что у побережья Туниса, высота приливов достигает трех метров, а порой и больше. И это считается одной из загадок природы. Но в тоже время в заливе Габес вращается водоворот, прецессируя отражающий дополнительную приливную волну. Внутри постоянных океанических и морских водоворотов вращаются небольшие постоянные и непостоянные вихри и водовороты, создаваемые впадающими в бухты реками, очертанием берегов и местными ветрами. И от скорости и направления вращения небольших прибрежных водоворотов зависит календарь, амплитуда и количество приливов и отливов в сутки.

Водоворотную гипотезу приливов легко проверить по связи высоты приливной волны со скоростью вращения водоворотов. По высоте приливной волны можно определять местонахождение водоворотов. Как правило, положительные отзывы к гипотезе пишут мыслители, знающие о противоречиях в Лунной теории приливов и отливов, обладающие углубленными знаниями небесной механики и свойств гироскопа.

Литература

1. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или как устроен Мир? Изд. 2-е. - М..: Галерия, 320 с.

4. Систематизация зарядов поля и потоков зарядов

4.1. Краткий анализ представлений о природе физического поля

1. Вопросы о природе физического поля, на которые нет ответа.

Общепринятого ответа на вопросы, что такое **физическое поле**, что такое **заряды поля**, какова природа взаимодействия **заряженных систем** в физическом поле, в настоящее время нет. Является ли физическое поле частью материи, как это нередко можно прочесть, или это **система уравнений, описывающая <u>состояние среды</u>, в которую погружены заряженные системы?**

Еще более спорным является вопрос, что из себя представляет среда, для которой выведена эта система уравнений. Является ли она непрерывной или дискретной или вообще отсутствует, а взаимодействие заряженных систем осуществляется частицами-переносчиками взаимодействия.

Нет пока общепринятого ответа на вопросы, каково строение элементарного заряда электрического поля, и в чем состоит различие между гравитационным и электрическим зарядами, взаимодействия которых подчиняются аналогичным закономерностям.

В настоящем разделе очень кратко описана история развития взглядов на эти проблемы и указаны наиболее интересные, на взгляд И. Когана, мнения современных ученых, не связывающих себя официальной точкой зрения.

2. Соревнование рационализма и формализма при описании поля.

История развития представлений об указанных проблемах описана во введении к чрезвычайно содержательным, по мнению И. Когана, работам В.Пакулина (2004, 2010). Она описана как борьба **рационализма** (**<u>рационально-физического метода описания окружающего мира</u>**) и **формализма** (**<u>формально-математического метода</u>**). Эта история иллюстрируется убедительным графиком, на котором в произвольном масштабе по оси ординат указано количество работ **рационалистов (выше оси времени)**, и количество работ **формалистов (ниже оси)**. Приведены также имена наиболее выдающихся представителей обоих направлений.

Под **формализмом** понимается примат описания физических явлений средствами математики, опирающейся на законы формальной логики, стремление подтвердить выводы математических теорий экспериментальными данными и пренебрежение теми данными, которые эти выводы не подтверждают. Примечательна в этом плане цитата из известных лекций Р.Фейнмана: "***Полей не существует. Вы же не можете потрогать магнитное роле руками. Поле − это всего лишь математические функции координат и времени***".

Под **рационализмом** понимается опора на опыт, поиск в явлениях их физического содержания, использование математики как вспомогательного средства, описывающего, а не предписывающего правила поведения физических объектов. Рационализм в физике опирался и опирается на **вращательную (вихревую) природу** движения материи, в том числе, **на вихревую природу объектов физических полей, и на существование реальной среды, в которой осуществляется это движение.** Судя по приведенному выше графику и по фактическому всплеску количества работ физиков-рационалистов, **наше время является началом очередной эпохи рационализма**.

Как и полагается при борьбе идей, в период господства одного направления предаются остракизму сторонники другого направления. В XX веке работы рационалистов стали объявляться официальными научными органами "лженаукой". Во всяком случае это характерно для Российской Академии наук. Наглядным примером борьбы с "лженаукой" является травля в 60-80-х годах XX века выдающегося ученого А.Вейника, труды которого положили начало развитию нового научного направления – энергодинамики. Но история XX века научила быть осторожным в выводах по поводу лженауки, помня историю с травлей кибернетиков и генетиков в СССР. С последнего десятилетия XX века работы рационалистов в связи с развитием Интернета заглушить уже стало невозможно. Но пробиться им с публикациями в российские академические журналы пока еще удается с трудом, что вредит больше академическим журналам, чем самим рационалистам, к чьим услугам имеется интернет.

3. Связь природы физического поля с природой среды.

Среду, в которой существует электромагнитное поле, называют по-разному. Сначала ее называли **эфиром**, но физика XX века, заменившая феноменологические представления об эфире математическими описаниями пустого пространства-времени, отказалась от понятия об эфире, заменив его понятием **физический вакуум**. Но свойства физического вакуума таковы, что они ничем практически не отличаются от свойств эфира. Например, А.Акимов и Г.Шипов (1996), резко критикуемые современной официальной наукой, оставляют в силе понятие о физическом вакууме, но наделяют его свойствами реальной среды. В.Ацюковский (2003) решительно возвращается к понятию эфира, обладающего свойствами вязкого сжимаемого газа. В.Пакулин (2007, 2010) утверждает, что "***эфир, поле, физический вакуум*** ***– это игра словами для обозначения одной и той же сущности***". О.Репченко (2005) обходит "игру терминами", применяя для среды, в которой существует физическое поле, понятие **полевая среда**. Но суть одна и та же, разница лишь в различных моделях объектов поля и в различных терминах.

Процесс систематизации физических величин привел И. Когана также к выводу о том, что **только представление о наличии реальной полевой среды, неравновесность которой определяется системой уравнений соответствующего среде физического поля, позволяет логично и обоснованно выстроить систему естественных физических величин.**

4. Трактовка природы среды и поля сторонниками уровневой физики.

На стыке XX и XXI веков появилось новое научное направление, называемое **уровневой физикой**, которое совершенно по-новому трактует вопрос о природе среды. С.Кадыров и О.Бондаренко (2000, 2005), а вслед за ними В.Пакулин (2007, 2010), развили представление об **уровневой структуре материи.**

Прежде всего, **среду и поле не следует приравнивать друг другу**. **Среда - это физическая реальность, а поле – это система математических уравнений, т.е. математическая модель среды** . Во-вторых, **материя состоит из нескольких уровней, и на каждом уровне – своя среда и поле, соответствующее этой среде**. Поэтому **название уровне должно отражать физическое содержание среды, а не свойства поля.**

Уровни отличаются друг от друга размерами материальных частиц, составляющих среду, причем различие между уровнями по этому показателю определяется несколькими порядками. Уровневая физика предполагает, что имеется какой-то предел делимости частиц материи. Уровень, на котором достигнут этот предел делимости, считается самым высоким. Чем ниже уровень, тем больше размер частиц и меньше их энергия связи. Более высокие уровни вложены в менее высокие, но из-за большого различия частиц по размеру и энергии связи, среды на разных уровнях между собой не взаимодействуют. **В среду каждого уровня вложены среды всех более высоких уровней. Назовем это принципом вложенности сред.**

В.Пакулин называет уровень, на котором среду называют эфиром или физическим вакуумом, словами "электромагнитное поле", хотя не следовало бы называть уровень структуры материи именем поля. Он считает, что гравитационное поле является частным случаем электромагнитного поля. Этот же подход развивается в работе И.Мисюченко (2009). Хотя не исключено, что гравитационное поле существует в среде другого уровня и что электрический заряд и гравитационный заряд имеют разную природу. По поводу природы гравитационного поля выдвигают свои гипотезы многие ученые.

5. Как трактуется пустое пространство, дискретность и непрерывность?

Некоторые современные представители рационализма отрицают наличие пустоты в мировом пространстве, **считая пространство сплошной средой** (например, В.Ацюковский, 2003). Ответ на этот вопрос в значительной степени зависит от того, считать ли число уровней материи бесконечным или, другими словами, признавать ли бесконечную делимость элементарных частиц.

В.Пакулин (2007, 2010) полагает, что **число уровней конечно, и самый высокий уровень называет праматерией.** А.Вильшанский (2015), также являющийся сторонником уровневого строения материи, считает, что делимость элементарных частиц бесконечна, хотя и не отрицает возможности существования предела этой делимости. Он утверждает: "*Пространство не является пустым, так как в любой момент времени и в любом месте в данной сколь угодно малой области пространства с вероятностью, равной единице, всегда найдется хотя бы одна сколь угодно малая частица, находящаяся на некотором расстоянии от других таких же частиц*". Иными словами, **пространство в целом заполнено материальными объектами, но между этими объектами существует пусть очень малый, по пустой промежуток.**

О принципиальной необходимости наличия пустого промежутка между частицами говорит и С.Г.Ким (2015). **Каждая частица дискретна по своей природе, поэтому и мир является дискретным. Непрерывными являются лишь математические функции, оперирующие среднестатистическими значениями физических величин. Непрерывные функции описывают изменение в пространстве интенсивных величин: температуры, давления, плотности, концентрации.**

6. Взгляды на природу зарядов физического поля.

Модели электрических зарядов у разных авторов существенно отличаются друг от друга. Во многих научных работах еще господствует сферическая модель структуры электрона, хотя всё чаще встречаются модели элементарных частиц, включая электрон, в виде **вихреобразного тороида или комбинации таких тороидов** (В.Пакулин, 2007, 2010, С.Г.Ким, 2015). Если относительно структуры электрического заряда существуют более или менее понятные модели, то относительно структуры гравитационного заряда существуют достаточно различающиеся между собой представления. Особенно много неясности в отношении элементарных частиц в микромире ввиду того, что их инертные свойства связаны скорее с импульсом, чем с массой. Если рассматривать вращающийся тороид, то следует учитывать, что он имеет **три вида кинетической энергии (одну для прямолинейного движения и две – для вращательного движения)**,

Нет пока ясности в отношении полей сильных и слабых взаимодействий, поскольку сила взаимодействия в данном случае не соответствует так называемому **закону обратных квадратов**. В.Ацюковский (2003), В.Пакулин (2007, 2010), О.Репченко (2005) полагают, что сильные и слабые взаимодействия имеют гидродинамическую природу и являются взаимодействиями оболочек вихрей полевой среды. Заряды электромагнитного и гравитационного полей классифицированы в предлагаемой И. Коганом классификации зарядов.

Данная работа посвящена проблемам систематизации физических величин. За неимением пока достоверно экспериментально проверенных моделей зарядов систем, являющихся источниками физического поля, И. Коган предлагает ограничиться тем, **что заряд системы является материальным объектом, формирующим в окружающей его среде физическое поле,** не углубляясь во внутреннюю структуру заряда. Единственное, о чем можно сказать с высокой степенью вероятности, так это то, что **единичные заряды являются вращающимися системами**. В этом И. Когана убеждает такое свойство единичного заряда, как обязательное наличие у него двух знаков: положительного и отрицательного. Ведь два противоположных направления вращения имеются в природе у двух одновременно возникающих вихрей.

Формализм физики XX века привел к преподаванию физики на базе исторического метода, с изложением физики с опорой на модели, возникавшие в хронологическом порядке, в том числе, и на модели, потерявшие свою актуальность. У данной работе **описание физических величин поля производится в последовательности, строго соответствующей принципу причинности.** В том числе, и тогда, когда это не совпадает с формой и содержанием ранее установленных закономерностей. Кроме того, И. Коган считает более полезным при преподавании дедуктивный метод. Так что читатель может познакомиться с предлагаемой И. Коганом новой методикой преподавания электромагнетизма.

Литература

1. Акимов А.Е., Шипов Г.И., 1996, Торсионные поля и их экспериментальные проявления. – “Сознание и физическая реальность”, 3, т.1, с.с. 28-43.
2. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. М.: Энергоатомиздат, 594 с.
3. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей,

Бишкек, 96 с.
4. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, - http://www.newphysics.h1.ru.
5. Вильшанский А. 2014. Физическая физика. Ч.1. Гравитоника. Изд. DNA. Израиль, а также http://www.geotar.com/position/kapitan/stat/soder1.pdf
6. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, а также http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm.
7. Ким Сен Гук, 2015, К картине мира. Журнал международного научного института «Educatio»,. №2(9), ч.4, с.с..140-146. (https://issuu.com/educatio5/docs/edu_9_p4)
8. Мисюченко И., 2009, Последняя тайна Бога. – http://nfp-team.narod.ru/misuchenko_poslednjaya_taina_boga.pdf
9. Пакулин В.Н., 2004, – http://www.valpak.narod.ru
10. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург,
11. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
12. Репченко О. Н. , 2005, Полевая физика или как устроен Мир? – М.: Галерия. 320 с.
13. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М:, “Мир”.

4.2. Заряд центрального физического поля

1. Общие сведения о терминологии, связанной с зарядом центрального поля.

Законы взаимодействия заряженных систем (заряженных тел) в центральном физическом поле аналогичны в гравитационном и в электрическом физических полях. Заряды систем, создающие центральное поле, неподвижны относительно систем отсчета, связанных с заряженной системой. Поэтому их можно называть также **статическими зарядами**. Но в литературе термин "статический заряд" связан обычно со статическим электричеством.

Понятие "заряд системы" (хотя обычно говорят сокращенно и неопределнно "заряд") относится ко всей заряженной системе. Это означает, что под зарядом следует понимать количество **единичных зарядов** в заряженной системе, в смысле таких зарядов, которые невозможно разделить на части без изменения их физического содержания.

В современной физике понятие "единичный заряд" часто понимается, как заряд системы, равный одному кулону. И применяют понятие "элементарный заряд". С точки зрения математики под **элементарным зарядом** следовало бы понимать бесконечно малое количество единичных зарядов. На этих особенностях терминологии редко акцентируется внимание, что затрудняет понимание физического содержания понятия "заряд". Учитывая распространенность понятия **"элементарный заряд", будем применять это понятие, имея в виду под ним неделимый единичный заряд**.

В центральном поле заряженные системы считаются неподвижными друг относительно друга и относительно одной и той же системы отсчета. Но это означает только их взаимную неподвижность, а не отсутствие движения заряженных систем вообще. В общем случае **физическое поле является полем подвижных заряженных систем**. Это справедливо и в том случае, если полеобразующая заряженная система с зарядом Q и полевая заряженная система с зарядом q неподвижны относительно одной и той же системы отсчета, потому что в движении может находиться сама система отсчета.

Судя по тому, что элементарный заряд может быть положительным и отрицательным, можно согласиться с предположениями В.Пакулина (2004, 2011), В.Ацюковского (2004) и О.Репченко (2005) о том, что в **"конструкции" элементарного (единичного) заряда присутствует вихревое движение, ибо именно вихревое движение имеет два направления вращения противоположного знака: правовинтовое и левовинтовое.**

2. Виды, названия и обозначения зарядов центрального поля.

В современной физике еще нет общепринятого представления о том, какова физическая природа элементарного (единичного) заряда физического поля, грубо говоря, **какова его "конструкция"**. **Словарное определение понятия "заряд" отсутствует**. Например, в учебнике по физике Т.Трофимовой (2004), носящем справочный характер, описываются лишь фундаментальные свойства заряда системы. В БСЭ дано определение лишь для электрического заряда: “*источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем, внутренняя характеристика элементарной частицы, определяющая её электромагнитные взаимодействия*”. В этом определении под материальным носителем или элементарной частицей следует, по-видимому, понимать заряженную систему, а не элементарный электрический заряд, каким является электрон (или позитрон). Что касается заряда гравитационного поля, то, как утверждает О.Репченко (2005), в современной физике это понятие не существует. Хотя гравитационное поле существует.

Когда сейчас говорят о заряде системы, то под этим понимают суммарное количество **элементарных (единичных) зарядов** в заряженной системе. Иногда применяют неопределенное понятие "**количество заряда**". Об элементарном электрическом заряде известно лишь то, что он имеет значение, обозначаемое в физике символом *e*. Это значение является фундаментальной физической константой. Носителем элементарного отрицательного электрического заряда является **электрон**. Элементарным (единичным) гравитационным зарядом однородной системы могут быть **атом или молекула.** О гравитационных зарядах можно сказать, что они являются **гравитационной массой**.

В учении об электричестве существует еще понятие "**точечный заряд**", имеющий размеры пренебрежимо малые по сравнению с расстоянием до других заряженных систем. В учебнике по физике Т.Трофимовой (2004) справедливо указано, что это физическая абстракция. В то же время электрон, имеющий чрезвычайно малые размеры, абстракцией не является. Это вполне реальный физический объект. Поэтому в данной работе понятие "точечный заряд" не используется.

Если говорить обобщенно о зарядах центрального физического поля, не конкретизируя, электрический это заряд или гравитационный, то логично применять обобщенную символику. Например, применять обобщенные обозначения элементарных (единичных) зарядов в виде Q (полеобразующий заряд) или q (полевой заряд).

3. Размерность и единица заряда центрального поля.

Во всех так называемых абсолютных системах единиц, включая СИ, единицей заряда гравитационного поля, то есть гравитационной массы, является кг (килограмм). Эта единица принята в качестве основной единицы. Однако следует заметить, что единица кг в СИ применяется и для гравитационной массы, и для инертной массы, так как в СИ, как и во всей современной физике, применяется принцип эквивалентности масс.

Система величин ЭСВП, рассматриваемая в данной работе, не придерживается этого принципа, считая его нерелевантным. В разделе, посвященном понятию "масса", показано, что масса не должна делиться на гравитационную и инерную. Сейчас под инертной массой понимается линейная инертность прямолинейно движущегося тела, и эта величина имеет иное физическое содержание, чем масса, и другую размерность.

Электрический заряд в СИ пока считается производной физической величиной. Правда, Г.Трунов (2004) предложил такую систему электромагнитных величин, в которой электрический заряд считается основной величиной (в нашей терминологии - условной основной величиной). Он предложил использовать для размерности электрического заряда символ Q, который уже использовался ранее в этом качестве в конце XIX века в системе единиц СГСФ.

По своему физическому содержанию элементарный (единичный) заряд любой формы физического поля не является независимой ни от чего физической величиной, его значение зависит от определенного количества энергии, сконцентрированной в элементарном заряде. Поэтому элементарный заряд и, следовательно, заряд системы являются производными физическими величинами. Исходя из этого, в систему ЭСВП масса включена в качестве условной основной величины.

В систему величин ЭСВП заряд центрального поля включен в статусе обобщенной производной величины с символом размерности Q. Формула размерности заряда центрального поля в ЭСВП раскрывается с помощью анализа размерностей подтвержденных экспериментально физических законов (закона всемирного тяготения Ньютона и закона Кулона), но с учетом того, что размерные коэффициенты этих законов (гравитационная постоянная и электрическая постоянная) приняты равными 1 с размерностью, также равной 1. В результате в разделе о размерности заряда получена такая размерность заряда системы в центральном поле:

$\dim Q = \dim q = \mathrm{E}^{½}\mathrm{L}^{½}$, (1)

и такая размерность элементарного (единичного) заряда центрального поля:

dim $e = E^{½}L^{½}C^{-1}$, (2)

где E − символ размерности энергии, C − символ размерности числа структурных элементов (количества считаемых величин), которое в данном случае является количеством элементарных зарядов в заряженной системе. Этим размерностям соответствуют единица заряда системы, равная Дж^{½} м^{½}, и единица элементарного заряда Дж^{½} м^{½} квант$^{-1}$. (Обобщенное название единицы количества считаемых величин еще не установлено). Для того, чтобы не использовать дробные показатели размерностей, вместо размерности $E^{½}L^{½}$ можно использовать размерность Q.

Введение в систему величин ЭСВП в качестве условной основной величины заряда физического поля, как физической величины первого порядка, и символа Q для обозначения его размерности позволяет избежать необходимости записывать в формулах размерности других величин физического поля дробные показатели размерностей. Применение символа Q упрощает записи размерностей полевых величин, что и используется в Таблице величин физического поля и в других таблицах ЭСВП.

Однако следует иметь в виду, что заряд центрального поля в ЭСВП является условной основной физической величиной. А символ Q принадлежит производной величине, что подтверждается формулой размерности (1).

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, а также Структура материи. 2004 – http://www.valpak.narod.ru
3. Репченко О.Н., 2005, Полевая физика или как устроен Мир? - М.: Галерия, 2005. - 320 с.
4. Трофимова Т.И., 2004, Краткий курс физики. 3-е изд., – М.: Высшая школа, 352 с.
5. Трунов Г.М., 2004, О физическом смысле формул размерностей электрических и магнитных величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 6.

4.3. Движущийся заряд

1. Движущийся заряд как один из вариантов динамического заряда.

Причиной возникновения **вихревого поля** является наличие **движущегося заряда системы**, который в случае вихревого поля является **динамическим зарядом** (в противоположность статическому заряду, как источнику центрального поля). В частности, в электродинамике динамический заряд является причиной возникновения магнитного поля, а в гравидинамике – гравидинамического поля (см. классификацию форм физического поля). Напомним, что между понятиями "источник поля" и "причина возникновения поля" существует серьёзное различие, описанное в отдельном разделе. К вихревому полю понятие "источник поля" не применимо принципиально.

Определим вид математической записи динамического заряда. Для этого рассмотрим произведение элементарного количества движущихся энергоносителей ($\mathrm{d}q\,\mathbf{n}$) и длины l, на которую перемещаются энергоносители, то есть $[(\mathrm{d}q\,\mathbf{n})\,l]$, где $\mathrm{d}q$ – элементарное количество единичных (неделимых) зарядов в заряженной системе, l – расстояние, пройденное единичным зарядом по прямой линии, $\mathbf{n}$ – орт направления, нормального к сечению потока единичных зарядов. Частное от деления этого произведения на бесконечно малый промежуток времени $\mathrm{d}t$ будет выглядеть так:

$$[(\mathrm{d}q\,\mathbf{n})\,l]/\mathrm{d}t = [(\mathrm{d}q\,\mathbf{n})/\mathrm{d}t]l + q\,[(\mathrm{d}l\,\mathbf{n})/\mathrm{d}t] = \mathbf{i}l + q\mathbf{v}\ , \quad (\ 1\ )$$

где $\mathbf{i} = \mathrm{d}\mathbf{q}/\mathrm{d}t$ – ток энергоносителей внутри неподвижной системы, $\mathbf{v} = (\mathrm{d}l\,\mathbf{n})/\mathrm{d}t$ – скорость движущейся заряженной системы.

Из уравнения (1) следует важный вывод о том, что **причина возникновения вихревого поля может иметь две формы математической записи: (i*l*) и (*q*v), объединяемые общим термином "динамический заряд"**. Обозначим динамический заряд, как векторную величину, символом **Q** для полеобразующего заряда и символом **q** для полевого заряда. К сожалению, в современной физике применяется лишь одна форма записи: ($q\mathbf{v}$), называемая **движущимся зарядом**.

В физике можно рассматривать и другой вариант динамического заряда в виде неподвижного участка токопроводящего контура, по которому движется поток элементарных зарядов (например, электрический ток **i**). Причиной возникновения вихревого поля в этом случае служит физическая величина (**i***l*), которую названа **токовым зарядом**. В данном разделе подробно рассмотрен только движущийся заряд, а для рассмотрения токового заряда выделена отдельный раздел.

И движущийся заряд (*q***v**), и токовый заряд (**i***l*) являются самостоятельными векторными физическими величинами. Подобной величиной в механике является количество движения (*m***v**). Раскрытие скобок и тем более вынос за скобки любого сомножителя лишает эти величины своего физического содержания.

Выражение (*q***v**) под названием "**движущийся заряд**" хорошо знакомо в электромагнетизме. Хотя точнее было бы название "движущаяся заряженная система". **Движущийся заряд создает как центральное, так и вихревое поле.** Заметим, что в движущейся заряженной системе элементарные (единичные) заряды неподвижны относительно движущейся системы (то есть внутри нее ток **i** = 0).

2. Движущийся заряд прямолинейно движущейся системы.

Подчеркнем, что **движущийся заряд** является **самостоятельной векторной физической величиной**. Поскольку это так, то необходимо применять его запись в виде выражения в скобках или в виде векторной величины, например, **Q** = (*Q***v**) или **q** = (*q***v**). Выносить за скобки сомножители этих выражений нельзя по той же причине, по которой в механике не делят на сомножители количество движения (*m***v**). Количество движения является в гравидинамике не чем иным, как гравитационным движущимся зарядом.

Размерность движущегося заряда отличается от размерности скалярного заряда центрального поля (*Q* или *q*) тем, что в формуле размерности появляется дополнительный множитель с размерностью скорости LT^{-1}:

$\dim (Q\mathbf{v}) = \dim (q\mathbf{v}) = LI = LT^{-1}Q$. (2)

Первая из указанных в равенстве (2) размерность относится к СИ, а вторая − к системе величин ЭСВП.

Рассматривая движущийся гравитационный заряд, нельзя обойти вниманием инертность движущейся системы. Согласно обобщенной записи второго закона Ньютона при прямолинейной форме движения линейная инертность в современной физике отождествляется с инертной массой тела. В системе величин ЭСВП понятие "инертная масса" заменяется понятием "линейная инертность" и не смешивается с понятием "масса", что описывается в разделе о принципе эквивалентности масс. **Масса бывает только одна, по своему содержанию это гравитационная масса *m*, являющаяся зарядом гравитационного поля.**

3. Недостатки терминологии, связанной с движущимся зарядом в электродинамике.

В электродинамике с движением заряженной системы связано понятие “**электрический ток переноса**”, который называют также “**конвекционным током**”. Он определяется стандартом, как “*электрический ток, осуществляемый переносом электрических зарядов телами*”.

Термины “конвекционный ток” и “ток переноса” неверны в принципе, так как неверно применение слова “ток” по отношению к движущейся заряженной системе по следующим причинам:

1. Внутри движущейся заряженной системы никакого тока проводимости нет. **Ток проводимости связан с непрерывным потоком единичных зарядов (электронов) через неподвижный проводник**, тогда как в движущемся проводнике электроны относительно проводника неподвижны.

2. Поток электронов через неподвижный проводник создает только вихревое поле, а центрального поля не создает, потому что нескомпенсированных электронов в неподвижном проводнике нет. Тогда как движущийся заряженный проводник создает обе формы поля.

3. Поток зарядов через неподвижный проводник и движущаяся заряженная система − разные физические величины, имеющие разные размерности. В разделе об электрическом токе показано, что поток единичных зарядов имеет размерность $T^{-1}Q$, а выше в формуле (2) показано, что движущийся заряд имеет размерность $LT^{-1}Q$.

По указанным причинам и возникла неточность, допущенная в определении из БСЭ: “*Источником магнитного поля является движущийся электрический заряд, то есть электрический ток*”. В этой фразе неуместны слова “то есть”, это две разные физические величины. Правильной была бы фраза “***Причиной возникновения магнитного поля являются либо движущийся по проводнику поток элементарных электрических зарядов, либо движущееся***

***электрически заряженное тело*"**. К тому же, как показано в разделе, посвященном напряженностям физического поля, конфигурации магнитного поля, создаваемые движущимся зарядом и потоком зарядов в неподвижном проводнике, существенно отличаются друг от друга.

4. Движущийся заряд системы, движущейся по орбите.

Заряженную систему, движущуюся по орбите, в каждый момент времени можно представить, как заряженную систему, движущуюся по окружности, соприкасающейся с орбитой, причем центр соприкасающейся окружности дополнительно может двигаться по собственной траектории. Радиус соприкасающейся окружности равен радиусу кривизны траектории **R** и является величиной, переменной во времени. Математический анализ данной ситуации усложняется, если орбита не плоская, а пространственная.

С точки зрения классификации зарядов линейная скорость **v** из уравнения (1) при движении заряженной системы по замкнутой орбите заменяется секторной скоростью $\mathbf{v}_S$, описанной в разделе, посвященном скоростям при орбитальном движении.

Скорость движения заряженной системы **v** из уравнения (1) при движении по орбите постоянно меняет свое направление, в результате чего меняют свою направленность и напряженности физических полей, создаваемых движущейся заряженной системой.

Движущаяся по орбите заряженная система создает в каждый данный момент времени центральное поле и вихревое поле, ось симметрии которых совпадает по направлению с направлением вектора касательной скорости.

4.4. Электрический ток – это векторная величина

1. Неопределенность определений электрического тока.

Если объединить все определения электрического тока, которые обнаружены в различных первоисточниках, то их можно объединить следующей фразой: ***электрический ток – это упорядоченное направленное движение электрически заряженных частиц, называемых носителями тока***. Судя по такому определению, электрический ток является физическим явлением, а не физической величиной. Когда же мы переходим к физической величине, характеризующей это явление, то сталкиваемся с другим термином “**сила тока**”, обозначаемым символами I или i. (В разделе, посвященном применению термина “сила”, указано, что вместо слова “сила” в данном случае необходимо применять слово “интенсивность“.) Впрочем, очень часто термин “сила тока” сокращается до одного слова “ток”.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) силой тока называется “*скалярная физическая величина, равная отношению количества электричества* dq*, переносимого через сечение проводника за интервал времени* dt *, к этому интервалу*”, то есть

$i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$. (1)

Однако скалярное выражение ($\mathrm{d}q/\mathrm{d}t$) характеризует скорость изменения заряда системы q (количества элементарных зарядов в системе), а не движение элементарных зарядов через проводник, поскольку движение имеет направленность, которая должна быть охарактеризована векторной величиной. К тому же, изменение количества элементарных зарядов в теле dq может происходить и при отсутствии электрического тока, например, при спонтанном радиоактивном распаде внутри заряженной системы или при накоплении статического электричества на поверхности системы.

Иная картина при движении элементарных зарядов (электронов проводимости) в проводнике. Количество элементарных зарядов, входящих в проводник, равно количеству элементарных зарядов, выходящих из проводника, вследствие чего их суммарное количество в проводнике (заряд системы) $q = \mathrm{const}$, то есть в проводнике $\mathrm{d}q/\mathrm{d}t = 0$, и это никак не совпадает с определением тока по уравнению (1).

2. Электрический ток – векторная величина.

Электрический ток в проводнике является направленным движением энергоносителей (в рассматриваемом случае электронов), поэтому их поток является величиной векторной. Это признается и современной электродинамикой, когда векторной величиной считают **плотность тока j**, ибо последняя должна определяться уравнением

$\mathbf{j} = \mathrm{d}\mathbf{i}/\mathrm{d}S$, (2)

в котором **i** является **электрическим током**. Анализ величин, определяющих состояние проточной физической системы, какой является проводник, показывает, что ток энергоносителей является **линейной плотностью** движущихся через проводник энергоносителей (электронов). В частности, электрический ток **i** должен определяться уравнением:

$\mathbf{i} = (q_{fl}\,\mathbf{v})/l$, (3)

в котором q_{fl} – количество элементарных зарядов, перемещающихся через участок длиною l неподвижного проводника, а **v** – их скорость. Соответственно, величина **j** является **объемной плотностью** движущихся через проводник энергоносителей. Из уравнения (3) следует, что стандарт, из которого взято определение для справочника А.Чертова (1990), нуждается в пересмотре.

3. На каком основании электрический ток считают скалярной величиной?

В современной физике сначала применяют уравнение для определения плотности тока:

$\mathbf{j} = \mathrm{j}\,\mathbf{n} = (\mathrm{d}i/\mathrm{d}S)\,\mathbf{n}$, (4)

в котором **n** – орт нормали к площадке dS поперечного сечения проводника. А затем записывают определяющее уравнение для электрического тока, как для потока вектора плотности тока в виде:

$i = \int_S \mathbf{j}\,\mathrm{d}\mathbf{S} = \int_S \mathbf{j}\,(\mathrm{d}S\,\mathbf{n})$. (5)

Возможной причиной ввода абстрактного вектора площадки d**S** = (dS **n**) в уравнение (5) является то обстоятельство, что в векторном анализе нет операции деления на вектор, а в уравнении (4) dS находится в знаменателе.

Но определение электрического тока i, являющегося аргументом в уравнении (4), по плотности тока **j**, являющейся функцией в этом уравнении, является грубым нарушением принципа причинности. **Не электрический ток является следствием плотности движущихся электронов, а плотность тока j является следствием наличия электрического тока i, как векторной величины.**

Дополнительный вывод: движущийся по неподвижному проводнику поток электрических элементарных зарядов (электронов проводимости) является **координатой состояния процесса** их перемещения через проточную систему, каковой является неподвижный проводник.

Логично обозначать символом **I** электрический ток в полеобразующих заряженных системах, образующих магнитное поле, а символом **i** обозначать электрический ток в полевых заряженных системах, вводимых в магнитное поле.

4. Что такое поток электрических зарядов?

Поток электрических зарядов в проводнике **Ф** в проточной системе можно записать в виде уравнения:

$\mathbf{\Phi} = \int_i \mathbf{I}\, \mathrm{d}S_i$. (6)

Размерность потока зарядов в СИ равна L^2I, а единица – А $м^2$. А в системе величин ЭСВП эта размерность равна $L^2T^{-1}Q$, а единица – Кл $м^2$ $с^{-1}$, что, впрочем, то же самое.

4.5. Токовый заряд как причина возникновения магнитного поля

1. Причиной возникновения магнитного поля является "токовый заряд".

В разделе об электрическом токе доказано, что он является векторной величиной. То обстоятельство, что электрический ток в числителе формулы закона Био-Савара-Лапласа (в современной форме его записи в виде $\mathrm{d}\mathbf{B} = k\, i\, [\mathrm{d}\mathbf{l}\; \mathbf{r}]/r^3$ записан, как скалярная величина i, а элементарная длина участка проводника $\mathrm{d}\mathbf{l}$ записана, как векторная величина, с точки зрения математики не изменяет конечный результат, но это противоречит физическому содержанию электрического тока. То есть, вместо произведения $i\, \mathrm{d}\mathbf{l}$ следует записывать произведение $\mathbf{i}\, \mathrm{d}l$, а закон Био-Савара-Лапласа записывать в виде $\mathrm{d}\mathbf{B} = k\, [(\mathbf{i}\, \mathrm{d}l)\; \mathbf{r}]/r^3$, не раскрывая круглые скобки.

Прозведение ($\mathbf{i}\, \mathrm{d}l$) называется **токовым зарядом**. Он является частным случаем обобщенной величины, которая в разделе о видах заряда названа **динамическим зарядом**. Точнее было бы называть выражение ($\mathbf{i}\, \mathrm{d}l$)

токовым зарядом прямого тока, так как участок длиною d*l* предполагается прямолинейным, но два последних слова обычно опускаются. Применение понятия о токовом заряде должно существенно усовершенствовать современную методику преподавания электродинамики. Впервые, видимо, скалярное произведение (*i* d*l*) было предложено А.Чуевым (2003) и названо им **токовым элементом**. Применение такой физической величины обосновано еще и тем, что в электродинамике достаточно популярно понятие "**токовый диполь**", само название которого предполагает наличие двух **токовых монополей**.

Общим признаком токового заряда является движение элементарных (единичных) зарядов внутри проводника. Токовый заряд (**i** d*l*) при включении его в физические закономерности нельзя разделять на сомножители, вынося один из сомножителей за скобки, и потом сокращать выносимый за скобки сомножитель, как это часто делается в современной электродинамике при математических преобразованиях. **Подобное сокращение не позволяет разглядеть физическое содержание получившегося в итоге уравнения, поскольку исчезает один из сомножителей токового заряда.**

Токовый заряд создает только вихревое поле (в электродинамике − магнитное поле). В этом его главное отличие от применяемого в современной физике движущегося заряда, то есть от движущейся заряженной системы, создающей и вихревое, и центральное поля (и магнитное, и электрическое поля). Поэтому **токовый заряд (i*l*) и движущийся заряд (*q*v) несмотря на идентичность размерностей имеют разное физическое содержание и, следовательно, являются разными физическими величинами.**

2. Почему токовый заряд является причиной возникновения магнитного поля?

Приведем определение магнитного поля из БСЭ: "*Магнитное поле - особая форма существования материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами*". Из этого определения следует, что магнитное поле проводника взаимодействует только с магнитным полем движущейся электрически заряженной системы. Но при этом не поясняется, почему оно не взаимодействует с покоящейся электрически заряженной системой. А это объяснение вытекает из особенностей проточной системы, какой является неподвижный проводник.

В обесточенном проводнике присутствуют носители и положительного, и отрицательного зарядов, компенсирующие влияние друг друга, так что количество нескомпенсированных элементарных электрических зарядов, создающих электрическое поле, у такого проводника равно нулю. При приложении к концам проводника разности потенциалов по нему начинает течь электрический ток, и проводник становится проточной системой. Но при этом количество нескомпенсированных единичных электрических зарядов, которые могут создать электрическое поле, остается равным нулю, независимо от значения электрического тока. (Сколько электронов входит в проводник, столько же из него и выходит, избытка нескомпенсированных электронов в проводнике нет.) Поэтому взаимодействие между проводником с током и зарядом неподвижной полевой заряженной системы не возникает.
А вот в случае, когда относительно проводника с током движется заряженная система, которая создаёт, как всякий движущийся заряд, свое собственное магнитное поле, то это поле взаимодействует с магнитным полем, создаваемым проводником.

3. О токовом гравитационном заряде как о причине возникновения гравидинамического поля.

А.Чуев (1999, 2003) справедливо заметил, что токовые заряды создают не только магнитные поля. Под словом “ток“ А.Чуев понимает не только электрический ток, но и ток вещества, имеющего массу. Токовые гравитационные заряды создают гравидинамические поля (см. классификацию форм физического поля), хотя понятие гравидинамическое поле он не применяет. А.Чуев считает, что гравидинамическое взаимодействие – это взаимодействие потоков масс, когда пространственная протяженность и, соответственно, направление токовых зарядов не учитываются. Указанные параметры, по его мнению, учтены в электромагнитном взаимодействии, несравненно более сильном, чем гравитационное.

Заметим, что системы с одноименными токовыми (электрическими) зарядами притягиваются точно так же, как и системы с одноименными токовыми гравидинамическими зарядами, только со значительно большей интенсивностью. Об этом, в частности, свидетельствует стягивание шнура электрической дуги (шнурование дуги), состоящей из одноименных элементарных электрических зарядов, движущихся в одном направлении.

4. Токовый заряд в микромире как возможная причина возникновения сильного взаимодействия.

В микромире, по мнению А.Чуева (2003), взаимодействие токовых зарядов называется сильным взаимодействием. Такая точка зрения, видимо, имеет право на существование. Хотя в микромире заряды движущихся частиц очень малы, но зато чрезвычайно велики их скорости. Поэтому токовые заряды движущихся частиц достаточно велики. А если к тому же учесть весьма малые расстояния между токовыми зарядами частиц при том, что эти расстояния, возведенные в квадрат, находятся в знаменателе уравнения для определения силы взаимодействия, то эти взаимодействия могут соответствовать по своим значениям сильным взаимодействиям в ядерной физике.

Подробную картину взаимодействий токовых зарядов в микромире приводит в своей интересной работе В.Пакулин (2004, 2011), который тоже считает сильным взаимодействием взаимодействие токовых зарядов, образующихся в гравитонной среде, хотя само понятие о токовом заряде у него отсутствует.

Приведем также точку зрения П.Пирната (2005). Он помещает в свою систему физических величин “**магнитную ма**ссу“, подразумевая под ней **токовый заряд в замкнутом контуре (токовый контурный заряд)**, хотя этот термин он не применяет. Ход его рассуждений таков: гравитационную массу составляют атомы, содержащие электроны, а каждый электрон, вращающийся по своей орбите, создает токовый контурный заряд. Между токовыми контурными зарядами, входящими в различные гравитационные массы и создающими гравидинамическое поле (П.Пирнат отождествляет его с электромагнитным полем), должна существовать и сила взаимодействия, аналогичная силе Ампера. П.Пирнат считает, что эту силу можно трактовать как силу гравитационного взаимодействия.

Как видим, о токовых зарядах говорят разные авторы. Говорят, используя разную терминологию, но все они опираются на необходимость применения понятия, аналогичного тому, которое названо “токовым зарядом“.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2011, Развитие материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НПО "Стратегия будущего",121 с., а также Структура материи. 2004 – http://www.valpak.narod.ru
2. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия ”Информатизация России на пороге XXI века”. – М., СИНТЕГ, 96 с., также Естественная кинематическая система размерностей. http://www.chuev.narod.ru/
3. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html
4. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt

4.6. Что следует считать источниками магнитного поля

1. Источники магнитного поля - неправильный термин.

Теория физического поля - это математическая теория, полностью опирающаяся на теорию векторного исчисления. В этой теории имеется понятие о **дивергенции векторного поля** div **V** (И.Бронштейн, К.Семендяев, 1986, с. 397), о которой сказано: "div **V** *есть мера источников поля* **V**. *Если в рассматриваемой области* div **V** = 0, *то векторное поле* **V** *в этой области называется свободным от источников*".

Магнитное поле является вихревым полем, которое определяется такими понятиями векторного анализа, как ротор и циркуляция. Силовые линии магнитного поля замкнутые, они не имеют ни начала, ни конца, то есть у них нет источника. Термин "источники магнитного поля" является широко распространенным заблуждением. Под ним обычно понимают другое понятие "причина возникновения магнитного поля", в разделе о котором поясняется, что этой причиной могут быть движущийся заряд или токовый заряд. В данном разделе описываются различные варианты токового заряда.

2. Токовый заряд магнитного поля прямого тока.

Рассмотрим поток единичных зарядов, протекающих через прямолинейный участок проводника, как проточной системы. В электродинамике такой поток называют **прямым током**. Поэтому введенное в разделе о причине возникновения магнитного поля понятие “токовый заряд” можно назвать на прямолинейном участке проводника **токовым зарядом прямого тока** (**I***l*), где **I** − ток в проводнике, *l* − длина прямолинейного участка проводника.

Токовый заряд является разновидностью динамического заряда (см. классификацию зарядов физического поля и раздел о токовом заряде). Сокращенно динамический заряд обозначается символом **Q**, если это полеобразующий заряд, и символом **q** − если это полевой заряд. Таким образом, для токового заряда, как частного случая динамического заряда, существуют уравнения:

$\mathbf{Q} = (\mathbf{I}\, l)$ и $\mathbf{q} = (\mathbf{i}\, l)$. (1)

Естественно, что ток **I** нельзя путать с токовым зарядом **Q**, так как ток **I**, согласно уравнению (1), является сомножителем токового заряда **Q**. Судя по уравнению (1), размерность токового заряда в системе величин ЭСВП равна $LT^{-1}Q$, а в СИ равна LI. Размерности у токового заряда (**I***l* или **i***l*) и у движущегося заряда (*Q***v** или *q***v**) одинаковы.

В заряженной комплексной системе, состоящей из непроточной и проточной частей, токовый заряд является суммой двух составляющих (см. классификацию токов): токового заряда, образуемого током проводимости, постоянно протекающим через проточную часть системы, и токового заряда, образуемого током зарядки, кратковременно возникающим в непроточной части системы в период переходного процесса зарядки системы. В этом случае следует учитывать суммарное влияние двух разных полеобразующих токовых зарядов.

3. Токовый заряд магнитного поля как составляющая токового диполя.

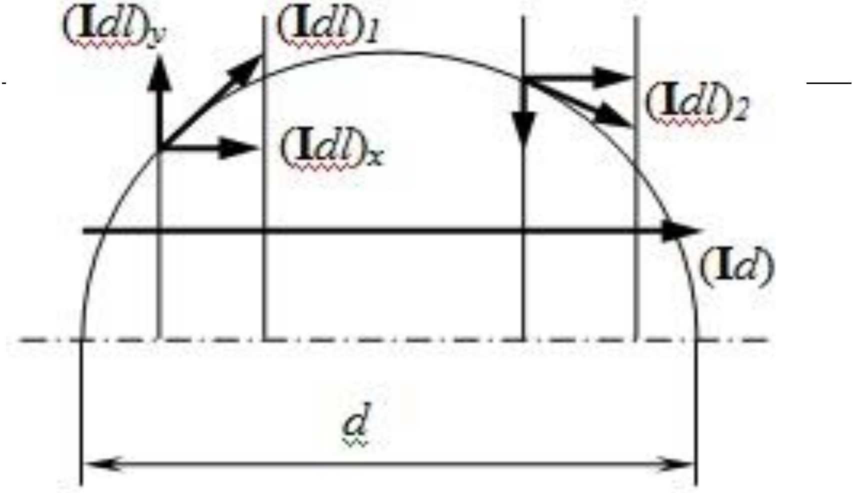
Токовый заряд прямого тока вне токового контура не существует, так как длина *l*, присуствующая в выражении для токового заряда, является лишь частью длины замкнутого контура, включающего источник питания. По отношению к любому токовому заряду на противоположной стороне токового контура всегда имеется другой, равный ему токовый заряд противоположного знака. Оба противоположно расположенных в контуре токовых заряда составляют **токовый диполь**, подробно описанный в отдельном разделе.

Токовый контур всегда замкнут, поэтому токовый заряд прямого тока на отдельном участке контура рассматривают мысленно, исключая из рассмотрения так называемые краевые эффекты. Закон Ампера взаимодействия токов выведен фактически для двух параллельных токовых зарядов прямого тока бесконечной длины. Ввод в электромагнетизм понятия о токовом заряде равносилен реабилитации понятия о **магнитном заряде** (магнитном монополе, магнитной массе), чему посвящен отдельный раздел.

Любые токовые заряды существуют только в проточных системах. А согласно классификации физических систем проточная система находится между системой-источником и системой-стоком. Особенность токового контура заключается в том, что система "источник заряда" и система "сток заряда" объединены в единую систему, называемую **источником тока**. Источник тока и служит причиной возникновения тока единичных зарядов в контуре. Объединение источника тока с проводником создает замкнутую проточную систему, называемую **токовым контуром**. Поэтому ток в контуре можно назвать **контурным током**. В принципе, другого тока быть не может. Местонахождение источника тока внутри контура роли не играет.

Контуры различают **плоские** (лежащие в одной плоскости) и **пространственные**. По конфигурации можно выделить два частных случая плоских контуров: **прямоугольные** контуры и **круговые** контуры. Все другие конфигурации контура в процессе обобщения можно свести к этим двум.

4. Токовый заряд магнитного поля непрямого тока.

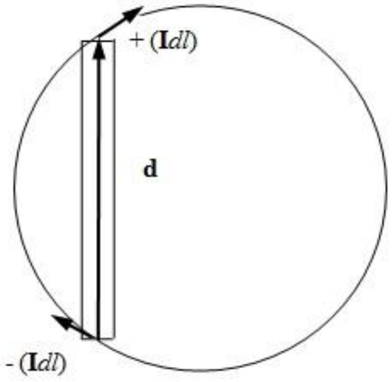


Под **токовым зарядом непрямого тока** будем понимать просуммированный геометрически токовый заряд в криволинейном проводнике. На рисунке показана половина контура круговой формы (одна ветвь контура), хотя конфигурация контура, в принципе, роли не играет.

Разобьем мысленно половину контура на элементарные участки, как показано на рисунке. Затем разложим элементарные токовые заряды прямого тока ($\mathbf{I}\ \mathrm{d}l$) на составляющие, параллельные и перпендикулярные оси симметрии контура. Геометрическая сумма всех составляющих элементарных токовых зарядов прямого тока, перпендикулярных оси симметрии $(\mathbf{I}\ \mathrm{d}l)_y$, как это видно из рисунка, равна нулю. Геометрическая сумма всех составляющих элементарных токовых зарядов $(\mathbf{I}\ \mathrm{d}l)_x$, параллельных оси симметрии, равна ($\mathbf{I}d$), где d – масимальная длина токового заряда непрямого тока (для кругового контура d – это диаметр окружности). Геометрическая сумма токовых зарядов непрямого тока ($\mathbf{I}d$) двух половин контура также равна нулю, поскольку ток в обеих ветвях контура противоположен по направлению.

Но любые два противоположные по направлению и находящиеся на противоположных ветвях контура элементарные токовые заряды создают **токовый диполь**, подробно описанный в разделе , посвященном классификации диполей.

5. Дипольный заряд магнитного поля (дипольный момент).



Каждый токовый диполь создает вихревое поле со своим собственным **токовым дипольным зарядом**, направленным перпендикулярно плоскости контура и называемым **дипольным моментом**. Токовый дипольный момент в современном электромагнетизме называют иначе (**магнитным моментом**) и обозначают символом $\mathbf{p}_m$.

Для определения дипольного момента представим круговой контур в виде суммы *i* элементарных контуров, ширина которых равна d*l*, но с разными значениями дипольных расстояний **d**. В разделе, посвященном диполям, показано, что дипольный момент любого *i*-го элементарного токового диполя будет равен

$(\mathbf{p}_m)_i = [\mathbf{q}_i\ \mathbf{d}_i] = [(\mathbf{I}\ \mathrm{d}l)\ \mathbf{d}_i]$. (2)

Дипольный момент всего контура можно получить путем интегрального суммирования дипольных моментов элементарных токовых диполей, составляющих круговой контур:

$\mathbf{p}_m = \int_i (\mathbf{p}_m)_i = \int_i [(\mathbf{I}\ \mathrm{d}l)\ \mathbf{d}_i]$. (3)

В современной физике **отсутствует понятие о токовом заряде**, и поэтому круглые скобки можно раскрыть, вместо токового заряда (**I** d*l*) записать (*I* d**l**), ток *I* уже как скалярную величину вынести за знак интеграла и уравнение (3) записать в виде

$\mathbf{p}_m = I \int_i \mathrm{d}l\ d_i\ [\mathbf{e}_l\ \ \mathbf{e}_d] = I \int_i \mathbf{n}\ \mathrm{d}l\ d_i = I\ S_{cn}\ \mathbf{n}_{cn}$, (4)

где $\mathbf{e}_l$ – орт прямолинейного участка контура, $\mathbf{e}_d$ – орт дипольного расстояния, $\mathbf{n}_{cn}$ – орт, перпендикулярный плоскости контура, и S_{cn} – площадь кругового контура. И таким образом в современной электродинамике приходят к определяющему уравнению для **магнитного момента** контура. Однако при таком математическом преобразовании теряется из виду векторный характер электрического тока, что приводит к неверному выводу о том, что электрический ток является скалярной величиной.

Переход от токовых зарядов прямого тока к токовым зарядам непрямого тока и, наконец, к токовому дипольному заряду (дипольному моменту) означает качественный скачок в рассмотрении токовых зарядов, так как вихревое (магнитное) поле, создаваемое токовым диполем, своею направленностью и конфигурацией отличается от вихревого поля, создаваемого токовым зарядом прямого тока.

Литература

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд. – М.: Наука, Физматгиз. 544 с.

4.7. Существует ли в природе “магнитный заряд“?

1. В чем суть проблемы “магнитного заряда“?

Введение понятия “**токовый заряд**“ разъясняет суть дискуссии о так называемом “**магнитном заряде**“ (или **магнитном монополе**, **магнитной массе**, **монополе Дирака**). Причиной дикуссии по поводу магнитного заряда является неопределенность самого понятия "заряд магнитного поля", о чем подробно рассказывается в "одноименном разделе ". В разделе, посвященном самому понятию заряд, показано, что наиболее точное его определение приведено в интернетовской Энциклопедии физики и техники: "***Заряд* − *физическая величина, являющаяся источником поля, посредством которого осуществляется взаимодействие частиц, обладающих этой характеристикой*"**. Магнитный заряд действительно, как сказано в Википедии, "*является источником статического магнитного поля*" (под словом "статическое" здесь понимается стационарное, то есть не меняющееся со временем).

Теорема Остроградского-Гаусса, примененная к магнитному полю, доказывает, что магнитного заряда в природе нет. Автор полевой физики О.Репченко (2008) считает, что “... *равенство нулю дивергенции магнитного поля является не эмпирическим законом, а представляет собой абсолютное тождество. Магнитных зарядов в принципе не может существовать, потому что магнитное поле не является* *самостоятельным физическим полем, а суть сила инерции.*“ **Последние слова этой цитаты терминологически неверны: сила инерции является физической величиной, а магнитное поле ею не является.** Да и речь идет об инерции электромагнитногополя, в котором роль силы инерции выполняет ЭДС самоиндукции. Наконец, ЭДС самоиндукции является следствием нестационарности магнитного поля, а следствие нельзя приравнивать причине.

С другой стороны, существование магнитного монополя как частицы с магнитным зарядом предсказывается гипотезой П.Дирака, хотя экспериментальных подтверждений этой гипотезы нет, несмотря на не прекращающиеся усилия экспериментаторов. Можно упомянуть и о гипотезе А.Вейника (1991, с. 279) о существовании ансамблей частиц, названных им **сатлонами**, циркуляция которых “создает все наблюдаемые магнитные эффекты“. К тому же, в физике широко применяется термин “магнитный диполь“, самим своим существованием намекающий на то, что должен быть и магнитный монополь. Ибо диполь должен состоять их двух монополей.

Близко к истине подошел А.Чуев (1999), предложивший считать причиной возникновения магнитного поля не гипотетическую частицу, а так называемый “токовый элемент“, равный произведению электрического тока в контуре на длину прямого элементарного участка контура. Его предложение однозначно говорит о том, что источником магнитного поля должна быть физическая величина, а не материальная частица.

2. Проблема наличия или отсутствия “магнитного заряда“ надумана.

Систематизация величин физического поля показывает, что проблема существования магнитного заряда возникла искусственно из-за терминологической неопределенности и некритического переноса понятий математической теории векторного анализа в физику.

Можно поставить вопрос в другой плоскости: чем является заряд системы в любой форме физического поля – источником линий напряженности, не совсем точно называемых силовыми линиями, или причиной возникновения физического поля? Ответ на этот вопрос уже дан в соответствующем разделе, и он гласит: **заряд системы является причиной возникновения физического поля.** И лишь в частном случае (в центральном поле) он является также и источником силовых линий. А магнитное поле является вихревым, а не центральным полем, и поэтому в нем нет источника силовых линий, хотя сами силовые линии имеются.

Ссылка на теорему Остроградского-Гаусса в данном случае не объективна, эта теорема ***указывает на отсутствие у вихревого поля источников силовых линий, а вовсе не на отсутствие зарядов, являющихся причиной возникновения вихревого поля***. Значит, надо просто уяснить, что понимается под зарядом магнитного поля или, сокращенно, магнитным зарядом.

3. “Магнитный заряд“ − это токовый заряд прямого тока.

В разделе, посвященном понятию “токовый заряд“, показано, что именно токовый заряд прямого тока, определяемый выражением (**I***l*), так же, как и движущийся заряд (*q***v**), являются причиной возникновения магнитного поля. **Различие между токовым зарядом магнитного поля и электрическим зарядом электростатического поля заключается в том, что электрический заряд является материальным объектом, а токовый заряд является физической величиной, определяемой выражением, включающим в себя материальные объекты (электрический ток и прямой участок проводника элементарной длины).**

Магнитный заряд, трактуемый как один из синонимов токового заряда прямого тока (**I***l*) или непрямого тока (**I***d*), является векторной величиной, подробно описанной в разделе, посвященном видам зарядов магнитного поля.

Любой токовый контур состоит из двух половин. Любая половина контура имеет токовый заряд, противоположный по знаку токовому заряду другой половины того же контура, так что суммарный токовый заряд любого контура равен нулю. Вот это равенство и является основой ошибочного утверждения, что магнитных зарядов нет вообще. **На самом же деле равен нулю магнитный заряд замкнутого контура, а отдельные элементарные участки контура имеют свой магнитный заряд.**

Термин “магнитный заряд“ в какой-то мере даже удобно применять как с точки зрения физики, так и с точки зрения педагогики, когда речь идет о конкретном магнитном поле. Надо только при этом помнить и разъяснять, **что токовый (он же магнитный) заряд является производной физической величиной (I*l*), а не материальным**

объектом, и поэтому “пощупать“ его невозможно.

Как причина возникновения магнитного поля (а не как источник силовых линий), любой магнитный заряд уравновешивается равным ему по модулю магнитным зарядом другого направления на противоположной стороне токового контура. То есть отдельный магнитный заряд не может существовать без другого обратного ему по направлению магнитного заряда в том же контуре. А поскольку токовый контур можно представить, как геометрическую сумму равных по значению токовых зарядов с противоположными знаками, то токовый контур можно представить также и как сумму магнитных зарядов разного направления. Именно эта геометрическая сумма магнитных зарядов всегда равна нулю. И это никак не противоречит теореме Остроградского-Гаусса.

4. “Магнитный заряд“ существует как производная величина, а не как материальный объект.

А теперь мысленно представим себе замкнутый контур такой огромной площади, что мы вместе со всей своей измерительной аппаратурой окажемся ничтожно малыми по сравнению с размерами этого контура. И тогда ближайший к нам участок этого огромного контура покажется нам чистой воды магнитным монополем, ибо другой магнитный монополь противоположного направления этого контура мы просто не заметим. В этих условиях, если мы ошибочно будем считать, что перед нами не часть контура, а просто проводник с током, то нам покажется, что мы экспериментально обнаружили магнитный монополь. Но это всё, конечно, из области размышлений.

Искать же в природе опытным путем магнитный заряд (магнитный монополь), как материальный объект, точно так же бессмысленно, как искать, например, материальный эквивалент такой популярной производной физической величины, как импульс тела. К слову, импульс тела тоже является токовым зарядом, только он является источником вихревого гравитационного поля, называемого гравидинамическим полем (см. классификацию форм физического поля).

Так что на поставленный вопрос “Существует ли в природе “магнитный заряд?“ можно ответить уверенно: да, “магнитный заряд“ существует, но не как материальный объект, не как частица, а как производная физическая величина (токовый заряд прямого тока).

5. Как математика может проигнорировать физическое содержание.

После сказанного естественно воспринимается то обстоятельство, что размерность магнитного потока (потока вектора магнитной индукции) равна размерности токового (магнитного) заряда. Это вполне соответствует теореме Гаусса. Ведь согласно этой теореме в электрическом поле размерность потока вектора напряженности поля через замкнутую поверхность тоже равна размерности количества электрического заряда внутри этой поверхности.

История с поиском магнитного заряда − наглядное подтверждение ошибочности такого подхода, когда физические явления пытаются объяснить только с помощью математической теории, игнорируя физическое содержание. С другой стороны, эта история хорошо иллюстрирует философский закон развития по спирали. Такие понятия, как магнитный заряд (магнитная масса), введенные в физику в XIX веке и отвергнутые ею в XX веке, должны вернуться в физику в XXI веке, но уже в новой трактовке.

Литература

1. Вейник А.И. 1991, Термодинамика реальных процессов. – Минск: «Навука і техніка», 576 с. (см. также http://www.veinik.ru/lib/articles/article/80.html)
2. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или как устроен Мир? Изд.2-е. – М.: Галерия, 320 с.
3. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия ”Информатизация России на пороге XXI века”. – М., СИНТЕГ, 96 с., также Естественная кинематическая система размерностей. http://www.chuev.narod.ru/ .

4.8. Виды электрических зарядов

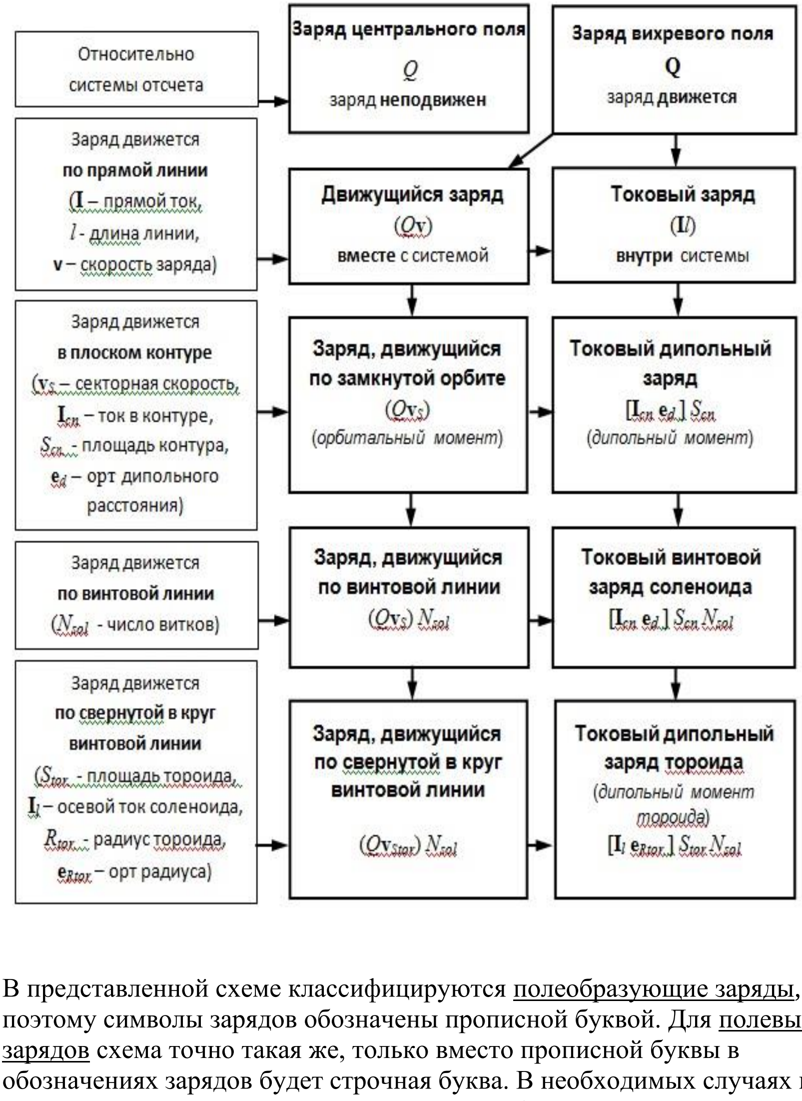
1. Виды электрических зарядов классифицируются в соответствии с принципом причинности.

В современных учебниках по физике изложение учебного материала по электромагнетизму начинается с обобщенного закона взаимодействия электрических зарядов, определяющего силу этого взаимодействия по закону Кулона в зависимости от значений взаимодействующих зарядов. То есть изучение электрического поля начинается не с причины, вызывающей взаимодействие (с зарядов), а со следствия (с силы взаимодействия). В данной работе последовательность изложения учебного материала в электромагнетизме диктуется принципом причинности. То есть **изложение материала начинается с изучения свойств зарядов и образуемого ими физического поля, а продолжается изучением сил взаимодействия заряженных систем.**

Классификация зарядов физического поля, показанная на рисунке схематически, составлена безотносительно к тому, является ли заряд электрическим или гравитационным. Заряды электромагнитного поля изучены лучше, но, согласно условию аналогий, подобная классификация может быть распространена и на заряды гравитационного поля.

Терминология, касающаяся зарядов, пояснена в разделе, посвященном этой терминологии, и в других местах данного раздела. Пояснения к схеме и расшифровка символов представлены после схемы. В схеме везде под словом "заряд" понимается заряд системы или заряженная система, а не элементарный (единичный) заряд.

2. Схема классификации видов электрических зарядов.



В представленной схеме классифицируются полеобразующие заряды, поэтому символы зарядов обозначены прописной буквой. Для полевых зарядов схема точно такая же, только вместо прописной буквы в обозначениях зарядов будет строчная буква. В необходимых случаях под названием заряда указывается в круглых скобках его название в современной электродинамике.

3. Пояснения к схеме классификации видов электрических зарядов.

1. Заряд центрального поля *Q* является скалярной величиной.
2. Заряд вихревого поля (динамический заряд) **Q** является векторной величиной. Все последующие на схеме заряды являются частными случаями динамического заряда.
3. Движущийся заряд – частный случай динамического заряда при движении заряженной системы по прямой линии, он равен ($Q\mathbf{v}$). При движении системы по замкнутой орбите движущийся заряд равен ($Q\mathbf{v}_S$), где $\mathbf{v}_S$ – секторная скорость. Динамический заряд создает как центральное, так и вихревое физические поля. Движение заряда вместе с системой в электродинамике называют “**током переноса**” (реже - **конвекционнм током**). Движение электрона вокруг ядра атома в атомной физике называют “**орбитальным током**”. Однако применение слова “ток”, когда речь идет о движущемся заряде, не корректно. Движущийся по замкнутой орбите заряд характеризуют в атомной физике **орбитальным моментом**.
4. Токовый заряд – частный случай динамического заряда, равный ($\mathbf{I}l$). Существует только в замкнутом контуре. Его сомножителями являются прямой ток **I**, являющийся векторной величиной, и длина прямолинейного участка контура *l*, являющаяся величиной скалярной. В электродинамике току **I** в токовом заряде прямого тока соответствует понятие “**ток проводимости**”.
5. Токовый дипольный заряд – это заряд токового диполя, в котором токовыми зарядами разного знака являются два равных по модулю токовых заряда разного знака, расположенные на противоположных сторонах токового контура, а *d* – это модуль дипольного расстояния (если контур – окружность, то *d* – это диаметр окружности). Токовый дипольный заряд называют в электромагнетизме **дипольным моментом** или **магнитным моментом**.
6. Токовым зарядам соленоида $\mathbf{Q}_{sol}$ и тороида $\mathbf{Q}_{tor}$, то есть зарядам, движущимся по винтовой линии, посвящены отдельные разделы.
7. Токовыми зарядами прямого тока и прямого соленоида можно оперировать, лишь пренебрегая концевыми эффектами.
8. Все виды динамических зарядов нельзя при записи определяющих уравнений других физических величин разделять на сомножители и, тем более, сокращать в этих уравнениях один из сомножителей. В противном случае из полученного в результате определяющего уравнения исчезает его физическое содержание.

Введенные заново понятия “**динамический заряд**” и “**токовый заряд**” являются одними из основ предлагаемой И. Коганом в данной работе методики систематизации физических величин и методологии преподавания электромагнетизма.

4. Классификация заряженных систем по количеству зарядов.

Заряженные системы удобно также классифицировать по признаку того, каким количеством зарядов разного знака обладает заряженная система. Подобная классификация дополняет вышеприведенную схему следующей таблицей:

Количество зарядов	рядок мультиполя	Название мультиполя
1	Мультиполь нулевого порядка (Монополь)	Заряд центрального поля Движущийся заряд Токовый монополь прямого тока
2	Мультиполь первого порядка (Диполь)	Статический диполь Токовый диполь
3	-	Соленоид (винтовой диполь с прямой осью симметрии)
4	Мультиполь второго порядка (Квадруполь)	Тороид (винтовой диполь со свёрнутым в круг соленоидом)

5. Вихреобразование – один из приемов самоорганизации материи.

На схеме классификации нигде не указано, что она относится только к зарядам электромагнитного поля, и это сделано не случайно. Анализ разных физических полей взаимодействия и переноса показывает, что вихреобразование в них происходит по одной и той же схеме.

Образование тороидов в полевой среде, состоящей из гравитонов, убедительно проиллюстрировано в работах В.Пакулина (2004, 2011). Образование соленоидальных вихрей с последующим превращением их в тороидальные вихри имеет место в гидродинамическом пограничном ламинарном слое. Такие вихри получили название “герпины” в англоязычной литературе, что в переводе на русский означает “веретенообразные”, и они хорошо изучены и теоретически, и экспериментально. Астрофизика представляет в наше распоряжение достаточно убедительные свидетельства образования вихрей в гравитационных полях галактик.

Все эти примеры подтверждают выводы уровневой физики (О.Бондаренко, 2005, В.Пакулин, 2011) о том, что природа обладает ограниченным числом приемов самоорганизации материи, повторяющихся на каждом уровне структуры материи. Схема образования вихрей (тороидов) как раз и относится к числу этих приемов. Поэтому составленная схема классификации зарядов относится к любому из повторяющихся структурных уровней материи.

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Пакулин В.Н., 2011, Развитие материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НПО "Стратегия будущего",121 с., а также Структура материи. 2004 – **http://www.valpak.narod.ru**

4.9. Виды электрических токов

1. Определение электрического тока.

Электрический ток считают потоком электрически заряженных материальных носителей (чаще всего электронов). В разделе, посвященном электрическому току, подробно рассматривается терминология и символика, связанная с ним. Заметим, что электрический ток − лишь один из вариантов потока зарядов. Понятие “поток зарядов“ может быть отнесено как к потоку электрических зарядов, так и к потоку гравитационных зарядов, то есть к потоку масс.

БСЭ определяет **электрический ток**, как физическое явление, как “*упорядоченное (направленное) движение электрически заряженных частиц или заряженных макроскопических тел*“. В этом определении объединяются два разные физические явления: движение зарядов в неподвижном проводнике, подключенном к источнику электрического напряжения (то есть в проточной системе, количество элементарных зарядов в которой не изменяется при изменении тока), и движение заряженного тела вместе с зарядами (то есть движение непроточной системы с элементарными зарядами, неподвижными относительно этой системы). Это и приводит к различным наименованиям разных видов электрических токов.

2. Виды электрических токов.

Приведем названия и определения видов электрического тока.

1. Электрический ток проводимости. Метрологический справочник А.Чертова (1990) приводит такое определение тока проводимости: “*явление направленного движения свободных носителей заряда в веществе или в вакууме*“.

2. Электрический ток переноса. Определяется в справочнике А.Чертова (1990) как “*электрический ток, осуществляемый переносом электрических зарядов телами*“. Имеет еще одно, не совсем удачное название: **конвекционный ток**. При этом имеется в виду, что элементарные заряды неподвижны относительно перемещающихся заряженных тел.

3. Электрический ток зарядки (разрядки). Для этого тока стандартного определения нет. Этот вид тока можно рассматривать, как **ток проводимости**, когда элементарные заряды входят из окружающей среды в непроточную систему (или выходят в обратном направлении) при отсутствии равновесия между средой и системой. При этом существует поток зарядов внутри непроточной системы, связанный с выравниваем плотности зарядов внутри системы. Чаще всего имеетя в виду **электрический ток поляризации**, связанный с зарядкой (разрядкой) конденсаторов и аккумуляторов.

4. Ток смещения в вакууме, определяемый в справочнике А.Чертова (1990), как “*явление изменения электрического поля в вакууме*“. **Это название неверно, так как под ним подразумевается именно физическое явление, а не поток элементарных зарядов.** Харктеристика этого являения - физическая величина другой природы, нежели электрический ток проводимости, несмотря на то, что имеет ту же размерность. (В физике, к сожалению, не является редкой ситуация, когда равенство размерностей двух физических величин считается достаточным поводом для неверного присвоения термина.)

Ток смещения – это поток вектора ротора напряженности магнитного поля, называемого в теории Максвелла потоком вектора плотности переменного тока. Проще говоря, это переменное изменение объемной плотности статических зарядов внутри диэлектрика, например, разделяющего две обкладки кондесатора. В разделе, посвященном току смещения, разъяснено, почему он не имеет никакого отношения к направленному движению свободных носителей заряда, то есть к термину “электрический ток“.

5. Имеются еще два очень распространенных термина: “**постоянный ток**“ и “**переменный ток**“. В разделах, посвященных этим двум терминам, показана неверность их обоих.

6. Основная величина, характеризующая электрический ток, имеет в стандарте такое название – **сила тока**. В разделе, посвященном термину “сила“, указано на некорректность применения этого слова в словосочетании “сила тока“, правильно говорить “**интенсивность тока**“.

3. Определяющие уравнения для видов электрических токов.

В современной физике любой электрический ток считается величиной скалярной и обозначается символом I или i, хотя скалярность тока противоречит стандартному определению, согласно которому ток считается “*явлением направленного движения*“. В разделе, посвященном электрическому току, эта противоречивость разъясняется и устраняется.

Основные положения системы величин ЭСВП позволяют вывести различные определяющие уравнения для первых трех перечисленных видов электрического тока. Из этих уравнений следует, что любой из этих трех видов тока является векторной величиной. Уравнения приведены ниже в таблице. Чтобы различать виды токов при их пояснении, их обозначения в данной таблице и ниже индексированы, хотя на практике никакой индексации нет. Пояснения даны после таблицы.

Вид тока	**Обозначение**	**Вид заряженной системы**	**Определяющее уравнение**
Ток проводимости	$\mathbf{i}_m$	Проточная	$(\mathbf{i}l)\ /l$
Ток переноса	$\mathbf{i}_v$	Непроточная	$(q\mathbf{v})\ /x$

Ток зарядки (разрядки)	$\mathbf{i}_e$	Непроточная	$(\mathbf{i}R)/R$

Ток проводимости $\mathbf{i}_m$ является линейной плотностью токового заряда прямого тока ($\mathbf{i}l$), при перемещении элементарных зарядов через проточную систему (через неподвижный прямой проводник длиною l).

Ток переноса $\mathbf{i}_v$, как термин, является следствием искусственного смешения близких по содержанию терминов физических величин. В разделе, посвященном движущемуся заряду, этот заряд определяется выражением ($q\mathbf{v}$), где $\mathbf{v} = \mathrm{d}\mathbf{x}/\mathrm{d}t$ − скорость движения заряженной непроточной системы (уединенного проводника) с количеством зарядов q, а $\mathbf{x}$ - перемещение заряженной системы. Движущийся заряд ($q\mathbf{v}$) имеет такую же размерность, как и токовый заряд ($\mathbf{i}l$). Именно по этой причине в словосочетание “ток переноса“ искусственно введен термин “ток“. На самом деле электроны не текут через движущуюся заряженную систему или внутри нее, а движется сама система вместе с неподвижными относительно системы электронами.

Ток зарядки (разрядки) $\mathbf{i}_e$ является током проводимости, существующим только в период переходного процесса в непроточной системе (в уединенном проводнике) при выранивании плотности зарядов в системе. И длиной, на протяжении которой существует ток зарядки (разрядки), является радиус R, проведенный из центра зарядов проводника к тому участку контрольной поверхности системы, через которую поступают в систему или через которую вытекают из системы электроны. Значение радиуса R рассчитывается по специальной методике, не имеющей отношения к проблеме систематизации физических величин.

Любой электрический ток не следует определять скалярным выражением ($\mathrm{d}q/\mathrm{d}t$), которое током не является. Выражение ($\mathrm{d}q/\mathrm{d}t$) является физической величиной, которая называется **изменением количества элементарных электрических зарядов** в проводнике. Эта величина не равна 0 в период переходного процесса зарядки (разрядки) уединенного проводника. Если таким уединенным проводником является конденсатор или аккумулятор, то ток зарядки (разрядки) приобретает конкретный смысл, хорошо знакомый любому инженеру.

Все токи в таблице имеют одинаковую размерность и одинаковую природу, это всё **движение элементарных зарядов**. Но различие в определяющих уравнениях указывает на различие в физическом содержании этого движения и в методике его определения.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

4.10. Плотность электрического тока

Плотность электрического тока.

В современной физике электрический ток вопреки принципу причинности определяют не как поток электрических зарядов, а как поток вектора **плотности тока j**, записывая уравнение для электрического тока i как скалярной величины в виде

$i = \int_S \mathbf{j}\,\mathbf{n}\,\mathrm{d}S$, (1)

где dS – элементарная площадка в сечении проводника, а **n** - орт нормали к этой площадке. Однако плотность тока является следствием по отношению к самому току. Для электрического тока как векторной величины записывается свое определяющее уравнение в виде

$\mathbf{i} = \int_S \mathbf{j}\,\mathrm{d}S$. (2)

Из уравнения (2) вытекает и определяющее уравнение для плотности тока:

$\mathbf{j} = \mathrm{d}\mathbf{i}/\mathrm{d}S$. (3)

В разделе, посвященном уравнению непрерывности, рассматривается взаимосвязь приведенных уравнений

Какие электрогидравлические аналогии корректны.

Зарядом центрального гравитационного поля является масса движущейся частицы m. Но в аэродинамике и гидродинамике массу m рассматривают как инертную массу, используя так называемый принцип эквивалентности масс.

Однако, как показано в разделе, посвященном обобщению второго закона Ньютона, под инертной массой в современной физике понимают не массу тела, а линейную инертность I прямолинейно движущегося тела или частицы, то есть физическую величину с другим физическим содержанием и другой размерностью, нежели масса. В разделе, посвященном понятию "масса", показано, что понятие "инертная масса" нужно исключить из физики.

Если применить аналогию электрического заряда q с массой m , то аналогом электрического тока $\mathbf{i} = \mathrm{d}\mathbf{q}/\mathrm{d}t$ становится массовый расход $\mathbf{Q}_m = (\mathrm{d}m/\mathrm{d}t)\ \mathbf{e}_\mathbf{Q}$.

В гидродинамике, где плотность жидкости условно постоянна, массовый расход $\mathbf{Q}_m$ обычно делят на плотность жидкости, применяя **объемный расход** $\mathbf{Q}_V$. При этом наблюдается отход от физического содержания, ибо любой **объём, как математическая величина, бестелесен и сам по себе перемещаться не может.** В этом случае аналогом плотности электрического тока **j** становится в гидродинамике средняя скорость неизвестно чего, так как плотность жидкости, а вместе с ней и масса частиц жидкости, изъяты из рассмотрения.

4.11. “Постоянный ток“ и “переменный ток“ названы неверно

Постоянный ток следует называть однонаправленным током.

Начнем с определения из метрологического справочника А.Чертова (1990): “*Постоянный ток – электрический ток, не изменяющийся с течением времени ни по силе, ни по направлению*“.

Электрический ток, значение которого не изменяется с течением времени, может существовать на практике только с определенной долей погрешности и то при применении специальных стабилизаторов тока. Однако спросите любого инженера, что он понимает под цепью постоянного тока, и он ответит, что речь идет об электрическом токе, текущем всегда в одном направлении. При этом значение “постоянного“ тока может изменяться во времени как угодно. Значит, стандартное определение постоянного тока не соответствует физическому содержанию явления.

Википедия приводит, наряду со стандартным, еще одно определение: “*Постоянный ток – не переменный ток, то есть ток, не меняющий своего направления со временем и не имеющий частоты*“. Это определение ближе к истине, но тоже не совсем логично. Во-первых, **любое определение не должно исходить из отрицания чего бы то ни было.** Во-вторых, постоянный ток может оказаться пульсирующим током, то есть содержащим частоту пульсаций.

Таким образом, то, **что понимают в физике под постоянным током, фактически есть мгновенное значение первой производной по времени от перемещения электрического заряда в проводнике.** А физический смысл того, что называют сейчас повсеместно постоянным током, правильно отражал бы термин “однонаправленный ток“ электрических зарядов, то есть ток зарядов, не изменяющийся по направлению. Только в том случае, если значение однонаправленного тока не изменяется во времени, можно говорить об однонаправленном постоянном токе. В английской терминологии вместо термина "постоянный ток" применяют термин "прямой ток", что значительно ближе к истине.

Что же касается однонаправленного тока, меняющего свое значение во времени, то логично говорить об однонаправленном переменном токе. Но это совсем не тот ток, который называют в обиходе переменным током.

Переменный ток в технике – это колебательные перемещения зарядов.

Под переменным током в технике понимают электрический ток, периодически меняющий свое направление. Определение из справочника А.Чертова (1990) “*Переменный ток – электрический ток, изменяющийся во времени,*“ ничего, по сути дела, не определяет, так как и то, что понимается под постоянным током, тоже может изменять свое значение во времени.

Имеется и другое определение переменного тока из того же справочника А.Чертова, под которым “*понимают периодический ток, в котором средние за период значения силы тока и напряжения равны нулю*“. Но и это определение не точно, так как средние за период значения переменного тока в общем случае могут быть не равны нулю, так как у переменного тока бывает и постоянная составляющая.

Возможно, переменный ток следовало бы определить, как ток, меняющийся с течением времени по направлению. Но как тогда учесть то обстоятельство, что переменный ток вполне может иметь постоянное значение во времени?

Если исходить из фактического состояния электронов в проводнике при переменном токе, то их движение представляет собой не что иное, как колебательные перемещения электронов проводимости вдоль проводника относительно какого-то постоянного положения с частотой колебаний электрического напряжения. Такой процесс, скорее всего, вообще не следует называть электрическим током. Но поскольку термин “переменный ток“ уже укоренился в физике и технике, то остается только упоминать, начиная со школы, о том, что **под переменным током понимаются колебательные смещения электронов в проводниках.**

Вывод

Если уже невозможно устранить очевидную неверность терминов "постоянный ток" и "переменный ток" (настолько прочно эти термины вошли в обиход), то следует, по крайней мере, изменить их определения и постоянно давать соответствующие разъяснения при обучении.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

5. Напряженности физического поля

5.1. Электрическая постоянная и магнитная постоянная - это размерные коэффициенты, а не константы

1. Что такое размерный коэффициент?

В определяющих уравнениях многих физических величин присутствуют так называемые **размерные коэффициенты**, играющие важную роль в физике. Метрологический справочник А.Чертова (1990) не приводит определение понятия "размерный коэффициент", ограничиваясь упоминанием о коэффициенте пропорциональности в определяющих уравнениях. Однако в число сомножителей такого коэффициента пропорциональности могут входить числа, безразмерные критерии подобия и размерные коэффициенты.

Удачное определение для размерного коэффициента, на наш взгляд, привел А.Вильшанский (2014): "*коэффициент, размерность которого приводит в соответствие размерности величин слева и справа от знака равенства; численное значение размерного коэффициента определяется опытным путем*". Исходя из этого определения, правильно было бы говорить о **размерностном коэффициенте** (от английского слова - dimensionless), но в русскоязычной литературе уже стало привычным произношение "размерный коэффициент".

К размерным коэффициентам относят в современной физике электрическую постоянную ε_0 в законе Кулона и магнитную постоянную μ_0 в законе Ампера. Покажем, что эти размерные коэффициенты не являются физическими константами, как это следует из их названия. Укажем также на то, что записи законов Кулона и Ампера в современной физике следовало бы изменить.

2. Краткие сведения из истории электрической постоянной и магнитной постоянной.

В 1785 г Ш.Кулон установил закон взаимодействия электрических зарядов. Для выполнения правила размерностей в этом законе Ш.Кулон ввел размерный коэффициент пропорциональности k, зависящий от той системы единиц, в единицах которой подставляются присутствующие в законе Кулона физические величины. Поскольку размерность коэффициента k в законе Кулона зависела от принятой системы единиц, то k стали называть **размерным коэффициентом**. Другой размерный коэффициент появился в установленном в 1820 г. законе Био-Савара-Лапласа, определяющем магнитную индукцию в вихревом поле.

Эти два размерных коэффициента, обозначенные впоследствии символами ε и μ, стали называть **диэлектрической и магнитной проницаемостями** вещества. Их включили в определяющие уравнения для сил электрического и магнитного взаимодействия и стали считать константами, количественно разными для каждого вещества. Дж.Максвелл в 1860-1865 г.г. обнаружил, что произведение этих констант связано с фазовой скоростью распространения поперечных электромагнитных волн v_{ph} в конкретном веществе с помощью уравнения

$v_{ph} = 1/\sqrt{(\varepsilon \mu)}$. (1)

Поскольку в XIX веке эфир считали такой же средой, как и среда любого вещества, то для эфира были также введены понятия диэлектрической и магнитной проницаемости эфира, обозначенные символами ε_0 и μ_0 . А фазовую скорость распространения электромагнитных волн в эфире стали называть **электромагнитной постоянной** и обозначать символом c.

Размерный коэффициент k из закона Кулона стали представлять для эфира в виде $1/\varepsilon_0$, в котором величину ε_0 стали называть **электрической постоянной** (физической константой эфира). А размерный коэффициент из закона Био-Савара-Лапласа стали представлять в виде μ_0 и стали называть **магнитной постоянной** (также физической константой эфира). Но поскольку значения ε_0 и μ_0 по-прежнему зависели от выбранной системы единиц, они так и остались размерными коэффициентами. И поскольку системы единиц постоянно менялись, то термин "константы" по отношению к этим коэффициентам применяется постольку, поскольку для каждой конкретной среды численные значения ε и μ не меняются. А эфир считается тоже средой. Исходя из подобных представлений об эфире, Дж.Максвелл предложил уравнение

$c = 1/\sqrt{(\varepsilon_0 \mu_0)}$, (2)

в котором величина c стала константой конкретно для эфира. Дж.Максвелл выдвинул предположение, что распространение света является процессом распространения поперечных электромагнитных волн в эфире, после чего фазовую скорость электромагнитных волн в эфире c стали называть как **электромагнитной постоянной**, так и **скоростью света**. В XX веке понятие “эфир“ заменили понятием “физический вакуум“. Но физическое содержание полевой среды, описываемой уравнениями электромагнитного поля, от этого не изменилось. В то же время выяснилось, что электромагнитная постоянная c независимо от выбора системы единиц остается постоянной, то есть она относится к фундаментальным физическим константам.

3. Электрическая постоянная и магнитная постоянная в истории метрологии.

Вторая половина XIX века была периодом поиска наиболее удобной системы единиц, учитывающей достижения ученых в области электромагнетизма. Подробная история этого поиска приведена в работах А.Власова и Б.Мурина (1990) и Г.Трунова (2006). В 1870-1881 г.г. физики пользовались системами СГСЭ и СГСМ, созданными отдельно для электрических (при предположении $\varepsilon_0 = 1$) и магнитных величин (при предположении $\mu_0 = 1$). Затем их объединили в смешанную систему единиц СГС (при предположении $\varepsilon_0 = \mu_0 = 1$), для которой уравнение Дж. Максвелла (2) уже перестало соблюдаться, а фундаментальная физическая константа c стала равной 1, что стало входить в противоречие с физическим содержанием этой константы. По этой причине приверженность ряда физиков системе СГС выглядит непонятной.

В 1889 г. А.Рюкер предложил системы единиц СГСε_0 и СГСμ_0 , но эти системы не прижились. После рационализации единиц по О.Хевисайду и предложения Дж.Джорджи заменить сантиметр и грамм на метр и килограмм в первой половине XX века появилась система единиц МКСА, в которой коэффициенты пропорциональности в законах Кулона и Ампера стали равными ($1/4\pi\varepsilon_0$) и ($\mu_0 /4\pi$). Затем система МКСА плавно перешла во второй половине XX века в общепринятую сейчас Международную систему единиц СИ с теми же коэффициентами пропорциональности ($1/4\pi\varepsilon_0$) и ($\mu_0 /4\pi$).

Понятно, что для определения численного значения одного из размерных коэффициентов из уравнения Максвелла (2) необходимо опытным путем определить численное значение другого размерного коэффициента. Им стало значение μ_0 , которое, как сказано в работе А.Власова и Б.Мурина (1990), в СИ “*определяется из уравнения для силы взаимодействия двух параллельных электрических токов в вакууме*“ , то есть с помощью использования закона Ампера. Затем по значениям c и μ_0 с помощью уравнения (2) определяется значение ε_0 по формуле:

$\varepsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$. (3)

Заметим, что в соответствии с принципом причинности μ_0 следует определять по ε_0 , ибо электрическое поле является первичным по отношению к магнитному полю. То есть последовательность

определения размерных коэффициентов электромагнитного поля в современной физике противоречит принципу причинности.

4. Физическая бессодержательность электрической и магнитной постоянных.

Г.Трунов (2006, 2007), ссылаясь на мнения многих известных физиков и метрологов, показал, что “*величины ε_0 и μ_0 , называемые в настоящее время диэлектрической и магнитной постоянными, по своей сути являются размерными коэффициентами, которые появляются в определяющих уравнениях электромагнетизма (в законе Кулона для точечных зарядов и в законе Ампера для двух параллельных проводников с токами) при переходе от трехразмерной системы* СГС *к четырехразмерной системе электромагнитных единиц* СИ“.

О физической бессодержательности величин ε_0 и μ_0 после внесения этих величин в метрологические стандарты говорит автор известного учебника по физике Д.Сивухин (1979): “*Дух отживших физических представлений витает над системой* СИ. *В частности, он повлиял на терминологию: первоначально величины ε_0 и μ_0 назывались диэлектрической и магнитной проницаемостями вакуума. Только полная бессодержательность таких понятий заставила отказаться от этих терминов и заменить их нейтральными терминами электрическая и магнитная постоянные. От этого, конечно, величины не сделались содержательными. Эти ненужные величины засоряют физику и загромождают формулы*“.

5. Фазовая скорость распространения продольных волн в упругой среде.

Продольные волны могут распространяться лишь в упругой среде. В современной физике фазовая скорость распространения продольных волн в упругой среде v_{ph} определяется по уравнению:

$$v_{ph} = 1/\sqrt{(\beta_{ad}\,\rho)} = \sqrt{(K_{ad}\,\rho)}\ , \quad (4)$$

где β_{ad} − адиабатическая сжимаемость среды; K_{ad} − адиабатический модуль объёмного сжатия среды; ρ − плотность среды. Если считать v_{ph} для эфира фундаментальной физической константой, то присутствующие в уравнении (4) произведения физических величин ($\beta_{ad}\,\rho$) и ($K_{ad}\,\rho$) для эфира также являются фундаментальными физическими константами.

Адиабатический процесс предполагает отсутствие теплообмена системы с окружающей средой. В полевой среде уместно говорить об отсутствии энергообмена. Это тем более обосновано, если учесть чрезвычайно большое значение частоты продольных волн в эфире.

6. Электромагнитная постоянная и скорость света имеют различное физическое содержание.

В настоящее время появились серьезные доводы против предположения Дж.Максвелла о том, что электромагнитная постоянная и скорость света в физическом вакууме имеют одинаковую физическую природу. Например, В.Ацюковский (2006) приводит экспериментальные данные, показавшие, что затухание света в воде Черного моря в миллион раз слабее, чем затухание электромагнитных волн. **Такое расхождение можно объяснить лишь различной природой света и электромагнитных волн.**

Действительно, поперечные электромагнитные волны воздействуют на жидкость в целом, без учета ее молекулярного состояния, и поэтому затухание электромагнитных волн в жидкости зависит от ее достаточно большой плотности. **А свет представляет собой поток элементарных частиц (фотонов)**. Сопротивление потоку фотонов идет на уровне ядер и электронов в атомах, и поэтому затухание света в жидкости значительно более слабое. Это объясняет, почему затухание электромагнитных волн и потока фотонов в жидкости различно, а также приводит к выводу, **что физическое содержание поперечных электромагнитных волн и потока фотонов в эфире различно.**

Литература

1. Ацюковский В.А., 2006, Популярная эфиродинамика, или Как устроен мир, в котором мы живем. – М.: Знание, 288с.
2. Вильшанский А. 2014. Физическая физика. Ч.1. Гравитоника. Изд. DNA. Израиль, а также http://www.geotar.com/position/kapitan/stat/soder1.pdf
3. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
4. Сивухин Д.В, 1979, О Международной системе физических величин. – “Успехи физических наук ”, 129, вып. 2, с.с. 335-338

5. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.
6. Трунов Г.М., 2007, Магнитная постоянная μ_0 : фундаментальная физическая константа или просто размерный коэффициент? – “Законодательная и прикладная метрология”, 2.

5.2. О гравитационной постоянной и о записи закона Ньютона

1. Современная гравитационная постоянная фактически является гравистатической постоянной.

Гравитационное поле, как электромагнитное поле, должно быть представлено в двух формах − центральное (**гравистатическое**) поле и вихревое (**гравидинамическое**) поле. Это схематично показано в разделе о формах физического поля. В современной физике рассматривается обычно гравистатическое поле, сила взаимодействия в котором и определяется законом всемирного тяготения Ньютона, близким по форме записи к закону Кулона для электростатического поля.

В законе Ньютона, как и в его аналоге (законе Кулона), присутствует **размерный коэффициент**. Его обозначают в метрологическом справочнике буквой γ, но в литературе чаще всего применяют букву G. Называют этот размерный коэффициент **гравитационной постоянной**. Этот размерный коэффициент сегодня входит во все уравнения для расчета значений планковских единиц. Покажем, что размерный коэффициент в законе всемирного тяготения Ньютона должен выглядеть, обозначаться и называться не так, как сейчас, и иметь другое численное значение.

Понятно, что размерные коэффициенты для двух разных форм физического поля должны обозначаться по-разному, как, например, $1/\varepsilon_0$ в законе Кулона, где ε_0 называют электрической постоянной, и магнитная постоянная μ_0 в магнитном поле. Поэтому Ю.Немчинов (1995) предложил записывать размерный коэффициент для гравистатического поля в виде $1/\gamma_0$ по аналогии с $1/\varepsilon_0$ в электростатическом поле. Кроме того, необходимо в состав коэффициента пропорциональности при законе Ньютона добавить множитель $(1/4\pi)$, который присутствует в законах Кулона и Ампера. Это означает, что вместо G в законе Ньютона должен стоять коэффициент $4\pi/\gamma_0$, а закон Ньютона должен быть записан в виде, подобном закону Кулона:

$$\mathbf{F}_{12} = k_g\ (m_1 \cdot m_2\ /4\pi r^2)\ \mathbf{e}_{12}\ ,\ (\ 1\ )$$

где m_1 и m_2 - массы тел, r - расстояние между ними. При соблюдении указанных условий, принятых в электромагнетизме, **гравистатической постоянной** (уже не просто гравитационной постоянной!) γ_0 следует считать не γ (или G), а размерный коэффициент $\gamma_0 = 4\pi/\gamma$ (или $\gamma_0 = 4\pi/G$). Появление множителя 4π в составе гравистатической постоянной потребует пересчета численных значений всех планковских единиц, в которые в качестве сомножителя сейчас включена гравитационная постоянная G.

В системе величин ЭСВП, в разделе, посвященном анализу размерных коэффициентов в законах взаимодействия зарядов физического поля в вакууме, показано, что размерный коэффициент для гравистатического поля γ_0 должен быть равным 1, подобно размерному коэффициенту ε_0 для электростатического поля.

2. Гравидинамическая постоянная для гравитационного вихревого поля.

Закона, определяющего силу взаимодействия двух движущихся массивных тел в гравидинамическом поле (вихревой составляющей гравитационного поля) в современной физике пока нет. Однако следует упомянуть работу С.Кадырова (2001) в этом направлении. В указанном законе должен быть свой размерный коэффициент, аналогичный магнитной постоянной μ_0 в магнитном поле.

Этот размерный коэффициент, обозначенный символом δ_0 (И.Коган, 2011), в современной физике отсутствует. Впрочем, и само понятие гравидинамического поля встречается в литературе редко. Закон, определяющий силу взаимодействия двух движущихся массивных тел в гравидинамическом поле, по-видимому, должен быть аналогичен закону Ампера и записан в виде:

$$F = \delta_0\ (I_{g1} \cdot I_{g2}\ /2\pi r\ ,\ (\ 2\ )$$

где I_{g1} и I_{g2} - потоки движущихся масс, r - расстояние между этими потоками. Образно говоря, если два железнодорожных состава идут по параллельным рельсовым путям в одну сторону или если два корабля плывут параллельно друг другу в одном направлении, то они притягиваются друг к другу. Причиной того, что закон в гравитации, подобный закону Ампера в электродинамике, практически неизвестен, является то обстоятельство, что **гравитационное взаимодействие на много порядков слабее эдектромагнитного**.

В принципе, размерный коэффициент δ_0 , который можно назвать **гравидинамической постоянной**, можно будет определить лишь тогда, когда станет известно значение подлинной **гравитационной постоянной** c_g , которая, как и электромагнитная постоянная c, может определяться уравнением, аналогичным по форме записи уравнению Максвелла $c = 1/\sqrt(\varepsilon_0\,\mu_0\,)$, а именно

$c_g = 1/\sqrt(\gamma_0\,\delta_0\,)$, (3)

Электромагнитная постоянная c и подлинная гравитационная постоянная c_g вошли в “Единую математическую формулу законов природы”, предложенную известным физиком М.Вудынским (1971). Правда, М.Вудынский называет c скоростью поперечных электромагнитных волн, а c_g называет скоростью продольных гравитационных волн.
В разделе об электрической и магнитной постоянных сказано, что **современные эксперименты указывают на различную природу электромагнитных волн и потока фотонов света, несмотря на одинаковое значение их скорости, то есть на отсутствие так называемого корпускулярно-волнового дуализма. По-видимому, физическая природа продольных гравитационных волн и потока гравитонов также различны.**

3. О продольных волнах применительно к гравитационному полю.

Из теории распространения продольных волн в упругой твердой среде известно, что их фазовая скорость в $\sqrt(E/G)$ больше, чем фазовая скорость поперечных волн в той же среде (E − модуль продольной упругости среды, а G − модуль ее поперечной упругости). Это же относится и к жидкой среде, хотя и с некоторыми особенностями.

В любой среде модуль продольной упругости во много раз больше модуля ее поперечной упругости. Это объясняется тем, что при распространении продольных волн происходят **колебания деформации растяжения-сжатия**, что связано с колебанием давления в среде и, как следствие, с колебанием плотности среды. А при распространении поперечных волн происходят **колебания деформации сдвига**, что не приводит к колебаниям плотности среды, а может приводить лишь к потерям энергии на внутреннее трение.

Приведем пример различия между продольными и поперечными волнами из хорошо знакомой земной реальности. Фазовая скорость звука в соленой воде океана (**продольные колебания в жидкости**) равна в среднем 1500 м $с^{-1}$, что в 62,5 раза больше средней фазовой скорости движения волн на поверхности океана (**поперечные колебания жидкости**), равной в среднем 24 м $с^{-1}$. При подводных землетрясениях до берега сначала доносятся продольные звуковые волны, движущиеся внутри воды, их чувствуют морские животные, уходящие вглубь океана, где высота волн цунами очень мала. Затем по воздуху доносится инфразвук значительной мощности, вызванный зародившимися волнами цунами, он движется со скоростью звука в воздухе (продольные колебания в воздухе), равной в среднем 340 м $с^{-1}$, и его слышат, только позже, земные животные, убегающие подальше от берега. И лишь через некоторое время на берег обрушиваются поверхностные поперечные волны (волны цунами).

Можно предположить, что фазовая скорость распространения продольных волн в физическом вакууме (скорость гравитационных волн) также во много раз больше скорости распространения поперечных волн в этой же среде (в частности, намного больше скорости электромагнитных волн в физическом вакууме c). Еще П.Лаплас утверждал, что скорость гравитационных волн в вакууме должна быть на несколько порядков выше скорости электромагнитных волн. Фазовая скорость распространения гравитационных волн в полевой среде c_g и является фазовой скоростью распространения продольных волн.

Сверхсветовую скорость наблюдал Н.Тесла (1904) при опытах со своим знаменитым трансформатором Тесла. У него электромагнитные колебания в хитро задуманном им устройстве порождали колебания эфира. Н.Тесла заметил, что наблюдаемые им волны, в отличие от поперечных электромагнитных волн, проникают сквозь металл. Это можно было бы объяснить, например, тем, что длина этих волн настолько мала, что она значительно меньше межатомных и межмолекулярных расстояний, эти волны просто не ощущают препятствий при прохождении сквозь тело, состоящее из атомов и молекул. Тогда как длины волн поперечных электромагнитных колебаний соизмеримы с размерами микрочастиц, и поэтому электромагнитные волны задерживаются земными материалами в той или иной степени.

К сожалению, на сегодняшний день в литературе имеется разброс предполагаемых значений скорости гравитационных волн. Но в любом случае скорость распространения электромагнитных волн в вакууме не является предельным значением скорости, как того требует теория относительности.

Литература

1. Вудынский М.М., 1971, Законы физики и электроника. – ВИНИТИ, Итоги науки и техники, Серия “Автоматика и радиоэлектроника“.
2. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm.
3. Коган И.Ш., 2011, Развитие идеи объединения электромагнетизма и гравитации. – “Мир измерений”, 3, с.с. 51-53.
4. Немчинов Ю.В., 1995, О том, как соединить гравитацию с электромагнетизмом. – "Законодательная и прикладная метрология", 1, с.с. 44-47.
5. Тесла Н., 1904, Передача электрической энергии без проводов. The Electrical World and Engineer

5.3. Размерности и единицы напряженностей поля

1. Терминология напряженностей поля.

Краткие сведения о напряженностях физического поля освещены также в другом разделе. В данном разделе приведены формулировки и определяющие уравнения для напряженностей в разных формах физического поля, указаны размерности и единицы этих напряженностей. Разъяснены термины "чистая напряженность", "локальная напряженность", "полная напряженность", "константа поля". Все рассматриваемые виды напряженностей иллюстрируются также Таблицей величин физического поля.

2. Размерности и единицы чистых напряженностей поля.

Под **чистой напряженностью** поля понимается напряженность поля, рассчитываемая без учета свойств среды (в том числе, и физического вакуума) и без учета размерных коэффициентов в принятой системе единиц. Необходимо учесть лишь форму физического поля (центральное или вихревое). С учетом принятой на данном сайте системы индексации чистая напряженность обозначается символами $\mathbf{E}_f$ (в центральном поле) и $\mathbf{E}_c$ (в вихревом поле).

Чистые напряженности используются в физике постоянно, но сам термин встречается редко. Хотя в разделе о напряженностях поля в веществе пренебрежение применением термина "чистая напряженность" приводит к терминологической и символьной путанице. Чистая напряженность электрического поля обозначается в литературе выражением ($\varepsilon_0\mathbf{E}$), а чистая напряженность магнитного поля обозначается выражением ($\mathbf{B}/\mu_0$), хотя термин "чистая напряженность" при этом не применяется.

Чистая напряженность центрального поля $\mathbf{E}_f$ определяется по уравнению

$\mathbf{E}_f = \varepsilon_0\mathbf{E} = Q\ \mathbf{e}_r / S_f$, (1)

где Q − полеобразующий заряд центрального поля; S_f − площадь эквипотенциальной поверхности; $\mathbf{e}_r$ − орт, придающий напряженности направленность по радиусу эквипотенциальной поверхности. Чистая напряженность вихревого поля обозначается символом $\mathbf{E}_c$ и определяется по уравнению

$\mathbf{E}_c = \mathbf{B}/\mu_0 = [\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r] / S_c$, (2)

где $\mathbf{Q}$ − динамический полеобразующий заряд (движущийся заряд или токовый заряд); S_c − площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля.

Размерности и единицы чистых напряженностей в СИ очень просты. Для $\varepsilon_0\mathbf{E}$ это $L^{-2}TI$ и Кл $м^{-2}$, а для $\mathbf{B}/\mu_0$ это $L^{-1}I$ и А $м^{-1}$.

3. Размерности и единицы напряженностей поля в физическом вакууме.

Под "**локальной напряженностью**" понимается напряженность в конкретной точке поля. Когда физики говорят о напряженности поля, они понимают именно локальную напряженность, слово "локальная" просто не применяется. Локальная напряженность в центральном поле учитывает свойства среды (физического вакуума) и поэтому в ее обозначение можно добавить нижний индекс "$_v$" .

Определяющее уравнение для $\mathbf{E}_{fv}$ включает размерный коэффициент для центрального поля в вакууме k_{f0} , который зависит от системы единиц (в СИ $k_{f0} = 1/\varepsilon_0$, в СГСЭ, СГС и ЭСВП $k_{f0} = 1$). В СИ вместо символа $\mathbf{E}_{fv}$ применяется неиндексированный символ **E**. Определяющее уравнение локальной напряженности в центральном поле выглядит так:

$\mathbf{E}_{fv} = \mathbf{E} = (1/\varepsilon_0)\ \mathrm{Q}\ \mathbf{e}_r /S_f$ (в СИ) (3)

и

$\mathbf{E}_{fv} = Q\ \mathbf{e}_r /S_f$ (в ЭСВП) (4)

Локальная напряженность в вихревом поле в ЭСВП обозначается символом $\mathbf{E}_{cv}$. В СИ локальная напряженность в магнитном поле называется **магнитной индукцией**, и вместо символа $\mathbf{E}_{cv}$ применяется символ **B**. Определяющее уравнение для $\mathbf{E}_{cv}$ включает размерный коэффициент для вихревого поля в вакууме k_{c0} . Этот размерный коэффициент в СИ $k_{c0} = \mu_0$, а в СГСЭ и ЭСВП $k_{c0} = 1/c^2$ (c – электромагнитная постоянная). Поэтому определяющее уравнение локальной напряженности в вихревом поле выглядит так:

$\mathbf{E}_{cv} = \mathbf{B} = \mu_0\, [\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r] /S_c$ (в СИ) (5)

и

$\mathbf{E}_{cv} = (1/c^2)\, [\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r] /S_c$ (в ЭСВП) . (6)

Размерности и единицы локальных напряженностей в СИ сложны, а иногда и неверны. Сводная таблица размерностей и единиц локальных напряженностей поля в физическом вакууме представлена ниже в разделе 5 с комментариями в разделе 6.

4. Как учитывается площадь эквипотенциальной поверхности в размерностях напряженностей

В центральном поле эквипотенциальная поверхность на достаточном удалении от полеобразующей заряженной системы является сферой, ее площадь $S_f = 4\pi r^2$. В вихревом поле эквипотенциальная поверхность S_c может быть и боковой поверхностью цилиндра. Например, в вихревом поле прямого тока $S_c = 2\pi bl$, где b и l – радиус и длина цилиндра.

Уравнения (4) и (6) − это **уравнения напряженностей поля в физическом вакууме** как в случае электромагнитного поля, так и в случае гравитационного поля. В качестве примера расшифровки этих уравнений в электромагнетизме без разделения формулы площади эквипотенциальной поверхности на сомножители приведем уравнения для электрического поля и магнитного поля в вакууме сначала в СИ:

$\mathbf{E} = Q\,\mathbf{e}_r /\varepsilon_0\, 4\pi r^2$, (7)

и

$\mathbf{B} = \mu_0\, [\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_b] /2\pi bl$, (8)

а затем в системе ЭСВП:

$\mathbf{E}_{fv} = Q\,\mathbf{e}_r / 4\pi r^2$ (9)

и

$\mathbf{E}_{cv} = (1/c^2)\, [\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r] /2\pi bl$. (10)

А в СИ записи уравнения (7) и (9) выглядят так:

$\mathbf{E} = (1/4\pi\varepsilon_0)\, Q\,\mathbf{e}_r / r^2$ (11)

и

$\mathbf{B} = (\mu_0 /4\pi)\, 2[\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_b] /bl$. (12)

Формы записи уравнений (11) и (12) верны математически, но не физически. Искусственное отделение множителя 4π от множителя r^2 в уравнении (11), то есть искусственный разрыв формулы для определения площади эквипотенциальной поверхности, ведет к искажению правильности восприятия физического содержания этого уравнения. В разделе, поясняющем неправомерность такого искусственного отделения множителя 4π, рассказана история этой математической операции. Еще большее искажение физического смысла допущено при записи уравнения (12).

5. Объединенная таблица размерностей и единиц напряженностей

№	Название величины	в СИ			в ЭСВП	
		Размерность	Единица		Размерность	Единица
			по размерности	фактическая		
1	Напряженность электростатического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	кг м $с^{-3}$ $А^{-1}$	Н $Кл^{-1}$, В $м^{-1}$	$L^{-2}Q$	Кл $м^{-2}$
2	Напряженность магнитостатического поля	$MT^{-2}I^{-1}$	кг $с^{-2}$ $А^{-1}$	Тл	$L^{-3}TQ$	Кл $м^{-3}$ с
3	Напряженность гравистатического поля	LT^{-2}	м $с^{-2}$	м $с^{-2}$	$L^{-2}Q$	кг $м^{-2}$
4	Напряженность гравидинамического поля	(T^{-2})	$(с^{-1})$	-	$L^{-3}TQ$	кг $м^{-3}$ с

6. Комментарии к объединенной таблице размерностей и единиц напряженностей

Размерность напряженности центрального поля **Е** в СИ равна в соответствии со справочником А.Чертова (1990) $LMT^{-3}I^{-1}$, но единица напряженности не равна кг м $с^{-3}$ $А^{-1}$, как следовало бы ожидать, судя по ее размерности. Единица напряженности равна Н $Кл^{-1}$, хотя на практике применяют единицу В $м^{-1}$. В системе ЭСВП в соответствии с уравнениями (4) и (6) размерность напряженности центрального поля равна $L^{-2}Q$ и единица равна Кл $м^{-2}$. Сводная таблица в разделе о напряженностях наглядно показывает, какая из этих трех единиц ближе к истине.

У напряженности гравитационного центрального (гравистатического) поля должна быть точно такая же размерность, как у напряженности электростатического поля, то есть $L^{-2}Q$, только зарядом гравистатического поля является масса с единицей кг, и поэтому единица напряженности гравистатического поля должна быть равна кг $м^{-2}$ по аналогии с единицей Кл $м^{-2}$ для напряженности электростатического поля. А вовсе не единица м с$^{-2}$, как в современной физике и в СИ, которая привела к созданию искусственной и неправдоподобной LT-системы величин).

Размерность напряженности вихревого (магнитостатического) поля в СИ, называемой в электромагнетизме магнитной индукцией **B**, вытекает из уравнения, которое определяет магнитную индукцию по амперовской силе взаимодействия, что, как показано в разделе, посвященном нарушениям принципа причинности в электромагнетизме, принципиально неверно. Размерность магнитной индукции в СИ равна $\mathrm{MT^{-2}I^{-1}}$, а единица, как следовало бы ожидать, судя по размерности, должна была бы быть равна кг с$^{-2}$ А$^{-1}$. Но магнитная индукция имеет в СИ единицу Тл (Тесла), расшифровываемую, как Н Кл$^{-1}$ м$^{-1}$ с$^{-1}$. Понятно, почему такую единицу назвали сокращенно именем великого физика, кто бы запомнил ее иначе.

В системе ЭСВП напряженность магнитостатического поля определяют по уравнению (10), и ее размерность равна $\mathrm{L^{-3}TQ}$, а единица Кл с м$^{-3}$ выглядит достаточно просто. Напряженность гравидинамического поля должна иметь размерность, аналогичную размерности магнитной индукции в ЭСВП, то есть $\mathrm{L^{-2}Q}$. Но если следовать размерности напряженности гравистатического поля в СИ, равной $\mathrm{LT^{-2}}$ с единицей м с$^{-2}$, то мы приходим к совсем непонятной размерности напряженности гравидинамического поля, равной $\mathrm{T^{-1}}$, с единицей с$^{-1}$.

7. Константа физического поля

Если рассмотреть, согласно уравнениям (1) и (2), произведение модуля чистой напряженности физического поля ($\mathbf{E}_f$ или $\mathbf{E}_c$) на площадь эквипотенциальной поверхности S, то полученная величина

$k_Q = ES$, (13)

будет пропорциональна только значению полеобразующего заряда Q. Поэтому величину k_Q можно назвать **константой физического поля** конкретного полеобразующего заряда Q. Эта константа характеризует напряженность физического поля, создаваемого этим полеобразующим зарядом, независимо от того, существуют ли в этом поле другие заряды. Постоянство значения k_Q для конкретного значения Q говорит лишь об обратной пропорциональности напряженности и площади эквипотенциальной поверхности, и больше ни о чем.

В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1, § 3.13) имеется константа для центрального поля аналогичного содержания в виде $\alpha = Fr^2$, она считается алгебраической величиной, зависящей от знака заряда. Вместо модуля вектора чистой напряженности в этой константе присутствует модуль силы взаимодействия F, а вместо площади S указан квадрат радиуса r^2.

Константы центрального и вихревого физических полей в физическом вакууме после учета размерных коэффициентов физического вакуума k_{f0} и k_{c0} имеют вид:

$k_{fQ} = E_f S_f = k_{f0} Q$ (14) и $k_{cQ} = E_c S_c = k_{c0} |\mathbf{Q}_c|$. (15)

Если учесть постоянство размерных коэффициентов k_{f0} и k_{c0} , то становится ясно, что константой физического поля, созданного полеобразующим зарядом, является сам полеобразующий заряд. В крайнем случае, величина, ему пропорциональная, но при условии постоянства значения коэффициента пропорциональности, что вполне логично. Поэтому размерности констант физического поля в ЭСВП равны размерностям зарядов центрального и вихревого поля, то есть

$\dim (k_{fQ}) = \mathrm{Q}$ (16)

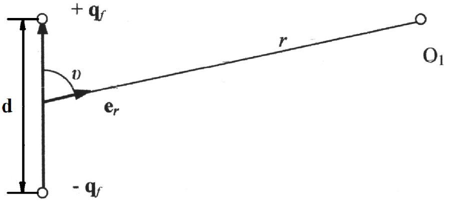
и

$\dim (k_{cQ}) = \mathrm{L^{-1}TQ}$. (17)

Именно к такому выводу пришла И.Бабич (2011, ч.1, уравнение 6), ограничившись рассмотрением гравитационного поля и назвав константу гравитационного поля количеством гравитации. Это привело ее к присвоению единице напряженности гравитационного поля единицы ускорения м $с^{-2}$. То есть, в итоге, опять-таки к искусственной LT-системе величин.

Литература

1. Бабич И.П., 2011, Законы гравитации – поиски физического смысла. http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10300.html
2. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
3. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.



5.4.Электрический диполь и его дипольный момент

Электрический диполь как полеобразующая система

Рассмотрим полеобразующую заряженную систему, содержащую **электрический диполь**, и будем рассматривать напряженность центрального поля, образуемого этим диполем.

В современной электростатике расстояние *d* между зарядами диполя, показанное на рисунке, обозначают символом **l**, считают вектором, направленным от отрицательного к положительному заряду диполя, и называют **плечом диполя**. Такое название некорректно, так как слово "плечо" относится к паре сил, действующих на диполь при повороте диполя. В разделе, посвященном повороту электрического диполя в электрическом поле, показано, что такое плечо пары сил имеет переменное значение, тогда как расстояние между электрическими монополями постоянно.
Поэтому вектор, направленный от отрицательного к положительному заряду диполя, будем называть **дипольным расстоянием** и обозначать символом **d**, так как при повороте диполя дипольное расстояние является диаметром окружности, по которой смещаются монополи. Векторная величина $\mathbf{p}_e = q\mathbf{d}$, в которой q − заряд электрического монополя, называется **электрическим моментом электрического диполя**. (В современной электростатике он записывается как $\mathbf{p} = q\mathbf{l}$.) Величина $\mathbf{p}_e$ является конструктивным параметром, характеризующим свойства электрического диполя.

В учебниках по физике термин “электрический момент электрического диполя“ нередко дублируется термином “**дипольный электрический момент**“. Но такое дублирование некорректно, так как под термином “дипольный электрический момент“ подразумевается в электростатике не параметр одного электрического диполя, состоящего всего из двух зарядов *q* противоположного знака, а параметр системы нескольких полеобразующих зарядов.
Уравнение для определения напряженности электрического поля,

создаваемого электрическим диполем (см. рисунок), записывают в современной электростатике в виде:

$\mathbf{E} = [\mathbf{p}_e\sqrt{(1 + 3\cos^2 \upsilon)}]/4\pi\varepsilon_0 r^3$, (1)

где ε_0 - размерный коэффициент электрического поля, называемый электрической постоянной; r - модуль радиус-вектора **r**, исходящего из центра полеобразующего диполя О к центру полевой заряженной системы O_1 ; υ - угол между направлением радиус-вектора **r** и дипольным расстоянием **d**. **Однако запись уравнения (1) с точки зрения принципа причинности нелогична. Более логична запись преобразованного уравнения (1) в виде:**

$\mathbf{E} = Kq_e\, \mathbf{e}_r /4\pi r^2 \varepsilon_0$, (2)

где $K = (d /r)\sqrt{(1 + 3\cos^2 \upsilon)}$ – безразмерная характеристика поля электрического диполя; (d/r) - критерий подобия, характеризующий соотношение модулей дипольного расстояния d и радиус-вектора r. В уравнении (2) отсутствует электрический момент диполя $\mathbf{p}_e$ (в его присутствии нет необходимости), а оба приведенные критерии подобия (d/r и K) имеют ясное физическое содержание. Поэтому уравнение (2) предпочтительнее уравнения (1).

Электрический диполь в составе системы полеобразующих зарядов

В электростатике имеется физическая величина, называемая **дипольным электрическим моментом системы зарядов** молекул диэлектрика, обозначаемая также символом **p**. Эта величина применяется при определении напряженности физического поля, создаваемого системой полеобразующих зарядов на больших расстояниях от этой системы. Диэлектрик, в принципе, состоит из мультиполей разного порядка, электрический диполь является мультиполем второго порядка. Впрочем, диэлектрик не обязательно должен состоять только из диполей. Поэтому в общем случае логичнее применять термин **мультипольный электрический момент системы зарядов**. В электростатике эта величина определяется по такому уравнению:

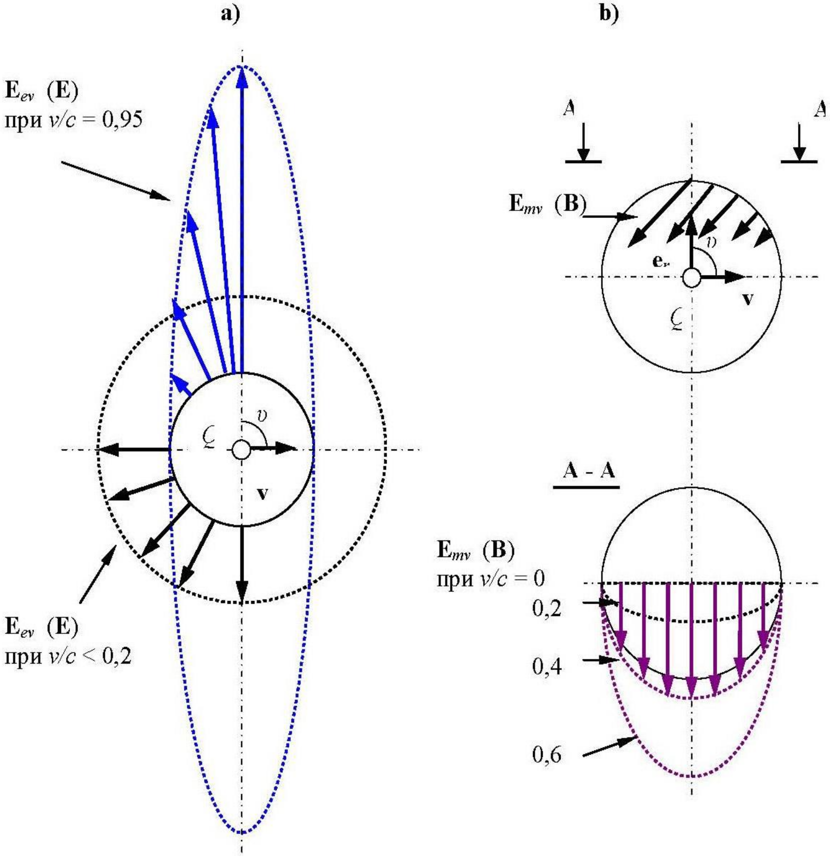
$\mathbf{p}_\Sigma = \Sigma_i\, Q_i\, \mathbf{r}_i$, (4)

где Q_i – i-ый полеобразующий заряд системы полеобразующих зарядов; $\mathbf{r}_i$ – радиус-вектор i-го заряда относительно произвольно выбранного начала координат. Очевидно, что в данном случае мы имеем дело не с электрическим моментом диполя **p**, с каким имели дело выше при рассмотрении одиночного электрического диполя, так как дипольное расстояние **d** и радиус-вектор $\mathbf{r}_i$ – принципиально другие векторы. То есть, **в данном случае мы сталкиваемся с одним из проявлений понятийной бессистемности.**

5.5. Напряженности поля движущегося заряда

1. Эпюры напряженности поля прямолинейно движущегося заряда.

На рисунке показаны **эпюры напряженностей** для центрального (рис. **а**) и вихревого (рис. **b**) физических полей, создаваемых движущимся зарядом на сферической поверхности радиусом *r* (ее круговое сечение обозначено на рисунке сплошной линией). Символы напряженностей указаны как в соответствии с принятой в системе величин ЭСВП символикой, так и в соответствии с символикой, применяемой в современной физике (последняя указана в скобках).



Слово "**эпюра**" (или "эпюр") означает графическое изображение изменения некоторой величины в зависимости от изменения другой величины.

Будем анализировать изменения напряженностей в зависимости от угла *υ* между вектором скорости **v** и радиус-вектором **r**, направленным из центра заряженной системы к точке, в которой измеряется напряженность, а также в зависимости от отношения скорости заряженной системы к скорости света v/c.

2. Напряженности центрального поля движущегося заряда.

Приведем определяющее уравнение напряженности электрического поля, умноженной на поправочный безразмерный коэффициент f_e $(v/c, \upsilon)$, отражающий зависимость напряженности от скорости заряда v и от угла υ между направлением вектора скорости и направлением радиус-вектора к точке, где определяется напряженность:

$$\mathbf{E} = (Q\ \mathbf{e}_r /\varepsilon_0\ S_f)\ f_e(v/c, \upsilon)\ . \quad (1)$$

Для движущегося электрического заряда поправочный коэффициент равен (И.Савельев, 2005):

$$f_e(v/c, \upsilon) = [1 - (v/c)^2] / [1 - (v/c)^2 \sin^2\upsilon]^{3/2}\ . \quad (2)$$

Из рис. **a** видно, что при $v/c < 0{,}2$ эпюра напряженностей, векторы которых показаны черным цветом в третьем квадранте рисунка, практически не отличается от эпюры напряженности при $v/c = 0$, то есть является окружностью. Причиной этого является то, что коэффициент f_e $(v/c, \upsilon)$ при малых значениях v/c (то есть в макромире) практически не отличается от 1. Это означает, что напряженности центрального поля при относительно малых скоростях движущейся заряженной системы практически не отличаются от напряженности электрического поля неподвижной заряженной системы.

Рассмотрим, в частности, колебания электрических зарядов (например, колебания электронов проводимости в проводниках при переменном электрическом токе). Максимальные значения колебательной скорости электронов имеют порядок 10^{-3} м c^{-3}, что практически близко к $v/c = 0$. Тем не менее, колебательные скорости электронов v изменяются от нуля до максимума в течение одного периода, и это создает небольшие колебания напряженности **E** в окружающей проводник среде (круглая эпюра напряженности на рисунке **a** попеременно увеличивается и уменьшается в диаметре). А поскольку абсолютные значения напряженности сильно зависят еще и от площади эквипотенциальной поверхности S_f, находящейся в знаменателе уравнения (1), то этим и объясняется тот факт, что колебания напряженности электрического поля ощущаются реально только в непосредственной близости от проводника (особенно при низкой стандартной частоте переменного тока 50 Гц).

Различие в форме эпюры напряженности начинает наблюдаться лишь при скоростях v, сравнимых со скоростью света c (то есть в микромире), что видно из эпюры напряженностей при $v/c = 0{,}95$, векторы которых показаны синим цветом в четвертом квадранте рисунка **a**. При угле $\upsilon = 0$ коэффициент $f_e\ (v/c,\ \upsilon)$ существенно уменьшается по сравнению с 1, а при $\upsilon = 90^o$ возрастает до 4,5.

3. Напряженности вихревого поля движущегося заряда.

Приведем определяющее уравнение напряженности вихревого поля (в данном случае магнитного поля) в физическом вакууме в символике системы величин ЭСВП:

$\mathbf{E}_{cv} = k_{c0}\,[\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r\,]\ /S_c$, (3)

где k_{c0} − размерный коэффициент, равный $1/c^2$ в системе величин ЭСВП; $\mathbf{Q}$ − движущийся заряд, равный $(Q\mathbf{v})$, S_c − площадь эквипотенциальной поверхности. В символике СИ $k_{c0} = \mu_0$, и уравнение (3) имеет вид определяющего уравнения для магнитной индукции:

$\mathbf{B} = \mu_0\,[\mathbf{Q}\ \mathbf{e}_r]\ /\ S_c = \mu_0\,[(Q\mathbf{v})\ \mathbf{e}_r\,]\ /\ S_c$. (4)

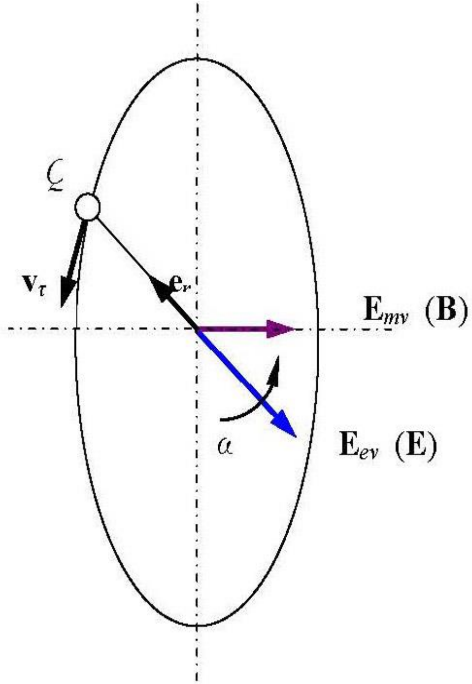
Модуль магнитной индукции равен:

$B = \mu_0\ Qv \sin \upsilon\ /\ S_c = \mu_0\ Qc[(v/c) \sin \upsilon]\ /\ S_c$. (5)

Эпюры векторов напряженностей вихревого поля (магнитной индукции) показаны на рис. **b** в двух взаимно перпендикулярных проекциях. Из уравнения (4) и из верхней проекции видно, что модули напряженностей имеют максимальное значение при $\upsilon = 90^o$. Из нижней проекции, где векторы магнитной индукции показаны сиреневым цветом, видно, что модули напряженностей изменяются по синусоиде, и они растут с ростом отношения v/c. В макромире (в земных условиях) напряженности магнитного поля движущегося заряда близки к нулю, и наличие магнитного поля движущейся заряженной системы можно не учитывать.

В макромире (в земных условиях) можно рассматривать практически только центральное поле движущегося заряда, и это поле практически является сферическим. Наличие магнитного поля движущегося заряда становится ощутимым лишь при скоростях v, сравнимых со скоростью света, то есть в атомной физике.

4. Напряженности в поле движущегося по окружности элементарного заряда.



При движении элементарного заряда Q по окружности радиусом $\mathbf{r}$ с касательной скоростью $\mathbf{v}_\tau$ (например, электрона в боровской модели атома) вектор напряженности центрального поля в центре окружности $\mathbf{E}_{ev}$ (в современной электродинамике $\mathbf{E}$) коллинеарен и противоположно направлен орту радиуса $\mathbf{e}_r$. Этот вектор определяется по уравнению (1) и вращается с такой же угловой скоростью $\boldsymbol{\omega} = \mathbf{v}_\tau /r$, что и сам радиус-вектор.

Вектор напряженности вихревого поля в центре орбиты $\mathbf{E}_{mv}$ (в современной электродинамике вектор магнитной индукции $\mathbf{B}$) определяется по уравнению (4), а его модуль определяется по уравнению (5). В отличие от вращающегося вектора напряженности центрального поля $\mathbf{E}$ вектор магнитной индукции $\mathbf{B}$ не меняет своего направления при движении заряда по окружности.

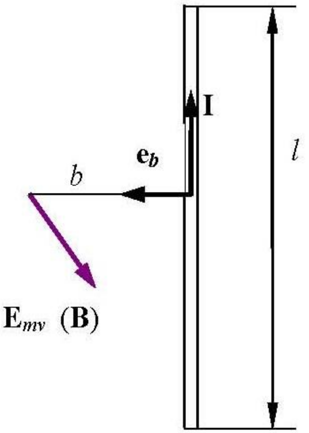
В макромире (в земных условиях) напряженность вихревого поля $\mathbf{B}$ внутри круговой орбиты практически отсутствует. При скоростях v_τ , сравнимых со скоростью света c, возрастают напряженности обеих форм физического поля, особенно напряженность центрального поля.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики, кн.2. – М.: АСТ: Астрель

5.6. Индукция магнитного поля проводника с током

1. Схема для расчета магнитной индукции проводника с током.



В разделах данной рабьоты вместо прямого тока в проводнике применяется другая физическая величина, названная **токовым зарядом**, обозначаемым выражением (**I**d*l*), где **I** - ток как векторная величина, а d*l* - элементарный прямой участок проводника с током. В разделе о токовом заряде прямого тока, разъясняются причины, вызывающие необходимость введения этого понятия в электродинамику. Токовый заряд создает вихревое поле, называемое в электромагнетизме **магнитным полем.**

Направление и значение **напряженности магнитного поля в вакууме**, называемое в современной электродинамике **магнитной индукцией**, зависят от значения модуля тока **I** и от расстояния от проводника до рассматриваемой точки поля *b*. На рисунке схематично показан прямолинейный проводник, по которому течет ток **I**. В электродинамике вихревое (магнитное) поле тока, текущего по прямому проводу бесконечной длины, называется **полем прямого тока**.

Конечно, провод бесконечной длины это математическая абстракция, так как ток может существовать только в замкнутом контуре. В данном случае имеется в виду прямолинейный участок замкнутого контура, достаточно далекий от другой ветви того же контура, по которой течет ток с таким же значением, но в противоположном направлении. При этом допускается, что влиянием магнитного поля от тока в другой ветви контура на рассматриваемый участок проводника можно пренебречь, и рассмотрены уравнения напряженности магнитного поля в вакууме $\mathbf{E}_{mv}$ (определяющие уравнения магнитной индукции **B**).

2. Определяющие уравнения вектора магнитной индукции проводника с током.

Эквипотенциальные поверхности поля прямого тока (магнитной индукции) являются цилиндрическими (кроме эквипотенциальных поверхностей на концах рассматриваемого участка). Полное определяющее уравнение вектора напряженности вихревого поля в вакууме (магнитной индукции **B**) может быть записано с учетом того, что токовый заряд ($\mathbf{I}l$) является причиной возникновения такого поля, в виде:

$\mathbf{B} = \mu_0 \, [(\mathbf{I}l) \, \mathbf{e}_b \,] \, /2\pi bl$. (1)

При расчете магнитной индукции **B** по уравнению (1) значение длины проводника l в числителе и знаменателе уравнения (1) можно сократить лишь при подстановке численных значений. Однако в современной физике такого понятия, как токовый заряд, пока не существует, и при математическом преобразованиии уравнения (1) длину l выносят за скобки в числителе и сокращают с длиной l в знаменателе. В итоге приходят к уравнению:

$\mathbf{B} = \mu_0 \, [\mathbf{I} \, \mathbf{e}_b \,] \, /2\pi b$. (2)

При этом исчезает необходимость говорить о длине прямолинейного участка проводника, из уравнения (2) вообще не видно, что участок проводника прямой.

3. Почему в электродинамике определяют лишь модуль магнитной индукции проводника с током.

В современной физике электрический ток считается величиной скалярной, ошибочность такого представления тока показана в отдельном разделе. Вследствие этого в учебниках и справочниках приводится определяющее уравнение лишь для модуля магнитной индукции в виде:

$B = (\mu_0 /4\pi) \, 2I/ \, b$, (3)

хотя, конечно, магнитная индукция является векторной величиной. Так нежелание признать ошибку и признать электрический ток векторной величиной приводит к неверной записи определяющего уравнения для магнитной индукции.
Причина нежелания сокращать число 2 в числителе и знаменателе уравнения (3) пояснена также в отдельном разделе, эта причина ничего общего с физикой не имеет. Это последствие проведенной когда-то рационализации систем единиц, то есть это имеет общее с историей физики, но не с самой физикой.

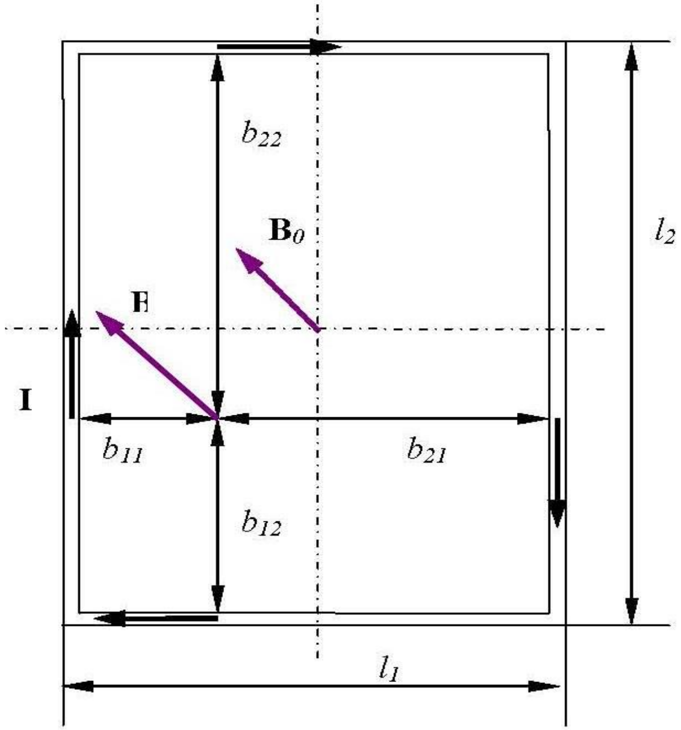
Вместе с сокращением длины l в уравнении (1) исчезла из поля зрения площадь эквипотенциальной поверхности $2\pi bl$, а вместе с этим не просматривается и физическое содержание определяющего уравнения для магнитной индукции.

Различие между уравнением (1) и уравнениями (2) и (3) весьма существенно. В уравнении (1) четко видна обратная пропорциональность магнитной индукции площади эквипотенциальной поверхности (поверхности цилиндра). А в уравнениях (2) и (3) видна лишь обратная пропорциональность магнитной индукции расстоянию b.

5.7. Напряженности в поле токового диполя

В качестве **токовых диполей** как полеобразующих систем в электромагнитном и гравитационном вихревых полях выступают совокупности противоположных участков замкнутых токовых контуров, то есть **токовых монополей** (токовых зарядов). Рассмотрим контуры прямоугольной и круглой форм.

1. Напряженности в поле токового диполя в виде прямоугольного контура.



Рассмотрим локальные напряженности вихревого поля внутри токового контура прямоугольной формы, размеры сторон которого l_1 и l_2 указаны на рисунке. Локальная напряженность вихревого поля в вакууме (магнитная индукция) **B** в произвольно взятой точке внутри контура, отстоящей от ветвей контура на указанные на рисунке расстояния, равна сумме локальных напряженностей вихревых полей, создаваемых каждой прямолинейной ветвью контура. Формула для ее определения весьма громоздка, приводить ее полностью не будем.

Наибольшие значения локальных напряженностей наблюдаются в углах контура. Они плавно снижаются к центру контура, где формула для минимального значения модуля локальной напряженности в центре контура B_0 приобретает вид:

$B_0 = 2(\mu_0 /\pi) I \sqrt{(l_1^2 + l_2^2)} / l_1 l_2$. (1)

Более важна **полная напряженность** (суммарная напряженность) вихревого поля по всей площади контура S_{cn} , называемая в современной физике **потоком вектора напряженности вихревого поля Φ по площади контура** (в электродинамике эта величина называется **магнитным потоком**). Для одиночного прямоугольного токового контура уравнение для определения магнитного потока обычно не приводится.

2. Напряженности в поле токового диполя в виде кругового контура.

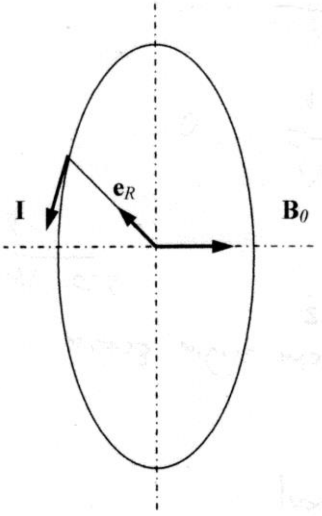
Рассмотрим **круговой контур** длиной $l_{cn} = 2\pi R$, где R − радиус контура, с общим током $\mathbf{I}_{cn}$, называемым **контурным током** (**круговым током**). Круговой контур можно представить состоящим из элементарных прямолинейных участков длиною dl, каждый из которых является элементарным полеобразующим токовым зарядом $\mathrm{d}\mathbf{Q}_c = \mathbf{I}_{cn}\,\mathrm{d}l$.

Локальную напряженность вихревого поля кругового контура определяют на оси симметрии контура, называют **магнитной индукцией контура** и обозначают в современной электродинамике символом $\mathbf{B}_0$.

В обобщенной символике системы величин ЭСВП локальную напряженность в центре кругового контура обозначают символом $(\mathbf{E}_{cv})_0$ и определяют по уравнению, в котором в знаменателе вместо площади эквипотенциальной поверхности стоит площадь круга $S_{cn} = \pi R^2$, охватываемого контуром:

$$(\mathbf{E}_{cv})_0 = k_{c0} \int_{cn} [(\mathbf{I}_{cn}\,\mathrm{d}l)\,\mathbf{e}_R] / \pi R^2 , \quad (2)$$

где k_{c0} − размерный коэффициент конкретной формы вихревого поля.



В СИ уравнение (2) для определения локальной напряженности в центре контура (магнитной индукции $\mathbf{B}_0$) должно записываться в виде:

$\mathbf{B}_0 = (\mu_0 /4\pi) \int_{cn} [(\mathbf{I}\mathrm{d}l)\, \mathbf{e}_R\,] / R^2$. (3)

Это уравнение выглядит аналогично уравнению для определения локальной напряженности в центре круговой орбиты движущегося заряда

$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \int_{cn} [(Q\, \mathrm{d}\mathbf{v}_\tau\,)\, \mathbf{e}_R\,] / 4\pi R^2$, (4)

приведенному в разделе, посвященном напряженности поля движущегося заряда. Различие лишь в том, что, во-первых, в уравнении (4) множитель 4π поставлен на то место, где ему положено находиться, и, во-вторых, уравнение (4) определяет магнитную индукцию поля, создаваемого движущимся зарядом ($Q\mathbf{v}$), а уравнение (3) - магнитную индукцию поля, создаваемого токовым зарядом ($\mathbf{I}l$).

3. Как прийти к определяющему уравнению для магнитного момента.

В современной электродинамике уравнение для определения магнитной индукции в центре кругового токового контура имеет другую форму записи, связанную с введением физической величины $\mathbf{p}_m$, называемой **магнитным моментом контура**. Эта величина образуется в результате такой последовательности математических преобразований в уравнении (3), при которой уравнение умножается и делится на радиус контура R и вводятся площадь контура S_{cn} и орт нормали к площади контура $\mathbf{n}$:

$$\mathbf{B}_0 = (\mu_0 /4\pi) \int_{cn} [(\mathbf{I}\; \mathrm{d}l)\, \mathbf{e}_R\,] / R^2 = (\mu_0 /4\pi)\, [(\int_{cn} \mathbf{I}\; \mathrm{d}l\; R)\, \mathbf{e}_R\,] / R^3 =$$
$$(\mu_0 /4\pi)(IS_{cn}\mathbf{n}_{cn}\,) / R^3 = (\mu_0 /4\pi)\, (\mathbf{p}_m /R^3\,) . \qquad (5)$$

Выражение в скобках из последнего уравнения этой последовательности преобразований, равное

$\mathbf{p}_m = IS_{cn}\mathbf{n}_{cn}$, (6)

и названо **магнитным моментом**. При проведении нами классификации диполей величина $\mathbf{p}_m$ названа иначе: **дипольным токовым моментом**.

При выводе уравнения (5) при проведении математических преобразований абстрагируются некоторые причинно-следственные связи. Это разъяснено в разделе, посвященном повороту токового диполя в магнитном поле. В результате этого физическое содержание магнитного момента $\mathbf{p}_m$ из уравнения (6) не просматривается.

Физическое содержание было бы виднее, если бы последнее уравнение из последовательности (5) выглядело бы так:

$\mathbf{B}_0 = (\mu_0 /4)\ \mathbf{p}_m / S_{cn} R$. (7)

В СИ размерность магнитного момента равна L^2I, а единица А $м^2$. Размерность магнитного момента в системе величин ЭСВП равна $L^2T^{-1}Q$, а единицей является Кл $м^2$ $с^{=1}$, что, в общем, то же самое.

Размерность полной напряженности внутри контура (размерность потока вектора напряженности) в ЭСВП равна $L^{-1}TQ$, а единица равна Кл $м^{-1}$ с. В СИ размерность потока вектора магнитной индукции, называемого в физике магнитным потоком, равна $L^2MT^{-2}I^{-1}$, что приводит к единице, равной кг $м^2$ $с^{-2}$ $А^{-1}$. Такие единицы СИ неудобны в записи и лишены смысла из-за наличия единицы кг. Поэтому в СИ ввели именованную единицу Тл $м^2$ = Вб. Другой пользы от введения новых единиц (Тесла и Вебер), кроме увековечивания памяти великих физиков, не видно.

4. Токовый диполь в гравидинамике.

Любое вращающееся массивное тело можно рассматривать как интегральную сумму контуров токовых гравитационных зарядов, каждый из которых является токовым гравитационным диполем. Например, Земля обладает своим дипольным токовым гравитационным моментом. Кроме того, она находится в вихревом гравитационном поле, создаваемом Солнцем. Следовательно, **Земля находится под воздействием интегрального момента пар сил, оказывающего влияние на процесс вращения Земли.**

Естественно, что и само Солнце находится под воздействием вихревых гравитационных полей, создаваемых планетами солнечной системы, но это воздействие несравненно слабее, если учесть разницу в массах Солнца и планет.

5.8. Характеристики веществ в поле

1. Символика электрических и магнитных характеристик веществ.

В представленной ниже **таблице электрических и магнитных характеристик** веществе (восприимчивости и проницаемости), эти характеристики представлены их определяющими уравнениями раздельно (в отдельных колонках) в системах единиц СИ, СГС и системе величин ЭСВП. Колонка каждой системы, в свою очередь, разделена на две колонки: в левой приводится обобщенная символика, используемая для напряженностей электрического или магнитного поля, а в правой колонке используются стандартные обозначения, применяеиые в современной физике.

Поясним принципы обобщенной символики, принятой в ЭСВП для обозначений напряженностей. Напряженности физического поля обозначаются единым символом **E** и отличаются друг от друга только нижними индексами. Вот **правила индексации**:

1. Для указания о том, что напряженность относится к центральному полю, применяется нижний индекс “*f*“ (от английского field, поле).

2. Для указания о том, что напряженность относится к вихревому полю, применяется нижний индекс “*c*“ (от английского current, ток).

3. При необходимости указать, что поле находится в физическом вакууме, в нижний индекс добавляется буква “*v*“.

4. Отсутствие в нижнем индексе буквы “*v*“ указывает на то, что свойства физического вакуума не учитываются, то есть речь идет о так называемой чистой напряженности

5. При необходимости указать, что речь идет о напряженности поля сторонних по отношению к веществу зарядов, при индексации добавляется нижний индекс “*for*“ (от английского forign, сторонний).

6. При необходимости указать, что речь идет о напряженности связанных веществом зарядах, при индексации добавляется нижний индекс “*fix*“ (от английского fixed, связанный).

2. Определяющие уравнения электрических и магнитных характеристик веществ.

Принципы обобщения электрических и магнитных характеристик веществ.

1. В знаменателе характеристики вещества должна находиться напряженность поля (электрического или магнитного)

2. В знаменателе абсолютной характеристики должна находиться напряженность поля в физическом вакууме, а в знаменателе относительной характеристики должна находиться чистая напряженность поля.

Таблица определяющих уравнений электрических и магнитных характеристик веществ.

Название	Символ	в системе величин ЭСВП		в системе единиц СИ		в системе единиц СГС	
		Определяющие уравнения, приведенные в символике:					
		Обобщенной	принятой в физике	Обобщенной	принятой в физике	Обобщенной	принятой в физике
		1	2	3	4	5	6
ВОСПРИИМЧИВОСТЬ							
абсолютная диэлектрическая магнитная	χ_a κ_a	E_{ffix}/E_{fv} E_{cfix}/E_{cv}	P/E M/B	E_{ffix}/E_{fv} E_{cfix}/E_{cv}	P/E отсутствует	E_{ffix}/E_{fv} E_{cfix}/E_{cv}	$4\pi P/E$ $4\pi M/B$
относительная диэлектрическая магнитная	$\chi_r = \chi$ $\kappa_r = \kappa$	E_{ffix}/E_f E_{cfix}/E_c	P/E $M/(Bc^2)$	E_{ffix}/E_f E_{cfix}/E_{cfor}	$P/(\varepsilon_0 E)$ M/H	E_{ffix}/E_{fv} E_{cfix}/E_{cv}	$4\pi P/E$ $4\pi M/B$
ПРОНИЦАЕМОСТЬ							
абсолютная диэлектрическая магнитная	ε_a μ_a	E_{ffor}/E_{fv} E_{cfor}/E_{cv}	D/E H/B	E_{ffor}/E_{fv} E_{cv}/E_{cfor}	D/E B/H	E_{ffor}/E_{fv} E_{cv}/E_{cfor}	D/E B/H
относительная диэлектрическая магнитная	$\varepsilon_r = \varepsilon$ $\mu_r = \mu$	E_{ffor}/E_f E_{cfor}/E_c	$D/E = 1 + \chi$ $H/(Bc^2) = 1 - \kappa$	E_{ffor}/E_f E_c/E_{cfor}	$D/(\varepsilon_0 E) = 1 + \chi$ $(B/\mu_0)/H = 1 + \kappa$	E_{ffor}/E_f E_c/E_{cfor}	$D/E = 1 + 4\pi\chi$ $B/H = 1 + 4\pi\kappa$

Примечания к таблице.

1. В таблице приведены модули векторов напряженностей.
2. **Черным цветом** напечатаны уравнения, соответствующие принципам обобщения характеристик веществ.
3. **Красным цветом** напечатаны уравнения, не соответствующие принципам обобщения характеристик веществ.

3. Примеры бессистемности уравнений для характеристик веществ.

Как видно из таблицы, системам единиц СГС и СИ присущи практически одни и те же отклонения от принципов обобщения физических величин. Объяснить это историческими причинами не сложно, но это ничего не исправит. Физику надо преподавать в соответствии с принципами обобщения, заложенными в системном подходе. Перечислим примеры выявленной бессистемности.

1. Непонятно, почему в названии восприимчивостей и проницаемостей применен термин **абсолютные**. Все характеристики веществ являются производными величинами, обычными отношениями различных напряженностей различных форм поля, так что ничего абсолютного в этих характеристиках нет. Между абсолютными и относительными характеристиками имеются лишь два отличия:

А) При обобщенном подходе (колонка 1) в знаменателе абсолютных характеристик находится напряженность поля в вакууме E_{fv} (или E_{cv}), а в знаменателе относительных характеристик − напряженность без учета свойств среды E_f (или E_c). В таблице показано, где этот принцип не соблюден в СИ и СГС. В системе величин ЭСВП принцип соблюден, и при этом оказалось, что между абсолютными и относительными диэлектрическими характеристиками различия нет.

В) В СИ (см. Таблицу величин поля в СИ) абсолютные характеристики имеют размерность, а размерность относительных характеристик равна 1, это безразмерные величины. В ЭСВП (см. Таблицу величин поля в ЭСВП) размерность имеют только абсолютные магнитные характеристики, а абсолютные диэлектрические характеристики безразмерны.

2. В учебнике по физике И.Савельева (2005) говорится, что абсолютные характеристикине имеют физического смысла. Это не так. Их физическое содержание заключается в том, что это отношения напряженностей в двух разных средах: в веществе и в физическом вакууме. Далее, И.Савельев утверждает, что вместо абсолютной диэлектрической проницаемости ε_a в СИ следует применять выражение ($\varepsilon_0\varepsilon$). Однако само выражение ($\varepsilon_0\varepsilon$) противоречит принципу причинности, ибо в нем объединены сразу и причина (ε_0), и следствие (ε). Приведенное у А.Чертова (1990) определение ε_a по ε, то есть $\varepsilon_a = \varepsilon_0\varepsilon$, также противоречит принципу причинности, так как в данном случае причина (ε_a) определяется по следствию (ε).

3. В СИ диэлектрические характеристики определяются в соответствии с уравнениями колонки 1, а магнитные характеристики (записанные красным цветом) определяются по уравнениям, не совпадающим с уравнениями из колонки 1, при этом в этих несовпадениях нет никакой закономерности. В итоге физическое содержание терминов, связанных с магнитными характеристиками веществ, оказывается не совпадающим с физическим содержанием диэлектрических характеристик веществ. В СГС путаницы не меньше. В ЭСВП при соблюдении принципа причинности магнитные проницаемости μ могут оказаться больше или меньше 1, в зависимости от значения магнитной восприимчивости κ. В современном электромагнетизме в случае $\mu < 1$ вводят дополнительно лишнее понятие о размагничивающем поле.

4. Все характеристики веществ являются отношениями напряженностей. Несмотря на это, в СГС и СИ относительные магнитные проницаемости записываются чаще в виде равных им зависимостей относительных проницаемостей от относительных восприимчивостей. Физическое содержание при такой записи не просматривается.

5. Абсолютные характеристики то имеют нижний индекс "$_a$" , то не имеют его. Абсолютная диэлектрическая восприимчивость в метрологическом справочнике А.Чертова и в технической литературе присутствует, а абсолютная магнитная восприимчивость отсутствует.

4. В чем заключается символьная бессистемность характеристик поля в веществе.

В обозначениях абсолютных характеристик в СИ присутствует без всякого преувеличения ералаш.

1. Абсолютная диэлектрическая восприимчивость в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) обозначается символом χ, а в учебниках по физике − символом κ (греческая буква каппа). Для обозначения абсолютной магнитной восприимчивости справочник А.Чертова допускает оба эти символа, но предпочитает символ κ. В учебниках же всё наоборот: абсолютная диэлектрическая восприимчивость обозначается символом κ, а абсолютная магнитная восприимчивость − символом χ.

2. Чтобы отличить относительные характеристики от абсолютных, относительные характеристики сопровождаются в метрологическом стандарте нижним индексом "$_r$" (от английского relativ), что вполне объяснимо. Но в учебниках по физике нижний индекс "$_r$" обычно не ставят.

3. В зарубежной литературе абсолютная диэлектрическая проницаемость обозначается символом ε без всякого нижнего индекса. В этой связи метрологический справочник А.Чертова предупреждает, что при переводе литературы и технической документации с русского языка это следует учитывать. В результате, если при чтении научной или технической литературы появляется символ ε, то не всегда сразу угадаешь, что имеется в виду: абсолютная или относительная диэлектрическая проницаемость.

Подобное отсутствие логики и определенности в понятиях и обозначениях − это дань историческому подходу при преподавании и символьной бессистемности, присутствующей в физике. С точки зрения методики преподавания − это информационный шум, более того, информационный мусор, с которым мириться не следует, тем более, в метрологии.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель

2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

5.9. Таблицы напряженностей в разных формах физического поля

1. Таблица символов, размерностей и единиц напряженностей поля.

Приведена сводная таблица напряженностей в разных формах физического поля, их названий, обозначений, индексов, размерностей и единиц. Это иллюстрируется также в Таблицах величин физического поля, но в данном разделе напряженности сконцентрированы в одной таблице, и поэтому их проще комментировать. Пояснения к обозначениям напряженностей и к их нижним индексам приведены в разделе о характеристиках веществ.

Размерности и единицы одних и тех же напряженностей указываются как в СИ, так и в системе величин ЭСВП. В СИ используются размерности M, L, T и I (единицы м, кг, с и А), а в ЭСВП используются размерности L, T и Q (единицы м, с и единица заряда поля). Под единицей заряда в электромагнитном поле имеется в виду кулон, а в гравитационном поле имеется в виду килограмм, применяемый в законе всемирного тяготения Ньютона. Размещение напряженностей в одной таблице дает возможность наглядного сравнения их размерностей и единиц, демонстрирует нелогичность и бессистемность единиц напряженностей в СИ и логичность и системность единиц напряженностей в ЭСВП.

Примечания к таблице напряженностей:

1. В строках с желтой заливкой указаны **напряженности поля в вакууме** (то есть учитывающие свойства физического вакуума).
2. В строках с салатовой заливкой указаны напряженности поля в веществе (**напряженности поля связанных зарядов**).
3. В строках с голубой заливкой указаны напряженности поля с учетом свойств вещества (**напряженности поля сторонних зарядов**).
4. В строках без заливки указаны напряженности поля без учета свойств среды (**чистые напряженности**).

Форма физического поля	Вид среды	Обозначение напряженности		Размерность напряженности в ЭСВП	Единица напряженности в ЭСВП	Размерность напряженности в СИ	Единица напряжен ности в СИ
		в ЭСВП	в СИ				
Гравистатическое 1)	физический вакуум	$\mathbf{E}_{gv}$	**G**	$L^{-2}Q$	кг м$^{-2}$	LT^{-2}	м с$^{-2}$
Гравистатическое 2)	внутри вещества	$\mathbf{E}_{gs}$	-	$L^{-2}Q$	кг м$^{-2}$	-	-
Электрическое 3)	без учета среды	$\mathbf{E}_{e}$	$\varepsilon_0\mathbf{E}$	$L^{-2}Q$	Кл м$^{-2}$	$L^{-2}TI$	Кл м$^{-2}$
Электрическое 4)	физический вакуум	$\mathbf{E}_{ev}$	**E**	$L^{-2}Q$	Кл м$^{-2}$	$LMT^{-3}I^{-1}$	Н Кл$^{-1}$; В м$^{-1}$
Электрическое 5)	внутри вещества	$\mathbf{E}_{efix}$	**P**	$L^{-2}Q$	Кл м$^{-2}$	$L^{-2}TI$	Кл м$^{-2}$

Электрическое 6)	с учетом вещества	$\mathbf{E}_{efor}$	**D**	$L^{-2}Q$	Кл м$^{-2}$	$L^{-2}TI$	Кл м$^{-2}$
<u>Гравидинамическое</u>2)	физический вакуум	$\mathbf{E}_{iv}$	-	$L^{-3}TQ$	кг м$^{-3}$ с	(T^{-1})	(с$^{-1}$)
<u>Гравидинамическое</u>2)	внутри вещества	$\mathbf{E}_{is}$	-	$L^{-1}T^{-1}Q$	кг м$^{-1}$ с$^{-1}$	-	-
Магнитное 7)	без учета среды	$\mathbf{E}_{m}$	$\mathbf{B}/\mu_0$	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл м$^{-1}$ с$^{-1}$	$L^{-1}I$	А м$^{-1}$
Магнитное 8)	физический вакуум	$\mathbf{E}_{mv}$	**B**	$L^{-3}TQ$	Кл м$^{-3}$ с	$MT^{-2}I^{-1}$	Тл
Магнитное 9)	внутри вещества	$\mathbf{E}_{mfix}$	**M**	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл м$^{-1}$ с$^{-1}$	$L^{-1}I$	А м$^{-1}$
Магнитное 10)	с учетом вещества	$\mathbf{E}_{mfor}$	**H**	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл м$^{-1}$ с$^{-1}$	$L^{-1}I$	А м$^{-1}$

1) Напряженность этой формы поля называют **напряженностью поля тяготения**.
2) В СИ нет конкретного названия для этой напряженности (поставлены прочерки).
3) Напряженность этой формы поля изредка называют **чистой напряженностью**.
4) Эту напряженность называют **напряженностью электрического поля**.
5) Эту напряженность называют **поляризованностью**.
6) Эту напряженность называют **электрическим смещением**.
7) Нет названия для этой напряженности.
8) Напряженность этой формы поля называют **магнитной индукцией**.
9) Эту напряженность называют **намагниченностью**.
10) Эту напряженность называют **напряженностью магнитного поля**.

2. Важные выводы относительно размерностей и единиц напряженностей в СИ.

1. В СИ частично наблюдается равенство суммы показателей при размерностях L и T числу (− 1) (кроме напряженностей полей в вакууме). Поэтому у последних и единицы особые, поэтому размерности и единицы в СИ для напряженностей полей в вакууме <u>необъективно отражают действительность</u>. Причиной является неправильный подбор значений в СИ размерных коэффициентов (электрической и магнитной постоянных).

2. В СИ отсутствуют размерности и единицы заряда системы во всех формах гравитационного поля, кроме гравистатического, да и та (LT^{-2}) неверна по причине применения некорректного по своей сути принципа эквивалентности гравитационной и инертной масс, так как само понятие "инертная масса" излишне. Поскольку размерность напряженности вихревого поля получается путем деления размерности напряженности центрального поля на размерность скорости, то в строке для гравидинамического поля появилась (в скобках) не имеющая в данном случае физического смысла размерность T^{-1}.

3. В единицах всех напряженностей электромагнитного поля присутствует в явной или скрытой форме единица электрического заряда Кулон. В то же время во всех единицах напряженностей разных форм гравитационного поля отсутствует единица килограмм. Это свидетельствует о том, что размерности и единицы напряженностей обеих форм гравитационного поля в СИ нуждаются в обязательном пересмотре.

4. В размерностях всех напряженностей в ЭСВП алгебраическая сумма показателей при размерностях L и T одна и та же и равна (− 2). В каждой размерности напряженности имеется размерность заряда Q в первой степени. Соответственно, в каждой единице напряженности имеется единица заряда (либо массы в килограммах, либо электрического заряда в Кулонах). В этом заключается явное преимущество ЭСВП перед СИ.

5. При рассмотрении напряженностей полей внутри вещества и с учетом вещества видно, что поля связанных и сторонних зарядов характеризуются в современной физике только чистыми напряженностями, то есть напряженностями без учета свойств физического вакуума. Но внимание на этом не акцентируется, а понятие "чистая напряженность" почти не применяется. В результате создается ошибочное впечатление, что электрическое смещение **D** и напряженность магнитного поля **H** можно применять к полям в вакууме даже тогда, когда о наличии вещества речь не идет. Этот недостаток особенно заметен при рассмотрении распространения электромагнитных волн в вакууме.

6. В электрическом центральном (электростатическом) поле размерности напряженностей **D** и (ε_0 **E**) совпадают, а в магнитном (вихревом) поле совпадают размерности **H** и ($\mathbf{B}/\mu_0$). Так называемая напряженность магнитного поля **H** – это фактически напряженность магнитного поля с учетом свойств вещества, но без учета свойств физического вакуума. Если в магнитном поле вещества нет (например, нет сердечника в катушке индуктивности), то следует применять не **H**, а только напряженность магнитного поля в вакууме **B**, то есть магнитную индукцию. Соответственно, в определяющем уравнении для вектора Пойнтинга должна присутствовать **B**, а не **H** (как у Р.Фейнмана). При преподавании это следует разъяснять и подчеркивать.

7. Предложенная в ЭСВП система названий, обозначений и индексов оригинальна, и переходить к ней психологически сложно, но рано или поздно переход к подобной или аналогичной ей системе осуществлять придется. Сама таблица напряженностей, приведенная выше, убеждает в этом. На первых порах можно было бы применять параллельно старые и новые названия и символы, подобно тому, как это сейчас делается в учебниках и справочниках по отношению к уравнениям, записанным в СИ и в СГС.

3. Таблица определяющих уравнений напряженностей в разных системах единиц.

Название величины	**Символ**		**Системы единиц**				**Система величин**
			СГСЭ	СГСМ	СГС	СИ	ЭСВП
Размерные коэффициенты	k_{f0}		1	$1/c^2$	1	$1/4\pi\varepsilon_0$	1
	k_{c0}		$1/c^2$	1	1	$\mu_0/4\pi$	$1/c^2$
Напряженности поля в вакууме	**E**	**!**	$Q\mathbf{e}_r/r^2$	$Q\mathbf{e}_r/r^2$	$Q\mathbf{e}_r/r^2$	$Q\mathbf{e}_r/\varepsilon_0 4\pi r^2$	$Q\mathbf{e}_r/4\pi r^2$
		?	$\mathbf{F}/q$	$\mathbf{F}/q$	$\mathbf{F}/q$	$\mathbf{F}/q$	-
	B	**!**	$Q[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]/r^2$ $I[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]/bl$	$Q[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]/r^2$ $I[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]/bl$	$Q[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]/r^2$ $(1/c)I[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]/bl$	$(\mu_0/4\pi)Q[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]/r^2$ $(\mu_0/4\pi)2I[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]/bl$	$[(Q\mathbf{v})\,\mathbf{e}_r]/4\pi r^2c^2$ $[(\mathbf{I}l)\,\mathbf{e}_b]/2\pi blc^2$
		?	$\mathbf{F}/q\ \Vert[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]\Vert$ $\mathbf{F}/I\ \Vert[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]\Vert$	$\mathbf{F}/q\ \Vert[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]\Vert$ $\mathbf{F}/I\ \Vert[\mathbf{l}$	$\mathbf{F}/q\ \Vert[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]\Vert$ $\mathbf{F}/I\ \Vert[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]\Vert$	$\mathbf{F}/q\ \Vert[\mathbf{v}\,\mathbf{e}_r]\Vert$ $\mathbf{F}/I\ \Vert[\mathbf{l}\,\mathbf{e}_b]\Vert$	- -

				$\mathbf{e}_b]\|$			
Напряженности поля связанных зарядов внутри вещества	**P**	=	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_e /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_e /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_e /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_e /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_e /V$
		$f(\mathbf{E})$	$\chi\mathbf{E}/4\pi$	$\chi\mathbf{E}/4\pi$	$\chi\mathbf{E}/4\pi$	$\chi\varepsilon_0\, \mathbf{E}$	$\chi\mathbf{E}$
	M	=	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_m /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_m /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_m /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_m /V$	$\Sigma_V\, \mathbf{p}_m /V$
		$f(\mathbf{B})$	$\kappa\mathbf{B}c^2/(1 + 4\pi\kappa)$	$\kappa\mathbf{B}/(1 + 4\pi\kappa)$	$\kappa\mathbf{B}/(1 + 4\pi\kappa)$	$\kappa(\mathbf{B}/\mu_0\,)/(1 + \kappa)$	$\kappa\mathbf{B}c^2$
Напряженности макроскопического поля (поля сторонних зарядов с учетом вещества)	**D**	=	$\mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$	$\mathbf{E}/c^2 + 4\pi\mathbf{P}$	$\mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$	$\varepsilon_0\, \mathbf{E} + \mathbf{P}$	$\mathbf{E} + \mathbf{P}$
		$f(\mathbf{E})$	$\varepsilon_0\mathbf{E}$	$\varepsilon_0\mathbf{E}/c^2$	$\varepsilon\mathbf{E}$	$\varepsilon_0\, \varepsilon\mathbf{E}$	$\varepsilon\mathbf{E}$
	H	=	$\mathbf{B}c^2 - 4\pi\mathbf{M}$	$\mathbf{B} - 4\pi\mathbf{M}$	$\mathbf{B} - 4\pi\mathbf{M}$	$\mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{M}$	$\mathbf{B}c^2 - \mathbf{M}$
		$f(\mathbf{B})$	$\mathbf{B}c^2/\mu_0$	$\mathbf{B}/\mu_0$	$\mathbf{B}/\mu$	$\mathbf{B}/\mu_0\, \mu$	$\mathbf{B}c^2/\mu$

Примечания к таблице: 1. Знак (**!**) означает соблюдение принципа причинности, знак (**?**) − несоблюдение.
2. Определяющие уравнения для напряженности **H** указаны для того случая, когда вещество является ферромагнетиком.
3. В уравнениях типа $(\mu_0/4\pi)\ 2I\ [\mathbf{l}\ \mathbf{e}_b]/bl$ для магнитной индукции поля прямого тока **B** модуль длины l в числителе и знаменателе не сокращается.

4. Важные выводы после сравнения определяющих уравнений напряженностей.

Таблица позволяет провести сравнение определяющих уравнений для напряженностей в системах единиц СГСЭ, СГСМ, СГС, СИ и в системе величин ЭСВП и сделать интересные выводы:

1. Принципу причинности соответствуют лишь уравнения типа $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$. Поэтому в систему величин ЭСВП не включаются уравнения типа $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q$, как не соответствующие принципу причинности. По той же причине уравнения современной физики $\mathbf{B} = \mathbf{F}/Q|[\mathbf{v}\ \mathbf{e}_r]|$ для определения магнитной индукции поля движущегося заряда и $\mathbf{B} = \mathbf{F}/I|[\mathbf{l}\ \mathbf{e}_b]|$ для определения магнитной индукции поля токового заряда в ЭСВП отсутствуют.

2. По признаку наличия множителей 4π или 2π в определяющих уравнениях напряженностей ЭСВП близка к рационализованным системам единиц. Но эти множители необходимы не ради рационализации записи уравнений, как предполагал О.Хевисайд, а потому, что они отражают тот факт, что напряженности обратно пропорциональны площади эквипотенциальной поверхности, а не квадрату ее радиуса. В частности, именно по этой причине выражение ($\mathbf{r}/r^3$) из закона Био-Савара-Лапласа заменено на равное ему выражение ($\mathbf{e}_r /r^2$).

3. В СГС оба размерных коэффициента (k_{f0} и k_{c0}) равны 1 (см. вторую строку таблицы). Но тем самым в СГС не соблюдается взаимосвязь этих коэффициентов, отражаемая уравнением $k_{f0} /k_{c0} = c^2$ (в электродинамике Дж.Максвелла $\varepsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$). Поэтому в СГС очень часты совпадения размерностей разнородных величин (А.Власов, Б.Мурин, 1990). Это очень серьезный недостаток системы СГС, как бы не любили ее физики-теоретики, и это одна из причин, по которой СГС была заменена на СИ. Но и в СИ хоть и редко, но тоже встречаются совпадения размерностей разнородных величин, правда, по другой причине. Систематизация физических величин такой недостаток не приемлет, и в системе величин ЭСВП его нет.

5.10. Объёмные плотности зарядов

Вследствие того, что физическое поле не однородно, в физике имеют большое распространение усредненные по площади и по объему макроскопические величины. В частности, большое распространение имеют поверхностные плотности токов и объемные плотности зарядов, относящиеся к разряду удельных физических величин. Недостатком удельных величин является то обстоятельство, что размерности разных по физическому содержанию удельных величин могут оказаться одинаковыми.

1. Объёмные плотности зарядов в поле без учета свойств среды.

Объёмные плотности зарядов без учета свойств полевой среды определяются по простейшим уравнениям, приведенным с учетом символики, показанной в Таблице величин физического поля:

$\rho_f = \mathrm{d}Q_f / \mathrm{d}V_f$ (1) и $\boldsymbol{\rho}_c = \mathrm{d}\mathbf{Q}_c / \mathrm{d}V_c$, (2)

в которых индекс "$_f$" относится к величинам потенциального поля, а индекс "$_c$" – к величинам вихревого поля. В вихревом поле объёмная плотность динамических зарядов, образовывающих вихревое поле, является векторной величиной, как и сами динамические заряды. Под объемом в данных уравнениях понимается объем полевой среды, ограниченный эквипотенциальной поверхностью.

В центральном поле рассматривают **объёмную плотность статических зарядов** ρ_f (определяемую в электростатике как $\rho = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}V$). Она имеет в системе величин ЭСВП размерность $\mathrm{L}^{-3}\mathrm{Q}$. В вихревом поле рассматривают **объёмную плотность токовых зарядов** $\boldsymbol{\rho}_c$ (определяемую в ЭСВП как $\boldsymbol{\rho}_m = \mathrm{d}\mathbf{Q}_m / \mathrm{d}V_m$) с размерностью $\mathrm{L}^{-2}\mathrm{T}^{-1}\mathrm{Q}$. Обе указанные объёмные плотности зарядов не учитывают свойства полевой среды, поскольку в их определяющих уравнениях отсутствуют размерные коэффициенты.

Объемные плотности зарядов в электромагнитном поле без учета свойств полевой среды могут быть выражены как в символике ЭСВП, так и в символике СИ в виде:

$\rho_e = \mathrm{div}\, \mathbf{E}_e = \mathrm{div}\, \mathbf{E}$ (3)

и

$\boldsymbol{\rho}_m = \mathrm{rot}\, (\mathbf{E}_m c^2) = \mathrm{rot}\, (\mathbf{B}c^2)$, (4)

2. Объёмная плотность токовых зарядов и плотность тока – величины разные.

В современном электромагнетизме при изучении вихревого (магнитного) поля вместо объёмной плотности токовых зарядов $\boldsymbol{\rho}_m$ применяют векторную величину **j**, называемую **плотностью тока**, основываясь на том, что размерности этих величин одинаковы. Величина **j** определяется в системе величин ЭСВП, как поверхностная плотность тока проводимости **i** с определяющим уравнением $\mathbf{j} = \mathrm{d}\mathbf{i}/\mathrm{d}S$, где S − сечение проводника. В справочнике А.Чертова (1990) приводится определяющее уравнение только для модуля плотности тока, так как в **современной физике ток проводимости *i* необоснованно считается скалярной**

величиной, а не векторной величиной. Последнее разъясняется в разделе, посвященном электрическому току.

Как видим, $\mathbf{j}$ и $\boldsymbol{\rho}_m$ – это удельные величины с разными определяющими уравнениями, следовательно, это разные физические величины. А то обстоятельство, что у них одинаковые размерности, объясняется тем, что это удельные величины. Их размерности оказались равными потому, что $\mathrm{d}V = l\,\mathrm{d}S$, а длину l в числителе и знаменателе при математических преобразованиях сокращают. О неправомерности такой подмены физики математикой уже говорилось в разделе , посвященном токовому заряду.

В современной физике, вопреки принципу причинности, левую и правую части уравнений (3) и (4) меняют местами, включают в эти уравнения размерные коэффициенты системы единиц СИ, учитывая тем самым свойства физического вакуума, как полевой среды. В результате определяющие уравнения приобретают вид, отличающийся от уравнений (3) и (4):

$$\mathrm{div}\,\mathbf{E} = \rho/\varepsilon_0 \quad (5)$$

и

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{B} = \mu_0\,\mathbf{j}\,. \quad (6)$$

Мы полагаем, что при изучении вихревого поля не следует заменять объёмную плотность токового заряда $\boldsymbol{\rho}_m$ на плотность тока $\mathbf{j}$, так как подобная подмена только вводит в заблуждение.

3. Объёмные плотности зарядов в физическом вакууме.

Чтобы определить объёмные плотности зарядов с учетом свойств физического вакуума, как полевой среды, следует учесть размерные коэффициенты центрального и вихревого полей в вакууме k_{f0} и k_{c0} . Это приводит в системе величин ЭСВП к уравнениям:

$$\rho_{fv} = k_{f0}\,\rho_f = k_{f0}\,(\mathrm{d}Q_f\,/\mathrm{d}V_f\,) \quad (7)$$

и

$$\boldsymbol{\rho}_{cv} = k_{c0}\,\boldsymbol{\rho}_c = k_{c0}\,(\mathrm{d}\mathbf{Q}_c\,/\mathrm{d}V_c\,)\,. \quad (8)$$

Размерность **объёмной плотности статических зарядов в вакууме** ρ_{fv} та же, что и у объемной плотности без учета свойств среды ρ_f. В ЭСВП это $L^{-3}Q$, так как dim $k_{f0} = 1$. Размерность **объёмной плотности динамических зарядов в вакууме** $\boldsymbol{\rho}_{cv}$ равна $L^{-4}TQ$, поскольку dim $k_{c0} = L^{-2}T^2$, а dim $\mathbf{Q}_c = LT^{-1}Q$.

В современном электромагнетизме в СИ после учета размерных коэффициентов объемные плотности зарядов в вакууме равны соответственно:

$\rho_{ev} = \mathrm{div}\, \mathbf{E}_{ev} = \mathrm{div}\, \mathbf{E}$ (9) и $\boldsymbol{\rho}_{mv} = \mathrm{rot}\, \mathbf{E}_{mv} = \mathrm{rot}\, \mathbf{B}$. (10)

4. Объёмные плотности зарядов в веществе.

Чтобы получить уравнения для объемных плотностей зарядов в веществе, необходимо учесть, что в уравнения (7) и (8) следует включить вместо размерных коэффициентов вакуума k_{f0} и k_{c0} физические характеристики вещества: k_{fs} (**восприимчивость**) и k_{cs} (**проницаемость**). Поэтому **объемные плотности связанных зарядов** в системе величин ЭСВП следует определять по уравнениям:

$\rho_{fs} = k_{fs}\, (\mathrm{d}Q_f / \mathrm{d}V)$ (11)

и

$\boldsymbol{\rho}_{cs} = k_{cs}\, (\mathrm{d}\mathbf{Q}_c / \mathrm{d}V)$. (12)

Объемные плотности связанных зарядов в символике ЭСВП обозначаются символами ρ_{efix} и $\boldsymbol{\rho}_{mfix}$ и определяются по напряженностям поля в веществе, созданного связанными зарядами. Запишем уравнения для этих зарядов в символике ЭСВП и в символике СИ:

$\rho_{efix} = \mathrm{div}\, \mathbf{E}_{efix} = \mathrm{div}\, \mathbf{P}$ (13)

и

$\boldsymbol{\rho}_{mfix} = \pm\, \mathrm{rot}\, \mathbf{E}_{mfix} = \pm\, \mathrm{rot}\, \mathbf{M}$, (14)

где **P** − **поляризованность** диэлектрика, а **M** − **намагниченность** магнетика. Знак "+" в уравнении (14) применяется для ферромагнетиков и парамагнетиков, знак "−" применяется для диамагнетиков. В современной физике эти уравнения записываются так:

$\text{div}\,\mathbf{P} = \chi\rho/\varepsilon_0$ (15)

и

$\text{rot}\,\mathbf{M} = \pm\,\mu_0\,\mu\,\mathbf{j}$, (16)

Физическое содержание коэффициентов χ и μ поясняется в разделе, посвященном физическим характеристикам поля в веществе.

Объемные плотности сторонних зарядов в символике ЭСВП обозначаются символами ρ_{efor} и $\boldsymbol{\rho}_{mfor}$ и определяются по уравнениям:

$\rho_{efor} = \text{div}\,\mathbf{E}_{efor}$ (17)

и

$\boldsymbol{\rho}_{mfor} = \text{rot}\,\mathbf{E}_{mfor}$. (18)

В символике СИ эти объёмные плотности зарядов определяются по уравнениям:

$\text{div}\,\mathbf{D} = \text{div}\,(\varepsilon_0\,\mathbf{E} + \mathbf{P})$ (19)

и

$\text{rot}\,\mathbf{H} = \text{rot}\,(\mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{M})$, (20)

где **D** называют **электрическим смещением**, а **H** − **напряженностью магнитного поля**.

5.11. Имеется ли различие между напряженностью и индукцией?

1. О бессистемности в названиях напряженностей электромагнитного поля.

Вопрос, вынесенный в заголовок, поставлен не случайно. Существующая понятийная бессистемность при изучении разных видов напряженностей электромагнитного поля приводит иногда к ошибке даже опытных физиков.

Пример понятийной бессистемности приводится в популярном учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.2): “*Логично было бы по аналогии с напряженностью электрического поля* **E** *назвать* **B** *напряженностью магнитного поля. Однако по историческим причинам основную силовую характеристику магнитного поля назвали магнитной индукцией. Название же “напряженность магнитного поля“ оказалось присвоенным вспомогательной величине* **H**, *аналогичной вспомогательной характеристике* **D** *электрического поля*“. Сильно ли помогает подобное объяснение студентам, сказать трудно.

А вот когда в физике напряженность электрического поля **E** начинают называть просто электрическим полем **E** (без упоминания слова “напряженность“), то это историческими причинами оправдать уже трудно.

2. Что означает слово “индукция“, где и как оно применяется?

В переводе с латыни слово “индукция“ имеет два значения: наведение на что-то и возбуждение чего-то. В первом своем значении (наведение) оно применяется для обозначения методики перехода от чего-то частного к общему, обобщенному. И тут никаких неясностей нет. Во втором своем значении (возбуждение) слово “индукция“ имеет несколько применений. Но в любом из применений речь идет о физическом явлении. **Именно о явлении, а не о физической величине, и применение слова “индукция“ для обозначения физической величины, на наш взгляд, нелогично.**

Обсудим сначала применение термина “индукция“ в электростатике. Термин “электрическая индукция“ применяется только в гауссовой системе и обозначается там символом **D**. В СИ предпочитают вместо термина “электрическая индукция“ применять термин “**электрическое смещение**“, имея в виду то, что вектор напряженности на границе между вакуумом и диэлектриком претерпевает скачок по модулю, а в анизотропных диэлектриках вектор напряженности еще и меняет свое направление. Применяется тот же символ **D**. При этом не вводится даже нижний индекс, чтобы отличить электрическую индукцию от электрического смещения, хотя определяющие уравнения для этих величин представлены в различных системах единиц и, соответственно, размерности величин различны.

В электростатике различие между электрическим смещением (электрической индукцией) **D** и напряженностью электрического поля **E** состоит в том, что **E** – это напряженность электрического поля в вакууме, а **D** – это тоже напряженность электрического поля, только в веществе (в диэлектрике). Таким образом, различие между терминами “напряженность“ и “смещение“ (индукция) в электростатике вызвано только изменением среды.

В СИ, как уже было сказано, применяют термин “электрическое смещение“. Но смещение зарядов в диэлектрике под воздействием внешнего поля – это тоже физическое явление, а не физическая величина. И если уж вводить слово “смещение“, то измерять его следовало бы в метрах, а не в единицах напряженности.

В магнитном поле с термином “индукция“ все обстоит наоборот. Напряженность магнитного поля в вакууме **B** назвали “**магнитной индукцией**“, а напряженность магнитного поля в веществе **H** назвали напряженностью магнитного поля, породив ту путаницу в терминологии, которая описана в вышеприведенной цитате из учебника.

3. Как возник термин “магнитная индукция“?

Попробуем разобраться, в чем же заключаются те “исторические причины“, которые породили путаницу с терминологией и символикой. Термин “магнитная индукция“ вошел в физику в начале XIX века, когда Х.Эрстед обнаружил возбуждение (индукцию) магнитной стрелки полем, создаваемым электрическим током в проводнике. Однако, присваивая вновь открытому явлению термин “магнитная индукция“, автор этого присвоения явно нарушил принцип причинности: ведь **причиной возникновения физического поля, которое воздействовало на магнитную стрелку явился электрический ток. И, тем не менее, поле было названо не токовым, а магнитным.**

Однако поле возникло вне зависимости от того, что в зоне его влияния оказалась магнитная стрелка. В зоне его влияния мог оказаться и другой проводник с током. Выходит, что **название полю дало случайное**

следствие (магнитная стрелка), а не истинная причина (электрический ток). Так что правильно было бы все-таки говорить об этом явлении, как о **токовой индукции**, а не как о магнитной индукции.

Физическая величина, когда-то неверно названная магнитной индукцией, вполне подпадает под определение напряженности. Мы попробовали обобщить найденные словарные определения термина “напряженность“, и в результате получилось такое определение: “***Напряженность физического поля – это векторная величина, характеризующая физическое поле в заданной точке и определяющая значение и направление силы, действующей на заряженную систему, помещенную в физическое поле со стороны этого поля*“.** Так что явление, наблюдавшееся Х.Эрстедом, можно было назвать и напряженностью.

Но возникает другой вопрос: а следует ли вообще применять термин “индукция“ для физической величины, являющейся напряженностью поля? Лучше было бы при изучении электромагнетизма оставить термин “индукция“ только для названия физических явлений (электромагнитная индукция, самоиндукция, взаимоиндукция). И не применять этот термин, когда речь идет о физических величинах.

4. Критический анализ предложений, связанных с системой СГС.

Г.Трунов (2004), предложив свою Систему электромагнитных величин, обратил внимание на то, что напряженность электростатического поля **E** и магнитная индукция **B** имеют в гауссовой системе единиц одинаковую размерность. И в следующей работе Г.Трунов (2006) написал: “*Деление единого электромагнитного поля на электрическое и магнитное поле, согласно современным научным воззрениям, является относительным, то есть зависящим от системы отсчета. Поэтому величины* **E**, **B**, **D**, **H**, *характеризующие единое электромагнитное поле, являются однородными величинами и должны иметь одинаковую размерность.*“

В настоящее время имеются различные “современные научные воззрения“, порой прямо противоположные, в том числе, и на сами системы отсчета. Приведенная Таблица напряженностей указывает на то, что при систематизации физических величин утверждение Г.Трунова о том, что все напряженности “являются однородными величинами и должны иметь одинаковую размерность“, не оправдывается. Другое дело – унификация единиц измерений, там возможны любые комбинации, так как для систем единиц основные физические величины выбираются условно.

Размерность электрического заряда Q, уже существовавшая ранее в системе единиц СГСФ и примененная Г.Труновым (2004) в предложенной им системе электромагнитных величин, применяется также и И. Коганом при опредлении напряженностей в системе величин ЭСВП. Она является размерностью только для статического заряда, образующего центральное поле. Размерность же зарядов вихревого поля иная, это подробно пояснено в разделе , посвященном динамическому заряду, служащему источником вихревого поля. По этой причине размерности физических величин вихревого (магнитного) поля в электромагнетизме должны отличаться от размерностей аналогичных величин центрального (электрического) поля.

5. Краткий вывод.

Нельзя, основываясь на названии физической величины, делать вывод о ее физическом содержании. К сожалению, в современной физике это может приводить к ошибкам из-за понятийной бессистемности. Напротив, подбор названия должен вытекать из физического содержания величины.

Неоглядное доверие к авторитету первооткрывателей может сослужить плохую службу, так как наука развивается, а вместе с этим меняется и взгляд на физическое содержание. Так же вредны и привычки, привитые неоглядным доверием к учебному материалу и применением профессионального сленга.

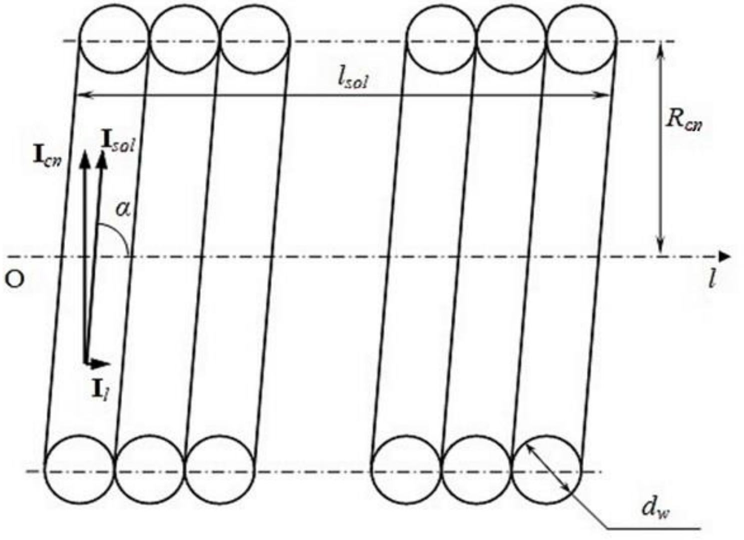
Литература

1. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., также http:/plotnikovna.narod.ru
2. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
3. Трунов Г.М., 2004, О физическом смысле формул размерностей электрических и магнитных величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **6**.
4. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.

5.12. Напряженность в соленоиде

1. Физическое одержание, терминология и основные свойства соленоида.

Соленоидом (в переводе с греческого – трубкообразный) в электромагнетизме называют проводник электрического тока, намотанный по винтовой линии на цилиндрическую поверхность с прямолинейной осью симметрии (на рисунке показан продольный разрез соленоида).



В обобщенном смысле соленоидом является любой вихрь с прямолинейной осью, состоящий из движущихся по винтовым линиям заряженных частиц. **Поэтому к соленоиду можно отнести также и гидродинамический вихрь, рассматривая молекулы жидкости как гравитационные заряды.**

В результате движения по винтовой линии поток зарядов $\mathbf{I}_{sol}$ (см. рис.) в любой точке любого витка соленоида можно разложить на осевую составляющую $\mathbf{I}_l$ и радиальную составляющую $\mathbf{I}_{cn}$.
Если учитывать только радиальную составляющую $\mathbf{I}_{cn}$, практически перепендикулярную оси соленоида, то соленоид можно рассматривать приближенно как соосно расположенную последовательность токовых контуров с одним и тем же значением потока $\mathbf{I}_{cn}$ и одним и тем же дипольным расстоянием $\mathbf{d}_{cn}$. Модуль дипольного расстояния $d_{cn} = 2R_{cn}$,

где R_{cn} – радиус окружности центров проводников, составляющих соленоид.

Угол между потоком $\mathbf{I}_{sol}$ и осью соленоида Оl отличается от 90° на угол, равный $\alpha = \mathrm{arctg}(d_w /2R_{cn})$, где d_w − диаметр провода. Это и влечет за собой появление осевой составляющей потока $\mathbf{I}_l$, параллельной оси соленоида и равной $\mathbf{I}_{sol} \cos\alpha$.

2. Напряженность в поле одиночного контура соленоида.

Поскольку при значениях угла α в соленоиде, приближающемся к 90^o, контурная составляющая потока $\mathbf{I}_{cn}$ незначительно отличается от потока $\mathbf{I}_{sol}$ в соленоиде, то поток в одиночном контуре $\mathbf{I}_{cn}$ можно считать приближенно равным потоку $\mathbf{I}_{sol}$.

В современной физике в электромагнетизме локальную напряженность вихревого поля (магнитную индукцию) в центре одиночного кругового контура $\mathbf{B}_0$ можно записать в виде:

$\mathbf{B}_0 = (\mu_0 /4\pi) \int_{cn} [(\mathbf{I}_{sol}\, \mathrm{d}l_{cn})\, \mathbf{e}_R] / R^2$, (1)

где μ_0 – размерный коэффициент вихревого (магнитного) поля в вакууме, называемый магнитной постоянной, dl_{cn} – длина элементарного участка проводника контура, а $(\mathbf{I}_{sol}\, \mathrm{d}l_{cn})$ – токовый заряд в контуре соленоида.

В соленоиде условно бесконечной длины, где магнитные поля одиночных контуров суммируются друг с другом, магнитная индукция рассчитывается иначе.

3. Токовые заряды соленоида.

В качестве источников магнитных полей соленоида следует рассматривать три токовых заряда.

Первый из них − интегральный токовый заряд одиночного контура. Он состоит из суммы равных по модулю и противоположно направленных токовых зарядов непрямого тока $(\mathbf{I}_{cn}\, d_{cn})$, и он равен нулю.

Второй, **основной**, − это токовый дипольный заряд (**дипольный момент**) $(\mathbf{I}_{sol}\, l_{sol})$, который в условно бесконечном по длине соленоиде создает магнитное поле, создаваемое всеми одиночными токовыми контурами соленоида. В электромагнетизме его называют **магнитным моментом соленоида**. В отличие от магнитного момента одиночного контура, определяемого уравнением $\mathbf{p}_m = I\,S_{cn}\,\mathbf{n}_{cn} = [\mathbf{I}\,\mathbf{e}_d]\,S_{cn}$, магнитный момент соленоида $\mathbf{p}_{m\,sol}$ равен

$$\mathbf{p}_{m\,sol} = N_{sol}\,\mathbf{p}_m\ ,\ (2)$$

где N_{sol} – полное число витков соленоида.

Третий – это токовый заряд ($\mathbf{I}_l\,l_{sol}$), создаваемый осевой составляющей тока, который равен:

$$\mathbf{I}_l\,l_{sol} = (\mathbf{I}_{sol}\,l_{sol})\cos\alpha.\ (3)$$

Этот токовый заряд параллелен оси соленоида и пропорционален длине соленоида l_{sol} . Его знак зависит от направления намотки провода. Если чередовать направление разных слоев намотки, то его влияние можно не учитывать. При увеличении радиуса катушки $\mathbf{R}_{cn}$ и уменьшении диаметра провода $\mathbf{d}_w$ его влияние также сильно уменьшается.

4. Напряженность в поле соленоида.

Магнитное поле соленоида сосредоточено внутри соленоида и его напряженность распределена по сечению равномерно. Поэтому вместо магнитной индукции на оси одиночного контура $\mathbf{B}_0$, рассчитываемой по уравнению (1), в бесконечно длинном соленоиде рассматривается магнитная индукция $\mathbf{B}_{sol}$ в любой точке внутри соленоида. Ее модуль в современной электродинамике записывается двумя выражениями:

$$B_{sol} = \mu_0\,N_{sol}\,I_{sol}\,/\,l_{sol} = \mu_0\,n_{sol}\,I_{sol}\ ,\ (4)$$

где $n_{sol} = N_{sol}\,/\,l_{sol}$ – число витков соленоида, приходящееся на единицу длины l_{sol} . В электрическом соленоиде конечной длины нельзя применять уравнение (4) в концевых частях соленоида. В современной электродинамике, умножив обе части уравнения (4) на орт нормали к поперечному сечению соленоида $\mathbf{n}_{cn}$, приходят к таким двум уравнениям для вектора магнитной индукции соленоида $\mathbf{B}_{sol}$:

$$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0\,N_{sol}\,I_{sol}\,\mathbf{n}_{cn}\,/\,l_{sol} = \mu_0\,n_{sol}\,I_{sol}\,\mathbf{n}_{cn}\ .\ (5)$$

Первое из уравнений (5) после умножения и деления на площадь сечения соленоида $S_{cn} = \pi R_{cn}^2$ имеет вид:

$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0 N_{sol} (I_{sol} S_{cn} \mathbf{n}_{cn}) / V_{sol}$, (6)

где V_{sol} – объем внутренней полости соленоида, подсчитанный по R_{cn} . Но в электромагнетизме уравнение (6) записывают иначе:

$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0 N_{sol} \mathbf{p}_m / V_{sol} = \mu_0 \mathbf{p}_{msol} / V_{sol}$. (7)

В электромагнетизме вместо магнитной индукции соленоида $\mathbf{B}_{sol}$ (напряженности магнитного поля в вакууме) чаще говорят о напряженности магнитного поля $\mathbf{H}_{sol}$ в соленоиде с сердечником, то есть о напряженности магнитного поля сторонних токовых зарядов. Определяющее уравнение для $\mathbf{H}_{sol}$ выглядит в современной физике так:

$\mathbf{H}_{sol} = \mathbf{B}_{sol} /\mu_0 \mu$, (8)

где μ – относительная магнитная проницаемость сердечника. Если сердечник внутри соленоида отсутствует (и, следовательно, $\mu = 1$), то уравнение (8) подставляют в уравнение (5), в результате чего приходят к уравнению:

$\mathbf{H}_{sol} = N_{sol} I_{sol} \mathbf{n}_{cn} / l_{sol}$. (9)

Мы полагаем, что в отсутствие ферромагнитного сердечника (то есть тоже в вакууме) переход от магнитной индукции соленоида $\mathbf{B}_{sol}$ в вакууме к напряженности магнитного поля в соленоиде $\mathbf{H}_{sol}$ является методологической ошибкой.

В СИ размерность напряженности $\mathbf{H}_{sol}$ равна $L^{-1}I$, а единица − А $м^{-1}$. В системе величин ЭСВП та же размерность равна $L^{-1}T^{-1}Q$, а единица измерений – $м^{-1}$ $с^{-1}$ Кл, что, в общем, то же самое.

В электротехнике выражение ($N_{sol} I_{sol}$) выделяют в отдельную физическую величину, называемую **числом ампер-витков**, которую измеряют во внесистемных единицах, называемых **ампер-виток**.

5. Полная напряженность соленоида (магнитный поток).

Напряженность вихревого поля внутри соленоида бесконечной длины (в электродинамике − магнитная индукция соленоида $\mathbf{B}_{sol}$) распределена по сечению внутренней полости соленоида равномерно. Модуль полной напряженности вихревого поля внутри соленоида (потока вектора магнитной индукции) Φ_{sol} , называемый в электромагнетизме **магнитным потоком соленоида**, равен:

$$\Phi_{sol} = \int_S \mathbf{B}_{sol}\, \mathbf{n}_{cn}\, S_{cn} \ . \ (10)$$

Полную напряженность всех витков соленоида, которую в физике называют **потокосцеплением** и обозначают символом Ψ_{sol} , определяют по уравнению:

$$\Psi_{sol} = N_{sol}\, \Phi \ . \ (11)$$

В реальном соленоиде конечной длины вихревое поле поблизости от торцов соленоида имеет другие закономерности, нежели указанные выше.

6. Размерности и единицы напряженности соленоида и его магнитного потока.

Размерность локальной напряженности внутри соленоида (магнитной индукции $\mathbf{B}_{sol}$) и размерность напряженности внутри одиночного контура $\mathbf{B}_0$ в СИ соответствует размерности $MT^{-2}I^{-1}$, что в соответствии с размерностью предполагает единицу кг $с^{-2}$ $А^{-1}$. Но присутствие в единице магнитной индукции единицы клограмм выглядит непонятно, и ей дали название Тесла. В системе величин ЭСВП размерность той же напряженности равна $L^{-3}TQ$, а единица равна $м^{-3}$ с Кл.

Размерность полной напряженности (магнитного потока) Φ_{sol} в СИ соответствует размерности $L^2MT^{-2}I^{-1}$, что в соответствии с размерностью предполагает единицу кг $м^2$ $с^{-2}$ А. По упомянутой в предыдущем абзаце причине ей тоже дали другое назание вебер, единица Вб = Тл $м^2$. В ЭСВП размерность магнитного потока равна $L^{-1}TQ$ с единицей $м^{-1}$ с Кл.

Размерность потокосцепления Ψ_{sol} в системе величин ЭСВП отличается от размерности магнитного потока в СИ тем, что в формуле размерности потокосцепления появляется символ числа структурных элементов N. В случае соленоида таким числом является **число витков**. В системе ЭСВП вместо применения такой внесистемной единицы, как **виток**, можно применять единицу **штука**. Введение в ЭСВП числа структурных элементов в качестве основной физической величины выявляет различие между двумя разными физическими величинами: магнитным потоком и потокосцеплением. В СИ размерности потокосцепления и магнитного потока совпадают.

5.13. Напряженности в физическом поле тороида

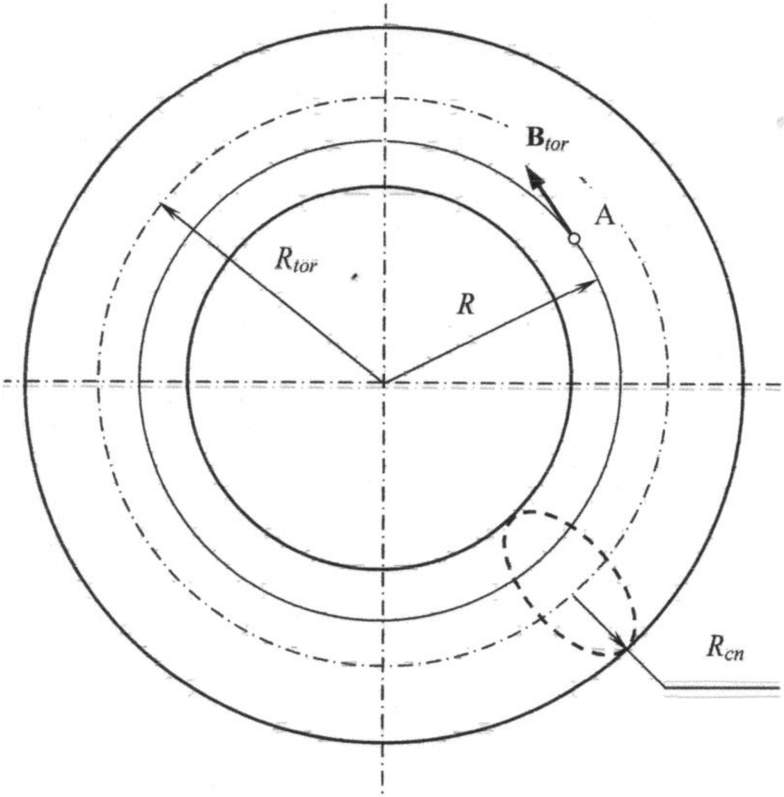
1. Особые свойства тороида.

Тороидальный вихрь обладает особыми свойствами, позволяющими ему играть основополагающую роль в процессе самоорганизации материи. Эти свойства заключаются в том, что тороид аккумулирует в себе кинетическую энергию вращательного движения.

Тороид представляет собой свернутый соленоид, ось симметрии которого имеет форму окружности. Криволинейность оси симметрии свернутого в круг соленоида – это то, что прежде всего отличает тороид от бесконечно длинного соленоида. Как и в соленоиде, в любой точке каждого витка тороида имеется контурная составляющая тока $\mathbf{I}_{cn}$, описанная в разделе, посвященном соленоиду, и создающая вихревое поле внутри свернутого соленоида, и токовый дипольный заряд (дипольный момент свернутого соленоида). Напряженность этого вихревого поля пропорциональна числу токовых контуров (числу витков свернутого соленоида). Имеется также и осевая составляющая тока $\mathbf{I}_l$, касательная к свернутой в окружность оси симметрии соленоида.

2. Напряженность вихревого поля внутри свернутого соленоида.

Рассмотрим зависимость напряженности вихревого поля внутри свернутого соленоида от криволинейности его оси симметрии (см. рисунок). Вектор напряженности вихревого поля в свернутом соленоиде $\mathbf{B}_{sol}$ в точке А на произвольной окружности радиуса R, находящейся внутри свернутого соленоида, касателен к этой окружности.



Повторим предварительно уравнение для напряженности вихревого поля прямого соленоида, приведенное в разделе о прямом соленоиде:

$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0 N_{sol} I_{cn} \mathbf{n}_{cn} / l_{sol}$. (1)

где μ_0 – магнитная постоянная, N_{sol} – число витков катушки соленоида, I_{cn} – контурный ток в соленоиде, l_{sol} – длина оси соленоида, $\mathbf{n}_{cn}$ – орт нормали к поперечному сечению соленоида. Применительно к тороиду в уравнение (1) вместо l_{sol} можно подставить длину оси симметрии свернутого соленоида $l_{tor} = 2\pi R_{tor}$, где R_{tor} - радиус оси симметрии свернутого соленоида, и переписать уравнение (1) для магнитной индукции в центре сечения свернутого соленоида в виде:

$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0 N_{sol} I_{cn} \mathbf{n}_{cn} / 2\pi R_{tor}$. (2)

Вихревое поле от контурного тока $\mathbf{I}_{cn}$ существует только внутри свернутого соленоида при любом радиусе R произвольно расположенной окружности, большем, чем внутренний радиус соленоида R_{min} , и меньшем, чем внешний радиус соленоида R_{max} . Это вихревое поле неравномерно по сечению соленоида, так как зависит от текущего значения радиуса R. Напряженность поля внутри свёрнутого соленоида при произвольном значении радиуса R определяется по уравнению:

$$\mathbf{B}_{sol} = \mu_0 N_{sol} I_{cn} \mathbf{n}_{cn} / 2\pi R \ . \ (3)$$

Отношение $\mathbf{B}_{sol}$ на окружности произвольного радиуса R к $\mathbf{B}_{sol}$ на окружности с радиусом оси симметрии R_{tor} равно отношению (R/R_{tor}). Если $R_{tor} >> R_{cn}$, где R_{cn} – максимальный радиус отдельного витка свёрнутого соленоида, то отношение (R/R_{tor}) близко к 1. И только при этом условии напряженность $\mathbf{B}_{sol}$ внутри свернутого соленоида примерно одинакова по сечению, и ее можно определять по уравнению (2).

Поскольку орт $\mathbf{n}_{cn}$ постоянно меняет свое направление вдоль оси симметрии свёрнутого соленоида, то вместе с ним меняет направление и вектор $\mathbf{B}_{sol}$.

3. Токовый дипольный момент тороида.

Вихревое поле, создаваемое контурным током $\mathbf{I}_{cn}$, вне свернутого соленоида отсутствует. Вне свернутого соленоида существует лишь вихревое поле, которое создает в обмотке свернутого соленоида ток $\mathbf{I}_l$, параллельный в любом сечении оси соленоида. Этот ток является контурным током другого кругового контура с центром на центральной оси тороида, именно он является причиной появления другого дипольного момента, который можно назвать **дипольным моментом тороида**. Он равен:

$$\mathbf{Q}_{tor} = I_l \, S_{tor} \, N_{sol} \, \mathbf{n}_{tor} = [\mathbf{I}_l \, \mathbf{e}_R] \, N_{sol} \, \pi R_{tor}^2 \ . \ (4)$$

Так как $\mathbf{I}_l = \mathbf{I}_{sol} \cos\alpha$, где α − угол между направлением проводника контура и осью свернутого соленоида (см. схему на рисунке в разделе о соленоиде), то значение $\mathbf{I}_l$ в любом сечении свернутого соленоида мало. Но при достаточно больших значениях радиуса тороида R_{tor} и большого числа витков катушки соленоида N_{sol} дипольный момент тороида $\mathbf{Q}_{tor}$ может приобретать существенное значение. Таким образом, тороид можно уподобить одиночному токовому контуру, рассмотренному в разделе, посвященном соленоиду.

Вектор напряженности создаваемого токовым зарядом $\mathbf{Q}_{tor}$ вихревого поля направлен перпендикулярно плоскости тороида. Конкретное направление этого вектора зависит от направления намотки катушки свернутого соленоида: левовинтового или правовинтового.

4. Тороид – основа самоорганизации движения материи.

У тороида имеется замечательная особенность. Если в реальном прямом соленоиде с конечной длиной оси симметрии часть энергии вихревого поля соленоида у его торцов уходит в окружающую среду, то энергия вихревого поля внутри свернутого соленоида в тороиде полностью сосредоточена внутри соленоида, поскольку у свернутого соленоида торцов нет. Эта энергия как бы связана (сконцентрирована) внутри тороида самой его структурой. Конечно, тороид создает также и вихревое поле, создаваемое осевой составляющей тока, но значение последнего не связано с внутренним полем свернутого соленоида.

Тороид является ярким примером самоорганизации движения материи, концентрации энергии полевой среды внутри устойчивых образований типа тороида. Поэтому тороидальная форма является превалирующей при образовании устойчивых материальных объектов, в частности, нейтрино, фотонов и электронов. Весьма подробно эта модель рассматривается в работах В.Пакулина (2004, 2011) и В.Ацюковского (2003), хотя конкретные модели конструкций этих частиц у указанных авторов различны.

Природа тороидов в материальных частицах и в реальных технических конструкциях имеет принципиальное различие. Такие частицы, как нейтрино и фотоны, представляющие собой вихри, состоящие из частиц полевой среды, несмотря на свою энергетическую обособленность, гидродинамически связаны с полевой средой, в которой они находятся, и свободно в ней движутся. В этом плане им аналогичны вихревые образования материи в космосе. А в реальных технических конструкциях вихревое движение электронов в проводнике обмотки создается искусственно внешним источником тока, и эти конструкции не могут двигаться относительно устройств, в которые они встроены.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Пакулин В.Н., 2011, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра", 121 с., а также Структура материи. 2004 – http://www.valpak.narod.ru

5.14. Измерение электрических и магнитных величин

При указании размерностей и единиц измерения, названий и обозначений физических величин в СИ будем руководствоваться метрологическим справочником А.Чертова (1990). Это иллюстрируется сводной таблицей, расположенной ниже в последнем разделе. В этой таблице указаны как те единицы СИ, которые соответствуют размерности в СИ, так и используемые фактически в соответствии с существующим стандартом. Единицы СИ сравниваются в таблице с единицами, которые вытекают из размерностей в системы величин ЭСВП, поясняемой в данном работе (см. также статью И. Когана, 2015).

1. Измерение напряжения в электрической цепи.

Электрическое напряжение *U* между двумя точками электрической цепи определяется (А.Чертов, с. 119) по силе тока *I* и мощности *P*, только размерность мощности *P* берется из механики (А.Чертов, с. 74). А в механике мощность определяется как произведение силы на скорость точки ее приложения. Естественно, что поэтому в размерность мощности L^2MT^{-3} входит размерность массы M. И это в итоге приводит к размерности электрического напряжения $L^2MT^{-3}I^{-1}$, которой соответствует единица м^2 кг с$^{-3}$ А$^{-1}$. Эту единицу трудно запомнить, но еще труднее объяснить, почему в единице электрического напряжения присутствует единица килограмм.

Физики вышли из этой затруднительной ситуации, присвоив единице напряжения имя великого физика, то есть назвали единицу напряжения вольтом. А по сути дела ушли от ответа на вопрос, поскольку нигде, кроме справочников, размерность напряжения не приводится. Более логично было бы присвоить единице напряжения единицу электрического потенциала φ, равную Дж Кл$^{-1}$ (А.Чертов, с. 115), но в

СИ предпочли другой вариант, присвоив единице Дж Кл$^{-1}$ название вольт.

В системе величин ЭСВП единица напряжения м$^{-1}$ Кл выглядит просто и легко объясняется. К тому же, она совпадает в ЭСВП с единицей разности потенциалов электрического поля $\Delta\varphi$ (см. строку 15 таблицы).

2. Измерение электрической ёмкости.

Размерность электрической ёмкости C уединенного проводника в СИ равна L^{-2}M^{-1}T^{4}I^{2}, которой соответствует единица м$^{-2}$ кг$^{-1}$ с^{4} А^{2} (А.Чертов, с. 115). Как и в случае с единицей напряжения, физики вышли из положения, присвоив единице ёмкости имя другого великого физика, назвав единицу ёмкости фарадом (Ф), определив его как Кл В$^{-1}$. На практике же электрическую ёмкость определяют отношением заряда обкладки конденсатора к разности потенциалов поля между обкладками.

В теории электрического поля существует и другой вариант, когда ёмкость определяют по уравнению $C = 4\pi R\varepsilon_0$, в соответствии с которым размерность ёмкости C становится равной L, что соответствует единице метр. Такая единица применялась ранее для ёмкости в системе единиц СГСЭ. Если учесть, что заряд тела Q состоит из какого-то количества N_Q элементарных зарядов e, то есть $Q = N_Q e$, то уравнение $C = 4\pi R\varepsilon_0$ должно быть заменено уравнением $C = 4\pi R\varepsilon_0/N_Q$. При применении размерности N_Q, равной размерности количества объектов C, размерность ёмкости C станет равной LC^{-1} с единицей м шт$^{-1}$ (метр на штуку), где под штукой подразумевается единичный электрический заряд e.

3. Измерение электрического сопротивления и электрической проводимости.

Размерность электрического активного сопротивления R в СИ равна L^{2}MT^{-3}I^{-2}, которой соответствует единица м^{2} кг с$^{-3}$ А$^{-2}$ (А.Чертов, с. 122). Как и в случае с единицей напряжения, физики вышли из положения, присвоив единице сопротивления имя его первооткрывателя, назвав сопротиления омом (Ом), определив его в соответствии с законом Ома $R = U/I$ как В А$^{-1}$. Ранее применение закона Ома в системе СГСЭ приводило к размерности, равной L^{-1}T с единицей м$^{-1}$ с, что совпадает с единицей сопротивления в ЭСВП.

Обратную ому единицу электрической проводимости назвали симменс, избежав таким образом применение единицы м$^{-2}$ кг$^{-1}$ с^{3} А^{2}, соответствующей размерности $L^{-2}M^{-1}T^{3}I^{2}$ (А.Чертов, с. 122).

4. Измерение индуктивности.

Размерность индуктивности *L* в СИ равна $L^{2}MT^{-2}I^{-2}$, которой соответствует единица м^{2} кг с$^{-2}$ А$^{-2}$ (А.Чертов, с. 132). Неудобную единицу индуктивности, как и в предыдущих случаях переименовали, назвав генри (Гн). В СИ индуктивность определяют по уравнению связи $L = \Psi/i$, где Ψ – потокосцепление (сумма магнитных потоков токовых контуров катушки индуктивности), а i - ток в катушке. Поскольку единицу потокосцепления называют в СИ вебером (Вб), то и единица индуктивности Гн = Вб А$^{-1}$. Применение уравнения $L = \Psi/i$ в системе СГСЭ приводило к размерности, равной $L^{-1}T^{2}$ с единицей м$^{-1}$ с^{2}, что совпадает с единицей индуктивности в ЭСВП. При предстоящем введении в СИ в качестве основной величины количества объектов, изменятся размерность и единица потокосцепления и, соответственно индуктивности.

В системе величин ЭСВП единицы параметров электрической цепи выглядят настолько просто, что нет никакой необходимости их переименовывать.

5. Измерение электрического заряда и электрического тока.

Определение единицы количества электричества (количества элементарных электрических зарядов) по единице электрического тока (строки 7 и 8 таблицы) противоречит прининципу причинности. Об этом говорится и в справочнике (А.Чертов, с. 106). Но преимущества практического определения единицы электрического тока с помощью закона Ампера оказались сильнее принципа причинности.

Сейчас, в связи с предстоящим переопределением основных единиц СИ по фундаментальным физическим константам (ФФК), эта ситуация, возможно, будет исправлена. В частности, есть предложение использовать с нулевой неопределенностью значение такой ФФК, как элементарный (единичный) заряд электрона *е*. Слово "элементарный" в выражении "элементарный заряд" следует понимать не как бесконечно малый, а как неделимый, минимально возможный заряд, который не может быть разделен на части, не потеряв при этом своего физического содержания.

В СИ различия между единицей заряда тела и единицей элементарного заряда нет, так как количества объектов в СИ пока не имеет своей размерности и единицы. При этом единица количества электричества (суммарного заряда электрически заряженной системы) должна будет учитывать единицу количества объектов, когда эта единица станет основной. Возможны два варианта. Если единицу элементарного заряда назвать кулоном, а единицу количества объектов назвать штукой, то единицей количества электричества будет Кл штука. А если единицу количества электричества назовут кулоном, то единица элементарного заряда будет Кл штука$^{-1}$. Второй вариант выглядит более предпочтительным.

В статье Г.Трунова (2009) дано подробное обоснование необходимости введения в Новую СИ в качестве условной основной величины электрического заряда с определением "*Кулон – электрический заряд, равный точному числу* $1/(1{,}60217653\times10^{-19})$ *элементарных зарядов и который взаимодействует в вакууме с равным ему зарядом на расстоянии 1 метра с силой* $(299792458)2 \times 10^{-7}$ *ньютонов*." Только в предлагаемом определении кулона единицу ньютон следует записать как Дж м$^{-1}$, чтобы подчеркнуть взаимосвязь единицы электрического заряда с единицами энергии и длины.

Единицы движущегося заряда, токового заряда, электрического момента диполя и магнитного момента (строки 9-12 таблицы) дополнительных пояснений не требуют. Особенно после просмотра разделов по соответствующим ссылкам.

6. Измерение скалярного потенциала электрического поля.

Современное определение скалярного потенциала электрического поля φ в какой-то точке поля исходит из формулы $\varphi = W_p /q$, в которой W_p – потенциальная энергия взаимодействия пробного заряда q, помещенного в эту точку, с полем. Однако потенциал поля φ характеризует состояние полевой среды в точке, независимо от того, находится ли в этой точке пробный заряд. А если пробного заряда нет, то нет и смысла использовать формулу $\varphi = W_p /q$. Принцип причинности требует учитывать значение полеобразующего заряда Q и расстояния r от его центра до интересущей точки эквипотенциальной поверхности.

Скалярный потенциал поля $\varphi(r)$ не имеет своего определяющего уравнения в векторной алгебре, а является аргументом векторной функции напряженности поля **E**(r), определяемой как **E**(r) = - **grad** $\varphi(r)$. Напряженность поля E(r) фактически определяется значением полеобразующего заряда Q. А скалярный потенциал центрального поля, равномерно распределенного по сферической эквипотенциальной поверхности площадью $S = 4\pi r^2$ равен $\varphi = k_f\,Qr/S = k_f\,Q/4\pi r$ (Б.Яворский и А.Детлаф, 1990, с.185). В этом уравнении присутствует размерный коэффициент k_f, который в СИ является электрической постоянной ε_0, а в ЭСВП равен 1. Площадь эквипотенциальной поверхности может не быть сферической, но это не повлияет на размерность и единицу потенциала.

Сейчас в СИ размерность потенциала равна $L^2MT^{-3}I^{-1}$, чему соответствует единица м^2 кг с$^{-3}$ А$^{-1}$ (А.Чертов, с. 115), но применяются другие, более удобные единицы (Дж Кл$^{-1}$ и В). Единица Дж Кл$^{-1}$ вытекает из уравнения $\varphi = W_p/q$, о котором уже сказано, что оно не соответствует принципу причинности, и поэтому единица Дж Кл$^{-1}$ применяться не должна. А единица В (вольт) вытекает из уравнения $U = P/I$, где U − падение напряжения на участке электрической цепи, I − электрический ток, P − мощность. Однако ток I и мощность P никакого отношения к потенциалу поля не имеют. Поэтому единица вольт тоже не должна применяться для потенциала поля. Таким образом, принятые в СИ единицы скалярного потенциала электрического поля не соответствуют их физическому содержанию. В системе величин ЭСВП скалярный потенциал зависит только от значений Q и r, и размерность потенциала φ равна $L^{-1}Q$, что соответствует единице м$^{-1}$ Кл.

7. Измерение векторного потенциала магнитного поля.

Потенциал вихревого поля (векторный потенциал) обозначают символом **A**. В векторной алгебре векторный потенциал **A** не имеет определяющего уравнения, а является аргументом векторной функции напряженности вихревого поля (в электродинамике − магнитной индукции) **B**, определяемой как **B** = rot **A**.

В уравнении для вихревого поля, образованного токовым зарядом прямого тока ($\mathbf{i}l$), эквипотенциальной поверхностью является не сфера, а цилиндр с площадью боковой поверхности $S = 2\pi bl$, где b – радиус цилиндра и l – длина цилиндра. Поэтому можно записать уравнение $\mathbf{A} = \mathrm{k_c}(\mathbf{i}l)b/S = k_c(\mathbf{i}l)/2\pi l$. В СИ в магнитном поле $k_c = \mu_0$, так что в СИ $\mathbf{A} = \mu_0(\mathbf{i}l)/2\pi l$. В соответствии с этим уравнением размерность **A** в СИ равна $LMT^{-2}I^{-1}$, чему соответствует единица кг м с$^{-2}$ А$^{-1}$. Фактически же принята единица Вб м$^{-1}$ = Тл м. То есть, введение единиц Вб (вебер) и Тл (Тесла) продиктовано не физическим содержанием векторного потенциала, а удобством записи. В системе ЭСВП размерность **A** равна L^{-2}TQ с единицей м$^{-2}$ с Кл.

8. Измерение напряженностей электромагнитного поля.

При рассмотрении размерностей и единиц напряженностей поля в СИ в различных формах электромагнитного поля не заметна какая-либо закономерность. Это объясняется тем, что исторически эти единицы постоянно менялись при переходе от одной системы единиц к другой. В качестве основных выбирались такие единицы, которые удобны для измерения и создания измерительных эталонов.

Формулы размерностей напряженности электрического поля **E** и напряженности магнитного поля (магнитной индукции) **B** в физическом вакууме (строки 17 и 18 таблицы) базируются в СИ на комплекте размерностей MLTI. В то же время формулы размерностей напряженностей электрического поля в веществе (поляризованности диэлектрика **P** и электрического смещения **D** в строках 21 и 22 таблицы) и напряженностей магнитного поля в веществе (намагниченности магнетика **M** и напряженности магнитного поля **H** в строках 23 и 24 таблицы) базируются в СИ на комплекте размерностей LTI. По этой причине единицы напряженностей в веществе соответстствуют своим размерностям, и их не было необходимости как-то называть по-особому, а единицы напряженностей в физическом вакууме пришлось называть новым именем. А в системе величин ЭСВП не пришлось модернизировать единицы за исключением замены ампера на кулон. Более подробно размерности и единицы напряженностей рассмотрены в статье, посвященной напряженностям физического поля.

9. Обобщенная таблица размерностей и единиц электромагниных величин.

№№	**Название величины**	Символ	**в СИ**			**в системе величин ЭСВП**
			Размерность	Единица		Единица
				согласно	по	

				размерности	стандарту	
1	Электрическое напряжение	U	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	м^2 кг с$^{-3}$ А$^{-1}$	В	м$^{-1}$ Кл
2	Ёмкость конденсатора	C	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	м$^{-2}$ кг$^{-1}$ с^4 А^2	Ф; Кл В$^{-1}$	м кв$^{-1}$
3	Активное сопротивление	R	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	м^2 кг с$^{-3}$ А$^{-2}$	Ом	м$^{-1}$ с
4	Проводимость	Y	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	м$^{-2}$ кг$^{-1}$ с^3 А^2	См	м с$^{-1}$
5	Индуктивность катушки	L	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	м^2 кг с$^{-2}$ А$^{-2}$	Гн; Вб А$^{-1}$	м$^{-1}$ с^2
6	Элементарный заряд	e	TI	А с	Кл	Кл кв$^{-1}$
7	Электрический заряд тела	q	TI	А с	Кл	Кл
8	Электрический ток	i	I	А	А	Кл с$^{-1}$
9	Движущийся заряд	$(q\mathbf{v})$	LI	м А	м А	м с$^{-1}$ Кл
10	Токовый заряд	$(\mathbf{i}l)$	-	-	-	м с$^{-1}$ Кл
11	Электрический момент диполя	$\mathbf{q}_e$	LTI	м с А	м с А	м Кл
12	Магнитный момент	$\mathbf{q}_m$	L^2I	м^2 А	м^2 А	м^2 с$^{-1}$ Кл
13	Электрическая постоянная	ε_0	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	м$^{-3}$ кг$^{-1}$ с^4 А^2	Ф м$^{-1}$	1
14	Магнитная постоянная	μ_0	$LMT^{-2}I^{-2}$	м кг с$^{-2}$ А$^{-2}$	м$^{-1}$ Гн	м$^{-2}$ с^2
15	Скалярный потенциал поля	φ	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	м^2 кг с$^{-3}$ А$^{-1}$	Дж Кл$^{-1}$; В	м$^{-1}$ Кл
16	Векторный потенциал	$\mathbf{A}$	$LMT^{-2}I^{-1}$	м кг с$^{-2}$ А$^{-1}$	Тл м	м$^{-2}$ с Кл
17	Напряженность поля	$\mathbf{E}$	$LMT^{-3}I^{-1}$	м кг с$^{-3}$ А$^{-1}$	Н Кл$^{-1}$; В м$^{-1}$	м$^{-2}$ Кл
18	Магнитная индукция	$\mathbf{B}$	$MT^{-2}I^{-1}$	кг с$^{-2}$ А$^{-1}$	Тл	м$^{-2}$ с Кл
19	Поток вектора напряженности	Φ_E	$L^3MT^{-3}I^{-1}$	м^3 кг с$^{-3}$ А$^{-1}$	В м	Кл

20	Магнитный поток	*Ф*	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	м^2 кг с$^{-2}$ А$^{-1}$	Тл м^2; Вб	м$^{-1}$ с Кл
21	Поляризованность диэлектрика	**P**	$L^{-2}TI$	м$^{-2}$ с А	м$^{-2}$ с А	м$^{-2}$ Кл
22	Электрическое смещение	**D**	$L^{-2}TI$	м$^{-2}$ с А	м$^{-2}$ с А	м$^{-2}$ Кл
23	Намагниченность магнетика	**M**	$L^{-1}I$	м$^{-1}$ А	м$^{-1}$ А	м$^{-1}$ с$^{-1}$ Кл
24	Напряженность магнитного поля	**H**	$L^{-1}I$	м$^{-1}$ А	м$^{-1}$ А	м$^{-1}$ с$^{-1}$ Кл

Литература

1. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 2. О необходимости изменения набора основных величин). – Законодательная и прикладная метрология, 2, с.с. 34-48
2. Трунов Г.М., 2009. Новый ампер? Нет, новый кулон. Мир измерений, 8. с.с.23 - 25
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

6. Взаимодействие физических полей

6.1. Обобщенное уравнение сил взаимодействия зарядов поля

1. Об одном из недостатков уравнений для определения сил взаимодействия.

К рассмотрению **сил взаимодействия** заряженных систем в строгом соответствии с принципом причинности можно приступать только после рассмотрения причин взаимодействия этих систем.

При современной методике изучения сил взаимодействия заряженные системы (заряды систем) не подразделяются на полеобразующий заряд и полевой заряд. Полевой заряд вносится в уже образованное поле со своей напряженностью, поэтому сила взаимодействия заряженных систем зависит от напряженности поля полеобразующего заряда в том месте, куда вносится полевой заряд. Отсюда следует, что **напряженность поля первична (является причиной), а сила взаимодействия заряженных систем вторична (является следствием).** При современной методике преподавания физики напряженность поля определяется по силе взаимодействия зарядов, а не наоборот, как того требует принцип причинности.
Кроме того, в уравнениях для определения напряженностей и сил взаимодействия вместо учета площадей эквипотенциальных поверхностей (например, для центрального поля $S_f = 4\pi r^2$) производится неоправданное разделение сомножителей 4π и r^2, и с множителем 4π производятся различные операции, искажающие физическое содержание определяющих уравнений. Множителями 4π (или 2π в вихревом поле) играют в физике уже несколько веков, как мячиком в пинг-понге, не учитывая того, что эти множители в формуле для площади эквипотенциальной поверхности не следует отделять друг от друга.

Например, в электрическом поле размерный коэффициент в уравнении для силы взаимодействия $k_{f0} = 1/\varepsilon_0$. Поэтому отношение (k_{f0} /S_f) должно быть записано в виде ($1/\varepsilon_0\ 4\pi r^2$). Однако после произвольного отделения множителя 4π от множителя r^2 коэффициент пропорциональности в уравнении, определяющем напряженность, записывают в виде $1/4\pi\varepsilon_0$. В результате подобного математического преобразования существование площади эквипотенциальной поверхности, равной $4\pi r^2$ уже не просматривается. Создается зрительная иллюзия того, что напряженность и сила взаимодействия обратно пропорциональны квадрату радиуса r^2, а не площади эквипотенциальной поверхности S_f .

В современной физике необоснованно говорят о законе обратных квадратов, а надо говорить о законе обратных площадей.

Чтобы подчеркнуть, что напряженность является векторной величиной, иногда прибегают к уравнению типа $\mathbf{E} = (1/4\pi\varepsilon_0\ )(Q\mathbf{r}/r^3)$, что, на наш взгляд, еще хуже, так как приходится пояснять, почему вдруг напряженность оказалась обратно пропорциональной радиусу в кубе.

Так произвольные математические операции искажают физическое содержание определяющих уравнений.

2. Обобщенное уравнение сил взаимодействия зарядов с обобщенными обозначениями.

Запишем это уравнение, учитывая систему символики и индексации, иллюстрируемую Таблицей величин физического поля. Согласно этой системе сила взаимодействия зарядов в среде, называемой физическим вакуумом, обозначается $\mathbf{F}_v$ и определяется таким обобщенным уравнением:

$\mathbf{F}_v = \mathbf{F}_{fv} \cup \mathbf{F}_{cv} = q_f\, \mathbf{E}_{fv} \cup [\mathbf{q}_c\, \mathbf{E}_{cv}]$, (1)

где $\mathbf{F}_{fv}$ и $\mathbf{F}_{cv}$ – силы взаимодействия в центральном и вихревом полях в вакууме; $\cup$ – символ логической функции ИЛИ, объединяющий уравнения сил взаимодействия центрального и вихревого полей; q_f и $\mathbf{q}_c$ – полевые заряды (q_f – заряд центрального поля, $\mathbf{q}_c$ – заряд вихревого поля); $\mathbf{E}_{fv}$ и $\mathbf{E}_{cv}$ – напряженности центрального и вихревого полей в вакууме.

После подстановки в уравнение (1) значений напряженностей $\mathbf{E}_{fv}$ и $\mathbf{E}_{cv}$, создаваемых полеобразующими зарядами центрального (Q_f) и вихревого ($\mathbf{Q}_c$) полей и определяемых уравнениями, приведенными в статье, посвященной напряженностям физических полей в вакууме, уравнение (1) можно записать в виде двух уравнений для сил взаимодействия в центральном поле $\mathbf{F}_{fv}$ и в вихревом поле $\mathbf{F}_{cv}$:

$\mathbf{F}_{fv} = (k_{f0} /4\pi r^2)\, Q_f\, q_f\, \mathbf{e}_r$ (2) и $\mathbf{F}_{cv} = (k_{c0} /2\pi bl)\, [\mathbf{q}_c\, [\mathbf{Q}_c\, \mathbf{e}_b]]$, (3)

где k_{f0} и k_{c0} – размерные коэффициенты для центрального и вихревого полей соответственно, $4\pi r^2$ – площадь эквипотенциальной поверхности сферического центрального поля, $2\pi bl$ – площадь эквипотенциальной поверхности цилиндрического вихревого поля, $\mathbf{e}_r$ и $\mathbf{e}_b$ – орты радиус-векторов.

3. Уравнения сил взаимодействия зарядов в центральном поле.

В электрическом поле в вакууме с напряженностью **E** уравнение (2) следует записывать как уравнение для **кулоновской силы** взаимодействия $\mathbf{F}_C$ двух электрических зарядов Q и q в центральном поле (**закон Кулона**) в следующем виде:

$\mathbf{F}_C = q\mathbf{E} = (1/\varepsilon_0 4\pi r^2)\, Qq\, \mathbf{e}_r$. (4)

Однако закон Кулона записывается в разных первоисточниках, как показано ниже, в трех формах:

а) в соответствии с вышеприведенным уравнением (4);

б) в форме, представленной в популярном учебнике по физике И.Савельева (2005);

в) в форме, представленной в популярном справочнике по физике

$$\mathbf{F} = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Qq}{4\pi r^2}\mathbf{e}_r \qquad \mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\mathbf{e}_{12} \qquad \mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^3}\mathbf{r}_1$$

Б.Яворского и А.Детлафа (1990).

На наш взгляд, обоснована лишь первая форма записи.

В гравистатическом поле в вакууме с напряженностью **G** уравнение (2) следует записывать как уравнение для **силы притяжения** $\mathbf{F}_g$ двух масс M и m в центральном поле (**закон всемирного тяготения Ньютона**) в виде:

$\mathbf{F}_g = m\mathbf{G} = (1/\gamma_0\, 4\pi r^2)\, Mm\, \mathbf{e}_r$, (5)

где $\gamma_0 = 4\pi/\gamma$ – **гравистатическая постоянная**, описанная в статье, посвященной гравитационной постоянной γ, а массы понимаются как меры гравитации. В современной же записи закона тяготения Ньютона множителя 4π нет вообще, и поэтому наличие площади эквипотенциальной поверхности гравистатического поля не просматривается никак.

Расчет силы взаимодействия гравитационных зарядов так же, как и в вышеприведенном примере с законом Кулона в тех же первоисточниках, приводит к 4-м разным формам записи закона тяготения Ньютона:

$$\mathbf{F} = \frac{1}{\gamma_0}\frac{Mm}{4\pi r^2}\mathbf{e}_r = \frac{\gamma}{4\pi}\frac{Mm}{4\pi r^2}\mathbf{e}_r \qquad \mathbf{F}_{12} = \gamma\frac{m_1m_2}{r^2}\mathbf{e}_{12} \qquad \mathbf{F}_{12} = -\gamma\frac{m_1m_2}{r_{12}^3}\mathbf{r}_{12}$$

Различие между правильной первой и тремя другими неправильными

формами записи закона Ньютона существенно. Современная гравитационная постоянная γ (она же чаще G) и вновь введенная гравистатическая постоянная γ_0 , точно так же, как и электрическая и магнитная постоянные ε_0 и μ_0 , не имеют физического содержания. Это обычные размерные коэффициенты, зависящие от выбора системы единиц. В современной физике они привязаны к системе единиц СИ.

4. Уравнения сил взаимодействия зарядов в вихревом поле.

В магнитном поле в вакууме с магнитной индукцией **B** (напряженностью магнитного поля в вакууме) имеются два варианта записи уравнения силы взаимодействия. Первый вариант уравнения для определения магнитной силы $\mathbf{F}_m$ применяется для магнитного поля, созданного движущимся зарядом ($Q\mathbf{v}$). Уравнение (3) можно записать как уравнение для **магнитной силы** $\mathbf{F}_m$ взаимодействия двух движущихся зарядов − полеобразующего ($Q\mathbf{v}$) и полевого ($q\mathbf{v}$) в виде:

$$\mathbf{F}_m = (\mu_0 /2\pi bl) [(q\mathbf{v}) [(Q\mathbf{v}) \mathbf{e}_b]] . \quad (6)$$

Однако запись в виде уравнения (6) в современной физике не рассматривается, и магнитная сила определяется по магнитной индукции **B**, в определяющее уравнение которой входит значение полеобразующего заряда Q. При этом значение полевого заряда q выносится за скобки выражения для движущегося заряда ($q\mathbf{v}$), что делать не следует, так как при этом перестает просматриваться физическое содержание полевого движущегося заряда. В итоге магнитная сила в современной физике вместо правильной записи $\mathbf{F}_m = [(q\mathbf{v})\, \mathbf{B}]$ записывается в виде

$$\mathbf{F}_m = q\, [\mathbf{v}\, \mathbf{B}] \quad . \quad (7)$$

Второй вариант уравнения для магнитной силы $\mathbf{F}_m$ применяется для магнитного поля, созданного токовым зарядом ($\mathbf{I}l$). Уравнение (3) в этом случае можно записать как уравнение для магнитной силы взаимодействия двух токовых зарядов: полеобразующего ($\mathbf{I}l$) и полевого ($\mathbf{i}l$) в виде:

$$\mathbf{F}_m = (\mu_0 /2\pi bl) [(\mathbf{i}l) [(\mathbf{I}l) \mathbf{e}_b]] . \quad (8)$$

Но в современной физике после недопустимого вынесения длины l за скобки выражения для токового заряда и последующего ее сокращения в числителе и знаменателе уравнение (8) записывается для определения лишь модуля F_m магнитной силы, приходящейся на единицу длины проводника, в виде:

$$F_m / l = (\mu_0 /4\pi)\, 2\, I\, i / b \, . \quad (9)$$

В такой записи уравнение (9) называется **законом Ампера**. При взгляде на уравнение (9) создается впечатление, что магнитная сила обратно пропорциональна только расстоянию b. Хотя на самом деле она обратно пропорциональна площади эквипотенциальной поверхности в поле прямого тока $2\pi bl$ (боковой поверхности цилиндра). Уравнение (8) правильно отражает физическое содержание закона взаимодействия токов, а запись уравнения (9) скрывает это содержание. Расчет силы взаимодействия токовых зарядов прямого тока так же, как и в случае с законом Кулона, приводит к трем различным формам записи закона Ампера:

$$\mathbf{F} = \mu_0 \frac{(Il)(il)}{2\pi bl}\,\mathbf{e}_b \qquad F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2I_1I_2}{b} \qquad F = IBl\sin\alpha$$

В данном случае различие в формах записи еще более значительно, чем это было продемонстрировано в уравнениях для центрального поля. Во-первых, вместо записи уравнения для определения вектора силы Ампера в современных первоисточниках приводят только запись уравнения для модуля силы Ампера. Во-вторых, во второй форме записи числовой множитель 2 предпочитают не сокращать, лишь бы в знаменателе сохранился множитель 4π и просматривалась бы какая-то аналогия с записью закона Кулона. Хотя в законе Кулона эквипотенциальной поверхностью является сфера, а в законе Ампера − цилиндр.

Если речь идет о силе взаимодействия между полеобразующим движущимся зарядом ($Q\mathbf{v}$) и полевым токовым зарядом прямого тока ($\mathbf{i}l$), то уравнение (5) можно записать в виде:

$$\mathbf{F}_m = (\mu_0 /2\pi bl)\, [(\mathbf{i}l)\, [(Q\mathbf{v})\, \mathbf{e}_b]] \, . \quad (10)$$

В гравидинамическом поле в вакууме, являющимся вихревым полем, вместо напряженности **G** из уравнения (5), следует подставить вектор напряженности гравидинамического поля, обозначенный нами символом

$\mathbf{G}_i$, который можно записать в виде.

$\mathbf{G}_i = (\delta_0 / 2\pi bl) [(\mathbf{I}_i l) \mathbf{e}_b]$, (11)

где $\mathbf{I}_i$ является гравитационным током проводимости, а размерный коэффициент, обозначенный нами символом δ_0 , можно называть гравидинамической постоянной. (Эта символика хорошо понимается после ознакомления с Таблицей величин физического поля.)

5. Терминология сил взаимодействия в современной физике.

Силу взаимодействия $\mathbf{F}_m$ называют либо **магнитной силой** (И.Савельев, 2005, кн. 2), либо **силой Лоренца**. В том случае, когда токовые заряды ($\mathbf{I}l$) и ($\mathbf{i}l$) друг другу не параллельны, И.Савельев (2005) называет $\mathbf{F}_m$ **полной магнитной силой**, разделяя ее на две составляющие: направленную вдоль проводника с током и перпендикулярно проводнику с током.

Физики исторически тяготеют к записи уравнений для закона тяготения Ньютона, закона Кулона и закона Ампера в виде уравнений (4, 5, 7, 9), поскольку понятия динамический заряд и токовый заряд в современной физике отсутствуют. Причем законы взаимодействия зарядов изучаются до изучения уравнений, определяющих напряженности соответствующих форм физического поля. В результате этого напряженности полей оказываются функциями сил взаимодействия, что, как было показано в разделе 1, противоречит принципу причинности.

Уравнения (1, 2, 3, 6, 8, 10) для современной физики смотрятся непривычно, хотя расчеты по ним приводят к тем же результатам, что и расчеты по уравнениям (4, 5, 7, 9). Но в уравнениях (1, 2, 3, 6, 8, 10) хорошо просматривается физическое содержание законов взаимодействия. Эти уравнения соответствуют такой методологии изучения физических полей, в которой соблюдается принцип причинности. Такой методологии, в которой сила взаимодействия определяется по напряженности, а не наоборот.

Рассмотренные выше примеры показывают, что использование математики при пренебрежении к учету физического содержания уравнений и неоправданное стремление к якобы удобной форме записи уравнений приводит к такому виду записи, из которого уже не просматривается физическое содержание этих уравнений. Некоторые причины, лежащие в корне ситуации с уравнениями напряженностей и сил взаимодействия, раскрываются также в разделе, посвященном истории рационализации систем единиц.

6. Что называется силой Лоренца?

Если движущаяся полевая заряженная система находится одновременно и в электрическом, и в магнитном полях, то на нее воздействует **суммарная сила взаимодействия**, запись уравнения которой в обобщенной символике выглядит так:

$\mathbf{F}_{fcv} = \mathbf{F}_{fv} + \mathbf{F}_{cv}$. (12)

Если речь идет об электромагнитном поле в вакууме, то суммарную силу $\mathbf{F}_{fcv}$ принято в значительной части первоисточников называть **силой Лоренца** и обозначать символом $\mathbf{F}_L$. Сила Лоренца записывается в современной физике с учетом уравнений (4) и (7) в виде:

$\mathbf{F}_L = \mathbf{F}_C + \mathbf{F}_m = q\mathbf{E} + q\,[\mathbf{v}\ \mathbf{B}]$. (13)

К сожалению, под силой Лоренца в литературе не всегда подразумевается одно и то же. И.Савельев (2005) силой Лоренца называет силу $\mathbf{F}_L$. А в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) и в БСЭ силой Лоренца называют силу $\mathbf{F}_m$. Правда, в том же справочнике Б.Яворского и А.Детлафа указывают, что силу $\mathbf{F}_L$ иногда называют **обобщенной силой Лоренца**.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990), к сожалению, нет однозначности. Определение силы Лоренца дается, как для обобщенной силы Лоренца $\mathbf{F}_L$, но с указанием на то, что сила Лоренца имеет две составляющие – электрическую и магнитную. А определяющее уравнение для силы Лоренца несколькими абзацами ниже приводится, как для магнитной составляющей $\mathbf{F}_m$. При этом в обоих случаях А.Чертов ссылается на разные стандарты. Можно посочувствовать составителю метрологического справочника, вынужденному пользоваться стандартами, не согласованными друг с другом.

В Таблице величин физического поля принята трактовка магнитной силы и силы Лоренца, соответствующая учебнику И.Савельева, она представляется наиболее логичной. Указано, что обобщенная сила Лоренца в электродинамике аналогична обобщенной силе Кориолиса в гравидинамике.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

6.2. История записи законов взаимодействия зарядов

1. Из истории записи законов взаимодействия зарядов.

В 1687 г. И.Ньютон открыл свой знаменитый **закон всемирного тяготения**, то есть закон взаимодействия масс M и m, который в современной литературе выглядит так:

$\mathbf{F} = \gamma Mm\, \mathbf{e}_r /r^2$, (1)

где γ (часто G) − размерный коэффициент, называемый также гравитационной постоянной; M и m − взаимодействующие массы, как меры гравитации; r − расстояние между центрами масс M и m.

Через 100 лет, в 1785 г. Ш.Кулоном был открыт **закон взаимодействия электрических зарядов** Q и q, структура формулы которого оказалась точно такой же, как структура закона Ньютона (1):

$\mathbf{F} = k_e\, Qq\, \mathbf{e}_r /r^2$, (2)

где k_e − размерный коэффициент, зависящий от свойств среды и используемой системы единиц.

Из истории физики (Б.Спасский, 1979) известно, что Ш. Кулон, полагая, что наряду с электрическими существуют и магнитные заряды (магнитные массы), пришел на основании эксперимента к заключению, что силы взаимодействия между магнитными массами, обозначенными им как m_1 и m_2 , также подчиняются аналогичному закону:

$\mathbf{F} = k_m\, m_1m_2\, \mathbf{e}_r /r^2$, (3) но с другим размерным коэффициентом k_m . Уравнение (3) называется **законом Кулона для магнитных масс**. **Современная физика утверждает, что магнитных масс (магнитных зарядов) не существует. В разделе, посвященном магнитному заряду, показано, что под магнитными зарядами следует понимать токовые заряды, которые существуют вполне реально.** К слову, законом Кулона для магнитных масс продолжают успешно пользоваться и сейчас в теоретической электротехнике, так как он позволяет перенести в теорию магнитного поля методы, разработанные для электрических полей. Причем под силой **F** в этом случае понимают силу взаимодействия двух магнитных полюсов, в которых сосредоточены действующие магнитные массы (а фактически **совокупности молекулярных токовых зарядов**). Используя определяемую в процессе измерения силу **F**, рассчитывают значение этих магнитных масс.

2. В чем состояла рационализация записи законов взаимодействия зарядов?

В первоначальной записи законов взаимодействия зарядов Ньютона и Кулона множитель 4π отсутствовал. В 1892 г. О.Хевисайд предложил его ввести в систему единиц СГС с целью осуществления более рациональной записи уравнений Максвелла, но его предложение в СГС не прижилось. В XX веке множитель 4π ввели в законы взаимодействия зарядов в СИ, и это введение стали называть **рационализацией законов взаимодействия зарядов**.

Систему единиц, в которой это предложение было осуществлено, стала называться **системой Хевисайда-Лоренца**, так как идею О.Хевисайда реализовал Г.Лоренц. Рационализация О.Хевисайда вошла впоследствии в систему единиц МКСА и вместе с ней в СИ, где размерные коэффициенты k_e и k_m из уравнений законов Кулона (2) и (3) стали равными

$$k_e = 1/4\pi\varepsilon_0 , \quad (4)$$

и

$$k_m = \mu_0 /4\pi , \quad (5)$$

где ε_0 и μ_0 – размерные коэффициенты, названные электрической и магнитной постоянными, хотя эти коэффициенты физическими константами не являются. Сейчас коэффициенты k_e и k_m записывают в уравнениях электродинамики только в виде выражений (4) и (5). В тех случаях, когда числитель и знаменатель определяющего уравнения для напряженности можно сократить на 2, это не делается.

Система единиц СГС до сих пор активно используется физиками-теоретиками. И поэтому в справочниках и учебниках по физике до сих пор уравнения электромагнетизма записываются часто одновременно и в рационализованной, и в нерационализованной форме, что следует считать недостатком методологии современной электродинамики.

Покажем, что включение множителя 4π в законы взаимодействия зарядов заключается отнюдь не в рационализации записи уравнений. Это включение имеет другое физическое обоснование. Предлагается использовать множитель 4π, но несколько иначе.

3. Истинное место множителя 4π в законах взаимодействия зарядов.

О.Хевисайд, введя множитель 4π в законы взаимодействия зарядов в электромагнетизме, не предложил, однако, ввести его также и в состав гравитационной постоянной γ в законе всемирного тяготения Ньютона (1). Как показано в разделе, посвященном законам взаимодействия зарядов, это тоже надо было сделать. Ведь вводить множитель 4π следует вовсе не ради рационализации записи уравнений, а для того чтобы сохранить в этих записях физическое содержание.

Фактически множитель 4π в законах взаимодействия следует объединить с множителем r^2, поскольку сила взаимодействия зарядов $\mathbf{F}$ обратно пропорциональна площади поверхности равной напряженности (сферической эквипотенциальной поверхности), а квадрат радиуса является таким же множителем в формуле площади, как и множитель 4π. Но множитель 4π и квадрат радиуса r^2 в записях законов взаимодействия физики отделили друг от друга, а это уже принципиально неверно.

Рассмотрим сферическую эквипотенциальную поверхность. Поверхностная плотность энергии физического центрального поля на этой поверхности зависит от ее площади, а, значит, от квадрата радиуса сферы. Но сама энергия поля полеобразующего заряда зависима не только от радиуса сферы, **она равна энергии поля на площади эквипотенциальной поверхности, создаваемой полеобразующим зарядом.** Например, локальная напряженность центрального поля зависит от поверхностной плотности энергии на эквипотенциальной поверхности, она обратно пропорциональна именно площади эквипотенциальной поверхности. Обратная пропорциональность квадрату радиуса, называемая в физике **законом обратных квадратов**, является всего лишь следствием обратной пропорциональности площади эквипотенциальной поверхности. Вместо закона обратных квадратов следует говорить о **законе обратных площадей**.

То есть множитель 4π не надо было вводить в знаменатель уравнений Ньютона и Кулона принудительно, как это сделал О.Хевисайд. Множитель 4π должен был там находиться с самого момента открытия этих законов, что, к сожалению, не сделали ни И.Ньютон, ни Ш.Кулон. Рационализация системы единиц, предложенная О.Хевисайдом, всего лишь подправила форму записи законов этих великих ученых.

4. Как следует записывать законы взаимодействия зарядов.

Итак, в рационализованных системах единиц измерений, к числу которых принадлежит СИ, уравнение поверхности равной напряженности $S_f = 4\pi r^2$ присутствует, но искусственно разделяется на два сомножителя. Обобщенное уравнение взаимодействия должно иметь такую форму записи:

$$\mathbf{F} = k_{f0}\, Qq\, \mathbf{e}_r / S_f = k_{f0}\, Qq\, \mathbf{e}_r / 4\pi r^2\ .\ (6)$$

Однако множитель 4π из формулы для определения площади S_f в современной физике искусственно переносится в размерный коэффициент k_{f0} . И тогда в знаменателе уравнения (6) остается только множитель r^2. В результате чего уравнение (6) в электромагнетизме выглядит так:

$$\mathbf{F} = (1/4\pi\varepsilon_0)\,(Qq\, \mathbf{e}_r / r^2)\ .\ (7)$$

И поэтому при взгляде на уравнение (7) уже не просматривается физическое содержание закона Кулона. А в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) уравнение (7) приобретает даже вид:

$$\mathbf{F}_{12} = (1/4\pi\varepsilon_0)\,(Qq\, \mathbf{r}_{12} / r^3)\ ,\ (8)$$

где $\mathbf{r}_{12}$ – орт радиус-вектора r. Подобная запись может вводить только в заблуждение, так как надо еще дополнительно пояснять, откуда в знаменателе появился радиус-вектор в третьей степени. Может быть, с точки зрения математики запись этих уравнений и стала удобнее, но при преподавании физики важнее все же физическое содержание уравнений.

Еще хуже обстоит дело с уравнением для определения силы тяготения в уравнении (1). В этом уравнении вообще нет множителя 4π, так что о существовании эквипотенциальной поверхности и не догадаешься, если об этом не упомянуть при преподавании. Для того чтобы физическое содержание уравнения (1) стало понятным, следует сделать коэффициент $k_{f0} = (1/\gamma_0\ )$ аналогично коэффициенту $(1/\varepsilon_0\ )$ в электрическом поле. При этом коэффициент $\gamma_0 = 1/(4\pi\gamma)$. Именно такую форму записи размерного коэффициента для гравитационного поля диктует логика систематизации физических величин.
Всё это отражено в Таблице величин физического поля.

Литература

1. Спасский Б.И., 1979, Физика в ее развитии. - М:. Просвещение, 103 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

6.3. Сила Кориолиса и сила Лоренца

1. Сила Кориолиса аналогична, но не равна магнитной силе.

В некоторых современных работах указывается на то, что силы притяжения в гравитационном поле являются магнитными силами электромагнитного поля, создаваемого небесным телом. Например, в теории единого поля С.Кадырова (2001) указывается, что **силы Кориолиса "*магнитного происхождения, то есть порождаются при вращении*"**. Но гравитационное поле и электромагнитное поле − это разные формы физического поля.

Подобная неточность, когда о силах инерции, порожденных полем гравитационного токового заряда, говорят, как о силах магнитного поля, порожденных полем электрического токового заряда, присутствует во многих работах, посвященных гравидинамике. Однако **гравитационный заряд на много порядков слабее электрического**. Следовательно, правильнее было бы все же говорить о том, **что силы Кориолиса в гравитационном поле аналогичны, а не равны магнитным силам в электромагнитном поле.**

2. Сила Кориолиса не совершает работу.

Сила Кориолиса, возникающая в гравидинамическом поле (см. классификацию форм физического поля), направлена перпендикулярно к скорости гравитационного заряда, движущегося в гравидинамическом поле. Точно так же, как Магнитная сила направлена перпендикулярно к скорости электрического заряда, движущегося в магнитном поле. Достаточно вспомнить пример с силой Кориолиса, воздействующей на течение воды в реках, текущих в меридиональном направлении, когда сила Кориолиса перпендикулярна течению реки.

У Б.Яворского и А.Детлафа (1990) говорится, что магнитная сила сообщает электрически заряженной частице нормальное ускорение, но при этом не совершает работы. Но это противоречит тому, что в механике сила, сообщающая ускорение телу, совершает работу. **Разгадка этого кажущегося парадокса заключается в том, что на самом деле и магнитная сила в электромагнетизме, и сила Кориолиса в гравидинамике не изменяют модуль скорости заряженного тела, то есть не сообщают телу тангенциальное ускорение.** Как показано в разделе, посвященном повороту вектора скорости обе указанные силы приводят только к повороту тангенциальной скорости. А **поскольку модуль скорости при этом не изменяется, то и работа не совершается. Ускорение – это изменение скорости по модулю, а не по направлению**.

Как указано в разделе, посвященной орбитальной форме движения, **центростремительного ускорения в природе не существует**. У заряженной системы, движущейся вдоль линии напряженности поля (силовой линии) с неизменной по модулю тангенциальной скоростью, нет ускорения, и поэтому неверно говорить о том, что магнитная сила сообщает заряженной частице нормальное ускорение**. Она поворачивает вектор скорости этой частицы, и поэтому не совершает работу.**

3. Обобщенная сила Кориолиса аналогична обобщенной силе Лоренца.

Рассмотрим детальнее силу Кориолиса и силу Лоренца, предварительно уточнив терминологию, связанную с силой Лоренца. Мы будем говорить о радиальной составляющей **обобщенной силы Лоренца**, которая и называется сокращенно **магнитной силой**, как это пояснено в разделе, посвященном силам взаимодействия в физическом поле. Магнитной силе аналогична радиальная составляющая **обобщенной силы Кориолиса**, обе они всегда направлены перпендикулярно к скорости заряженного тела.

Различие между силами Кориолиса и Лоренца, о котором говорят в различных первоисточниках, возникает тогда, когда магнитную силу, как радиальную составляющую обобщенной силы Лоренца в магнитном поле, сравнивают с **касательной составляющей** обобщенной силы Кориолиса в центральном гравистатическом поле. Вот **подобное сравнение действительно неверно**.

Во-первых, касательная составляющая силы Кориолиса возникает при изменении скорости тела по модулю под воздействием сторонней силы, а магнитная сила изменяет скорость заряженной частицы только по направлению, но не по модулю. **Во-вторых**, магнитная сила перпендикулярна плоскости, в которой находятся вектор скорости частицы и вектор напряженности магнитного поля (вектор магнитной индукции), а касательная составляющая силы Кориолиса лежит в той же плоскости, в которой находятся вектор скорости тела и вектор напряженности гравистатического поля.

Обобщенная сила Лоренца в вихревом (магнитном) поле равна векторной сумме магнитной и электрической составляющих. А та сила Кориолиса, о которой говорится в учебных пособиях, является лишь одной из составляющих обобщенной силы Кориолиса, которая имеет место лишь в центральном (гравистатическом) поле. Если же рассматривать обобщенную силу Кориолиса в вихревом (гравидинамическом) поле планеты, движущейся по орбите относительно звезды, образующей это поле, то такая **обобщенная сила Кориолиса** будет аналогична **обобщенной силе Лоренца** в вихревом магнитном поле.

Так что различие между силой Лоренца и силой Кориолиса в том виде, в каком их сейчас изучают при преподавании физики, вызвано лишь тем, что при изучении сравниваются разные составляющие этих сил. Если же сравнивать обобщенную силу Лоренца в электромагнитном поле с обобщенной силой Кориолиса в гравитационном поле, то окажется, что речь идет о полной аналогии.

4. Влияние силы Кориолиса на водовороты.

Дополнение Юсупа Хизирова. Кафедра океанологии СПбГУ (25.04.2015).

Одним из проявлений силы Кориолиса в природе является формирование водоворотов, циклонов и антициклонов. И, чтобы в полной мере проявилась сила Кориолиса, должна произойти разбалансировка линейной и угловой скорости как относительно оси Земли, так и относительно оси Солнца. Сила Кориолиса также зависит от наклона оси Земли к плоскости орбиты Земли. Без учета орбитального вращения Земли и наклона оси Земли сила Кориолиса останется в науке как декорация, бесполезная для научно-практического применения, и как задача для развития мышления у школьников. При кажущейся простоте сила Кориолиса крайне трудна для восприятия. И объективно изучать и анализировать её без макета Солнечной системы невозможно.

Воды озер, морей и океанов северного полушария вращаются против часовой стрелки, а воды южного полушария вращаются по часовой стрелке, образуя гигантские водовороты. А все что вращается, в том числе и водовороты, обладают свойством гироскопа (юлы) сохранять вертикальное положение оси в пространстве независимо от вращения Земли. Если смотреть на Землю со стороны Солнца, водовороты вращаясь вместе с Землей опрокидываются два раза в сутки, благодаря чему водовороты прецессируют (1-2 градуса) и отражают от себя приливную волну. Воды Белого моря вращаются против часовой стрелки, образуя огромный водоворот-гироскоп, прецессируя отражающий приливную волну по всему периметру Белого моря. Аналогичная схема приливов и отливов наблюдается во всех озерах, морях и океанах.

Приливную волну реке Амазонка создает огромный планетарный водоворот диаметром несколько тысяч км, вращающийся между Южной Америкой и Северной Африкой, охватывая и устье реки Амазонка. Ширина приливной волны зависит от диаметра водоворота. Высота приливной волны зависит от скорости опрокидывания водоворота (за 12 часов) и скорости вращения водоворота. А скорость вращения водоворота зависит от силы Кориолиса, от осевой и орбитальной скорости Земли и от наклона оси Земли. Роль Луны косвенная, это создание неравномерной орбитальной скорости Земли..

Воды Средиземного моря вращаются против часовой стрелки, образуя приливы высотой 10-15 см. Но в заливе Габес, что у побережья Туниса, высота приливов достигает трех метров, а порой и больше. И это считается одной из загадок природы. Но в тоже время в заливе Габес вращается водоворот, прецессируя отражающий дополнительную приливную волну. Внутри постоянных океанических и морских водоворотов вращаются небольшие постоянные и непостоянные вихри и водовороты, создаваемые впадающими в бухты реками, очертанием берегов и местными ветрами. И от скорости и направления вращения небольших прибрежных водоворотов зависит календарь, амплитуда и количество приливов и отливов в сутки.

Водоворотную гипотезу приливов легко проверить по связи высоты приливной волны со скоростью вращения водоворотов. По высоте приливной волны можно определять местонахождение водоворотов. Как правило, положительные отзывы к гипотезе пишут мыслители, знающие о противоречиях в Лунной теории приливов и отливов, обладающие углубленными знаниями небесной механики и свойств гироскопа.

Литература

1. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

6.4. Работа сил поля в электростатике

1. Работа электрического поля и электрическое напряжение - разные величины.

В физике часто применяются понятия “работа поля“ и “работа сил поля“, трактующиеся одинаково, но имеющие иное определяющее уравнение, нежели понятие “работа силы“. Однако ни в одной энциклопедии или справочнике для такого понятия, как “работа поля“, не найдено четкое определение, хотя сам термин применяется часто, ососбенно в электростатике. На самом деле **работа электрического поля является <u>частным случаем энергообмена</u>, что поясняется в разделе, посвященном видам энергии.**

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано, что “*электрическое напряжение U между двумя точками электрической цепи равно работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда q из одной точки в другую*“. То есть работа электрического поля приравнивается электрическому напряжению. **Покажем ошибочность этого утверждения**.

Работа поля dA в современной электростатике определяется уравнением, аналогичным уравнению для работы силы в механике dA = Fdr, только в виде произведения скалярных величин:

$\mathrm{d}A = U\,\mathrm{d}q$, (1)

где U − электрическое напряжение; dq − приращение электрического заряда. Определяющим уравнением для электрического напряжения, судя по уравнению (1), должно быть уравнение

$U = \mathrm{d}A/\mathrm{d}q$. (2)

Однако в справочнике А.Чертова (1990) приводится другое определяющее уравнение для электрического напряжения, а именно:

$U = P/I$, (3)

где I − электрический ток; P − мощность электрического тока. Это уравнение определяет напряжение не в поле, а на участке электрической цепи. Понятно, что формально уравнение (3) можно вывести из уравнения (2) путем взятия производных по времени от числителя и знаменателя правой части уравнения. Но уравнение (3) не согласуется со словесным определением электрического напряжения по стандарту. К тому же, в справочнике А.Чертова отсутствует определение мощности электрического тока.

2. Работа электрического поля и разность потенциалов поля - разные величины.

Можно привести еще одно определение электрического напряжения из учебника по физике И.Савельева (2005) − это “*величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда*“. Определяющее уравнение для электрического напряжения у И.Савельева выглядит так:

$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$, (4) где φ_1 - φ_2 = $\Delta\varphi_{12}$ – разность потенциалов электрического поля; ε_{12} – электродвижущая сила (ЭДС). В уравнении (4) напряжение уже является функцией не сил, а других физических величин: разности потенциалов и ЭДС, каждая из которых имеет свое определяющее уравнение. Причем ЭДС определяется, как “*работа сторонних сил над единичным положительным зарядом*“. Естественно, что разность потенциалов понимается, как работа электростатических сил. Парадокс заключается в том, что **ни ЭДС, ни разность потенциалов работами сил не являются, это сомножители в определяющем уравнении для работы сил.**

ЭДС в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) определяется, как “*величина, равная отношению энергии, подаваемой источником, к электрическому заряду, проходящему через источник*“. Из этого определения следует, что у ЭДС иная размерность, чем у работы силы, то есть ЭДС не является работой силы. **Всё сказанное выше представляет собой пример существования понятийной бессистемности в современной электростатике.**

К этому можно добавить еще один пример. В электромагнетизме неоднократно повторяется, что магнитная сила, действующая на движущуюся заряженную частицу, не производит работу, поскольку направление этой силы перпендикулярно вектору скорости частицы. Но это утверждение верно, пока мы понимаем работу силы только для прямолинейной формы движения. Если же учесть, что магнитная сила искривляет траекторию движения заряженной частицы, то речь идет о совершении работы вращающего момента, поскольку при искривлении траектории частица поворачивается вокруг собственной оси вращения.

3. Определяющее уравнение работы электрического поля.

В разделе, посвященном работе сторонних сил d*A*, приведено такое обобщенное определяющее уравнение:

$$dA = F_{for}\, dq , (5)$$

где F_{for} – сторонняя сила, а dq – изменение координаты состояния. В электрическом поле роль сторонней силы выполняет вектор разности электрических потециалов ΔU, а роль координаты состояния dq выполняет элементарное количество движущихся энергоносителей, которое в данном случае является количеством движущихся единичных зарядов (электронов проводимости). Следовательно, в электрической форме движения вместо уравнения (1) должно быть записано уравнение, подобное уравнению (5), в виде

$\mathrm{d}A = \Delta \mathrm{U}\ \mathrm{dq}$, (6)

в котором и разность потенциалов ΔU, и количество движущихся энергоносителей dq являются векторными величинами. Уравнение (6) аналогично уравнению (1), только в нем имеет место скалярное произведение векторных величин вместо произведения модулей этих величин. Из обоих уравнений следует, что электрическое напряжение (или разность электрических потенциалов) это сомножитель работы силы d*A*. Этим дополнительно доказывается, что **работа силы и электрическое напряжение - разные величины с разными размерностями и единицами.**

4. Определяющее уравнение мощности в электростатике.

Мощность по стандарту обозначается символом *P* (в учебниках иногда символом *N*). Приведем общее определение мощности из БСЭ: “*физическая величина, измеряемая отношением работы к промежутку времени, в течение которого она произведена*“. То есть

$P = \mathrm{d}A/\mathrm{d}t$. (7)

В электромагнетизме же мощность электрического тока *I* определяется произведением

$P = \Delta U\, I$. (8)

Можно проследить последовательность вывода уравнения (8). Сначала по уравнению (4) определяется разность потенциалов (электрическое напряжение) Δ*U*, которое подставляют в уравнение (1) для определения работы сторонних (электростатических) сил. Затем берутся производные по времени от числителя и знаменателя уравнения (1), и это приводит к уравнению (8). Уравнение (8) аналогично уравнению *P* = Fv в механике, но записано в виде произведения скалярных величин.

Фактически же уравнение (8) следует записывать в виде скалярного произведения векторных величин:

$P = \Delta \mathrm{U}\ \mathrm{I}$, (9) так как в разделе об электрическом токе доказано, что **ток является векторной величиной**. Мощность электрического тока в справочнике А.Чертова (1990) определяется, к сожалению, лишь словесной расшифровкой математической формулы (8) без указания на физическое содержание мощности.

Таким образом, определение мощности по БСЭ и уравнение (7), определяемое по основным физическим величинам, первичны, тогда как определение по справочнику А.Чертова (1990) и уравнение (8) относятся к физическим величинам, полученным после преобразований.

Литература

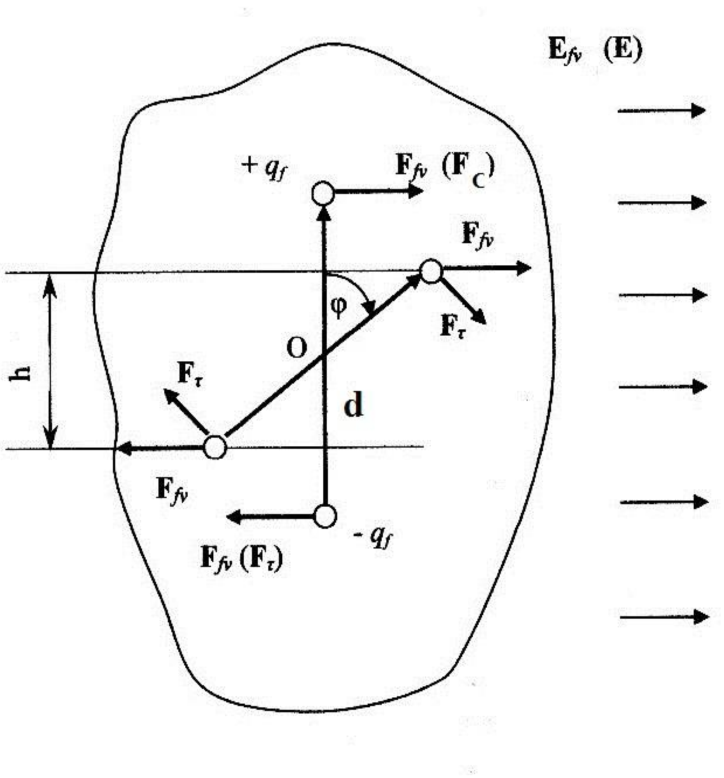
1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель.
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

6.5. Поворот статического диполя в центральном поле

В разделе , посвященном напряженностям, создаваемым статическим диполем, этот диполь рассматривается как полеобразующая система. В данном разделе статический диполь будет рассмотрен, как заряженная система, на которую воздействует поле. На рисунке символом **d** обозначается радиус-вектор, идущий от отрицательного к положительному заряду диполя. Модуль этого вектора назван **дипольным расстоянием**. Причина, по которой не следует пользоваться термином "плечо диполя", будет в данном разделе пояснена. Обозначения сил на рисунке приведены как в обобщенной символике, так и в современной символике (в скобках указаны обозначения, принятые в электростатике).

1. Момент, вращающий диполь в процессе поворота диполя

Пусть в момент времени, принятый за начальный, система, содержащая статический диполь, состоящий из двух монополей q_f, окажется под воздействием однородного центрального поля в вакууме напряженностью $\mathbf{E}_{fv}$, направление которой перпедикулярно дипольному растоянию **d**. Нижний индекс "$_f$" указывает на то, что речь идет о центральном поле. (В скобках указан символ **E**, принятый для обозначения локальной напряженности электрического поля в современной электростатике.)



Вследствие воздействия напряженности $\mathbf{E}_{fv}$ возникает пара сил взаимодействия ($\mathbf{F}_{fv}$) зарядов диполя с центральным полем (в электростатике − пара кулоновских сил $\mathbf{F}_C$). Сила взаимодействия центрального поля со статическим диполем определяется уравнением

$$\mathbf{F}_{fv} = q_f \, \mathbf{E}_{fv} \; . \; (1)$$

Статический момент этой пары сил, обозначаемый символом $\mathbf{N}_{fv}$, можно преобразовать с учетом уравнения (1) следующим образом:

$$\mathbf{N}_{fv} = [\mathbf{d} \, \mathbf{F}_{fv}] = [\mathbf{d} \, (q_f \, \mathbf{E}_{fv})] = [(q_f \, \mathbf{d}) \, \mathbf{E}_{fv}] \; . \; (2)$$

Выражение (q_f **d**) назвают обобщенным термином “**дипольный статический момент**“ и обозначают символом $\mathbf{p}_f$, то есть

$\mathbf{p}_f = q_f\,\mathbf{d}$. (3)

При своем возникновении момент пары сил $\mathbf{N}_{fv}$ стремится повернуть диполь по часовой стрелке. Однако в процессе поворота воздействием на вращающуюся систему (в данном случае на диполь) становится, как показано в разделе о моментах, вращающий момент $\mathbf{M}_{fv}$, равный:

$\mathbf{M}_{fv} = [\mathbf{d}\ \mathbf{F}_\tau\,]$. (4)

Касательная к траектории движения заряда сила $\mathbf{F}_\tau$, перпендикулярная дипольному расстоянию **d**, в процессе поворота диполя меняет свое направление и становится составляющей силы $\mathbf{F}_{fv}$, которая остается параллельной вектору напряженности $\mathbf{E}_{fv}$.

При этом касательная сила $\mathbf{F}_\tau$ в процессе поворота диполя (при растущем значении угла поворота **φ**) становится, как это видно из рисунка, меньше по модулю, чем движущая сила $\mathbf{F}_{fv}$. По этой причине в соответствии с уравнением (4) уменьшается и вращающий момент $\mathbf{M}_{fv}$. Одновременно возрастает момент противодействия диполя, обусловленный угловой жесткостью системы, содержащей диполь, до тех пор пока воздействующий и противодействующий моменты не сравняются по модулю и диполь не окажется в равновесии при каком-то значении угла поворота **φ**.

2. Почеиу некорректен термин “плечо диполя“?

В современной электростатике электрический заряд обозначают символом q, а дипольный момент обозначают символом $\mathbf{p}_e$ и называют **электрическим моментом электрического диполя**. Определяющее уравнение для электрического момента выглядит в современной электростатике так:

$\mathbf{p} = q\mathbf{l}$. (5)

Величину **l** в уравнении (5) называют сейчас в электростатике **плечом диполя**, подразумевая под значением **l** значение дипольного расстояния **d**. Однако название “плечо диполя“ не применимо к дипольному расстоянию **d**, поясним почему.

Во всех словарях дано такое определение термину **плечо пары сил**: “*Плечо пары - кратчайшее расстояние между линиями действия сил, составляющих пару сил*.“ Применительно к диполю речь идет о расстоянии между линиями действия сил $\mathbf{F}_{fv}$, параллельных вектору напряженности поля, а это вовсе не расстояние между зарядами диполя. Поэтому **плечом пары сил в диполе является показанная на рисунке переменная величина h, которая при повороте диполя становится меньше дипольного расстояния d.**

Величину **l** в уравнении (5) нельзя называть плечом диполя еще и по другой причине. Ведь пара сил появляется лишь после воздействия на диполь напряженности поля. А если этого воздействия нет, то не возникает и пара сил, и нет причин применять термин “плечо пары сил“. А вот **существование дипольного расстояния d не зависит от того, находится диполь в поле или нет**. Наконец, неудачно и применение самой буквы **l**, поскольку ею в электродинамике обозначается обычно длина проводника, а не расстояние между зарядами.

3. К обозначению электрического момента диполя

Термин “электрический момент электрического диполя“ можно применять лишь в порядке соблюдения условия, описанного в разделе, посвященном применению термина “момент“. Согласно этому условию под термином “момент“ может пониматься произведение радиус-вектора на любую физическую величину (в том числе, и скалярную).

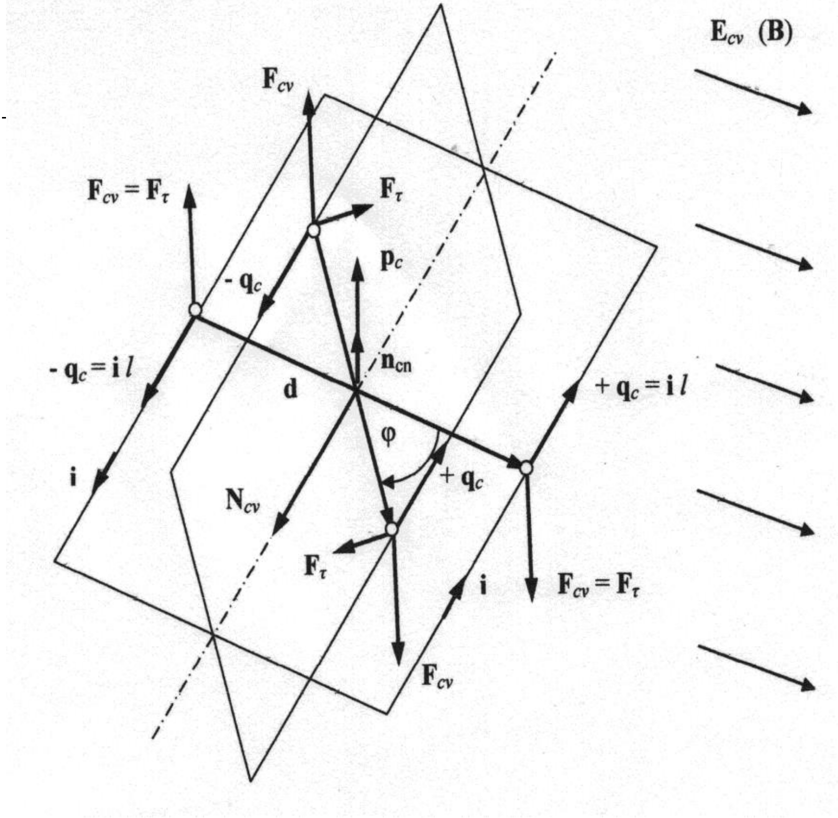
Символ **p**, применяемый в электростатике для обозначения электрического момента диполя, совпадает с символом **p**, принятым в механике для обозначения импульса. Поэтому в Таблице величин физического поля дипольный момент индексируется. Обобщенный дипольный момент записывается в виде $\mathbf{p}_f$, а электрический момент диполя – в виде $\mathbf{p}_e$.

Сам процесс поворота диполя является вращательной формой движения. Среди таблиц ЭСВП имеется таблица поворота электрического диполя, в которой координатой состояния является угол поворота диполя **φ**.

6.6. Поворот токового диполя в вихревом поле

1. Поворот прямоугольного токового диполя в магнитном поле.

Рассмотрим систему с токовым прямоугольным контуром (см.рисунок), состоящим из двух прямолинейных параллельных проводников длиною *l*, соединенных по торцам перпендикулярными к ним перемычками. Источник тока на рисунке не указан. Напомним, что направлением электрического тока считается направление упорядоченного движения положительных зарядов. Напоминаем также, что в разделе , посвященном электрическому току, доказано, что он является векторной величиной.



В противоположных ветвях контура течет один и тот же ток, но в разном направлении: с правой стороны он имеет положительный знак (**+i**), а с левой − отрицательный (**-i**). Следовательно, с правой и с левой стороны существуют равные по модулю, но разные по знаку токовые заряды прямого тока:

$(+\mathbf{q}_c) = (+\mathbf{i}l)$ и $(-\mathbf{q}_c) = (-\mathbf{i}l)$.

Нижний индекс "*c*" означает, что речь идет о контуре, располагаемом в вихревом поле.

Векторы токовых зарядов $(+\mathbf{q}_c)$ и $(-\mathbf{q}_c)$ соединим вектором дипольного расстояния **d**, направленным от отрицательного токового заряда к положительному, получив, согласно классификации диполей, токовый диполь.

Пусть в момент времени, принятый за начальный, контур окажется под воздействием однородного вихревого поля в вакууме напряженностью

$\mathbf{E}_{cv}$ (в электромагнетизме напряженность $\mathbf{E}_{cv}$ называют **магнитной индукцией** и обозначают символом **B**). И пусть этот вектор напряженности будет параллелен плоскости прямоугольного контура в начальный момент времени. Возникает пара сил взаимодействия, воздействующих на проводники:

$\mathbf{F}_{cv} = [\mathbf{q}_c\ \mathbf{E}_{cv}] = [(\mathbf{i}l)\ \mathbf{E}_{cv}]$. (1)

На перемычках пара сил не возникает, так как направления векторов токовых зарядов в перемычках параллельны направлению вектора напряженности, и поэтому их векторное произведение равно нулю. Момент $\mathbf{N}_{cv}$ пары сил $\mathbf{F}_{cv}$ равен

$\mathbf{N}_{cv} = [\mathbf{d}\ \mathbf{F}_{cv}] = [\mathbf{d}\ [\mathbf{q}_c\ \mathbf{E}_{cv}]] = \mathbf{q}_c\ (\mathbf{d}\ \ \mathbf{E}_{cv}) - \mathbf{E}_{cv}\ (\mathbf{d}\ \mathbf{q}_c)$. (2)

Второй член уравнения, скалярное произведение векторов $(\mathbf{d}\ \mathbf{q}_c) = 0$ из-за взаимной перпендикулярности этих векторов, поэтому в уравнении (2) остается только первый член $\mathbf{q}_c\ (\mathbf{d}\ \ \mathbf{E}_{cv})$. Подставляя выражение для токового заряда $\mathbf{q}_c = \mathbf{i}l$, приходим к уравнению для определения момента пары сил:

$\mathbf{N}_{cv} = (\mathbf{i}l)\ (\mathbf{d}\ \ \mathbf{E}_{cv})$. (3)

Когда прямоугольный контур начинает поворачиваться, то воздействием на токовый диполь становится вращающий момент $\mathbf{M}_{cv}$, являющийся **моментом взаимодействия** вихревого поля с контуром. Вращающий момент определяется уже по другому уравнению:

$\mathbf{M}_{cv} = [\mathbf{d}\ \mathbf{F}_\tau]$, (4)

отличающемуся от уравнения (2) тем, что $\mathbf{F}_\tau$ совпадает по модулю и направлению с $\mathbf{F}_{cv}$ лишь при $\varphi = 0$. А при $\varphi > 0$ сила $\mathbf{F}_\tau$, как составляющая силы $\mathbf{F}_{cv}$, становится меньше по модулю, чем $\mathbf{F}_{cv}$. Всё происходит аналогично тому, что рассмотрено в разделе, посвященном повороту статического диполя. Только на этот раз система с токовым контуром поворачивается в плоскости, перпендикулярной той плоскости, в которой расположен вектор напряженности вихревого поля $\mathbf{E}_{cv}$ (в электромагнетизме **B**).

2. Что такое магнитный момент?

По аналогии с термином “дипольный статический момент“, поясненным в разделе, посвященном повороту статического диполя, введем термин “**дипольный токовый момент**“, обозначив этот дипольный момент символом $\mathbf{p}_c$. Определим его уравнением:

$\mathbf{p}_c = [\mathbf{q}_c\ \mathbf{d}] = [(\mathbf{i}l)\ \mathbf{d}]$. (5)

Это векторная величина, физическое содержание которой ясно из уравнения (5). Направление вектора $\mathbf{p}_c$ определяется направлением положительного токового заряда $\mathbf{q}_c$. Дипольный токовый момент $\mathbf{p}_c$ является отношением момента пары сил взаимодействия стороннего вихревого поля с токовым диполем $\mathbf{N}_{cv}$ к напряженности этого поля E_{cv} , и, исходя из уравнения (3), он равен

$\mathbf{p}_c = [\mathbf{N}_{cv}\ \mathbf{e}_E] / E_{cv}$, (6)

где $\mathbf{e}_E$ - орт вектора напряженности. Однако дипольный токовый момент $\mathbf{p}_c$ в современной электродинамике называют **магнитным моментом**, обозначают другим символом $\mathbf{p}_m$ с другим нижним индексом, и его определяют в СИ, как $\mathbf{p}_m = [\mathbf{N}_{cv}\ \mathbf{e}_B] / B$.

3. Магнитный момент кругового контура.

Покажем, что всё, что было сказано выше по поводу поворота прямоугольного токового контура, относится и к повороту кругового токового контура. Представим круговой контур в виде суммы i элементарных прямоугольных контуров типа рассмотренных выше на рисунке шириной dl, но с разными значениями дипольных расстояний $\mathbf{d}_i$. Дипольный момент любого i-го элементарного прямоугольного токового диполя будет равен

$(\mathbf{p}_c)_i = [(\mathbf{q}_c)_i\ \mathbf{d}_i] = [(\mathbf{i}\ \mathrm{d}l)\ \mathbf{d}_i]$. (7)

Дипольный момент кругового контура можно получить путем интегрального суммирования дипольных моментов элементарных прямоугольных токовых диполей, составляющих круговой контур:

$\mathbf{p}_c = \int_i (\mathbf{p}_c)_i = \int_i [(\mathbf{i}\ \mathrm{d}l)\ \mathbf{d}_i]$. (8)

Поскольку направление вектора тока **i** в любой ветви контура при переходе от одного элементарного контура к другому не меняется, то этот вектор можно вынести за знак интеграла, и тогда

$$\mathbf{p}_c = [\mathbf{i}\,(\textstyle\int_i \mathrm{d}l\,\mathbf{d}_i\,)] = [\mathbf{i}\,(\mathbf{e}_d\ \textstyle\int_i \mathrm{d}l\,d_i\,)] = [\mathbf{i}\,(\mathbf{e}_d\ \textstyle\int_i (\mathrm{d}S_{cn}\,)_i\,] = [\mathbf{i}\,(\mathbf{e}_d\,S_{cn}\,)]\,,\ (\ 9\ )$$

где S_{cn} – площадь кругового контура. Форма контура, в принципе, не играет роли, она может быть и не окружностью. Но чаще всего она бывает окружностью.

В современной электродинамике дипольный момент контура называют **магнитным моментом контура** и записывают так:

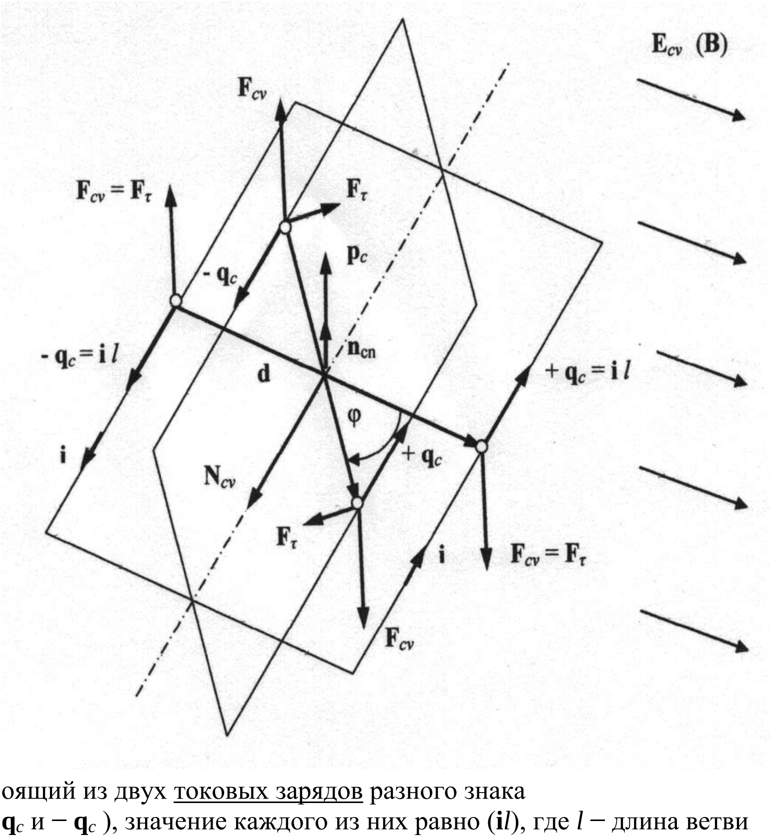
$$\mathbf{p}_m = i\,S_{cn}\,\mathbf{n}_{cn}\,,\ (\ 10\ )$$

где $\mathbf{n}_{cn}$ – орт, перпендикулярный плоскости контура. Уравнение (10) при преобразовании последнего векторного произведения $[\mathbf{i}\,(\mathbf{e}_d\,S_{cn}\,)]$ вытекает из уравнения (9). Правда, при таком математически верном преобразовании теряется из виду векторный характер электрического тока.

6.7. Физический смысл магнитного момента

1. Как приходят к определяющему уравнению для магнитного момента в СИ.

Рассмотрим схему взаимодействия стороннего магнитного поля в вакууме напряженностью $\mathbf{E}_{cv}$ (в современной электродинамике − с магнитной индукцией **B**) с магнитным полем прямоугольного контура, по которому течет электрический ток **i** (направление тока указано на рисунке).



Прямоугольный токовый контур можно рассматривать как токовый диполь, состоящий из двух токовых зарядов разного знака (+ $\mathbf{q}_c$ и − $\mathbf{q}_c$), значение каждого из них равно ($\mathbf{i}l$), где l − длина ветви токового контура, перпендикулярной вектору магнитной индукции. При воздействии стороннего магнитного поля на каждый из токовых зарядов диполя возникает магнитная сила взаимодействия $\mathbf{F}_{cv}$, определяющее уравнение для которой выведено в разделе, посвященном повороту токового диполя.

Обозначим момент $\mathbf{N}_{cv}$ пары сил взаимодействия $\mathbf{F}_{cv}$, как момент $\mathbf{N}_m$ пары магнитных сил $\mathbf{F}_m$, стремящихся повернуть токовый диполь, и приходим уравнению:

$$\mathbf{N}_m = (\mathbf{i}l)\ d\ B\ , \quad (\ 1\ )$$

где d – модуль дипольного расстояния между ветвями токового диполя; B – модуль магнитной индукции.

В современной электродинамике сомножитель l выносят за скобки выражения для токового заряда ($\mathbf{i}l$), записывая получающееся произведение (ld) как площадь контура S_{cn} . А электрический ток считают скалярной величиной, и два оставшиеся сомножителя уравнения (1), то есть произведение ($\mathbf{i}B$), записывают в виде равного ему векторного произведения ($i\ [\mathbf{n}_{cn}\ \mathbf{B}]$), в котором $\mathbf{n}_{cn}$ – орт нормали к плоскости контура. Нижний индекс "$_{cn}$" у орта $\mathbf{n}$ обычно не пишут. В результате уравнение (1) превращается в уравнение

$$\mathbf{N}_m = [(i\ S_{cn}\ \mathbf{n})\ \mathbf{B}]\ . \quad (\ 2\ )$$

После таких математических преобразований выражение ($i\ S_{cn}\ \mathbf{n}_{cn}$) из уравнения (2) объединяют в векторную величину, обозначаемую $\mathbf{p}_m$ и называемую в физике **магнитным моментом** (иногда амперовским магнитным моментом) с определяющим уравнением:

$$\mathbf{p}_m = i\ S_{cn}\ \mathbf{n}\ . \quad (\ 3\ )$$

В СИ размерность магнитного момента L^2I, а единица – А м^2 (правильнее было бы м^2 А). В системе величин ЭСВП размерность магнитного момента равна $L^2T^{-1}Q$ (см. Таблицу величин физического поля), а ее единица – м^2 с$^{-1}$ Кл.

Вследствие приведенных математических преобразований в уравнении (2) перестало просматриваться истинное физическое содержание момента пары сил $\mathbf{N}_m$, хорошо видное в уравнении (1). А магнитный момент $\mathbf{p}_m$ оказался частным случаем конструктивного параметра токового контура $\mathbf{p}_c$, определяющее уравнение для которого представлено в разделе, посвященном повороту токового диполя. Рассмотрим это преобразование подробнее.

2. Нарушения принципа причинности при определении магнитного момента.

Применение термина "магнитный момент" для вектора $\mathbf{p}_m$ из уравнения (3) неудачно. Ведь момент в физике воспринимается, как произведение силы на ее плечо, а в уравнении (3) отсутствуют и сила, и ее плечо. При применении магнитного момента уравнение (2) можно записать в виде

$$\mathbf{N}_m = [\mathbf{p}_m\ \mathbf{B}]\ .\ (\ 4\ )$$

В уравнении (4) у момента пары магнитных сил $\mathbf{N}_m$ нет ни силы, ни ее плеча. Если определяющее уравнение для магнитного момента составлять по уравнению (4), то оно будет выглядеть так:

$$\mathbf{p}_m = [\mathbf{N}_m\ \mathbf{e}_B]\ /\ B\ .\ (\ 5\ )$$

При применении уравнений (2-5) в них исчезает выражение для токового заряда ($\mathbf{i}l$), но ведь именно токовый заряд контура является причиной возникновения магнитного поля и магнитного момента и поэтому должен быть главным сомножителем в определяющем уравнении для магнитного момента. Нет в этих уравнениях и такого важного конструктивного параметра контура, как дипольное расстояние d. Не вытекает напрямую из определяющего уравнения (3) и направление вектора магнитного момента как функции от направления тока в контуре.

Так что более объективным определяющим уравнением для магнитного момента $\mathbf{p}_m$ по сравнению с уравнением (3) является уравнение

$$\mathbf{p}_m = [\mathbf{q}_c\ \mathbf{d}]\ ,\ (\ 6\ )$$

которое более информативно выглядит в виде

$$\mathbf{p}_m = [\mathbf{i}\ (\mathbf{e}_d\ S_{cn}\ )]\ ,\ (\ 7\ )$$

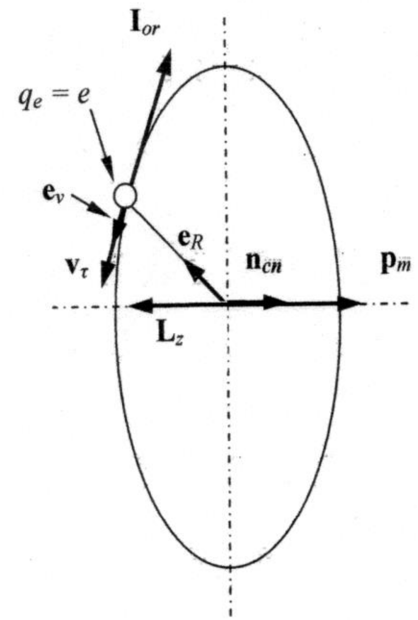
где $\mathbf{e}_d$ – орт дипольного расстояния контура.

6.8. Орбитальные моменты электронов и атомов

1. Представление о планетарной модели атома.

В электромагнетизме и в атомной физике большое значение имеют круговые токи, то есть токи, обтекающие круговые контуры. В частности, для объяснения природы диамагнетизма вещества применяется планетарная модель Н.Бора, согласно которой электроны движутся вокруг ядра атома по круговым орбитам. **Дипольные токовые моменты** круговых контуров рассмотрены в общем виде в разделе , посвященном круговым токовым контурам. В электромагнетизме дипольные токовые моменты называют **магнитными моментами**, поскольку токовый контур является источником магнитного поля.

В различных атомах имеется до семи электронных оболочек, внутри которых могут двигаться электроны. Относительно истинной природы движения электронов вокруг ядра атома имеются разные мнения. В учебнике по физике И.Савельева (2005), например, написано, что “*понятие траектории к электронам, движущимся в атоме, не применимо*”. Но понятие “траектория“ неотделимо от понятия "движение". Если электроны движутся, значит, у них имеются и траектории движения. Другое дело, что пока нельзя уверенно сказать, каковы эти траектории.



2. Орбитальный ток − искусственно придуманная величина

Согласно боровской модели для характеристики движения по круговой орбите электрона, значение заряда которого равно e, в физике введена величина − **орбитальный ток** I_{or} , определяемая уравнением (И.Савельев, 2005):

$I_{or} = ev$, (1)

в котором величина v (греческая буква ню) названа **частотой обращения электрона** по орбите. Нижний индекс "$_{or}$" у тока I_{or} добавлен нами потому, что физическое содержание величины I_{or} , как будет показано ниже, отличается от физического содержания величины “электрический ток“.

Понятие “частота обращения по орбите” также не корректно, так как термин “частота" относится к колебаниям, а в боровской модели атома речь идет об однонаправленном орбитальном движении электрона вокруг ядра. О подобной терминологической некорректности подробно рассказывается в разделе, посвященном понятию “частота вращения”.

На деле речь идет об обычной угловой скорости движения радиус-вектора, проведенного из центра атома к центру электрона. Размерность угловой скорости в системе величин ЭСВП равна AT^{-1}, а единица − об с^{-1} (оборот в секунду). Именно такая единица и применяется сейчас в физике для частоты обращения электрона. (В СИ и размерность угловой скорости, и размерность угловой частоты одинакова и равна T^{-1}, что, скорее всего, и послужило причиной возникновения указанной терминологической некорректности.)

Угловая скорость обычно обозначается символом $\boldsymbol{\omega}$. Но в уравнении (1) применяется символ v, подчеркивающий, что речь идет не об угловой скорости радиус-вектора, а именно о частоте обращения электрона. Подобная подмена терминов оказывается возможной лишь при применении СИ, в которой размерности и единицы $\boldsymbol{\omega}$ и v одинаковы.

Орбитальный ток I_{or} − искусственно придуманная величина, фактически электрическим током не являющаяся. Ведь **электрический ток является потоком какого-то количества единичных электрических зарядов (электронов проводимости) через проводник, а не перемещением одного электрона по орбите.** По определению электрический ток − это “*явление направленного движения носителей зарядов*” (А.Чертов, 1990), где слово “заряды“ приведено во множественном числе. В СИ размерности и единицы I и I_{or} одинаковы потому, что в СИ применение единицы оборот не рекомендуется, и вместо нее подставляется число 1. В этом причина неверного применения слова "ток".

В системе величин ЭСВП у электрического тока и так называемого орбитального тока разные размерности и единицы. У электрического тока I размерность QT^{-1} и единица А = Кл с^{-1}, а у орбитального тока I_{or} −

размерность AQT^{-1} и единица Кл об $с^{-1}$.

Уравнение (1) искусственно превращает движущийся электрон, который фактически является движущимся (элементарным) зарядом, в токовый дипольный заряд, описанный в разделе, посвященном круговому токовому контуру, то есть в другой вид динамического заряда, имеющий другое физическое содержание. Ведь круговой токовый контур является суммой токовых диполей, тогда как единичный электрон, движущийся по орбите, не может образовать токовый диполь, ибо на противоположной стороне орбиты одного электрона нет другого такого же движущегося электрона.

В.Пакулин (2004, 2011) поясняет, что взаимодействие электрических зарядов зависит от взаимной ориентации их “зарядовых трубок”. У движущегося по орбите отрицательно заряженного электрона ориентация его зарядовой трубки встречная по отношению к зарядовой трубке позитрона в положительно заряженном ядре атома, расположенного в центре орбиты электрона, что и обусловливает наличие силы взаимодействия электрона с ядром атома. Это объясняет и орбитальное движение электрона вокруг ядра атома.

3. Как сейчас выводится уравнение орбитального магнитного момента электрона.

Рассмотрим цепочку математических преобразований, которые приводят в современной физике к выводу уравнения для определения орбитального магнитного момента. В боровской модели (см. рисунок) электрон, чей электрический заряд $q_e = e$, движется с касательной скоростью $\mathbf{v}_\tau$ по круговой орбите с радиус-вектором $\mathbf{R}$. Учитывая это, можно записать, что движущийся электрон представляет собой движущийся заряд ($e\,\mathbf{v}_\tau$).

Касательная скорость движения электрона по орбите $\mathbf{v}_\tau = R\omega\mathbf{e}_v$, где ω – модуль вектора угловой скорости вращения радиус-вектора, а $\mathbf{e}_v$ – орт касательной скорости. Учитывая так называемую частоту обращения электрона вокруг ядра атома v, можно записать, что $\omega = 2\pi v$, откуда

$(e\,\mathbf{v}_\tau) = e\omega R\,\mathbf{e}_\mathbf{v} = e\,2\pi v\,R\,\mathbf{e}_\mathbf{v}$. (2)

Далее, учитывая, что длина круговой орбиты электрона $l_{cn} = 2\pi R$, путем перестановки сомножителей можно прийти от уравнения (2) к уравнению:

$(e\,\mathbf{v}_\tau) = (ev\,\mathbf{e}_v)\,l_{cn}$. (3)

Появившаяся в результате таких математических преобразований величина ($ev\,\mathbf{e}_v$) из уравнения (3) интерпретируется, как орбитальный ток $\mathbf{I}_{or}$. И уже на основании такой интерпретации появляется выражение для **орбитального магнитного момента электрона $\mathbf{p}_{me}$** , будто бы являющегося дипольным моментом кругового токового контура:

$\mathbf{p}_{me} = I_{or}\,S_{cn}\,\mathbf{n}_{cn} = ev\,\pi R^2\,\mathbf{n}_{cn}$, (4)

где S_{cn} – площадь круга, описываемого электроном; $\mathbf{n}_{cn}$ – орт нормали к плоскости круговой орбиты электрона.

4. Как следует записать уравнение орбитального магнитного момента электрона.

В разделе, посвященном классификации зарядов, указано, что для определения орбитального магнитного момента движущегося по орбите электрона следует применить уравнение:

$\mathbf{q}_m = e\,\mathbf{v}_S$, (5)

где $\mathbf{v}_S$ – **секторная скорость**, чье описание имеется в разделе, посвященном скорости тела, движущегося по орбите. Вектор секторной скорости $\mathbf{v}_S$ перпендикулярен плоскости орбиты. Модуль секторной скорости равен $v_S = dS/dt$, где S – площадь сектора, заключенного между двумя радиусами кривизны $\mathbf{R}$ и ($\mathbf{R} + d\mathbf{R}$), проведенными к орбите (в том числе, и к некруговой) в начале и в конце промежутка времени dt. Секторная скорость, как векторная величина, определяется по формуле

$\mathbf{v}_S = [\mathbf{R}\,\mathbf{v}_\tau]/2$. (6)

Подставляя $\mathbf{v}_S$ из уравнения (6) в уравнение (5), приходим к определяющему уравнению для орбитального магнитного момента электрона, как движущегося заряда:

$\mathbf{p}_{me} = e\,[\mathbf{R}\,\mathbf{v}_\tau]/2$. (7)

Если в уравнении (7) раскрыть значение касательной скорости $\mathbf{v}_\tau$, то мы придем к уравнению (4) в его второй записи. Однако именно уравнения

(5-7) раскрывают фактическое физическое содержание орбитального магнитного момента движущегося по орбите электрона. Они показывают, что нет необходимости в введении такой фиктивной величины, как орбитальный ток $\mathbf{I}_{or}$. Дополнительно появляется возможность расчета орбитального магнитного момента при движении по некруговой замкнутой орбите.

5. Основные характеристики боровской модели атома.

Важным показателем является отношение орбитального магнитного момента электрона к **орбитальному моменту импульса электрона** $\mathbf{L}_e$, определяемому уравнением

$\mathbf{L}_e = m_e R\mathbf{v}_\tau$, (8)

где m_e – масса электрона. Вектор момента импульса $\mathbf{L}_e$ направлен по оси Oz. Размерность орбитального момента импульса электрона $\mathbf{L}_e$ в системе величин ЭСВП равна EA^{-1}T, а единица – Дж об^{-1} с (в СИ это соответствует единице Дж с, так как применение единицы оборот в СИ не рекомендуется).

В учебнике И.Савельева (2005) величина $\mathbf{L}_e$ называется **орбитальным механическим моментом** электрона. Однако слово "механический" в данном контексте ничего не разъясняет, так как в механике достаточно много разных моментов, причем с разными размерностями. К тому же, в этом учебнике орбитальный момент импульса электрона обозначается сиволом **M**, а не **L**, и через несколько страниц слова "орбитальный" и "электрона" в определении "орбитального механического момента электрона" опускаются, остается лишь сокращенный термин "**механический момент**". Ни к чему, кроме неоправданных педагогических затруднений, эта ситуация привести не может.

Отношение модулей векторов $\mathbf{p}_{me}$ и $\mathbf{L}_e$

$g_e = p_{me} / L_e = - e/2m_e$ (9)

называют **гиромагнитным (магнитомеханическим) отношением орбитальных моментов** электрона. Знак минус отражает различное направление векторов $\mathbf{p}_{me}$ и $\mathbf{L}_e$, поскольку направление так называемого орбитального тока $\mathbf{I}_{or}$ и направление скорости движущегося электрона $\mathbf{v}_\tau$, как показано на рисунке, противоположны. (За направление орбитального тока принимается направление движения, противоположное направлению движения реального электрона.)

Орбитальный магнитный момент атома $\mathbf{P}_m$ является геометрической суммой орбитальных магнитных моментов всех электронов атома, то есть

$\mathbf{P}_m = \Sigma_i (\mathbf{p}_{me})_i$, (10)

в которой число электронов в атоме $i = Z$, где Z − порядковый номер химического элемента в Периодической системе Менделеева. Соответственно, **орбитальный магнитный момент молекулы** является геометрической суммой орбитальных магнитных моментов всех атомов в молекуле.

Точно так же **орбитальный момент импульса атома $\mathbf{L}_a$** является геометрической суммой орбитальных моментов импульса всех электронов атома, то есть

$\mathbf{L}_a = \Sigma_i (\mathbf{L}_e)_i$. (11)

Соответственно, **орбитальный момент импульса молекулы** является геометрической суммой орбитальных моментов импульса всех атомов в молекуле.

Следует обратить внимание на то, что все моменты импульса, рассмотренные в данном разделе, не учитывают собственных моментов импульса электронов $\mathbf{L}_s$, которые рассматриваются в отдельном разделе, посвященном собственному моменту импульса (спину) электрона.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с. а также Структура материи. 2004 – http://www.valpak.narod.ru
2. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
3. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

6.9. Спин электрона

1. Что следует понимать под спином электрона.

В современной физике имеет часто место одна колоссальная безосновательная подмена одного термина другим. Опытному физику она не мешает, недостаточно опытного может сбить с толка. Речь идет о термине "спин", которым подменяют термин "спиновое число".

Спин элементарной частицы - это **собственный момент импульса частицы** или ее самостоятельно вращающейся составной части. Собственный момент импульса электрона (**спин электрона**) является размерной векторной величиной и имеет свое обозначение: $\mathbf{L}_s$, к нижнему индексу которого могут добавляться дополнительные значки.

В разделе, посвященном орбитальному моменту электрона, рассматривались только орбитальные моменты электронов согласно боровской модели атома, объясняющие диамагнетизм вещества. А магнитные свойства вещества объясняются спином электрона $\mathbf{L}_s$. При этом используют также собственный магнитный момент электрона $\mathbf{p}_{ms}$, который называют **спиновым магнитным моментом** электрона.
А **спиновое число** - это критерий подобия, безразмерная величина, коэффициент пропорциональности между спином электрона и постоянной Планка. Но физики упорно именуют спиновое число одним словом "спин". Стремление к сокращению произносимого текста всего лишь на одно слово превалирует над необходимой точностью в терминологии.

2. У спина электрона и у постоянной Планка разные размерности.

Вектор спина электрона $\mathbf{L}_s$ направлен в общем случае под углом к направлению вектора напряженности магнитного поля вещества (магнитной индукции **B**). А модуль вектора проекции спина электрона L_{sB} на направление вектора магнитной индукции **B** определяется по уравнению:

$L_{sB} = \pm \hbar/2$, (1)

где $\hbar = h//2\pi$ называют **редуцированной постоянной Планка** (или **постоянной Дирака**).

В разделе, посвященном числу структурных элементов (количеству считаемых величин в новой терминологии), как основной физической величине, детально разъясняется, что редуцированная постоянная Планка $\hbar$ является математической интерпретацией **постоянной Планка** h при применении метода векторных диаграмм и что в отличие от постоянной Планка редуцированная постоянная Планка физического содержания не имеет.

Постоянная Планка h относится к процессу излучения, то есть к периодическому процессу, и в системе величин ЭСВП ее размерность − $\mathrm{EC}^{-1}\mathrm{T}$, а единица − Дж с cnt^{-1}, где в единицах cnt измеряется число волн излучения (обобщенное названия единицы количества считаемых величин еще находится в стадии дискуссии). Размерность же редуцированной постоянной Планка $\hbar$ в системе величин ЭСВП равна $\mathrm{EA}^{-1}\mathrm{T}$ с единицей Дж с об^{-1}, где в оборотах измеряется число полных оборотов радиус-вектора на плоскости векторной диаграммы. (В СИ размерности и единицы у h и $\hbar$ одинаковы, то есть равны Дж с, и это не помогает различить физическое содержание h и $\hbar$.)

Собственный момент импульса электрона − это характеристика вращения электрона вокруг собственной оси. Поскольку редуцированная постоянная Планка $\hbar$ физического содержания не имеет, то появляется вопрос, какое физическое содержание имеет собственный момент импульса электрона, называемый **спином**. (Еще больше запутывает то обстоятельство, что физики, говоря о спине, обычно имеют в виду спиновое число J.)

С формальной точки зрения, учитывая, что постоянная Планка определяется уравнением $h = \varepsilon/\nu$, где ε − энергия кванта излучения, ν − частота излучения, а также с учетом равенства $\hbar = h//2\pi$, можно было бы записать уравнение (1) в виде:

$L_{sB} = \pm\, h/4\pi = \varepsilon/4\pi\nu$. (2)

Но **постоянная Планка h относится к волновой форме движения (к излучению), а собственный момент импульса электрона L_{sB} − к вращению электрона вокруг собственной оси**, по какой причине первая запись L_{sB} в уравнении (2) не корректна. Покажем, что можно вывести другое уравнение, которое, в отличие от уравнения (2), правильно раскрывает физическое содержание спина электрона.

3. Непротиворечивое определяющее уравнение для спина электрона.

Запишем уравнение (2) в таком виде:

$L_{sB} = \varepsilon_s / 4\pi\omega_s$, (3)

где ε_s – энергия вращения электрона вокруг собственной оси; ω_s – угловая скорость вращения электрона вокруг собственной оси. Уравнение (3) удовлетворяет правилу размерностей и отражает истинное физическое содержание спина электрона, как его собственного момента импульса.

Модуль вектора проекции спина электрона L_{sB} из уравнения (1) численно равен половине редуцированной постоянной Планка $\hbar$. Это говорит о том, что проекция спина электрона L_{sB} является также физической константой. Значит, из уравнения (3) следует, что отношение энергии собственного вращения электрона ε_s к угловой скорости вращения электрона ω_s является также физической константой.

То, что спин электрона имеет минимально возможное ненулевое значение, следует понимать так, что не существует элементарных частиц из семейства лептонов, чей собственный момент импульса имел бы меньшее значение, чем спин электрона.

В разделе, посвященном моменту импульса, приводится определяющее уравнение момента импульса, сомножителем в котором является масса покоя m. **В атомной физике существуют частицы, не имеющие массы покоя (безмассовые частицы), у которых, тем не менее, собственный момент импульса (спин) имеется.** Это объясняется тем, **что у безмассовых частиц существуют две характеристики, зависящие не от массы покоя m, а от энергии связи, то есть от энергии прямолинейного и вращательного движений, законсервированных внутри безмассовых частиц.** Это импульс **p** (при прямолинейном движении частицы) и момент импульса $\mathbf{L}_z$, связанный с вращением частицы вокруг собственной оси. Эти характеристики рассчитываются по формулам, не содержащим массу покоя m. Это описано в разделе, посвященном импульсу и моменту импульса в релятивистской механике. В частности, такая **безмассовая частица, как фотон, имеет свой собственный момент импульса.**

4. Другие характеристики собственного вращения электрона.

Спин электрона $\mathbf{L}_s$ и спиновый магнитный момент электрона $\mathbf{p}_{ms}$ пропорциональны друг другу, что отражается уравнением:

$\mathbf{p}_{ms} = g_s\,\mathbf{L}_s$, (4)

в котором коэффициент пропорциональности

$g_s = p_{ms}/L_s = -\,e/m_e$, (5)

где m_e – масса электрона, называют **гиромагнитным отношением спиновых моментов**. Оно в 2 раза больше гиромагнитного отношения орбитальных моментов g_e , рассмотренного в разделе, посвященном магнитным моментам электрона. Так как заряд электрона e и его масса m_e являются физическими константами, то такой же физической константой является и гиромагнитное отношение g_s . Это позволяет с помощью уравнения (5) подсчитать проекцию спинового магнитного момента электрона $\mathbf{p}_{ms}$ на направление вектора магнитной индукции **B**. Модуль этой проекции равен

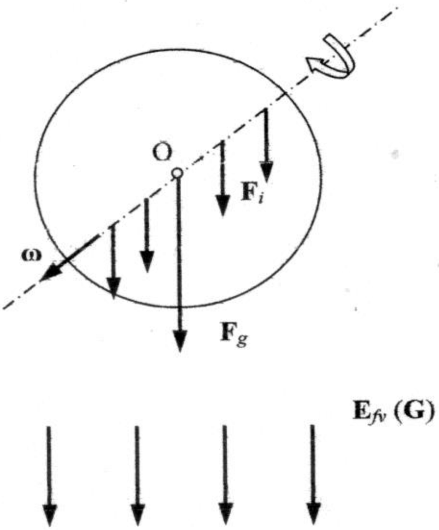
$p_{msB} = \pm\, g_s\,(\hbar/2)$. (6)

Физическую постоянную p_{msB} обозначают символом μ_B и называют **магнетоном Бора**.

6.10. Взаимодействие гироскопа с физическим полем

Взаимодействие гироскопа с гравитационным полем

Вращение систем в разделе, посвященном углу поворота, рассматривается безотносительно к их взаимодействию с физическим полем (см. также Таблицу вращательного движения). В этом разделе рассмотрено воздействие физического поля на вращающийся гироскоп.



На рисунке изображена система, вращающаяся вокруг неподвижной оси симметрии с угловой скоростью **ω** и угловым моментом $\mathbf{L}_z = J_z \boldsymbol{\omega}$, где $J_z = mR_z^2$ – вращательная инертность системы (момент инерции системы относительно главной оси инерции), m – масса системы, R_z – радиус инерции системы.

Предположим, что система оказалась в центральном физическом поле в вакууме напряженностью $\mathbf{E}_{fv}$. Такой системой является любое массивное тело в поле тяготения. Центральная составляющая гравитационного поля называется гравистатическим полем, его напряженность обозначают обычно символом **G**.

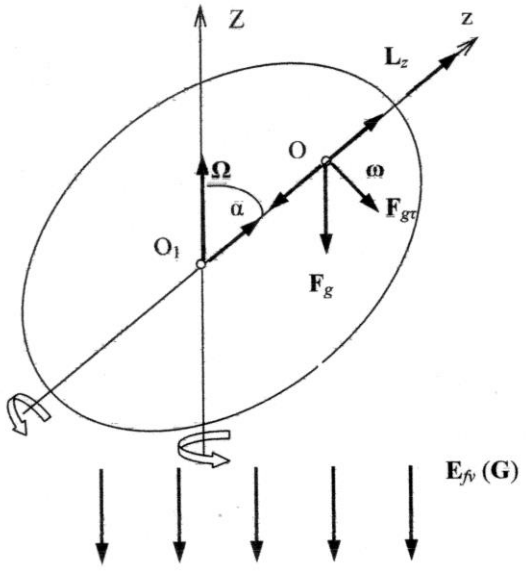
Каждое i-ое сечение вращающейся системы, перпендикулярное оси симметрии, станет взаимодействовать с полем с силой $\mathbf{F}_i$, параллельной напряженности поля тяготения **G**. Равнодействующая $\mathbf{F}_g$ всех i-ых сил взаимодействия $\mathbf{F}_i$ будет приложена в точке O, находящейся на оси вращения. Точку O будем называть **центром взаимодействия** вращающейся системы с гравистатическим полем.

Вращающуюся систему называют **гироскопом** (от греческого слова gyros, что означает круг). Поскольку в рассматриваемом случае речь идет о взаимодействии гравитационных зарядов тела с гравистатическим полем, то точку O принято называть **центром тяжести** системы.

Взаимодействие вращающегося гироскопа с гравистатическим полем меняет его положение в пространстве, он движется прямолинейно в направлении силы $\mathbf{F}_g$. Но при этом не изменяются ни направление оси вращения, ни положение центра взаимодействия на оси вращения.

Взаимодействие гироскопа со смещенным центром крепления с гравитационным полем

Рассмотрим поведение вращающегося гироскопа, когда одна из точек оси вращения становится неподвижной. Назовем эту точку **центром закрепления**. В механике центр закрепления называют **центром подвеса**. Если центр закрепления O_1 не совпадает с центром взаимодействия (центром тяжести) O, то такую вращающуюся систему называют неуравновешенным гироскопом.



Термин «центр подвеса» по своему смыслу подходит лишь к тем вращающимся телам в механике, у которых точка O_1 находится выше центра взаимодействия O. Если же она находится ниже, как, например, у волчка (юлы), то никакого подвеса тела нет. Поэтому мы остановимся на более общем термине «центр закрепления».

Сила взаимодействия системы с центральным полем $\mathbf{F}_g$ имеет две составляющие: одну вдоль оси Oz, которая компенсируется реакцией опоры в центре закрепления, и другую $\mathbf{F}_{g\tau}$, которая создает момент силы относительно центра закрепления O_1 .

Ось вращения Oz закреплена в пространстве опорами (на рисунке не показаны), но опор без зазора для помещения смазки не существует. Если толщина зазора равна dx, то работа по перемещению точки O равна

$dA = \mathbf{F}_{g\tau}\, d\mathbf{x}$. (1)

Работа является энергетическим воздействием на вращающуюся систему. Это воздействие приводит к угловому перемещению оси Oz, равному $d\boldsymbol{\alpha}$, где α – угол между силой $\mathbf{F}_g$ и осью вращения Oz. Вектор $d\boldsymbol{\alpha}$ направлен перпендикулярно плоскости чертежа и приложен в центре закрепления O_1.

Согласно главному определяющему уравнению возникает воздействие в виде вращающего момента

$\mathbf{M}_z = (dA/\, d\alpha)\, \mathbf{e}_M$, (2)

где $\mathbf{e}_M$ - орт вращающего момента $\mathbf{M}_z$.

Угловое перемещение $d\boldsymbol{\alpha}$ приводит, в соответствии с законом сохранения момента импульса, к появлению дополнительного момента $\mathbf{M}_Z$, вращающего систему относительно оси OZ, параллельной силе $\mathbf{F}_g$ и проходящей через центр закрепления O_1. Дополнительный вращающий момент $\mathbf{M}_Z$ создает дополнительные реакции в опорах, направленные перпендикулярно уже существующим реакциям опор.

Если опоры оси вращения Oz не закреплены в пространстве, то вращающаяся система приобретает вращение вокруг оси OZ с угловой скоростью $\mathbf{\Omega}$, дополнительное к существующему вращению вокруг оси Oz с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}$. Вектор угловой скорости $\mathbf{\Omega}$ параллелен $\mathbf{F}_g$ и направлен противоположно этому вектору. Это дополнительное вращение называют **прецессией** гироскопа.

В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) показано, что дополнительный вращающий момент $\mathbf{M}_Z$ при условии, что $\Omega << \omega$, равен

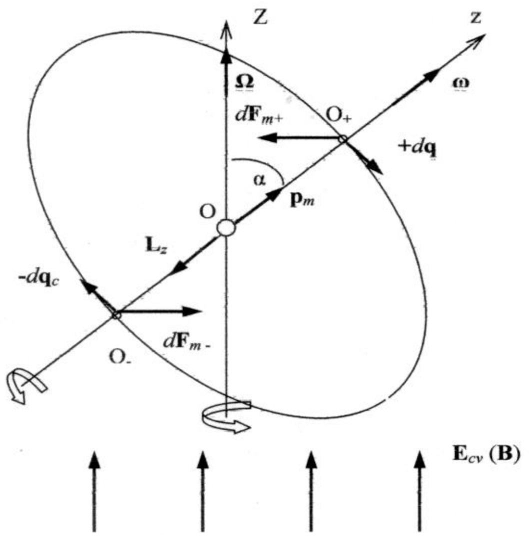
$\mathbf{M}_Z = [\mathbf{\Omega}\, \mathbf{L}_z]$, (3)

где $\mathbf{\Omega} = -\, (r/\, J_z\, \omega)\, \mathbf{F}_g$ – угловая скорость прецессии; $\mathbf{L}_z$ – момент импульса вращающейся системы относительно оси Oz; r – расстояние между центром закрепления O_1 и центром взаимодействия O. Приращение момента импульса системы $d\mathbf{L}_z = \mathbf{M}_z\, dt$ (при том же условии $\Omega << \omega$).

Взаимодействие токового диполя с вихревым полем

Рассмотрим систему в виде токового диполя (замкнутого кругового контура с токовым зарядом $\mathbf{q}_c$), вращающуюся вокруг оси Oz с угловой скоростью **ω**. При воздействии на эту систему однородного вихревого поля напряженностью $\mathbf{E}_{cv}$ (магнитной индукцией **B**) возникнет пара сил взаимодействия

$d\mathbf{F}_{cv} = [d\mathbf{q}_c\ \mathbf{E}_{cv}] = [(\mathbf{I}\ dl)\ \mathbf{E}_{cv}]$, (4)



стремящаяся повернуть вращающуюся систему. Если опоры оси вращения Oz не закреплены, то работа поворота системы на угол *d***α** равна

$dA = (\mathbf{F}_m\ 2R)\ d\boldsymbol{\alpha}$, (5)

где *R* – радиус кругового контура. Как и в предыдущем случае, возникает вращающий момент $\mathbf{M}_z$, определяемый по уравнению (2), и дополнительный момент $\mathbf{M}_Z$, вращающий токовый диполь относительно оси OZ, параллельной напряженности **B** и проходящей через центр кругового контура O, с угловой скоростью **Ω**. Вектор угловой скорости **Ω** параллелен вектору напряженности магнитного поля **B**.

Если в качестве токового диполя рассматривать атом диамагнетика, в котором в качестве кругового тока принимают орбитальный ток электрона $\mathbf{I}_{or}$, то дополнительное вращение электрона с зарядом *e* и массой m_e называют **ларморовой прецессией**, а угловую скорость прецессии обозначают $\mathbf{\Omega}_L$ и называют **ларморовой частотой вращения**. Она равна

$\mathbf{\Omega}_L = (e/2m_e)\ \mathbf{B}$. (6)

Литература

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

7. Критический анализ уравнений Максвелла

7.1. Уравнения Максвелла нуждаются в корректировании или замене.

Разные варианты записи и компоновки уравнений Максвелла в СГС.

Четыре уравнения Максвелла обычно располагают попарно, но принцип разбиения на пары в различных первоисточниках оказывается разным. Это свидетельствует о том, что система уравнений Максвелла не обрела еще ту законченность, которая должна быть присуща такому важному разделу электромагнетизма.

Приведем принятую в основных литературных источниках запись уравнений Максвелла в дифференциальной форме, соответствующую записи физических величин в системе единиц СГС:

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{B} = \mu\mu_0\,\mathbf{j} + (1/c^2)\,\partial\mathbf{E}/\partial t\,, \quad (1)$$

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\,\partial\mathbf{B}/\partial \mathrm{t}\,, \quad (2)$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{E} = \rho/\varepsilon\varepsilon_0\,, \quad (3)$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0\,, \quad (4)$$

где **B** – магнитная индукция (напряженность магнитного поля в вакууме); μ – относительная магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная; **j** – плотность тока проводимости в проводнике; c – электромагнитная постоянная; **E** – напряженность электрического поля в вакууме; ρ – объёмная плотность электрических зарядов; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – электрическая постоянная. В приведенной форме записи первая пара уравнений относится к переменным значениям напряженностей полей, а вторая пара – к любым их значениям.

Следует обратить внимание на то, что символ **E** в уравнении (3) обозначает напряженность электростатического центрального поля, а в уравнениях (1) и (2) может обозначать также напряженность так называемого **электрического вихревого поля**, обусловливаемого переменным магнитным полем. В разделе об электрическом вихревом поле указывается на то, что такого поля в реальности нет и что этим термином называют одну из составляющих переменного магнитного поля.

В БСЭ уравнения Максвелла записаны также для электромагнитного поля, но в них используются другие напряженности, чьи определяющие уравнения приведены в Таблице величин физического поля. Уравнения Максвелла приводятся в БСЭ в рационализованной системе СГС в виде:

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = (4\pi/c)\,\mathbf{j} + (1/c)\,\partial\mathbf{D}/\partial t\,, \quad (5)$$

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\,(1/c)\,\partial\mathbf{B}/\partial t\,, \quad (6)$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0\,, \quad (7)$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{D} = 4\pi\rho\,. \quad (8)$$

где **H** – напряженность магнитного поля сторонних зарядов, а **D** – напряженность электростатического поля сторонних зарядов. Такая запись внутренне противоречива, так как о сторонних зарядах говорят при рассмотрении поля в веществе, тогда как в данной записи уравнений Максвелла отсутствуют проницаемости вещества ε и μ .

2. Разные варианты записи и компоновки уравнений Максвелла в СИ.

В справочнике по физике Б. Яворского и Д. Детлафа (1990) комплект уравнений (5-8) продублирован в СИ, но с перестановкой мест уравнений (5) и (6), а также (7) и (8), и с введением величины $\mathbf{j}_d$ – плотности так называемого **тока смещения** в среде, окружающей проводник. Это понятие введено Д.Максвеллом.

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\,\partial\mathbf{B}/\partial t\,, \quad (9)$$

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial\mathbf{D}/\partial t = \mathbf{j} + \mathbf{j}_d$, (10)

$\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \rho$, (11)

$\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$. (12)

В учебнике по физике И.Савельева (2005) применяется еще один принцип расстановки уравнений Максвелла: первая пара определяет напряженности полей в среде, а вторая – в проводнике. Получается вариант (9-12), но с такой последовательностью уравнений: (9), (12), (10), (11).

Для расчета электромагнитных полей в веществе уравнения Максвелла дополняют обычно так называемыми **материальными уравнениями**:

$\mathbf{D} = \varepsilon\varepsilon_0\,\mathbf{E}$, (13)

$\mathbf{B} = \mu\mu_0\,\mathbf{H}$ (14)

и $\mathbf{j} = \gamma\mathbf{E}$, (15)

где γ − удельная электрическая проводимость. При этом уравнения (14) и (15) записываются с явным нарушением принципа причинности, так как $\mathbf{H} = f(\mathbf{B})$ и $\mathbf{E} = f(\mathbf{j})$, а не наоборот. В соответствии с принципом причинности эти уравнения следует записывать в виде

$\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu\mu_0$ и $\mathbf{E} = \mathbf{j}/\gamma$.

Казалось бы, во всех вариантах записи уравнений Максвелла речь идет об одном и том же, тогда почему же они записываются по-разному и в различной последовательности? И какой вариант расположения уравнений следует взять за основу? возможно, это не играет роли, но тогда почему не придерживаться какого-нибудь одного варианта?

3. Мнение о некорректности уравнений Максвелла.

В 90-х годах прошлого века появилась фундаментальная работа З.Докторовича (1995, 1996), раскрывшая, по убеждению ее автора, некорректность и противоречивость электродинамики Д.Максвелла. Приведем выводы из этой работы:

1. Введенное Максвеллом в обращение вихревое электрическое поле породило неустранимые противоречия физических моделей процессов распространения электрического и магнитного полей и их взаимодействия с привнесенными физическими объектами, с экспериментальными результатами, математическим аппаратом теории поля, третьим законом Ньютона и принципом причинности.

2. В рамках электродинамики Максвелла не существует непротиворечивой физической модели, способной дать описание процессов электромагнитной индукции, а предлагаемый приём искусствен и приводит к неустранимым противоречиям с экспериментом, третьим законом Ньютона и принципом причинности.

3. Различия между электрическим и магнитным полями в классическом случае фундаментальны: **электрическое поле имеет строго градиентный характер**, то есть $\mathbf{E} = -\operatorname{grad}\varphi$, **а магнитное поле** полностью описывается с помощью векторного магнитного потенциала **A** и **имеет строго вихревой характер**, следовательно, $\operatorname{div}\mathbf{A} = 0$.

4. Теория электромагнетизма, иначе называемая электродинамикой Максвелла, содержит в себе для описания электрического поля только систему уравнений электростатики: $\operatorname{div}\mathbf{E} = \rho/\varepsilon\varepsilon_0$ и $\mathbf{E} = -\operatorname{grad}\varphi$, и не представляет никакой информации о динамике электрического поля.

Материал, изложенный в данном разделе и посвященный таким математическим абстракциям, как электрическое вихревое поле, электромагнитная индукция, ЭДС индукции и ток смещения, подтверждает эти выводы.

4. Вариант модификации уравнений Максвелла.

В работе В.Пакулина (2004, 2007) предложено в соответствии с теорией векторного анализа разделить напряженность электрического поля **E** на две составляющие: напряженность градиентного (безвихревого) поля $\mathbf{E}_{grad} = -\operatorname{grad}\varphi$ и напряженность вихревого электрического поля $\mathbf{E}_{rot} = \operatorname{rot}\mathbf{P}$, где **P** – некоторая векторная функция, у которой $\operatorname{div}\mathbf{P} = 0$. Источником напряженности $\mathbf{E}_{rot}$ является изменение векторного потенциала **A**, а ее следствием – возникновение сторонней магнитной силы, воздействующей на электрические заряды. В итоге выведена первая модификация уравнений Максвелла, записанная в СГС:

$$\operatorname{div}\mathbf{E}_{grad} = \rho/\varepsilon\varepsilon_0\,, \qquad (16)$$

$\mathbf{E}_{rot} = -\mathbf{E}_{grad} - \partial\mathbf{A}/\partial t$, (17)

$\Delta\mathbf{A} - (1/c^2)\,\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2 = -\mu\mu_0\,\mathbf{j}$, (18)

div $\mathbf{A}$ = div $\mathbf{E}_{rot}$ = rot $\mathbf{E}_{grad} = 0$. (19)

Далее В.Пакулин делит вектор плотности тока **j** также на две составляющие: градиентную $\mathbf{j}_{grad}$, определяемую токами проводимости связанных зарядов, и вихревую $\mathbf{j}_{rot}$, определяемую магнитным полем сторонних зарядов, а также заменяет частные производные на полные производные. После чего вторая модификация уравнений Максвелла оказывается состоящей из двух систем уравнений. Первая система уравнений описывает электростатическое поле:

$\Delta\varphi = -\rho/\varepsilon\varepsilon_0$, (20)

$\mathbf{E}_{grad} = -$ grad φ , (21)

div $\mathbf{E}_{grad} = \rho/\varepsilon\varepsilon_0$, (22)

div $\mathbf{j}_{grad} + d\rho/dt = 0$. (23)

Вторая система уравнений описывает магнитное (электродинамическое) поле:

$\Delta\mathbf{A} - (1/c^2)\,d^2\mathbf{A}/dt^2 = -\mu\mu_0\,\mathbf{j}_{rot}$, (24)

$\mathbf{B}$ = rot $\mathbf{A}$, (25)

$\mathbf{E}_{rot} = [\mathbf{v}$ rot $\mathbf{A}] - \partial\mathbf{A}/\partial t$, (26)

div $\mathbf{A}$ = div $\mathbf{j}_{rot}$ = div $\mathbf{E}_{rot}$ = rot $\mathbf{E}_{grad}$ = rot $\mathbf{j}_{grad} = 0$. (27)

где **v** – скорость электрического заряда.

И в заключение **В.Пакулин показывает, что из модифицированных им уравнений Максвелла вытекают практически все основные законы электромагнетизма: закон Гаусса, закон Кулона, закон сохранения электрического заряда, закон Ампера, закон Био-Савара, закон Фарадея, преобразования Лоренца, уравнение плотности энергии и вектора потока энергии поля радиоволны,**

раскрывается физический смысл векторного потенциала, объясняется механизм электромагнитной индукции, делается вывод о различной природе радиоволн и таких видов электромагнитного излучения, как свет, рентгеновские лучи и γ-излучение.

5. Предлагаемая замена уравнений Максвелла.

В монографии О.Репченко (2008) автор выдвигает концепцию **полевой среды**, мало чем отличающуюся от концепции эфира, в рамках которой была создана теория электродинамики Д.Максвелла. Однако О.Репченко считает, что динамику полевой среды можно описать, базируясь всего на двух принципах: **непрерывности и близкодействия**.

Принцип непрерывности опирается на классическое уравнение непрерывности, записанное О.Репченко в виде:

$\partial\rho/\partial t + \mathrm{div}\,(\rho\mathbf{v}) = 0$, (28)

где ρ – плотность полевой среды; $\mathbf{v}$ – скорость частицы-источника (в нашей терминологии – полеобразующего заряда).

Принцип близкодействия опирается на волновое уравнение, записанное в виде:

$\boldsymbol{\Delta}\rho - (1/c^2)\,\partial^2\rho/\partial t^2 = -U$, (29)

где $\boldsymbol{\Delta}$ – оператор Лапласа; U – введенная О.Репченко функция источника $U\,(\mathbf{r},t)$.

Опираясь только на эти два уравнения, О.Репченко приходит к системе 4-х уравнений, которые, по его мнению, могут полностью заменить уравнения Максвелла, так как уравнения Максвелла вытекают из уравнений Репченко. При этом О.Репченко полагает, что “***большинство электромагнитных величин просто являются излишними. Они выражаются через другие величины и существуют в физике до сих пор, в основном, по историческим причинам***”. К последнему мнению стоит прислушаться.

6. Позиция И. Когана.

И. Когана в целом солидарен с выводами З.Докторовича, В.Пакулина и с приведенной цитатой из монографии О.Репченко, он добавил бы следующее:

1. Введение понятия о переменном электрическом вихревом поле приводит лишь к терминологической путанице. **То, что называют электрическим вихревым полем, на самом деле является одной из составляющих переменного магнитного поля.** Поэтому следует поменять соответствующую терминологию и символику в электродинамике.

2. Применение в уравнениях Максвелла плотности электрического тока проводимости вместо объёмной плотности токовых зарядов приводит к искажению физического содержания уравнения, определяющего ротор магнитного поля.

3. Введенное Д.Максвеллом понятие “ток смещения” сами физики считают понятием условным, фиктивным. Оно должно быть заменено реальной физической величиной, отражающей переменную поляризацию диэлектрической среды.

4. Уравнение $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ имеет отношение лишь к такому математическому понятию векторного анализа, как линии напряженности вихревого поля. Оно устанавливает, что у этих линий нет ни источников, ни стоков. К магнитным зарядам это уравнение не относится. Как показано в разделе , посвященном магнитным зарядам, они существуют, если уяснить, что это синонимы физической величины под названием токовый заряд прямого тока.

И. Коган считает, что к этим выводам можно придти достаточно простым путем, без привлечения векторного анализа и сложных математических выкладок. И. Коган наглядно показывает, что электрическое вихревое поле, ЭДС индукции и ток смещения – неверно названные математические абстракции и что явления электромагнитной индукции, взаимоиндукции и самоиндукции легко объясняются без необоснованного введения вышеуказанных абстрактных понятий, а индуктивность можно определять иначе, чем это принято в современной электродинамике.

Следующие два уравнения Максвелла, по мнению И. Когана, могут быть записаны в таком виде:

$$\mathrm{rot}\,[\mathbf{v}_n\,\mathbf{B}_p\,] = -\,\partial\mathbf{B}/\partial t\,, \quad (30)$$

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \boldsymbol{\rho} + \partial\mathbf{D}/\partial t = \boldsymbol{\rho} + (\partial\rho/\partial t)\,\mathbf{e}_D\,. \quad (31)$$

Обозначения в уравнении (30) поясняются в разделе об электрическом вихревом поле, а обозначения в уравнении (31) поясняются в разделе о токе смещения. Как видим, ни напряженности электрического вихревого поля **E**, ни тока смещения $\mathbf{j}_d$ в этих уравнениях нет.

Разумеется, физическое содержание электромагнитного поля от этого не меняется. Зато методика преподавания физики начинает опираться на реальные физические величины, а не на математические абстракции. Следовательно, упрощается преподавание и усвоение учебного материала, устраняются не оправдавшие себя понятия и термины, уточняются определения ряда физических величин.

Литература

1. Докторович З.И., 1995, Несостоятельность теории электромагнетизма и выход из сложившегося тупика. – “Проблемы машиностроения и автоматизации” (“Engineering and Automatization”), 4, № 3
2. Докторович З.И., 1996, Несостоятельность теории электромагнетизма и выход из сложившегося тупика. – “Сознание и физическая реальность”, 1, № 3
3. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru
4. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, НТФ "Истра"
5. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерия, 320 с.
6. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах), т. 2 – М.: АСТ: Астрель
7. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. – М:, Наука, Физматгиз, 624 с.

7.2. Действие магнитного поля на заряд

1. Действие стационарного магнитного поля на движущийся заряд.

Под **стационарным** магнитным полем будем понимать не изменяющееся со временем вихревое поле напряженностью $\mathbf{E}_c$. Сила воздействия $\mathbf{F}_c$ стационарного магнитного поля на движущийся заряд ($q\mathbf{v}$) равна

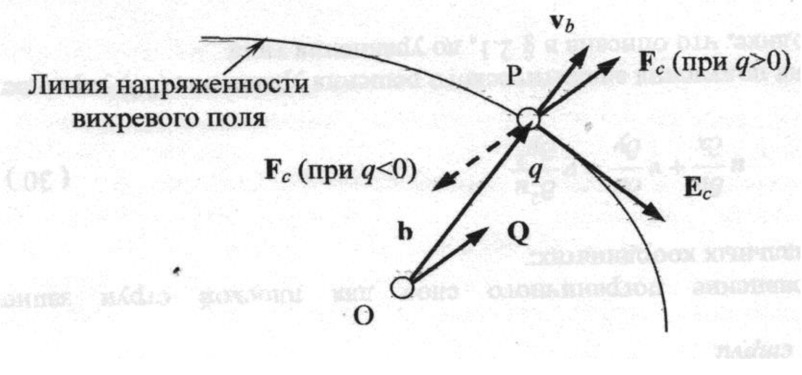
$\mathbf{F}_c = [(q\mathbf{v})\ \mathbf{E}_c]$, (1)

где **v** – скорость перемещения заряженной системы. В современной электродинамике силу $\mathbf{F}_c$ называют магнитной силой, иногда силой Лоренца, и обозначают $\mathbf{F}_m$. Ее определяющее уравнение записывают в виде:

$\mathbf{F}_m = q\ [\mathbf{v}\ \mathbf{B}]$, (2)

где **B** – напряженность магнитного поля в вакууме, которую в современной электродинамике называют **магнитной индукцией**. В разделе, посвященном напряженностям физического поля, показана неудачность этого термина, но к нему уже все привыкли. Движущийся заряд ($q\mathbf{v}$) нельзя разделять на сомножители, вынося за скобки один из них, и поэтому уравнение (2) должно записываться, как $\mathbf{F}_m = [(q\mathbf{v})\ \mathbf{B}]$.

2. Действие переменного магнитного поля на неподвижный заряд.



Под переменным магнитным полем будем иметь в виду изменяющееся со временем физическое поле, создаваемое неподвижным относительно системы отсчета (точки О) полеобразующим динамическим зарядом **Q**, которым может оказаться как движущийся заряд ($Q\mathbf{v}$), так и токовый заряд ($\mathbf{I}l$).

На рисунке вектор динамического заряда **Q** следует понимать перпендикулярным к плоскости рисунка и направленным за эту плоскость. Радиус-вектор **b**, направленный из центра полеобразующего заряда к неподвижной относительно системы отсчета заряженной системе с электрическим зарядом q, перпендикулярен линии напряженности (силовой линии) вихревого (магнитного) поля и, соответственно, вектору $\mathbf{E}_c$ (вектору магнитной индукции **B**). Оба вектора (**b** и $\mathbf{E}_c$) лежат в плоскости рисунка.

Изменение напряженности переменного магнитного поля $\mathbf{E}_c$ (переменной магнитной индукции **B**) в точке Р, в которой находится центр полевой заряженной системы, может происходить вследствие трех причин:
1. вследствие изменения положения динамического заряда **Q** относительно заряда *q*, то есть изменения значения радиус-вектора **b** (взаимное отдаление или приближение зарядов **Q** и *q*),
2. вследствие изменения значения модуля заряда **Q** (ослабления или усиления полеобразующего динамического заряда),
3. вследствие поворота вектора динамического заряда **Q**.

Рассмотрим поочередно последствия, вызванные этими тремя причинами.

3. Влияние изменения расстояния между зарядами на взаимодействие поля и заряда.

Взаимное отдаление или приближение зарядов **Q** и *q* можно рассматривать двояко: как движение полеобразующего заряда **Q** при неподвижном полевом заряде *q* и как движение полевого заряда *q* при неподвижном полеобразующем заряде **Q**. В любом случае составляющая скорости движения полевого заряда *q* относительно заряда **Q**, коллинеарная вектору **b**, будет равна $\mathbf{v}_b = \mathrm{d}\mathbf{b}/\mathrm{d}t$. Изменение радиус-вектора **b** приводит к изменению напряженности вихревого поля в точке Р.

Если динамический заряд **Q** неподвижен, то причиной изменения радиус-вектора **b** становится движение полевого заряда *q* со скоростью $\mathbf{v}_b$. Возникает полевой движущийся заряд $\mathbf{q} = (q\mathbf{v}_b)$. Между двумя движущимися зарядами **Q** и **q** возникает сила взаимодействия $\mathbf{F}_c$ (магнитная сила), определяемая уравнением:

$$\mathbf{F}_c = [(q\mathbf{v}_b)\,\mathbf{E}_c]$$

или в современных обозначениях

$\mathbf{F}_m = [(q\mathbf{v}_b)\ \mathbf{B}]$. (3)

Уравнение (3) определяет магнитную силу, действующую на движущийся полевой заряд $\mathbf{F}_c$ ($\mathbf{F}_m$) в стационарном иагнитном поле при постоянном значении напряженности $\mathbf{E}_c$ (магнитной индукции **B**). Уравнение (3) можно преобразовать следующим образом:

$\mathbf{F}_c = [(q\ \mathrm{d}\mathbf{b}/\mathrm{d}t)\ \mathbf{E}_c\ ] = [(q\mathbf{b})\ (\mathrm{d}\mathbf{E}_c\ /\mathrm{d}t)]$

или

$\mathbf{F}_m = q\ [(\mathrm{d}\mathbf{b}/\mathrm{d}t)\ \mathbf{B}] = [(q\mathbf{b})\ (\mathrm{d}\mathbf{B}/\mathrm{d}t)] = q\ [\mathbf{b}\ (\mathrm{d}\mathbf{B}/\mathrm{d}t)]$, (4)

в котором производная напряженности $\mathrm{d}\mathbf{E}_c\ /\mathrm{d}t$ (производная магнитной индукции $\mathrm{d}\mathbf{B}/\mathrm{d}t$) – это скорость изменения в точке Р напряженности $\mathbf{E}_c$ (скорость изменения магнитной индукции **B**). Уравнение (4) определяет магнитную силу $\mathbf{F}_c$ (или $\mathbf{F}_m$), действующую на неподвижный полевой заряд в переменном магнитном поле.

Таким образом, как изменение радиус-вектора **b**, так и изменение напряженности вихревого поля $\mathbf{E}_c$ (магнитной индукции **B**) приводят к одному и тому же: к появлению магнитной силы $\mathbf{F}_c$ (или $\mathbf{F}_m$). (На рисунке направление силы $\mathbf{F}_c$ соответствует предположению, что полевой заряд q отрицательный.)

4. Влияние изменения полеобразующего заряда на взаимодействие поля и заряда.

Изменение значения полеобразующего динамического заряда **Q** приводит к изменению напряженности вихревого поля $\mathbf{E}_c$ в точке Р с теми же последствиями, что были рассмотрены выше. Увеличение заряда **Q** ведет к увеличению магнитной индукции **B** в точке Р при постоянном значении **b**, что равносильно взаимному приближению зарядов **Q** и q или равносильно уменьшению радиус-вектора **b** при постоянном значении $\mathbf{E}_c$. А уменьшение **Q** равносильно взаимному отдалению зарядов. Поэтому применение обоих уравнений (3) и (4) приводят к одному и тому же значению магнитной силы $\mathbf{F}_c$.

5. Влияние поворота вектора полеобразующего заряда на взаимодействие поля и заряда.

Эта причина равносильна второй и, следовательно, первой причинам, перечисленным выше. Действительно, вектор полеобразующего динамического заряда **Q** можно представить в виде двух составляющих: коллинеарной первоначальному направлению вектора **Q**, и нормальной к нему. При повороте вектора **Q** коллинеарная составляющая станет меньше первоначального значения вектора **Q**. Значит, уменьшится и напряженность $\mathbf{E}_c$. А вихревое поле, создаваемое составляющей, нормальной к вектору **b**, не действует на полевой динамический заряд **q** = ($q\mathbf{v}_b$).

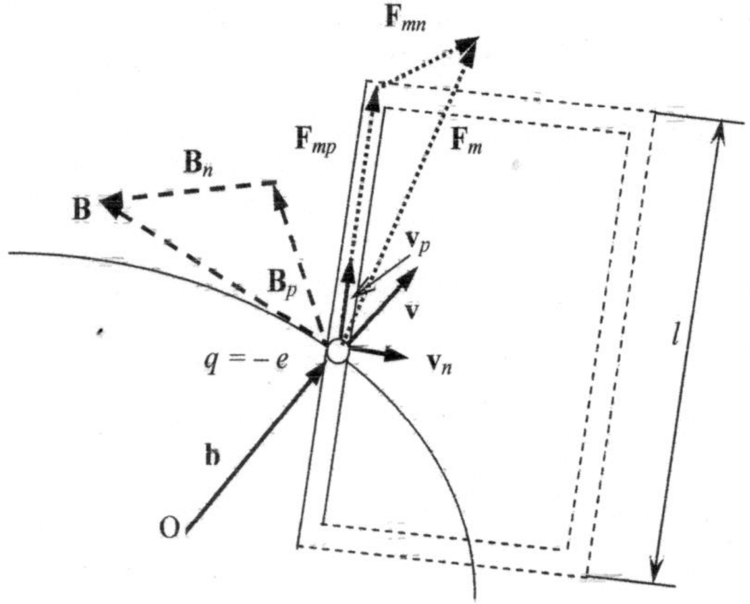
6. В введении понятия "электрическое вихревое поле" нет необходимости.

Итак, все три рассмотренных варианта действия переменного вихревого (магнитного) поля на неподвижный электрический полевой заряд *q* можно свести к действию постоянного вихревого (магнитного) поля на движущийся полевой заряд ($q\mathbf{v}_b$). То есть ***действие переменного вихревого поля на неподвижный полевой заряд равносильно действию постоянного вихревого поля на движущийся полевой заряд***.

В.Пакулин (2004, 2007) выразил это положение такими словами: "***удаленный приемник не может различить, за счет чего произошло изменение сигнала источника − изменения во времени или перемещения***."

Описанная картина действия переменного физического поля на неподвижный полевой заряд лишает необходимости вводить в электромагнетизм представление об **электрическом вихревом поле**, якобы воздействующем на неподвижный полевой заряд *q* с помощью не существующей кулоновской силы. **В магнитном поле, образованном либо переменным полеобразующим динамическим зарядом Q, либо в магнитном поле с переменным значением радиус-вектора b, действуют только магнитные силы $\mathbf{F}_m$, и никакая ЭДС не возникает в принципе**.

Более подробно эти утверждения рассмотрены в разделе , разъясняющем детально понятие электрического вихревого поля.



Литература

1. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru
2. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург

7.3. Вихревое электрическое поле – терминологический нонсенс

Действие переменного магнитного поля на токовый контур

Рассмотрим (см. рисунок) общий случай действия переменного магнитного поля напряженностью **B** (вектор **B** обозначен штриховой линией) на произвольно расположенный относительно направления радиус-вектора **b** токовый контур, имеющий условно прямоугольную форму. Как было показано в разделе, посвященном переменному магнитному полю, его действие на неподвижный электрический заряд равносильно действию постоянного магнитного поля на движущийся с переменной скоростью **v** электрический заряд *q* (вектор **v** обозначен сплошной линией, он в общем случае не находится в плоскости рисунка).

На рисунке вектор скорости электрона **v** перпендикулярен вектору магнитной индукции **B** и коллинеарен радиус-вектору **b**. В результате действия переменного магнитного поля на движущийся заряд (*q***v**) возникает магнитная сила $\mathbf{F}_m$ (ее вектор условно обозначен пунктирной линией, он направлен перпендикулярно плоскости, в которой расположены векторы **B** и **v**).

Силу $\mathbf{F}_m$ в общем случае называют **полной магнитной силой**, разлагая на параллельную направлению проводника контура силу $\mathbf{F}_{mp}$ (**продольную магнитную силу**) и перпендикулярную проводнику силу $\mathbf{F}_{mn}$ (**нормальную магнитную силу**).

Продольная магнитная сила $\mathbf{F}_{mp}$ движет электроны проводимости вдоль проводника. А нормальная магнитная сила $\mathbf{F}_{mn}$ смещает электроны поперек проводника и приводит к так называемому эффекту Холла, который при расчетах тока проводимости в контуре обычно не учитывается.

Разложим скорость электрона **v** на две составляющие: вдоль проводника контура $\mathbf{v}_p$ и поперек проводника $\mathbf{v}_n$. Соответственно, разложим вектор магнитной индукции **B** на **продольную магнитную индукцию** $\mathbf{B}_p$, создающую продольную магнитную силу $\mathbf{F}_{mp}$, и **поперечную магнитную индукцию** $\mathbf{B}_n$, создающую нормальную магнитную силу $\mathbf{F}_{mn}$. И тогда для полной магнитной силы $\mathbf{F}_m$ можно записать уравнение:

$$\mathbf{F}_m = \mathbf{F}_{mp} + \mathbf{F}_{mn} = [(q\mathbf{v}_n)\ \mathbf{B}_p] + [(q\mathbf{v}_p)\ \mathbf{B}_n]\ .\ (1)$$

Как возник термин "вихревое электрическое поле".

В современной физике заряд электрона q обычно выносят за скобки выражения для движущегося заряда (q**v**). И потому уравнение (1) выглядит в таком виде:

$$\mathbf{F}_m = q\ \{[\mathbf{v}_n\ \mathbf{B}_p] + [\mathbf{v}_p\ \mathbf{B}_n]\}\ .\ (2)$$

Согласно теории Д.Максвелла, если в переменном магнитном поле, определяемом магнитной индукцией **B**, оказывается движущийся электрон q, то на него воздействует сила, определяемая уравнением

$$\mathbf{F} = q\ \mathbf{E}_B\ ,\ (3)$$

в котором вектор $\mathbf{E}_B$ назван напряженностью **вихревого электрического поля**. Но в теории Д.Максвелла переменную магнитную индукцию **B** не разлагают на две составляющие: $\mathbf{B}_p$ и $\mathbf{B}_n$. Точно так же можно разложить на две составляющие и напряженность так называемого вихревого электрического поля $\mathbf{E}_B$ из уравнения (3) и приравнять его к выражению в скобках в уравнении (2), записав

$\mathbf{E}_{B} = \mathbf{E}_{Bp} + \mathbf{E}_{Bn} = [\mathbf{v}_{n}\ \mathbf{B}_{p}\ ] + [\mathbf{v}_{p}\ \mathbf{B}_{n}\ ]$. (4)

Сравнение уравнений (1) и (2) с уравнением (4) приводит к выводу о том, что продольная магнитная сила $\mathbf{F}_{mp}$, реально воздействующая на электрон в токовом контуре, показанном на рисунке, после преобразований и выноса за скобки заряда электрона q равна

$\mathbf{F}_{mp} = [(q\mathbf{v}_{n}\ )\ \mathbf{B}_{p}\ ] = q\ [\mathbf{v}_{n}\ \mathbf{B}_{p}\ ] = q\ \mathbf{E}_{Bp}$. (5)

Теперь, сравнивая уравнение (3) и последний вариант уравнения (5), можно убедиться в том, что сила **F** из теории Максвелла идентична продольной магнитной силе $\mathbf{F}_{mp}$ **. В теории Д.Максвелла произошла искусственная замена векторного произведения [$\mathbf{v}_{n}$ $\mathbf{B}_{p}$] из уравнения (4) на придуманную напряженность $\mathbf{E}_{Bp}$ не существующего вихревого электрического поля.** Вместо привычной в современной электродинамике записи уравнения Максвелла для постоянного магнитного поля в виде (rot $\mathbf{E} = -\,\partial\mathbf{B}/\partial t$) в случае переменного магнитного поля должна присутствовать запись в виде:

$\mathrm{rot}\ \mathbf{E}_{Bp} = \mathrm{rot}\ [\mathbf{v}_{n}\ \mathbf{B}_{p}\ ] = -\,\partial\mathbf{B}_{p}\ /\partial t$. (6)

От термина "вихревое электрическое поле" необходимо избавляться.

К сожалению, вместо символа $\mathbf{E}_{Bp}$ для составляющей вектора $\mathbf{E}_{B}$ в литературе стали писать просто $\mathbf{E}_{B}$. Опуская нижний индекс "$_{p}$" , полный вектор приравняли к его составляющей. Мало того, нижний индекс "$_{B}$" при $\mathbf{E}_{B}$ тоже не ставят, и тогда обозначение напряженности электростатического поля **E** становится неотличимым от обозначения напряженности вихревого электрического поля, хотя физическое содержание этих двух величин совершенно различно.

Подобное создает в современной электродинамике символьную и терминологическую путаницу. Терминологическую потому, что преобразования в уравнении (5) являются не чем иным, как математическими операциями, не дающими оснований для создания не существующего физического содержания. **Логично считать электрическое поле (одну из составляющих электромагнитного поля) в любом случае потенциальным, а магнитное поле (другую составляющую электромагнитного поля) – в любом случае**

вихревым. Потому что вихревое поле не меняет своей природы от того, что из стационарного оно становится нестационарным, переменным во времени. Приведем высказывание В.Пакулина (2004): "***Электрические и магнитные поля не превращаются друг в друга. Вихревое электрическое поле − это сторонняя сила магнитного поля.***" В его работе приведено строгое математическое доказательство этих двух утверждений.

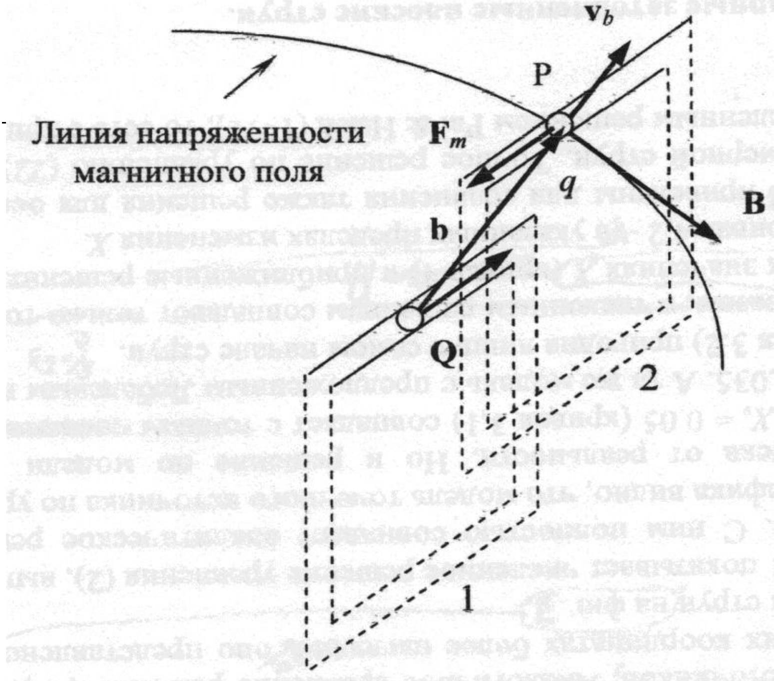
Можно применить в виде варианта терминологию, предложенную в разделе, посвященном классификации физических полей, согласно которой термин "магнитное поле" исключается совсем и **электромагнитное поле называется просто электрическим с двумя формами описания: электростатическим (потенциальным) полем и электродинамическим (вихревым) полем.**

Но в современной электродинамике предпочитают вместо реально существующей переменной напряженности магнитного поля **B** (переменной магнитной индукции) говорить о придуманной напряженности $\mathbf{E}_B$ электрического вихревого электрического поля. К этому привыкли, а от привычек отказываться трудно, даже если они ведут к неверным представлениям.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2004 Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru

7.4. Электромагнитная индукция, взаимоиндукция, самоиндукция.



В разделе, посвященном так называемому вихревому электрическому полю, показано, что ***действие переменного вихревого (магнитного) поля на неподвижный электрический заряд равносильно действию постоянного вихревого (магнитного) поля на движущийся электрический заряд***. Рассмотрим три разновидности этого действия: **электромагнитную индукцию, взаимную индукцию и самоиндукцию**, и покажем, что никакой электродвижущей силы при этом нет.

Электромагнитная индукция

На рисунке показана практически та же схема взаимодействия электрических зарядов, что и на рисунке раздела, посвященном так называемому вихревому электрическому полю. Только учтено, что электроны являются отрицательными зарядами.

Будем называть токовый контур **1 полеобразующим контуром**, а контур **2 воспринимающим контуром**. Оба контура (**1** и **2**) изображены в изометрии, их следует воспринимать перпендикулярными плоскости рисунка, тогда как радиус-вектор поля **b** и вектор напряженности вихревого поля (магнитной индукции **B**) лежат в плоскости рисунка.

И еще одна особенность данного рисунка: как полеобразующий движущийся заряд **Q** = (Q**v**) в полеобразующем контуре **1**, так и возникающий в воспринимающем контуре **2** в результате взаимодействия движущийся заряд **q** = ($q\mathbf{v}_b$), являются **контурными зарядами**. Механизм взаимодействия движущегося заряда **Q** с электроном *q* описан в разделе о взаимодействии переменного поля и заряда, здесь мы его дополнительно пояснять не будем.

При изменении значения заряда **Q** в контуре **1** магнитное поле полеобразующего контура тоже изменяется, и на отрицательный электрический заряд в воспринимающем контуре **2** (то есть на электрон проводимости *q*) начинает действовать **магнитная сила** (магнитная составляющая обобщенной силы Лоренца)

$$\mathbf{F}_m = q\,[\mathbf{b}\,(d\mathbf{B}/dt)]\ ,\ (\ 1\ )$$

заставляющая электрон *q* двигаться вдоль **воспринимающего контура**. Таким образом, в **воспринимающем контуре 2** возникает электрический ток, противоположный по направлению току в **полеобразующем контуре 1**. Это ток переменный, поскольку переменным является полеобразующий заряд **Q**.

Воздействие переменного магнитного поля на электрический токовый контур называют в физике **электромагнитной индукцией** или просто **магнитной индукцией**. Ни о какой электродвижущей силе, как показано, речь не идет. То есть нет никакой необходимости в введении понятия "ЭДС индукции", так как никакого источника электрического тока в воспринимающем контуре нет.
Правда, в термине "электромагнитная индукция" имеется терминологическая неточность. Если следовать прямому значению слова "индукция" (в переводе на русский язык "воздействие"), то по отношению к воспринимающему контуру термин "электромагнитная индукция" неверен, посколькуо магнитная сила воздействует на электрический заряд, а не наоборот. Поэтому в воспринимающем контуре **2** правильно говорить о **магнитоэлектрической индукции**.

На рисунке показан частный случай, когда оба контура изображены параллельными. Общий случай, когда контур **2** повернут относительно контура **1**, рассмотрен в разделе, посвященном понятию "ЭДС индукции".

Взаимная индукция

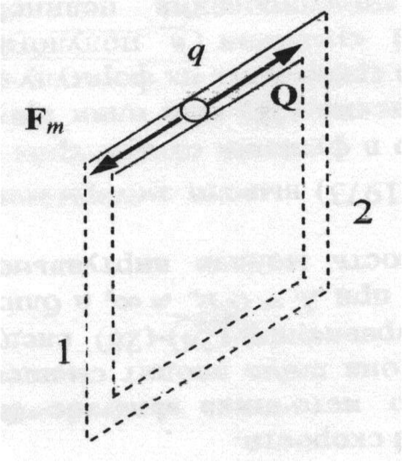
Взаимовлияние двух близко расположенных друг относительно друга токовых контуров, создающих переменные магнитные поля, называют

взаимной индукцией. С точки зрения воздействия контуров друг на друга, оба контура (**1** и **2**) являются одновременно и полеобразующими, и воспринимающими контурами.

Направления магнитных сил, воздействующих на электроны в контурах **1** и **2**, взаимно противоположны, следовательно, противоположны и направления электрических токов в контурах. Подобная взаимная противоположность носит название **правила Ленца**.

Самоиндукция

При рассмотрении электромагнитной индукции речь шла о взаимодействии различных токовых контуров в переменном магнитном поле. Но отдельно взятый токовый контур, создающий переменное поле, может взаимодействовать и с самим собой. Это явление называют **самоиндукцией**.



Представим себе, что контур, изображенный на рисунке, состоит из двух одинаковых контуров (**1** и **2**), вложенных друг в друга. Разумеется, расстояние между ними равно нулю (**b** = 0). Один из контуров (**1**) будем считать полеобразующим, а другой (**2**) – воспринимающим. Пока движущийся заряд **Q** равен нулю, никакого переменного магнитного поля не возникает, радиус-вектор **b** остается равным нулю, а контуры – совмещенными.

Любое изменение движущегося заряда **Q** (то есть **любое возникновение скорости движения электронов в контуре**) приводит к тому, что появляется переменное магнитное поле. Вследствие этого воображаемый воспринимающий контур **2** начинает как бы отодвигаться от воображаемого полеобразующего контура **1** в ту или иную сторону, и воображаемый радиус-вектор **b**, разделяющий два контура, перестает быть равным нулю. В соответствии с уравнением (1) возникает магнитная сила $\mathbf{F}_m$, которая, согласно правилу Ленца, противоположна по направлению вектору заряда **Q**. Сила $\mathbf{F}_m$ оказывает тормозящее воздействие на изменение скорости движения электрического заряда. Подобное явление и называется **самоиндукцией**.

Самоиндукция в механике

Обратим внимание на то, что в механике любое изменение скорости движения массы – это изменение гравитационного движущегося заряда. И возникающая при этом тормозящая сила инерции совершенно аналогична тормозящей магнитной силе, возникающей при движении электрического заряда. Поэтому встречающиеся иногда утверждения о том, что силы инерции являются якобы фиктивными силами, совершенно беспочвенны и основаны на игнорировании существования гравитационного вихревого поля.

*Инертность при механической форме движения – это то же самое, что самоиндукция при электрической форме движения***.**

7.5. ЭДС индукции − фиктивная физическая величина

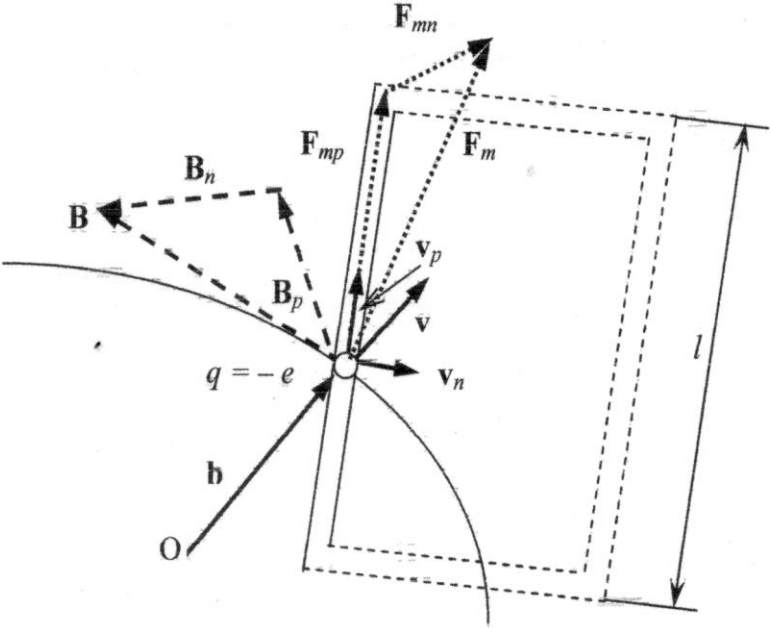
Каким образом в магнитном поле появилась ЭДС индукции (электродвижущая сила)?

В разделе, посвященной так называемому вихревому электрическому полю, указано, что его напряженность обозначается в современной электродинамике символом $\mathbf{E}_B$. Циркуляция этой напряженности приводит чисто формально к появлению на прямолинейном участке токового контура длиной l (представляемой в виде вектора $\mathbf{l}$) скалярной физической величины

$\varepsilon_{ind} = \mathbf{E}_{Bp}\,\mathbf{l}$, (1)

где $\mathbf{E}_{Bp}$ − составляющая напряженности $\mathbf{E}_B$, параллельная продольному участку контура. Величину ε_{ind} назвали в электродинамике **электродвижущей силой индукции** (сокращенно − ЭДС индукции).

Рассмотрим (см. рисунок) общий случай действия переменного магнитного поля напряженностью **B** (вектор **B** обозначен штриховой линией) на произвольно расположенный относительно направления радиус-вектора **b** токовый контур, имеющий условно прямоугольную



форму. Как было показано в разделе, посвященном переменному магнитному полю, его действие на неподвижный электрон равносильно действию постоянного магнитного поля на движущийся с переменной скоростью **v** электрон *q* (вектор **v** обозначен сплошной

линией, он в общем случае не находится в плоскости рисунка).

На рисунке вектор скорости электрона **v** перпендикулярен вектору магнитной индукции **B** и коллинеарен радиус-вектору **b**. В результате взаимодействия переменного магнитного поля и движущегося заряда **q** = (*q***v**) возникает магнитная сила $\mathbf{F}_m$ (ее вектор условно обозначен пунктирной линией, он направлен перпендикулярно плоскости, в которой расположены векторы **B** и **v**).

Составляющая напряженности $\mathbf{E}_{Bp}$ из уравнения (1) равна $[\mathbf{v}_n\ \mathbf{B}_p\ ]$. В этом векторном произведении $\mathbf{B}_p$ − составляющая магнитной индукции **B**, параллельная продольному участку контура, а $\mathbf{v}_n$ − составляющая скорости электрона, перпендикулярная продольному участку контура. Равенство $\mathbf{E}_{Bp} = [\mathbf{v}_n\ \mathbf{B}_p\ ]$ указывает на то, что величина $\mathbf{E}_{Bp}$ связана с магнитной индукцией и никакого отношения к какому бы то ни было электрическому полю не имеет.

Ввиду того, что сомножители $\mathbf{B}_p$ и $\mathbf{v}_n$ взаимно перпендикулярны, векторное произведение $[\mathbf{v}_n\ \mathbf{B}_p\ ]$ можно преобразовать в произведение модулей этих векторов. Но при этом в литературе обычно опускается нижний индекс при составляющей напряженности $\mathbf{B}_p$, то есть фактически рассматривается частный случай расположения электрического контура. И для полученной таким образом фиктивной величины − электродвижущей силы (ЭДС) индукции − в литературе приводят уравнение:

$\varepsilon_{ind} = -B\, v_n\, l$. (2)

Покажем, что между фиктивной величиной ε_{ind} и реально существующей продольной составляющей магнитной силы $\mathbf{F}_{mp}$ существует простая взаимосвязь. Но сначала покажем, как определяющее уравнение для магнитной силы $\mathbf{F}_{mp}$ путем математических преобразований становится функцией от составляющей вектора напряженности фиктивного электрического вихревого поля $\mathbf{E}_{Bp}$:

$\mathbf{F}_{mp} = [(q\mathbf{v}_n)\, \mathbf{B}_p] = q\, [\mathbf{v}_n\, \mathbf{B}_p] = q\, \mathbf{E}_{Bp}$. (3)

После умножения и деления уравнения (3) на длину прямолинейного участка проводника в виде $l = \mathbf{l}\, \mathbf{e}_l$ и последующего вынесения за скобки значения заряда электрона q можно представить составляющую магнитной силы $\mathbf{F}_{mp}$ как функцию от ε_{ind} следующим образом:

$\mathbf{F}_{mp} = \{[(q\mathbf{v}_n)\, \mathbf{B}_p] \quad \mathbf{l}\mathbf{e}_l\}/\, l = q\, \varepsilon_{ind}\, \mathbf{e}_l\, /\, l = q\, \boldsymbol{\varepsilon}_{ind}\, /\, l$. (4)

В итоге оказывается, что в последнем варианте уравнения (4) искусственно созданная величина $\boldsymbol{\varepsilon}_{ind}$ оказывается не скалярным, а векторным сомножителем продольной составляющей магнитной силы $\mathbf{F}_{mp}$. Так что называть величину $\boldsymbol{\varepsilon}_{ind}$ электродвижущей силой нельзя в принципе. Точно так же нельзя приравнивать $\boldsymbol{\varepsilon}_{ind}$ работе сил поля, как это написано в метрологическом справочнике А.Чертова (1990).

Преобразование уравнения (4) к виду

$\boldsymbol{\varepsilon}_{ind} = \mathbf{F}_{mp}\, l\, /q$, (5)

убеждает в том, что $\boldsymbol{\varepsilon}_{ind}$, как и положено противодействию инертности, является величиной векторной.

Из всего сказанного следует, что ***никакой электродвижущей силы (ЭДС) индукции в реальности нет, что это всего лишь векторный***

сомножитель реально существующей продольной составляющей магнитной силы. И эту понятийную бессистемность пора устранять.

Переход от "ЭДС индукции" к магнитному потоку

Чтобы увязать ε_{ind} с **магнитным потоком** Φ проведем некоторые математические преобразования. Предположим, что проводник токового контура проходит со скоростью $\mathbf{v}_n$ прямолинейный участок длиной d**x**. Тогда сомножитель ($v_n\, l$), вычлененный из первого варианта уравнения (4), можно записать в виде [(d**x**/dt) **l**] , где **l** – длина проводника в виде вектора. Выражение [(d**x**/dt) **l**] можно переписать в виде [**n**(dS/dt)], где dS = l dx – площадь участка, пройденного проводником, а **n** – орт направления, перпендикулярного плоскости участка, то есть параллельного составляющей вектора магнитной индукции $\mathbf{B}_n$. После подобных преобразований уравнение (5) принимает вид:

$\varepsilon_{ind} = – [(\mathbf{B}_n\, \mathbf{n}\, \mathrm{d}S)/\mathrm{d}t] = – \mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$, (6)

где Φ – поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) через площадь участка dS. И уже из уравнения (6) вытекает определяющее уравнение для магнитного потока, приведенное в справочнике А.Чертова (1990):

$\mathrm{d}\Phi = B\, \mathrm{d}S \cos\alpha$, (7)

в котором, правда, не поясняется, откуда взялся угол α. Учитывая, что B – модуль вектора **B**, а не модуль его составляющей $\mathbf{B}_n$, становится ясным и это.

Как видим, для объяснения физического содержания магнитного потока тоже нет необходимости в введении такого понятия, как "ЭДС индукции". А вот почему в уравнении (7) стоит модуль вектора магнитной индукции **B**, а не сам вектор, на этот вопрос ответа нет, это обходят стороной.

В том случае, когда магнитное поле создается катушкой с большим числом витков, то вместо производной (dΦ/dt) в уравнение (6) включается производная (dΨ/dt), где величину $\Psi = N\Phi$ называют **потокосцеплением** (N – число витков катушки). С точки зрения систематизации физических величин производные (dΦ/dt) и (dΨ/dt) идентичны.

Что такое индуктивность?

Поскольку, согласно закону Био-Савара, модуль магнитной индукции B пропорционален модулю электрического тока I в проводнике, то для определения модуля ЭДС индукции уравнение (6) записывают в современной физике в виде:

$\varepsilon_{ind} = -L(\mathrm{d}I/\mathrm{d}t)$, (8)

в котором L считают коэффициентом пропорциональности между ЭДС индукции и производной от тока по времени. И этот коэффициент называют **индуктивностью**.

С точки зрения систематизации физических величин, если участок электрической цепи представить в качестве физической системы, обладающей инертностью, то вектор $\boldsymbol{\varepsilon}_{ind}$ соответствует вектору противодействия инертности физической системы. В данном случае речь идет о противодействии участка электрической цепи стороннему энергетическому воздействию. Соответственно, индуктивность участка электрической цепи есть не что иное, как частный случай обобщенной инертности физической системы, один из трех конструктивных параметров физической системы.

7.6. Каким понятием следует заменить понятие “ток смещения”

Понятие “ток смещения” введено Д.Максвеллом. Запишем то уравнение Максвелла, в котором фигурирует понятие “ток смещения”, в тех обозначениях и определениях, которые приняты в современной физике:

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial\mathbf{D}/\partial t = \mathbf{j} + \mathbf{j}_d$, (1)

где $\mathbf{H}$ – напряженность магнитного поля сторонних зарядов; $\mathbf{j}$ – плотность электрического тока проводимости; $\mathbf{D}$ – электрическое смещение в поле сторонних зарядов; $\mathbf{j}_d$ – плотность тока смещения.

Начнем с того, что в уравнении (1) имеет место и понятийная, и символьная бессистемности. Вначале отметим, что первое слагаемое в уравнении (1) **j** не является плотностью электрического тока проводимости.

Как показано в разделе, посвященном объёмным плотностям зарядов, в уравнении (1) вместо вектора плотности тока проводимости **j** (то есть вектора электрического тока, отнесенного к площади сечения проводника) должен находиться вектор объёмной плотности связанных токовых зарядов в проводнике, обозначаемый в электромагнетизме символом **ρ**. Искусственная замена **ρ** на **j** в уравнении (1), видимо, основана в современной физике на том, что размерности этих величин одинаковы. Но равенство размерностей еще не говорит о совпадении физического содержания. В частности, указанная замена себя не оправдывает.

Обе величины: **ρ** и **j** – это удельные физические величины, а размерности удельных величин могут быть одинаковыми и при различном физическом содержании. **Фактически же замена ρ на j в уравнении (1) оказывается некорректной.** Действительно, для стационарного магнитного поля уравнение (1) должно иметь вид:

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \boldsymbol{\rho}$, (2)

а для нестационарного (переменного) магнитного поля уравнение (1) должно иметь вид:

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \boldsymbol{\rho} + \mathbf{f}(\rho, t)$, (3)

где $\mathbf{f}(\rho, t)$ – векторная функция изменения во времени объемной плотности сторонних электрических зарядов ρ в диэлектрике, окружающем проводник. Эта функция должна быть записана в уравнении (1) в виде $\mathbf{f}(\rho, t) = \partial\mathbf{D}/\partial t$. Из другого уравнения Максвелла ($\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \rho$) вытекает, что

$\mathrm{div}\,(\partial\mathbf{D}/\partial t) = \partial\rho/\partial t$. (4)

Обратное преобразование уравнения (4) приводит к уравнению

$\partial\mathbf{D}/\partial t = (\partial\rho/\partial t)\,\mathbf{e}_D$, (5)

в котором $\mathbf{e}_D$ – единичный вектор электрического смещения **D** в поле сторонних зарядов в среде, окружающей проводник. Сам Д.Максвелл в своем знаменитом "Трактате об электричестве и магнетизме" писал:

"*Изменения электрического смещения, очевидно, вызывают электрические токи. Но эти токи могут существовать лишь во время изменения смещения, а поскольку смещение не может превысить некоторой величины, не вызывая разрушительного разряда, то эти токи не могут продолжаться бесконечно в одном и том же направлении, подобно токам в проводниках*". То есть Д.Максвелл имел в виду именно переменную поляризацию диэлектрика при воздействии на него переменной составляющей электрического поля, а вовсе не электрический ток, аналогичный току проводимости.

Из уравнения (5) следует, что уравнение (3) должно иметь вид:

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \boldsymbol{\rho} + (\partial\rho/\partial t)\,\mathbf{e}_D$. (6)

Уравнение (6) и есть уточненная запись уравнения Максвелла (1), хотя она и имеет другой вид. Из уравнения (6) очевидна взаимосвязь напряженности переменного магнитного поля **H** сторонних зарядов диэлектрика, окружающего проводник, с переменной объёмной плотностью связанных токовых зарядов **ρ** в проводнике и с переменной объемной плотностью сторонних электрических зарядов ρ в диэлектрике.

В современной физике при разъяснении уравнения Максвелла (1) обычно приводят пример с зарядкой конденсатора, увязывая величину плотности тока проводимости **j** в проводнике, подключенном к обкладке конденсатора, с плотностью тока зарядки конденсатора, а величину **D** – с электрическим смещением в диэлектрике между обкладками конденсатора. **Но уравнение (6) показывает, что на самом деле речь идет о переменном изменении объёмной плотности токовых зарядов ρ в проводниках, ведущих к обкладкам конденсатора, и в самом теле обкладок, а также о переменном изменении объемной плотности статических зарядов *ρ* в диэлектрической среде между обкладками.**

То, что было названо Д.Максвеллом плотностью тока смещения является **направленным переменным изменением объемной плотности статических зарядов в диэлектрике**. Но эти изменения объемной плотности зарядов в диэлектрике нельзя назвать электрическим током, так как в диэлектрике нет электронов проводимости. Как нельзя назвать электрическим током те колебания электронов проводимости, которые сейчас неверно называют в электротехнике переменным током. Последнее поясняется в разделе, посвященном погрешностям в терминологии электродинамики. Да, конденсатор проводит электрический переменный ток, но никакие электроны проводимости через диэлектрик, разделяющий обкладки конденсатора, не текут.

Введение такого условного понятия, как “ток смещения”, лишь затуманивает физическое содержание уравнения Максвелла.

Попутно становится понятным и то, почему так называемый “ток смещения” не сопровождается выделением теплоты в соответствии с законом Джоуля-Ленца. **Ведь электрический “ток смещения” в реальности не существует, фактически в переменном магнитном поле в диэлектрике имеет место переменная поляризация диэлектрика, и поэтому диссипация энергии, если и происходит, то в соответствии с другой закономерностью.**

8. Коррекция метрологии и терминологии колебаний, волн и в квантовой оптике

8.1. Единицы частоты и фазы периодического процесса

1. Три варианта единиц частоты и фазы периодического процесса.

Терминология и метрология величин периодических процессов пришла к тому неопределенному виду, в каком она выглядит в современных стандартах, справочниках и учебниках постепенно. И основных причин этого несколько:
а) непризнание единицы угла поворота основной единицей,
б) признание лишь на словах единиц количества объектов вариантами основной единицы,
в) придание единицам величин, используемых в абстрактном методе векторных диаграмм, характера единиц реальных процессов.
Это ясно видно из таблицы 1, в которой указаны три варианта представления в СИ двух главных физических величин, характеризующих любой периодический процесс: **фазу** и **частоту**.

Таблица 1. Единицы фазы и частоты колебаний в современных стандартах.

№ вар.	**Фаза**				**Частота**			
	Термин	Символ	Размерность	Единица	Термин	Определ. уравнение	Размерность	Единица
1.	Число периодов	N	-	1	Частота колебаний	$f = N/\Delta t$	T^{-1}	с^{-1} (Гц)
2.	Один период	-	-	1	Частота колебаний	$f = T^{-1}$	T^{-1}	с^{-1} (Гц)
3.	Фаза колебаний	$\omega_0 t + \varphi_0$	-	рад	Угловая частота	$\omega_0 = \mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t$	T^{-1}	рад с^{-1}

Понятно, что наличие нескольких вариантов обозначений, определяющих уравнений и единиц для одной и той же физической величины **недопустимо**:

1. либо должен быть один вариант, и тогда следует пересмотреть метрологию периодических процессов,
2. либо признать, что разные варианты описывают разные явления,
3. либо существуют разные способы описания одного и того же явления, и это не учитывается в метрологии.

2. Комментарии к таблице единиц фазы и частоты при периодическом процессе.

Частота колебаний в любом их трех представленных вариантов имеет в СИ размерность T^{-1}. Это противоречит условию показателей степени, которое утверждает, что размерность величины не может быть равна размерности основной величины в отрицательной степени, иначе теряется смысл понятия основная величина. Указанное противоречие можно устранить лишь признанием того, что число периодов колебаний является частным случаем числа структурных элементов (количества объектов) периодического процесса, а число структурных элементов (количество объектов), как указано в Международном словаре по метрологии (JCGM 200:2012, п.1.4, прим.3), уже "можно рассматривать как основную величину в любой системе величин".

В Таблице 2 число периодов колебаний (строка 3) является частным случаем основной величины "количество считаемых величин" с символом размерности С. Частота колебаний определяется уравнением $f = N/\Delta t$, где Δt − время, за которое совершается N периодов. И тогда частота колебаний (строка 12) имеет размерность $СТ^{-1}$. Название единицы частоты колебаний должно зависеть от того, как назовут единицу одного периода колебаний: циклом или периодом. До 1960 г. единицей частоты колебаний была единица цикл $с^{-1}$, которая с 1960 г. заменена единицей Гц ($с^{-1}$).

Странно, что П.Мор и В.Филлипс (2015) из НИСТ (Национального института стандартов и технологий США) ссылаются на единицу цикл $с^{-1}$, как на единицу СИ герц, ведь единицы цикл сейчас в СИ нет. И уж совсем неверно их утверждение, что герц можно рассматривать как эквивалент оборота в секунду, так как, во-первых, не всякое колебание относится к вращательному движению и, во-вторых, современная СИ не рекомендует использовать единицу оборот. Никаких конкретных предложений по модификации СИ в этом плане эти авторы не приводят.

Частота колебаний в СИ при одной и той же размерности $Т^{-1}$ имеет несколько разных названий, что послужило причиной говорить о многоликости частоты колебаний в СИ. Но эта многоликость частоты является следствием многоликости **фазы колебаний**. Именно фаза колебаний трактуется в СИ в трех разных вариантах, показанных в таблице 1:

1. в виде **целого числа периодов** колебаний N за рассматриваемый интервал времени Δt ;

2. в виде **одного отдельно взятого периода** колебаний, причем в СИ под словом "период" понимается не структурный элемент периодического процесса, а длительность периода T, измеряемая в секундах; термин "**длительность периода**" совершенно необоснованно сокращен до одного слова "период", хотя период − это физическая величина, структурный элемент периодического процесса;

3. в виде **нецелого числа** ($\omega_0 t + \varphi_0$), где ω_0 названа в СИ **угловой частотой**, а φ_0 назван **начальной фазой** (частью периода), хотя на самом деле ω_0 − это не частота колебаний, а угловая скорость вращения радиус-вектора на векторной диаграмме, а φ_0 − это начальный угол поворота радиус-вектора. Именно замена фазы колебаний углом поворота радиус-вектора привела к появлению единицы **радиан** для описания колебательного процесса. Даже в тех случаях, когда при колебаниях нет никакого вращательного движения.

Различие в вариантах, представленных в таблице 1, состоит в том, что рассматриваются разные способы описания периодического процесса.

Описывается либо **непрерывный периодический процесс**, при котором одно колебание может делиться на любые доли, либо **квантуемый периодический процесс**, при котором нет никаких колебаний, а имеет место эмиссия (испускание) элементарных частиц (квантов) с определенной частотой испускания частиц (строка 13 Таблицы 2). То есть каждый факт испускания (строка 2 Таблицы 2) частиц рассматривается как один структурный элемент процесса испускания, не являющегося, строго говоря, периодическим процессом, ибо промежутки времени между фактами испускания не одинаковы. Поэтому в строке 13 Таблицы 2 рассматривается среднестатистичекое значение частоты испускания с другой единицей, а именно: квант $с^{-1}$. В дальнейшем, видимо, единицы период и квант будут заменены на единицу считаемых величин с обобщенным названием.

Проанализируем последовательно все три варианта представления фазы и частоты колебаний в Таблице 1 с указанием присущей каждому варианту особенности. Причем определения последних двух вариантов мы будем цитировать по метрологическому справочнику А.Чертова (1990).

3. Частота квантуемого периодического процесса.

Первый вариант таблицы 1 рассматривает **квантуемый периодический процесс**. В нем учитывается только целое число периодов колебаний или число фактов испускания частиц N, прошедшее за соответствующий им интервал времени Δt. Частотой в данном варианте является отношение **числа периодов** колебаний (числа квантов) к отсчитанному интервалу времени Δt . Начальная фаза в этом варианте не рассматривается вообще. Число квантов можно считать также и **числом испусканий** частиц в единицу времени и также рассматривать, как **число структурных элементов** периодического процесса.

При применении метода векторных диаграмм, отображенного в третьем варианте Таблицы 1, фаза колебаний включает в себя целое число кругов, описанных радиус-вектором на ортогональной плоскости координат (на векторной диаграмме). И речь идет в этом методе об угловой скорости радиус-вектора, которую совершенно неверно назвали в СИ **угловой частотой** (строка 15 Таблицы 2). Отсюда и произошел не рекомендуемый в СИ термин – **круговая частота** колебаний. С применением понятия “цикл колебаний“ (от греческого слова “kiklos”, то есть круг, оборот) и единицы измерений **цикл** связано применение еще одного термина (**циклическая частота** колебаний), также не рекомендуемого в СИ.

Применительно к вращению радиус-вектора на векторной диаграмме для подсчета числа его полных оборотов можно было бы применить единицу “**оборот**” (об). Но эта единица в СИ не рекомендуется.

4. Последствия игнорирования единицы количества объектов в периодических процессах.

Второй вариант таблицы 1 связан с отказом от применения для числа периодов колебаний не только своей собственной единицы, но и вообще каких-либо единиц. В стандарте ГОСТ 7601-78, применяемом для электромагнитных колебаний, приведено такое определение частоты колебаний: “*Частота колебаний – величина, обратная периоду*”. Хотя правильно было бы написать: **“величина, обратная длительности периода”.** Естественно, что согласно такому определению единица частоты во втором варианте оказалась равной $с^{-1}$. Период колебаний определен по этому стандарту, как “*интервал времени, в течение которого фаза гармонических колебаний изменяется на 2π*”. Но в определении частоты колебаний, приведенном в стандарте ГОСТ 7601-78, об интервале времени ничего не говорится.

В определении ГОСТ 7601-78 объединены два принципиально разные понятия: “**период колебаний**” и “**длительность периода колебаний**”. **Период колебаний – это структурный элемент периодического процесса, а длительность периода - это интервал времени**. Упразднение слова “длительность” недопустимо. Лишь для длительности всего периодического процесса естественны размерность Т и единица секунда. А длительность одного периода должна иметь размерность $C^{-1}T$ и единицу $пер^{-1}$ с (или $цикл^{-1}$ с), то есть промежуток времени, за который происходит один период колебаний. Величина, обратная длительности периода колебаний, и есть частота колебаний с размерностью CT^{-1} и единицей пер $с^{-1}$ (или цикл $с^{-1}$).

Что касается термина "период", так это одно из названий единицы самостоятельной физической величины, которая в последней редакции Международного метрологического словаря JCGM 200:2012 называется number of entities, что в русском переводе словаря звучит, как количество объектов, хотя точнее это переводится как количество сущностей. В статье П.Мора и В.Филлипса (2015) указывается на то, что количество объектов является частным случаем обобщеннй величины количество считаемых объектов.

В стандарте ГОСТ 7601-78 отсутствует внутренняя логика. В нем при определении частоты колебаний, как величины, обратной периоду колебаний, исчезло физическое содержание самой частоты колебаний. Осталась только словесная формулировка, из которой исчезло упоминание о ”числе периодов”. Правда, при этом исчезла и необходимость придумывать причины, по которым в СИ отказано в легитимации таким единицам, как период и оборот.

Нечто похожее сохранилось лишь в терминах ”период обращения” и ”частота обращения”, сохранившихся в астрономии и в атомной физике. **Там под частотой обращения понимают число оборотов в одну секунду.** Например, в уравнении для определения орбитального момента электрона в физике применяют понятие частоты обращения электрона по орбите v, измеряемой в об $с^{-1}$. Но при этом указывают, что единица об $с^{-1}$ считается устаревшей.

В квантуемом периодическом процессе нет колебаний, следовательно, не должно быть таких понятий, как частота колебаний, число периодов колебаний и длительность одного периода. Они должы быть заменены средней частотой испускания частиц (строка 13 Таблицы 2), числом испущенных частиц (строка 4) и интервалом времени между испусканиями отдельных частиц. При этом частота испускания и интервал времени между испусканиями определяются по их среднестатистическим значениям за весь цикл испускания.

Жаль, что в квантовой оптике и при других более высокочастотных процессах применяется та же терминология, что и при колебаниях. **Спектр электромагнитного излучения должен быть ограничен по частоте инфракрасным излучением. А видимый свет, рентгеновское излучение и γ-излучение - это уже квантуемые периодические процессы, и к ним уже больше подходит термин "испускание" или "эмиссия" частиц.** Это заметил М.Планк еще в самом начале XX века, но физика до сих пор не желает поменять терминологию.

5. Недостатки метода векторных диаграмм при описании периодического процесса.

Третий вариант таблицы связан с математической интерпретацией гармонических колебаний с помощью **метода векторных диаграмм**. В этом методе используется мысленное равномерное вращение на плоскости ортогональных координат радиус-вектора, значение которого соответствует значению амплитуды гармонических колебаний, а фаза гармонических колебаний интерпретируется, как угол поворота этого радиус-вектора. При такой интерпретации проекция конца радиус-вектора на координатную ось совершает линейное перемещение в соответствии с уравнением гармонических колебаний:

$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, (1)

где A – **амплитуда колебаний**;
x – текущее значение колеблющейся величины, пропорциональное амплитуде колебаний;
$(\omega_0 t + \varphi_0)$ – **фаза** гармонических колебаний, равная углу поворота радиус-вектора;
ω_0 – угловая скорость вращения радиус-вектора, называемая **угловой частотой** гармонических колебаний (называется также **собственной частотой** осциллятора);
φ_0 – **начальная фаза колебаний**, равная начальному углу поворота радиус-вектора.

Именно вследствие общепринятой в современной физике интерпретации колебаний и волн методом векторных диаграмм вращательная форма движения повсеместно причисляется к периодическим процессам (например, П.Мор и В.Филлипс, 2015), хотя это принципиально неверно.

Приведенное И. Коганом уравнение (1) отличается от аналогичного уравнения гармонических колебаний, приведенного в стандарте ГОСТ 7601-78, только наличием нижнего индекса "$_0$" у частоты и начальной фазы. В различных учебниках и справочниках этот индекс то применяется, то отсутствует. Чаще всего отсутствует. П.Мор и В.Филлипс (2015) не заметили эту символьную бессистемность, указав на то, что ω понимается как частота в единицах рад с$^{-1}$. Именно на этом базируется их вывод о том, что герц не является когерентной единицей в СИ.

Нижний индекс "$_0$" обязательно следует применять, чтобы отличать друг от друга разные величины: физическую величину ω, как угловую скорость вращающегося тела, от математической величины ω_0 , как угловой частоты вращения радиус-вектора, а также чтобы отличать реальный угол поворота φ вращающегося тела от абстрактного угла поворота φ_0 радиус-вектора на векторной диаграмме.
Объединять гармонические колебания с вращательной формой движения нельзя. Ведь **колебания могут быть любой природы, в том числе и**

прямолинейные (например, звуковые), которые исключают вращение. (Лишь при крутильных колебаниях, связанных с вращательным движением тела, угол поворота тела может интерпретироваться как фаза колебаний, а угловая скорость тела – как угловая частота.)

Само понятие “**угловая частота**” заслуживает того, чтобы его анализу была посвящен отдельный раздел. И лишь после такого анализа можно будет показать, как система величин ЭСВП, предлагаемая в данной работе, приводит в порядок ситуацию с многоликостью частоты и фазы колебаний. Объединенная Таблица 2 показывает принципиальное различие между единицами величин периодических процессов в СИ и в системе величин ЭСВП.

6. Выводы из рассмотрения периодических процессов.

1. Следует различать **непрерывный периодический процесс**, в котором число периодов *N* является нецелым числом и учитывается начальная фаза колебаний, от **квантуемого периодического процесса**, то есть процесса, в котором учитывается только целое число квантов испускания частиц *N*, и, следовательно, понятие "фаза" отсутствует.

2. Число периодов является частным случаем основной величины под названием **число структурных элементов** (количество считаемых величин) с размерностью С и единицей, название которой существует пока в разных вариантах, из которых для колебаний целесообразно применять единицу пер (период) или цикл, а для процесса периодического испускания частиц целесообразно применять единицу квант.

3. Частота колебаний должна определяться, исходя из **целого числа периодов** колебаний, и иметь размерность $СТ^{-1}$ и единицу пер $с^{-1}$ или цикл $с^{-1}$, которой может соответствовать единица Гц (герц). Частота испускания частиц должна определяться, исходя из **целого числа испускаемых частиц**, и иметь размерность $СТ^{-1}$ и единицу квант $с^{-1}$, которой только условно может соответствовать единица Гц (герц).

4. Единицей величины под названием ”**период**” ни в коем случае не должна быть секунда. Та величина, которую в современной физике называют периодом колебаний, фактически является **длительностью периода**, то есть величиной, обратной частоте колебаний, и, следовательно, длительность периода колебаний должна иметь размерность $С^{-1}Т$ и единицу $пер^{-1}$ с.

5. Для квантуемых периодических процессов единственным из трех рассмотренных в таблице 1 вариантов, имеющим реальное физическое содержание, является первый вариант этой таблицы.

6. Второй вариант таблицы 1 следует отвергнуть, как лишенный физического содержания в соответствии с п.4 настоящих выводов.
7. Третий вариант таблицы 1 должен рассматриваться как интерпретация непрерывного периодического процесса **абстрактным** математическим методом, удобным для теоретических выкладок, но лишенным физического содержания.

7. Таблица 2. Обобщенная таблица единиц величин периодических процессов.

№	**Название величины**	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
		Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
1	Период колебаний	T	с	-	пер (период)
2	Факт испускания частицы	-	-	-	квант
3	Число периодов колебаний	-	-	N	пер
4	Число испускаемых частиц	-	-	N	квант
5	Длительность периодического процесса	Δt	с	Δt	с
6	Длительность одного периода	-	-	$T = \Delta t/N$	с пер$^{-1}$
7	Средний интервал времени между испусканием частиц	-	-	$\langle T \rangle = \Delta t/N$	с квант$^{-1}$
8	Угол поворота радиус-вектора на диаграмме	φ	рад	φ_0	об (оборот)
9	Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме	$\omega = \mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t$	рад с$^{-1}$	$\omega_0 = \mathrm{d}\varphi_0\,/\mathrm{d}t$	об с$^{-1}$
10	Период гармонич. колебаний	ωt	рад	$\omega_0\, t$	об
11	Фаза гармонических колебаний	$\omega t + \varphi$	рад	$\omega_0\, t + \varphi_0$	об

12	Частота колебаний	f	с$^{-1}$	f	пер с$^{-1}$ (Гц)
13	Средняя частота испускания частиц			$<f>$	квант с$^{-1}$
14	Размерный коэффициент	2π	-	2π	об пер$^{-1}$
15	Угловая частота (Круговая частота) (Циклическая частота)	$\omega = 2\pi f$	рад с$^{-1}$	$\omega_0 = 2\pi f$	об с$^{-1}$

Литература

1. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.:Высшая школа, 336 с.
2. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition, 2008 version with minor corrections. http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf
3. Русский перевод JCGM 200:2012 МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО МЕР И ВЕСОВ, ОБЪЕДИНЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО РУКОВОДСТВАМ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ. Международный словарь по метрологии.
4. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.

8.2. Термин ”угловая частота” некорректен

1. Определения и обозначения угловой частоты.

Приведем уравнение гармонических колебаний, приведенное в разделе, посвященном частоте колебаний, и применяемое при математической интерпретации колебательного процесса методом векторных диаграмм:

$x = A\cos(\omega_0\, t + \varphi_0\,)$. (1)

Величины, входящие в уравнение (1), необходимо обязательно снабжать нижними индексами ”$_0$”, чтобы отличать их от других величин, применяемых в механике и обозначаемых теми же символами. В механике ω и φ - это реальные физические величины, применяемые во вращательной форме движения, а в уравнении (1) ω_0 и φ_0 применяются при математической интерпретации гармонических колебаний путем вращения радиус-вектора на координатной плоскости (на векторной диаграмме) с угловой скоростью ω_0 . Причем интерпретируемые колебания не обязательно должны быть связаны с вращением тела.

Анализ единиц аргумента тригонометрической функции в уравнении (1) показывает, что если угол поворота радиус-вектора φ_0 измеряется в радианах, то угловая скорость радиус-вектора ω_0 , называемая **угловой частотой**, должна измеряться в рад $с^{-1}$. Если же для угловой частоты применять единицу $с^{-1}$, то это приводит к несоблюдению правила размерностей в аргументе тригонометрической функции.

Проанализируем имеющиеся определения **угловой частоты**. Согласно БСЭ – это ”*число полных колебаний, совершающихся при периодическом колебательном процессе за 2π единиц времени*”. Это определение относится к **непрерывному периодическому процессу**, охарактеризованному в разделе, посвященном частоте колебаний. Но при этом не учитывается начальная фаза колебаний. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) определение **угловой частоты** иное, чем в БСЭ, – это ”*производная по времени от фазы гармонических колебаний, равная частоте колебаний f, умноженной на 2π*”. Это определение иллюстрируется уравнением (1), причем между угловой частотой ω_0 вращения радиус-вектора и собственной частотой колебаний f_0 реального осциллятора устанавливается взаимосвязь в виде уравнения

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \,. \quad (2)$$

Как видим, приведенные два определения угловой частоты не совпадают друг с другом. Само уравнение (2) верно в СИ лишь в том случае, если частота колебаний f_0 имеет единицу $с^{-1}$, а число π имеет единицу радиан, хоть оно и считается безразмерным в СИ. Только при этих условиях правило размерностей в уравнении (2) соблюдается.

А теперь возьмем за основу определение из БСЭ и будем считать (как это принято в системе величин ЭСВП), что число периодов колебаний является частным случаем числа структурных элементов (количества считаемых величин), которое согласно Международному метрологическому словарю JCGM 200:2012, может быть признано основной величиной, имеет в системе величин ЭСВП свою размерность C и единицу период. Тогда частота колебаний f_0 должна иметь размерность CT^{-1} и единицу пер $с^{-1}$, а число π в этом случае для соблюдения правила размерностей должно иметь размерность AC^{-1} и единицу об $пер^{-1}$ (это соответствует в СИ единице рад $пер^{-1}$). О подобных размерности и единице говорится в разделе, посвященном фундаментальной константе 2π.

2. Для какой цели введен термин ”угловая частота”?

Вопрос 1. Нормально ли, что одним и тем же символом ω обозначаются в физике угловая частота колебаний, угловая скорость вращающегося тела, частота колебаний электромагнитного излучения и частота переменного тока, а нижний индекс ”$_0$” то применяется, то нет?

Конечно, нет запрета к применению одинаковых символов для разных физических величин. Но в данном случае речь идет о слишком часто применяющихся физических величинах, причем это происходит в одних и тех же учебниках, иногда даже через несколько страниц одно от другого. В подобных случаях символика у разных величин должна быть разной, чтобы не запутать читателя. Хотя бы индексами должна какими-нибудь отличаться.

В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1) для угловой частоты колебаний применяется символ ω_0 , а для частоты колебаний символ f_0. Но в том же самом учебнике нижний индекс ”$_0$” постепенно и незаметно теряется. Та же история наблюдается и во многих других учебниках и справочниках. И не всегда при этом понятно, что же, собственно, обозначается символом ω. Для учебника такой процесс потери индекса недопустим даже больше, чем для справочника.

В некоторых книгах для обозначения собственной частоты колебаний применяют другую букву. Например, в теории автоматического регулирования собственную частоту колебаний обозначают иногда символом p. Это, возможно, лучше, чем добавлять индекс ”$_0$” к ω.

При переходе к изучению волнового движения, электромагнитного излучения и атомной физики из термина ”угловая частота колебаний” незаметно исчезает слово ”угловая”, остается просто ”частота колебаний” (или ”частота излучения”). И приходится задумываться, о какой же частоте идет речь: об абстрактной угловой скорости радиус-вектора ω_0 или о реальной собственной частоте осциллятора f_0 . Особенно трудно определиться, когда в тексте говорится о частоте колебаний, но отсутствует символ, обозначающий эту частоту.

Вопрос 2. Зачем понадобилось вообще добавлять к термину ”частота колебаний” слово ”угловая”? Ведь ни в одном из двух приведенных выше определений угловой частоты нет ни слова о вращении тела и о связанной с этим угловой скорости тела.

При чтении первоисточников складывается впечатление, что совпадение символов угловой скорости и угловой частоты колебаний не случайно. Случается встретить и такое определение угловой частоты: ”*Угловая частота – это модуль векторной величины угловая скорость*”. Или даже такое: ”*Термин вектор угловой частоты* **ω** *используется как синоним векторной величины угловая скорость*”. Ясно, что авторы таких определений либо не понимают разницы между угловой скоростью радиус-вектора, как математической величины, применяемой в методе векторных диаграмм для исследования периодического процесса, и угловой скоростью тела, как физической величины, характеризующей реальный процесс однонаправленного вращения тела, либо не желают вникнуть в суть дела. Жаль, что подобное встречается не так уж редко.

3. Термин "угловая частота" - следствие замены физики математикой.

Частичный ответ на оба поставленных выше вопроса заключается в том, что гармонические колебания математически интерпретируются с помощью **метода векторных диаграмм**. В этом методе используется мысленное равномерное вращение на координатной плоскости радиус-вектора, значение которого соответствует значению амплитуды гармонических колебаний, а фаза гармонических колебаний интерпретируется, как угол поворота этого радиус-вектора. При такой интерпретации проекция конца радиус-вектора на координатную ось совершает линейное перемещение в соответствии с уравнением (1). При этом становится безразличным, какую физическую природу имеют интерпретируемый периодический процесс.Интерпретируется таким образом и квантуемый периодический процесс испускания частиц, при котором вообще нет никаких колебаний.

В методе векторных диаграмм вращающийся на координатной плоскости радиус-вектор не является физической величиной, и при переходе от процесса гармонических колебаний физической величины к математической интерпретации периодического процесса следует это учитывать и объяснять, а делается это далеко не всегда. В результате не учитывается, что колеблющаяся физическая величина может иметь любую размерность, в то время как длина радиус-вектора на плоскости является математической величиной, интерпретирующей амплитуду колебаний, но не заменяющей ее.

Возможно, имеется еще одна причина возникновения термина ”угловая частота колебаний”, уже чисто метрологическая. В СИ у частоты колебаний и у угловой частоты размерность одна и та же – T^{-1}, а вот единицы почему-то разные: c^{-1} и рад c^{-1}. Может быть, авторы стандартов решили различать в СИ эти две величины хотя бы разной записью единиц?

Итак, сформулируем кратко наши ответы на поставленные выше два вопроса.

Ответ на первый вопрос: положение, когда одним и тем же символом ω обозначаются несколько хоть и родственных, но разных по природе понятий, а ситуация с применением нижнего индекса ”$_0$” не зафиксирована стандартом, ненормально. Задача метрологов и педагогов: навести в этом вопросе порядок.

Ответ на второй вопрос: термин ”угловая частота” при определении частоты колебаний указывает на применение метода векторных диаграмм при математической интерпретации процесса колебаний физической величины любой природы. Никакого отношения к реальной угловой скорости вращающегося тела этот термин не имеет.

Пока не заметно, чтобы кто-то был этим озабочен. В частности, практикуемая в электротехнике запись значений реактивных сопротивлений в цепях переменного тока в виде $X_C = 1/(\omega C)$ и $X_L = \omega L$, где C – ёмкость, а L – индуктивность цепи, должна быть заменена, так как никакой угловой скорости ω в цепи переменного тока нет, там ничего не вращается. Правильной будет запись $X_C = 1/(2\pi fC)$ и $X_L = 2\pi fL$, где f – частота переменного тока, измеряемая в Гц. Это необходимо сделать потому, что при изучении электрических машин действительно приходится иметь дело с угловой скоростью ω якоря (ротора) электрической машины, а она численно и по содержанию далека от угловой частоты переменного тока ω_0 .

И еще. Собственная частота осциллятора иногда записывается в виде $\omega_0 = (D/I)^{½}$ или в виде $\omega_0 = (CI)^{-½}$, где D – жесткость, C – ёмкость, I – инертность осциллятора. Такая запись неверна, так как анализ размерностей показывает, что в этом случае размерность ω_0 равна T^{-1}, а единица равна c^{-1}, что противоречит стандарту для угловой частоты ω_0 в СИ, где единица угловой частоты ω_0 равна рад c^{-1}.

Можно, конечно, в соответствии с уравнением (2) поделить ω_0 на выражение 2π, которое в СИ безразмерно, и получить собственную частоту осциллятора в виде f_0 с размерностью T^{-1} и единицей $с^{-1}$, но тогда получится, что у собственной частоты колебаний и угловой частоты колебаний одни и те же размерность и единица. Зачем же тогда было вводить разные термины?

В системе величин ЭСВП эта неопределенность снимается введением для <u>числа структурных элементов</u> при рассмотрении периодических процессов размерности С, как для <u>количества считамеых величин</u>. В соответствии с этим при применении метода векторных диаграмм <u>число 2π</u> получает размерность AC^{-1} и единицу об $пер^{-1}$. Это в дальнейшем обеспечивает переход от метода векторных диаграмм к реальным периодическим процессам. А собственная частота колебаний получает размерность CT^{-1} и единицу пер $с^{-1}$, соответствующую единице Гц.

4. Бессистемность порождает неопределенность.

Остается невыясненным такой вопрос: как быть с аргументом тригонометрической функции в уравнении гармонических колебаний (1)? В справочнике по математике И.Бронштейна и К.Семендяева (1986) сказано: ”*Область определения тригонометрических функций состоит из множества действительных чисел*”. О том, должны ли эти числа отражать числовые значения безразмерных или размерных физических величин, в определении тригонометрических функций не сказано ничего. Но поскольку аргументом тригонометрических функций является угол, то при интерпретации этими функциями физических явлений их аргументом должен становиться <u>угол поворота</u> независимо от того, имеет ли он размерность и единицу измерений (как в системе величин ЭСВП) или имеет только единицу измерений (как в СИ).

Заметим попутно, что в таблицах тригонометрических функций (см., например, тот же справочник И.Бронштейна и К.Семендяева, 1986) аргументы тригонометрических функций представлены не в радианной, а в градусной мере. А в этом случае исчезает единица радиан и вместе с ней вся путаница с размерностями и единицами.

В некоторых работах (например, у И.Дружинского, 1977, П.Пирната, 2005) пытаются выйти из запутанного положения тем, что в качестве единицы измерений угловой частоты применяют единицу 1/с. Но из контекста подобных первоисточников не всегда бывает сразу понятно, что надо подразумевать под 1 (то ли оборот, то ли радиан).

В работе Брянского Л.Н., Дойникова А.С., Крупина Б.Н. (1999) для оправдания этой путаницы приведен веский аргумент такого рода: ”*Все и так всё понимают*”. Этот и предыдущий раздел показывают, что, скорее всего, все всё зазубрили и привыкли к существующему положению дел. А вот когда начинаешь анализировать, то сложившаяся ситуация как раз и становится трудно понимаемой и просит о наведении какого-нибудь порядка.

В разделе, посвященном понятийной бессистемности, говорится о том, какой вред может принести при преподавании физики применение математических абстракций, если на это при обучении не обращается внимание, а также чем чревата символьная бессистемность. В данном разделе это проиллюстрировано наглядно.

Литература

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13 изд., М.: Наука, Физматгиз, 544 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, 4, с.с. 48-50.
3. Дружинский, И.А., 1977, Механические цепи. – М.: Изд-во Машиностроение.
4. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
5. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
6. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt
7. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition.

8.3. Размерности и единицы частоты, амплитуды и числа периодов колебаний

Процесс колебаний характеризуют **шесть физических величин**: **амплитуда колебаний, частота колебаний, фаза колебаний, длительность периода колебаний, число периодов и время.** И только одна из этих величин – время, имеющая в СИ размерность (T) и единицу (с), не вызывает возражений. Размерности и единицы остальных пяти величин нуждаются в изменении. Как показано в разделе, посвященном единицам фазы и частоты колебаний, название величины "длительность периода" сокращено в современной физике до одного слова "период", хотя на самом деле период колебаний имеет совсем не ту размерность, что длительность периода. Размерность частоты колебаний в СИ считают обратной размерности времени, то есть равной Т$^{-1}$, хотя в том же_ разделе показано, что подобная размерность не имеет права на существование. По поводу размерностей остальных трех физических величин (амплитуды колебаний, фазы колебаний и числа периодов) в современной метрологии определенности пока нет. Не разграничены метрологически процесс реальных колебаний и его математическая интерпретация − вращение радиус-вектора на координатной плоскости в методе векторных диаграмм.

Размерности и единицы числа периодов и длительности одного периода

Число периодов колебаний в роли координаты состояния колебательной формы движения было введено впервые И.Коганом (1993, приложение IV), для чего и была тогда предложена единица измерений пер (период) для числа периодов колебаний.

В системе величин ЭСВП число периодов колебаний является частным случаем основной величины, называемой числом структурных элементов (количеством считаемых величин), и имеет размерность С. Для единицы этой величины еще не определено название, в литературе имеется много разных названий этой единицы, например, шт (штука), кв (квант). Но в периодических процессах удобнее использовать название пер (период).

Применяемый в современной физике термин "период" ассоциируется на слух с применяемым в СИ термином "период колебаний". **Но в СИ величина "период колебаний" отражает на самом деле вовсе не период, а длительность одного периода.** Длительность периода как раз и равна промежутку времени, приходящемуся на один период колебаний. То, что называют в современной физике периодом, на самом деле следует именовать **длительностью периода**, которая должна иметь размерность С$^{-1}$Т и не единицу секунда, а единицу с пер$^{-1}$, что и будет отражать длительность одного периода.

Размерности и единицы фазы и частоты колебаний в методе векторных диаграмм

Отличительная особенность **метода векторных диаграмм**, применяемого при анализе колебаний, заключается в том, что полная фаза колебаний (суммарный угол поворота радиус-вектора на векторной диаграмме) включает в себя **начальную фазу** φ_0 (начальный угол поворота радиус-вектора). Это означает, что численное значение фазы колебаний в методе векторных диаграмм является нецелым числом. Число периодов колебаний рассматривается здесь лишь как число полных оборотов радиус-вектора на векторной диаграмме. При расчете частоты колебаний начальная фаза не учитывается.

В СИ угол поворота отдельной размерности не имеет, точнее, имеет размерность 1, хотя при этом имеет единицу радиан. Поэтому в СИ размерности для угловой частоты колебаний, угловой скорости вращения радиус-вектора и частоты колебаний совпадают, все они равны T^{-1}. Различие между указанными двумя математическими величинами (угловая частота и угловая скорость вращения радиус-вектора) и одной физической величиной (частота колебаний) можно заметить в СИ, лишь анализируя единицы этих величин, и то не всегда.

Различие между размерностями и единицами всех этих величин в системе величин ЭСВП и в СИ показано в конце раздела в таблице, подробно разъясняемой в разделе о частоте колебаний.

В системе величин ЭСВП в случае применения метода векторных диаграмм угол поворота радиус-вектора имеет размерность А и единицу оборот. В разделе об угловой частоте показано, что эта искусственно введенная математическая величина в ЭСВП отсутствует. Вместо нее рассматривается угловая скорость радиус-вектора с размерностью AT^{-1} и единицей об c^{-1}.

Размерности и единицы числа периодов и частоты колебаний без учета начальной фазы

При расчете частоты колебаний начальная фаза колебаний не учитывается, рассматривается только целое число периодов колебаний. **Частотой колебаний** в этом случае считается отношение числа периодов к интервалу времени, соответствующему этому числу. Метод векторных диаграмм при этом может не применяться.

Число периодов колебаний в СИ размерности не имеет в отличие от системы величин ЭСВП, где оно имеет размерность С. Поэтому и длительность периода в ЭСВП имеет размерность $С^{-1}Т$ и единицу $пер^{-1}$ с, в отличие от размерности Т и единицы секунда в СИ. Применение в ЭСВП числа периодов, как частного случая основной величины - "количества считаемых величин" - придает анализу периодических процессов простоту и ясность.

Частота колебаний в ЭСВП имеет размерность $СТ^{-1}$ и единицу пер $с^{-1}$. Тем самым устраняется попутно и нарушение в СИ условия показателей степени, заключающегося в том, что ни одна физическая величина не должна иметь размерность основных физических величин только в отрицательной степени. В СИ это условие не согласуется с размерностью $Т^{-1}$. В системе величин ЭСВП размерность $Т^{-1}$ отсутствует, имеется либо размерность $СТ^{-1}$ при квантуемом периодическом процессе, либо размерность $АТ^{-1}$ применительно к вращению радиус-вектора в методе векторных диаграмм. (Единица Гц соответствует единице пер $с^{-1}$, а не единице $с^{-1}$, как это принято в СИ).

Размерность амплитуды колебаний

Амплитуда колебаний *A* присутствует в уравнении гармонических колебаний

$\xi = A \cos(2\pi ft + \varphi_0)$, (1)

где ξ носит название **колебательного смещения**, а f – частота гармонических колебаний. Однако не следует считать, что речь идет только о линейном смещении в метрах, в роли амплитуды колебаний может выступать любая физическая величина со своей единицей. Поэтому при использовании метода векторных диаграмм можно пользоваться понятием **обобщенной амплитуды колебаний**, при рассмотрении которой можно абстрагироваться от формы движения, в которой происходят колебания. Это означает, что размерность колебательного смещения ξ равна размерности амплитуды колебаний *A*. Как показано в разделе, посвященном обобщенным производным величинам, если речь идет о колебаниях обобщенной координаты состояния, система величин ЭСВП имеет для нее обобщенную размерность K.

Что касается размерности конкретной амплитуды колебаний, то она может быть равна, например, размерности линейного перемещения тела при продольных или поперечных колебаниях, при крутильных колебаниях − размерности угла поворота колеблющегося тела, при переменном электрическом токе − размерности электрического заряда и т.д. Если речь идет о колебаниях обобщенной разности потенциалов **∆P**, то размерность ее амплитуды колебаний может быть равна, например, при продольных или поперечных колебаниях − размерности силы, при крутильных колебаниях − размерности вращающего момента, при переменном электрическом токе − размерности разности электрических потенциалов на зажимах проводника и т.д. Чтобы различать колебания обобщенной координаты состояния от колебаний обобщенной разности потенциалов, частоту колебаний обобщенной координаты состояния в методе векторных диаграмм обозначают символом ω_0 , а частоту колебаний обобщенной разности потенциалов обозначают символом Ω_0

Из уравнения (1) не удается сделать вывод о размерности обобщенной амплитуды колебаний. Такой вывод можно сделать, продифференцировав уравнение (1) по времени. Мы получаем определяющее уравнение для **колебательной скорости** $d\xi/dt$:

$$d\xi/dt = -\ 2\pi f_0 A \sin(2\pi f t + \varphi_0\ ) \ . \ (\ 2\ )$$

Из уравнения (2) после анализа размерностей в системе величин ЭСВП следует, что при размерности собственной частоты колебаний f_0 , равной CT^{-1}, и при размерности колебательной скорости $d\xi/dt$, которая равна $T^{-1}K$, где K - обобщенная размерность координаты состояния, размерность амплитуды колебаний A становится равной $C^{-1}K$. Например, при колебаниях в прямолинейной форме движения обобщенная размерность K = L. И тогда при единице частоты колебаний, равной пер c^{-1}, и единице колебательной скорости, равной м c^{-1}, единица амплитуды колебаний равна м $пер^{-1}$, а вовсе не метр, как это принято сейчас считать. На этот нетривиальный вывод обращено особое внимание в разделе, посвященном волновому движению.

Обобщенная таблица единиц величин периодических процессов

№	**Название величины**	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
		Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
1	Период колебаний	T	с	-	пер (период)
2	Факт испускания частицы	-	-	-	квант

3	Число периодов колебаний	-	-	N	пер
4	Число испускаемых частиц	-	-	N	квант
5	Длительность периодического процесса	Δt	с	Δt	с
6	Длительность одного периода	-	-	$T = \Delta t/N$	с пер$^{-1}$
7	Средний интервал времени между испусканием частиц	-	-	$<T> = \Delta t/N$	с квант$^{-1}$
8	Угол поворота радиус-вектора на диаграмме	φ	рад	φ_0	об (оборот)
9	Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме	$\omega = \mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t$	рад с$^{-1}$	$\omega_0 = \mathrm{d}\varphi_0 /\mathrm{d}t$	об с$^{-1}$
10	Период гармонич. колебаний	ωt	рад	$\omega_0\, t$	об
11	Фаза гармонических колебаний	$\omega t + \varphi$	рад	$\omega_0\, t + \varphi_0$	об
12	Частота колебаний	f	с$^{-1}$	f	пер с$^{-1}$ (Гц)
13	Средняя частота испускания частиц			$<f>$	квант с$^{-1}$
14	Размерный коэффициент	2π	-	2π	об пер$^{-1}$
15	Угловая частота (Круговая частота) (Циклическая частота)	$\omega = 2\pi f$	рад с$^{-1}$	$\omega_0 = 2\pi f$	об с$^{-1}$

Литература

1. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.

8.4. Единицы длины волны и волнового числа

1. Принципиальное различие между непрерывным и квантуемым периодическими процессами.

В разделе, посвященном анализу единиц величин периодических процессов, указано на необходимость устранения нечеткости и даже некорректности как в терминологии, так и в метрологии периодических процессов. Такая же необходимость существует и относительно терминологии и метрологии волнового движения, об этом говорится также в статье И.Когана (2011).

Распространение волн является **непрерывным периодическим процессом**, в котором **число периодов** *N* является целым числом, но учитывается также и **фаза волны**. Поэтому к процессу рапространения волн относятся все те выводы, которые были сделаны в разделе, посвященном единицам фазы и частоты колебаний. **К непрерывному периодическому процессу относятся радиоволны, СВЧ-излучение, инфракрасное излучение, а верхней его границей является так называемая красная граница фотоэффекта. Видимый свет относится уже к квантуемому периодическому процессу, так как представляет собой процесс испускания и перемещения фотонов**.

При периодическом испускании частиц интервал времени между испусканиями является случайной величиной. Поэтому все закономерности гармонических колебаний, интерпретируемые методом векторных диаграмм, при применении их к квантуемому периодическому процессу относятся к нему лишь формально. **Видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение, γ-излучение волновыми процессами не являются.**

2. Корпускулярно-волнового дуализма не существует.

Объединенная интерпретация излучения волн и процесса испускания частиц с помощью вращения радиус-вектора в ортогональной плоскости векторной диаграммы является абстрактным математическим методом, лишенным физического содержания, хотя и удобным для теоретических выкладок. Использование метода векторных диаграмм в случае квантуемого периодического процесса вследствие очень большого количества частиц и использования среднестатистических значений частоты испускания частиц дает при экспериментах результаты, совпадающие с результатами использования волновой теории. И это как бы легализует применение понятия "**корпускулярно-волновой дуализм**", которого на самом деле не существует, так как **излучение волн и испускание частиц являются различными по природе физическими явлениями.**

Некоторые физики это понимают и дают иное объяснение явлениям дифракции и интерференции при движении частиц, чем этим явлениям при движении волн (например, В.Пакулин, 2012). Однако вследствие результативности применения метода векторных диаграмм большинство физиков не обращает на это внимание, и во всех справочниках и учебниках к квантуемому процессу применяется терминология волнового излучения. Для этого и придумано понятие "корпускулярно-волновой дуализм", под которое даже подводится философское объяснение. Вот как это звучит в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990): "*Волновой и квантовый (корпускулярный) способы описания света не противоречат, а взаимно дополняют друг друга, так как свет одновременно обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами. Он представляет собой диалектическое единство этих противоположных свойств*". **Как будто и не было в начале XX века другого толкования М.Планка.**

Современная физика признает, что естественные источники испускания частиц не обладают ни временной, ни пространственной когерентностью, и что применимость волновой теории экспериментально подтверждается лишь вследствие очень большого значения частоты испускания частиц и применения статистических методов исследования. В Википедии даже сказано, что корпускулярно-волновой дуализм представляет собой лишь исторический интерес, но при преподавании физики об этом, как правило, пока не говорят.

Испускание частиц является случайным процессом, что подтверждено опытом Боте, и поэтому частота испускания частиц является величиной среднестатистической в отличие от частоты гармонических колебаний. И поскольку испускание частиц не является волновым процессом, к нему не применимо понятие "**длина волны**". **То расстояние, под которым сейчас понимается длина волны при квантуемом периодическом процессе, является расстояние, пройденное частицей с момента ее испускания до момента испускания следующей аналогичной частицы.** Назовем эту среднестатистическую величину условно **длиной испускания частицы** и будем обозначать ее символом $<\lambda>$.

В современной физике длина испускания частицы соответствует **длине волны де Бройля**, хотя при изложении квантовой оптики указывается **на вероятностный, а не волновой характер процесса испускания**. Но при этом используется исключительно терминология, применяемая для волновых процессов. Небольшое изменение символики (вместо λ применяется $<\lambda>$), предложенное И. Коганом и показанное в Таблице в конце раздела, позволило бы всегда напоминать об истинном положении дел.

3. Каковы размерность и единица у длины волны и у волнового числа?

При рассмотрении волнового движения в физике используются **понятия бегущей волны и фронта волны**. Поскольку бегущая волна имеет направленность, в физике введено понятие “**волновой вектор**“, перпендикулярный фронту волны и обозначаемый символом **k**. Модуль волнового вектора называют **волновым числом** k и записывают в виде

$k = 2\pi/\lambda$, (1)

где λ − **длина волны**, определяемая в СИ уравнением

$\lambda = h/p = 2\pi\hbar/p$, (2)

где h - постоянная Планка; $\hbar$ - редуцированная постоянная Планка; p - импульс частицы. Заметим, что термин "волновое число" нельзя признать удачным. Число не имеет размерности, и поэтому слово "число" обычно применяется в названиях критериев подобия, например, квантовое число, число Маха и другие критерии подобия, но исправлять эту терминологическую ошибку уже поздно.

Размерность длины волны считается в современной физике равной L, а единица − равной метру. Поэтому размерность волнового числа в СИ согласно уравнению (1) равна L^{-1}, а единица равна $м^{-1}$. Но это противоречит условию показателей степени, согласно которому размерность физической величины не может быть только размерностью основной величины в отрицательной степени. Это условие детально обосновано в работах И.Когана (2011, 2014, 2015). Причина этой ошибки в том, что волновое движение интерпретируется в современной физике математически вращением радиус-вектора на векторной диаграмме и тем, что в СИ отсутствует единица для количества считаемых объектов.

В системе величин ЭСВП это противоречие устраняется тем, что размерность числа π при использовании метода векторных диаграмм принимается равной AC^{-1} с единицей об квант$^{-1}$, имея в виду, что единица квант относится к числу волн, а единица оборот относится к вращению радиус-вектора. То есть коэффициент 2π становится размерным коэффициентом. И тогда правило размерностей, примененное для уравнения (1), устанавливает для длины волны λ другую размерность $L^{-1}C$ и другую единицу м квант$^{-1}$, а не метр. Соответственно, размерность волнового числа k при использовании метода векторных диаграмм становится равной $L^{-1}A$, а единица равной об м$^{-1}$, а не м$^{-1}$.

Размерность волнового числа, равная $L^{-1}A$, и единица об м$^{-1}$ подтверждаются анализом размерностей известного в физике уравнения

$k = \omega_0 / v_{ph}$, (3)

где v_{ph} – фазовая скорость волны с размерностью LT^{-1} и единицей м с$^{-1}$; ω_0 – угловая скорость вращения радиус-вектора на векторной диаграмме с размерностью AT^{-1} и единицей об с$^{-1}$. Физическое содержание длины волны λ при единице м квант$^{-1}$ становится предельно ясным: это именно длина одной волны или длина цуга волн, деленная на число волн.

Если бы в физике не пользовались методом векторных диаграмм, то не было бы необходимости устанавливать размерность для числа π. И тогда размерность волнового числа k стала бы равной $L^{-1}C$, как и полагается, а единица − равной квант м$^{-1}$. А волновое число k приняло бы ясное физическое содержание числа волн, приходящихся на один метр длины. Отсутствие такой ясности сейчас − это цена, которую приходится платить за удобство применения математического метода векторных диаграмм и за нежелание пояснять ситуацию при преподавании.

4. Путаница в единицах волнового числа

В атомной физике (**в спектроскопии**) применяют другое волновое число, обозначаемое ν' и определяемое уравнением

$\nu' = 1 / \lambda = \omega_0 / 2\pi c$, (4)

где ω_0 - угловая частота (угловая скорость радиус-вектора), а c - скорость света. Таким образом, одним и тем же термином (волновое число) называют сейчас в физике две разные величины, имеющие разную природу, определяемые по разным уравнениям и имеющие разные обозначения. Единица волнового числа в квантовой оптике, определенная в СИ по уравнению (4) и равная рад м$^{-1}$, не соответствует единице м$^{-1}$, определяемой по уравнению (1). Учитывая, что в квантовой оптике речь идет о потоках частиц, а не о потоках волн, единицу волнового числа в квантовой оптике следует записывать в виде квант м$^{-1}$ при размерности $L^{-1}C$ в системе величин ЭСВП. И это соответствует единице волнового числа, приведенной в конце предыдущего раздела.

Чтобы избежать путаницы в терминологии и символике, следует различать единицы волнового числа в акустике k и в спектроскопии ν'. Можно было бы, например, говорить об **акустическом волновом числе** k и о **спектральном волновом числе** $\langle\nu'\rangle$, имея в виду, что спектральное волновое число имеет среднестатистическое значение.

Размерности и единицы волнового числа <u>при использовании метода векторных диаграмм</u> в СИ представлены в таблице, которая подтверждает необходимость введения в спектроскопии размерного коэффициента 2π с единицей квант рад$^{-1}$.

Таблица волновых чисел в СИ

Символ	Формула			Размерность		Единица	
	Общая	**в акустике**	**в оптике и спектроскопии**	**в СИ**	**должна быть**	**в СИ**	**должна быть**
k	$2\pi/\lambda$	$k = \omega_0 / v_{ph}$	-	L^{-1}	$L^{-1}A$	м$^{-1}$	рад м$^{-1}$
ν'	$1/\langle\lambda\rangle$	-	$\langle\nu'\rangle = \omega_0 / 2\pi c$	L^{-1}	$L^{-1}N$	м$^{-1}$	квант м$^{-1}$

5. Путаница в единицах постоянной Ридберга.

Постоянная Ридберга R, одна из важнейших фундаментальных физических констант, определяется в физике двумя разными уравнениями, и в зависимости от этого она имеет разные единицы.

В учебнике по физике И.Савельева (2005) согласно боровской теории водородного атома физическое содержание постоянной Ридберга соответствует частоте испускаемых фотонов. Но постоянная Ридберга приравнивается абстрактной угловой частоте ω_0 , и поэтому должна иметь единицу рад с$^{-1}$. Но в данном случае единица радиан почему-то не признается, и единица постоянной Ридберга записывается равной $с^{-1}$.

В СИ постоянная Ридберга имеет единицу $м^{-1}$, то есть единицу спектрального волнового числа $<\nu'>$. Однако в статье П.Мора и В.Филлипса (2015) постоянная Ридберга имеет единицу рад $м^{-1}$, что, как видно из Таблицы волновых чисел, совпадает с единицей акустического волнового числа k. Поскольку постоянная Ридберга всё же соответствует частоте испускания фотонов, то, согласно Таблице волновых чисел, она должна иметь единицу квант $м^{-1}$.

6. Существуют ли волны де Бройля?

Л. де Бройль предложил в 1924 г. рассматривать движение любых частиц в виде процесса распространения волн. Подобное предложение изначально утверждало наличие корпускулярно-волнового дуализма. Казалось бы, с его отрицанием пора бы уже отнести к истории и волны де Бройля, но этого не происходит. Слишком привыкли физики к замене длины испускания частицы $<\lambda>$ длиной несуществующей волны де Бройля λ, определяемой согласно уравнению (2).

Согласно уравнению во второй строке Таблицы волновых чисел длина испускания частиц $<\lambda>$ должна определяться уравнением

$$<\lambda> = 1/<\nu'> = 2\pi c/\omega_0 , \quad (5)$$

где c – скорость света, интерпретируемая как скорость фотонов. В этом случае значение волнового числа k тоже должно являться среднестатистическим и определяться формулой

$$<k> = \omega_0 /c , \quad (6)$$

аналогичной формуле (4). И тогда единица $<k>$ становится равной рад $м^{-1}$ в полном соответствии с Таблицей волновых чисел.

7. Какова единица аргумента косинуса в уравнении бегущей волны?

Рассмотрим выражение для аргумента тригонометрической функции в уравнении бегущей волны

$$\xi = A \cos(\omega_0 t - kx + \alpha) , \quad (7)$$

где ξ – колебательное смещение частицы среды; ω_0 – угловая скорость вращения радиус-вектора; α – начальная фаза колебаний. Вместо начальной фазы φ_0 , присутствующей в уравнении гармонических колебаний, в уравнении (5) присутствует фаза волнового движения ($-kx + \alpha$).

Если бы волновое число k имело бы единицу рад м$^{-1}$, то все слагаемые аргумента тригонометрической функции в уравнении (7) имели бы в СИ одну и ту же единицу радиан. Но поскольку в СИ волновое число имеет единицу м$^{-1}$, то второе слагаемое аргумента kx единицы не имеет (точнее, имеет единицу, равную 1). И это второе слагаемое kx, не имеющее своей единицы, складывается с первым и третьим слагаемыми, имеющими единицу радиан. Приходится только недоумевать по поводу того, как можно было при создании соответствующего стандарта СИ не заметить, что **аргумент тригонометрической функции не подчиняется правилу размерностей**. Конечно, радиан в СИ является единицей безразмерной величины, но тогда зачем применять единицу радиан в ω_0 и α?

Следует отметить, что при рассмотрении продольных волн в упругой среде наличие угловой частоты вращения ω_0 и размерного множителя 2π свидетельствует тоже лишь о математической интерпретации прямолинейного движения продольных звуковых волн с помощью вращения радиус-вектора в методе векторных диаграмм. И поэтому при преподавании этого раздела необходимо обязательно указывать на факт подмены прямолинейного движения звуковой волны вращением радиус-вектора и объяснять суть этой интерпретации. Хотя бы для того, чтобы пояснить, откуда взялась угловая частота вращения при описании волнового числа у продольных звуковых волн, движущихся прямолинейно.

8. Необходимые изменения в описании процесса испускания частиц.

В теории упругости и в акустике процесс распространения волн является **непрерывным периодическим процессом**, при котором каждая волна считается структурным элементом процесса движения волн. В методе векторных диаграмм полное число оборотов радиус-вектора на векторной диаграмме, измеряемого в СИ в радианах, можно также считать числом структурных элементов, единица которого 1 оборот. Эта единица соответствует единице 1 структурного элемента квантуемого периодического процесса, называемой квантом.

При использовании метода векторных диаграмм для интерпретации процесса испускания частиц следует рассматривать не привычное волновое число k, а среднестатистическое **волновое число** $<k>$, определяемое по уравнению

$<k> = N /<\lambda>$, (8)

где N – число квантов, а $<\lambda>$ – среднестатистическая длина испускания частиц, соответствующая конкретной природе процесса испускания. Соответственно, волновое число $<k>$ должно иметь размерность $L^{-1}C$ и единицу квант $м^{-1}$ (а не об $м^{-1}$, как у обычного волнового числа k), а длина испускания частиц $<\lambda>$ должна иметь размерность LC^{-1} и единицу м $квант^{-1}$. Физическое содержание $<\lambda>$ также становится ясным, в квантовой оптике под ней понимается длина испускания фотона.

Размерность числа волн (или числа квантов) равна размерности числа структурных элементов N вне зависимости от того, рассматривается ли одиночная волна, солитон, частица или волновой пакет (цуг волн, поток частиц). При таком подходе размерность волнового числа (как $<k>$, так и k) равна $L^{-1}C$, и его единицей является квант $м^{-1}$, но только не $м^{-1}$. При этом волновое число следует понимать как число волн, приходящееся на один метр, или как число частиц, приходящееся на один метр.

Размерность волнового числа $<k>$ отличается от размерности волнового числа k лишь тем, что вместо размерности угла поворота радиус-вектора А на векторной диаграмме применена размерность числа частиц N. Волновое число $<k>$ может также определяться уравнением

$<k> = <f>/c$, (9)

где $<f>$ – среднестатистическая частота испускания фотонов с единицей квант $с^{-1}$. Уравнение (9) существенно изменяет содержание уравнения (7) применительно к квантовой оптике. Следует говорить в этом случае не о колебательном смещении ξ, а о среднестатистическом смещении частицы $<\xi>$. И мы приходим к записи уравнения бегущей волны в таком виде:

$<\xi> = A> \cos(<f>t - <k>x)$. (10)

В отличие от уравнения (7) в этом уравнении отсутствует начальная фаза, потому что в квантуемом процессе фаза не рассматривается. Второе слагаемое аргумента тригонометрической функции в уравнении

(10) имеет размерность С и единицу квант. Чтобы при этом выполнялось правило размерностей, первое слагаемое аргумента тоже должно иметь единицу квант. Это и происходит, если единица частоты при квантуемом периодическом процессе $<f>$ имеет единицу квант $с^{-1}$, а не единицу рад $с^{-1}$ угловой частоты ω_0 .

Для большей наглядности представим в табличной форме формулы для определения длины волны при квантуемом процессе и квантового волнового числа, а также их размерности и единицы.

Символ	**Формула**			**Размерность**		**Единица**	
	Общая	**в акустике**	**в оптике**	**в СИ**	**в ЭСВП**	**в СИ**	**в ЭСВП**
λ	-	$\lambda = v_{ph} / f$	$<\lambda> = c /<f>$	L	LC^{-1}	м	м квант$^{-1}$
k	$1/\lambda$	$k = f /v_{ph}$	$<k> = <f>/c$	L^{-1}	$L^{-1}C$	$м^{-1}$	квант $м^{-1}$

9. Особенности метрологии стоячих волн.

В стоячих волнах **число полных волн** N и **число полуволн** $N_s = 2N$ необходимо обозначать по-разному. Необходимо также отличать **длину волны** $\lambda = l/N = 2l /N_s$ от **длины полуволны** $\lambda_s = l/2N = l/N_s$. При расчете стоячих волн длина l – это **длина пакета стоячих волн** (например, длина вибрирующей струны), измеряемая в метрах (в отличие, например, от длины волны $<\lambda>$, измеряемой в м квант$^{-1}$). Соответственно, длина пакета волн равна

$$l = N \lambda_N = 2N \lambda_s = N_s \lambda_s , (11)$$

собственная частота стоячих волн, измеряемая в квант $с^{-1}$, равна

$$f_0 = v_{ph} /\lambda = v_{ph} N /l = v_{ph} N_s /2l , (12)$$

а волновые числа, измеряемые в квант $м^{-1}$, равны для полных волн

$$k = 1/\lambda = N /l = N_s /2l (13)$$

и для полуволн

$k_s = 1/\lambda_s = 2N/l = N_s/l$. (14)

10. Обобщенная таблица величин колебаний и волн.

Примечание: Единицей одной волны в таблице считается 1 квант.

№	**Название величины**	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
		Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
1	Число волн	-	-	N	квант
2	Число испускаемых частиц	-	-	N	квант
3	Время перемещения одной волны	-	-	$T = \Delta t/N$	с квант$^{-1}$
4	Средний интервал времени между испусканием частиц	-	-	$<T> = \Delta t/N$	с квант$^{-1}$
5	Угол поворота радиус-вектора на диаграмме	φ	рад	φ_0	об (оборот)
6	Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме	$\omega = \mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t$	рад с$^{-1}$	$\omega_0 = \mathrm{d}\varphi_0/\mathrm{d}t$	об с$^{-1}$
7	Период гармонич. колебаний	ωt	рад	$\omega_0 t$	об
8	Фаза гармонических колебаний	$\omega t + \varphi$	рад	$\omega_0 t + \varphi_0$	об
9	Частота	f	с$^{-1}$	f	квант с$^{-1}$

	прохождения волн				
10	Средняя частота испускания частиц	-	-	$\langle f \rangle$	квант с$^{-1}$
11	Длина волны при волновом процессе	$\lambda = v_{ph} / f$	м	$\lambda = v_{ph} / f$	м квант$^{-1}$
12	Длина волны при испускании частиц	$\lambda = c / f$	м	$\langle \lambda \rangle = c / \langle f \rangle$	м квант$^{-1}$
13	Волновое число при волновом процессе	$k = 1/\lambda = f / v_{ph}$	м$^{-1}$	$k = 1/\lambda = f / v_{ph}$	квант м$^{-1}$
14	Волновое число при испускании частиц	$k = 1/\lambda = f / c$	м$^{-1}$	$\langle k \rangle = 1/\langle \lambda \rangle = \langle f \rangle / c$	квант м$^{-1}$
15	Размерный коэффициент	2π	-	2π	об квант$^{-1}$

Литература

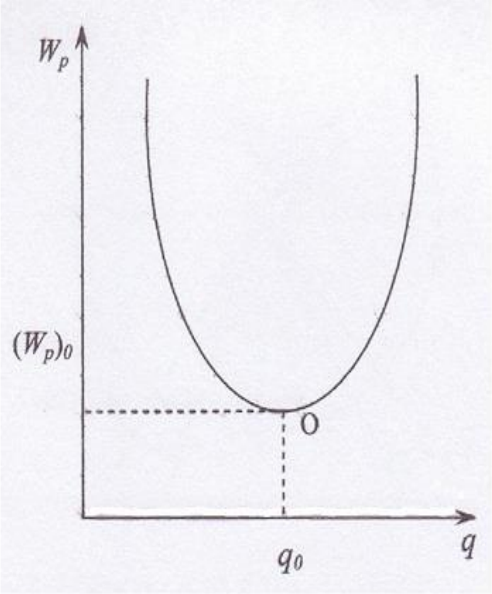
1. Коган И.Ш., 2011, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, 6, с.с. 12-18.
2. Коган И.Ш., 2011, Физическая величина не должна иметь единицу м$^{-1}$ или с$^{-1}$ – “Законодательная и прикладная метрология, 5, с.с. 43-49.
3. Kogan J., September 2014. An Alternative Path to a New SI (Part 1. On Quantities With Dimension One). – MetrologyBytes.net. p. 20
4. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 29-42
5. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). Кн.5. – М.: АСТ: Астрель
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:

Наука, Физматгиз, 624 с.
6. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015. Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.

8.5. Уравнения колебаний и волн

Как выводится уравнение колебаний системы?

Колебания системы возникают при выведении системы из положения устойчивого равновесия, при котором система находится в так называемой **потенциальной яме**, иллюстрируемой на рисунке графиком изменения **потенциальной энергии** системы W_p в зависимости от изменения координаты состояния q любой формы движения.



Если зависимость $W_p\ (q)$ имеет характер, показанный на рисунке, то изображенная область этой зависимости носит название **потенциальной ямы,** а зависимость в точке О с координатами $(W_p\ )_0$ и q_0 имеет минимум.

Разлагая функцию $W_p\ (q)$ в ряд в точке О и ограничиваясь тремя первыми членами разложения, получим уравнение

$$W_p\ (q) = (W_p\ )_0 + (\mathrm{d}W_p\ /\mathrm{d}q)_0\ q + (\mathrm{d}^2W_p\ /\mathrm{d}q^2)_0\ q^2/2\ .\ (\ 1\ )$$

Перенеся в левую часть $(W_p\ )_0$, приняв, что $W_p\ (q) - (W_p\ )_0 = \mathrm{d}W_p$ и учтя, что в точке О функция $W_p\ (q)$ имеет минимум и, следовательно, $(\mathrm{d}W_p\ /\mathrm{d}q)_0 = 0$, а также обозначив $(\mathrm{d}^2W_p\ /\mathrm{d}q^2)_0$ символом D, придем к уравнению

$$\mathrm{d}W_p = D\ q^2/2\ .\ (2)$$

В разделе, посвященном приращениям энергии, показано, что коэффициент D является **жесткостью системы** в рассматриваемой форме движения.

Если перейти к изменению энергообмена dW, то в разделе, посвященном уравнению состояния, показано, что величина $\Delta P = \mathrm{d}W/\mathrm{d}q$ называется **разностью потенциалов** между системой и окружающей средой. А в разделе, посвященном уравнению переходного процесса, приведено обобщенное уравнение динамики системы с применением параметров системы:

$$D\,\Delta q + R\,(\mathrm{dq}/\mathrm{d}t) + I\,(\mathrm{d}^2q/\mathrm{d}t^2) = -\,\Delta P\ ,\ (\ 3\ )$$

где R – **сопротивление системы**, I – **инертность системы**, а t – время.

Уравнение динамики (3) является уравнением, описывающим поведение системы после ее выведения из состояния устойчивого равновесия. В зависимости от соотношения значений **параметров системы** D, R и I система может возвратиться в состояние устойчивого равновесия плавно или после колебаний относительно равновесного состояния. Таким образом, уравнение динамики (3) можно считать также и **уравнением колебаний** системы.

Классификация колебаний системы

Если после выведения системы из положения устойчивого равновесия разность потенциалов ΔP становится равной 0, то уравнение (3) будет описывать **свободные колебания** системы относительно положения равновесия.

Если разность потенциалов ΔP является функцией типа $\Delta P = \Delta P_{max} \cos 2\pi ft$, где f − частота колебаний разности потенциалов, то уравнение (3) будет описывать **вынужденные колебания**.

Если сопротивление $R = 0$, то уравнение (3) будет описывать **незатухающие колебания**, если $R > 0$, − то **затухающие колебания**.

Если частота колебаний разности потенциалов f совпадет с собственной частотой колебаний системы f_0 , то наступает **резонанс колебаний**.

Применение уравнения колебаний скрывает физическое содержание колебаний

В современной физике уравнение колебаний принято записывать в виде

$d^2q/dt^2 + 2\beta\ (dq/dt) + \omega_0^2\ q = f(t)$, (4)

где $2\beta = R/I$, $\omega_0^2 = D/I$, а $f(t) = \Delta U/I$. Величину β называют **коэффициентом затухания**, а величину ω_0 – **угловой (круговой, циклической) частотой** колеблющейся системы. Причина разных названий для одной и той же величины ω_0 поясняется в разделе, посвященном единице частоты колебаний. **Уравнение (4) имеет обобщенный характер записи и приемлемо для любой формы движения.**

Проанализируем различие между уравнениями (3) и (4). То, что последовательность расположения слагаемых в левой части уравнений противоположна с точки зрения расположения производных разного порядка, не существенно, хотя, с точки зрения физики, запись уравнения (3) более логична. Гораздо существеннее то, что обе части уравнения (4) поделены на инертность *I*, как показано в начале предыдущего абзаца. В результате этого вторая производная по времени оказалась с коэффициентом пропорциональности, равным 1. Да и третье слагаемое в уравнении динамики (3) со второй производной по времени есть не что иное, как запись второго закона Ньютона. А в уравнении (4) это слагаемое оказалось первым и без коэффициента, то есть без указания на инертность колеблющейся системы.

Для механической прямолинейной формы движения уравнение (4) записывают в виде

$d^2x/dt^2 + 2\beta\ (dx/dt) + \omega_0^2\ x = f(t)$, (5)

применяя для обозначения координаты состояния символ x. Тогда коэффициенты записываются так: $2\beta = r/m$, $\omega_0^2 = k/m$, где k – жесткость, r – сопротивление, а m – масса. Решение уравнения (5) включает в себя тригонометрическую функцию и имеет вид:

$x = A\cos(\omega_0\, t + \varphi_0\,)$, (6)

где A – длина радиус-вектора, пропорциональная реальной **амплитуде колебаний**;

$\omega_0 t$ – число полных углов поворота радиус-вектора, равное реальному **числу периодов колебаний**;
φ_0 – начальный угол поворота радиус-вектора, равный **начальной фазе** колебаний.

Применение уравнения колебаний при описании волнового движения

Уравнение (6) называется в физике **уравнением гармонических колебаний**. Похожий вид имеет решение уравнения колебаний (5) при волновом движении, но при этом дополнительно учитывается смещение центра координат векторной диаграммы в направлении движения волны с фазовой скоростью v. Суммарное смещение проекции конца радиус-вектора обозначается символом ξ и определяется уравнением

$$\xi = A \cos(\omega_0 t - kx + \alpha) , (7)$$

где $k = \omega_0 / v$ – **волновое число**; α – начальная фаза колебаний. Уравнение (7) отличается от уравнения (6) лишь формой представления начальной фазы колебаний. Вместо φ_0 присутствует $(- kx + \alpha)$. Если волна распространяется в произвольном направлении (в частности, если это сферическая волна), то уравнение (7) имеет вид:

$$\xi = (A/r) \cos(\omega_0 t - \mathbf{kr} + \alpha) , (8)$$

где $\mathbf{k}$ – волновой вектор; $\mathbf{r}$ – радиус-вектор точки на поверхности фронта волны, проведенный из точечного источника колебаний.

При $r \rightarrow 0$ значение амплитуды (A/r) устремляется к бесконечности, что служит обычно основанием для того, чтобы говорить о неприменимости уравнения (8) при $r \rightarrow 0$. Но на самом деле это говорит об абстрактности предположения о существовании точечного источника. Современные теории строения вещества и поля, развитые в работах В.Пакулина (2010), О.Репченко (2008), В.Ацюковского (2003), указывают на то, что источники сферических волн имеют хоть и малые, но конечные размеры, и что амплитуды в непосредственной близости от этих источников имеют очень большие, но не бесконечно большие значения, быстро уменьшающиеся по мере роста модуля волнового вектора r.

Следует иметь в виду, что уравнения (6-8) приобретают физическое содержание только после того, как приобретают физическое

содержание величины x, ξ и A. Они могут отражать любую физическую величину, а не только длину.

Размерности величин в уравнении колебаний

Проведем анализ размерностей уравнений (3) и (4), пользуясь размерностями в системе величин ЭСВП. В разделах, посвященных основным величинам и условным основным величинам, приведены символы размерностей энергии ($\dim W = \mathrm{E}$), обобщенной координаты состояния ($\dim q = \mathrm{K}$) и времени ($\dim t = \mathrm{T}$).

Разность потенциалов и параметры формы движения в уравнении (3) имеют такие размерности:
$\dim \Delta\mathbf{P} = \mathrm{EK}^{-1}$, $\dim D = \mathrm{EK}^{-2}$, $\dim R = \mathrm{EK}^{-2}\mathrm{T}$, $\dim I = \mathrm{EK}^{-2}\mathrm{T}^{-2}$.

В уравнении (4) в результате деления на инертность I разность потенциалов и коэффициенты при слагаемых левой части имеют совершенно другие размерности: $\dim f(t) = \mathrm{KT}^{-2}$, $\dim \beta = \mathrm{T}^{-1}$, $\dim \omega_0^2 = \mathrm{T}^{-2}$. Как видим, и коэффициент затухания β, и частота ω_0 оказались с одной и той же размерностью (T^{-1}), что противоречит условию показателей степени, согласно которому основная величина не может иметь размерность в отрицательной степени при отсутствии размерностей других основных величин. Причины возникновения подобной некорректности детально проанализированы в разделе, посвященном термину "угловая частота".
С точки зрения физики величина ω_0 никакой частотой колебаний не является. **Она применяется в математическом методе векторных диаграмм, в котором обозначает абстрактную величину − угловую скорость вращения радиус-вектора на плоскости ортогональной системы координат.** Просто запись уравнения колебаний в виде уравнения (4) очень удобна для применения теории линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и теории функций комплексного переменного. Опять математика затушевывает физику.
При преподавании раздела «Колебания и волны» следует обязательно разъяснять причины замены уравнения колебаний (3) уравнением (4) и причины введения абстрактных математических величин, не имеющих физическое содержание и корректные размерности.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
3. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерия, 320 с.

8.6. Тепловое излучение (физические величины)

Разнобой в обозначениях, размерностях и единицах физических величин теплового излучения

При изучении раздела физики «Тепловое излучение» бросается в глаза разнобой в обозначениях физических величин в различных первоисточниках. Автор проанализировал этот раздел в двух популярных справочниках (по метрологии и по физике) и двух популярных учебниках по физике, их список приведен в конце раздела.

Например, объемная плотность энергии излучения обозначается символом U_e в [3], w – в [5] и u – в [1], правда, в [3] указывается, что символ w относится только к звуковому излучению. Энергетическая светимость тела обозначается символом M_e в [3], $R_э$ – в [5], R – в [1] и R_T – в [2]. Плотность потока энергии (вектор Умова) в разделе «Тепловое излучение» обозначается символом **j** в [1], **U** – в [5] и отсутствует в [3], зато появляется в разделе «электромагнитные волны» уже под названием вектор Пойнтинга в [2] и [3], обозначается символом **S** и определяется по другому уравнению. Хотя **тепловое излучение – это те же электромагнитные волны**. Всё это не так уж и безобидно.
Для оказания помощи тем, кто работает с физическими величинами теплового излучения, особенно студентам-заочникам, И. Коган свёл все основные величины раздела, их размерности и единицы в СИ в одну таблицу.
Параллельно с этим И. Коган привел размерности этих же величин в системе величин ЭСВП. Читатели могут убедиться в том, что некоторые величины, которые в СИ имеют одинаковые размерности и одинаковые единицы (хотя должны были бы иметь разные), в ЭСВП имеют разные размерности и единицы.
Заметим также, что размерность массы М из СИ смотрится, как

чужеродный элемент, с точки зрения процесса теплового излучения, поскольку к волнам не применяют понятие массы. и поэтому единицы величин теплового излучения в СИ овершенно не совпадают с размерностями тех же величин в СИ. Зато применяемые единицы практически совпадают с единицами из системы величин ЭСВП. И это является признанием преимущества системы величин ЭСВП по сравнению с СИ.

Таблица физических величин теплового излучения

Примечание к таблице: Единица числа волн записывается как 1 кв (квант).

Физические величины	**Обозначение и формула**	**Размерность**		**Единица**	
		в **СИ**	в **ЭСВП**	в **СИ**	в **ЭСВП**
Энергия излучения	W_e	L^2MT^{-2}	E	Дж	Дж
Объём, заполненный излучением	$V_{sp} = 4\pi r^3/3$	L^3	L^3	м^3	м^3
Объёмная плотность энергии излучения	$w_e = dW_e /dV_{sp}$	$L^{-1}MT^{-2}$	EL^{-3}	Дж м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$
Средняя объёмная плотность энергии излучения в функции от угловой частоты ω_0 (Интенсивность волны)	$w_{em} = \rho A^2\omega_0^2/2$ ρ – плотность среды A −амплитуда волны	$L^{-1}MT^{-2}$	EL^{-3}	Дж м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$
Поток лучистой энергии (Поток теплового излучения)	$\mathbf{\Phi}_e = (dW_e /dt)\mathbf{n}$ **n** – орт нормали к фронту волны.	L^2MT^{-3}	ET^{-1}	Вт	Дж с$^{-1}$
Площадь поверхности фронта волны Площадь участка поверхности фронта волны в пределах телесного угла Ω	$S_{sp} = 4\pi r^2$ $S_\Omega = r^2\Omega$	L^2	L^2 L^2A^2	м^2 м^2 ср	м^2 м^2 об^2
Объёмная плотность потока энергии	$\mathbf{j}_e = d\mathbf{\Phi}_e /dV_e$	$L^{-1}MT^{-3}$	$EL^{-3}T^{-1}$	Вт м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$ с$^{-1}$
Плотность потока энергии в пределах телесного угла Ω	$j_\Omega = cu(T)\Omega/4\pi$	MT^{-3}	$EL^{-2}A^2T^{-1}$	Вт м$^{-2}$ ср	Дж м$^{-2}$ об^2 с$^{-1}$

Плотность потока энергии (Вектор Умова)		$\mathbf{j} = d\mathbf{\Phi}_e /dS_\Omega$ $\mathbf{j} = w_{em}\mathbf{v}$	MT^{-3}	$EL^{-2}T^{-1}$	Вт м$^{-2}$	Дж м$^{-2}$ с$^{-1}$
Сила излучения		$\mathbf{I_e} = d\mathbf{\Phi}_e /d\Omega$	$L^{2}MT^{-3}$	$EA^{-2}T^{-1}$	Вт ср$^{-1}$	Дж об$^{-2}$ с$^{-1}$
Равновесная плотность энергии теплового излучения в абсолютно черном теле		$w(T) = dW_e /dV_{sp}$	$L^{-1}MT^{-2}$	EL^{-3}	Дж м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$
её спектральная плотность в диапазоне	угловых частот	$\rho(\omega_0 ,T) = dw(T)/d\omega_0$	$L^{-1}MT^{-1}$	$EL^{-3}A^{-1}T$	Дж м$^{-3}$ с	Дж м$^{-3}$ об$^{-1}$ с
	частот колебаний	$\rho(f_0 ,T) = dw(T)/df_0$	$L^{-1}MT^{-1}$	$EL^{-3}C^{-1}T$	Дж м$^{-3}$ с	Дж м$^{-3}$ кв$^{-1}$ с
	длин волн	$\rho(\lambda_n ,T) = dw(T)/d\lambda_n$	$L^{-2}MT^{-2}$	$EL^{-4}C$	Дж м$^{-4}$	Дж м$^{-4}$ кв$^{-1}$
	волновых чисел	$\rho(k_n ,T) = dw(T)/dk_n$	MT^{-2}	$EL^{-2}A^{-1}C^{-1}$	Дж м$^{-2}$	Дж м$^{-2}$ об$^{-1}$ кв$^{-1}$
Энергетическая светимость тела (Интегральная испускательная способность)		$R_e = d\Phi_e /dS_\Omega$	MT^{-3}	$EL^{-2}T^{-1}$	Вт м$^{-2}$	Дж м$^{-2}$ с$^{-1}$
её спектральная плотность в диапазоне	угловых частот	$r_\rho = dR_e /d\omega_0$	MT^{-2}	$EL^{-2}A^{-1}$	Дж м$^{-2}$	Дж м$^{-2}$ об$^{-1}$
	частот колебаний	$r_f = dR_e /df_0$	MT^{-2}	$EL^{-2}C^{-1}$	Дж м$^{-2}$	Дж м$^{-2}$ кв$^{-1}$
	длин волн	$r_\lambda = dR_e /d\lambda_n$	$L^{-1}MT^{-3}$	$EL^{-3}T^{-1}C$	Вт м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$ с$^{-1}$ кв
	волновых чисел	$r_k = dR_e /dk_n$	LMT^{-3}	$EL^{-1}A^{-1}T^{-1}C^{-1}$	Вт м$^{-1}$	Дж м$^{-1}$с$^{-1}$об$^{-1}$кв$^{-1}$
Поглощательная способность		$a_\omega , a_f , a_\lambda , a_k$	-	-	-	-
Функция Кирхгофа (Испускательная способность абсолютно черного тела) в диапазоне	угловых частот	$f(\omega_0 ,T) = r_\omega /a_\omega$	MT^{-2}	$EL^{-2}A^{-1}$	Дж м$^{-2}$ об$^{-1}$	Дж/(м^{2}·об)
	частот колебаний	$f(f_0 ,T) = r_f /a_f$	MT^{-2}	$EL^{-2}C^{-1}$	Дж м$^{-2}$ кв$^{-1}$	Дж/(м^{2}·кв)
	длин волн	$\varphi(\lambda_n ,T) = r_\lambda /a_\lambda$	$L^{-1}MT^{-3}$	$EL^{-3}T^{-1}C$	Вт м$^{-3}$	Дж м$^{-3}$ с$^{-1}$ кв
	волновых чисел	$\varphi(k_n ,T) = r_k /a_k$	LMT^{-3}	$EL^{-1}A^{-1}T^{-1}C^{-1}$	Вт м$^{-1}$	Дж м$^{-1}$с$^{-1}$об$^{-1}$кв$^{-1}$

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (кн. 4 и 5). – М.: АСТ: Астрель
2. Трофимова Т.И., 2004, Краткий курс физики. – М:, Высшая школа, 352 с.
3. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

8.7. Модернизация записи уравнения фотоэффекта Эйнштейна

1. Уравнение фотоэффекта Эйнштейна.

В.Эткиным (2003) проведен анализ размерностей уравнения Эйнштейна для **внешнего фотоэффекта**, записанного в виде:

$E_k = h\nu_{ph} - E_i$, (1)

где E_k - кинетическая энергия фотоэлектрона, вылетающего из фотокатода с максимальной начальной скоростью; ν_{ph} − частота падения фотонов на фотокатод; h - постоянная Планка; E_i − **энергия ионизации атома**, необходимая для вылета фотоэлектрона из фотокатода. Введение нами нижнего индекса к частоте падения фотонов ν_{ph} объясняется необходимостью различать корпускулярную природу видимого света от ее трактовки с помощью волн де Бройля при использовании корпускулярно-волнового дуализма. Как указывает Википедия, "*концепция корпускулярно-волнового дуализма представляет лишь исторический интерес*".

В.Эткиным была применена запись уравнения фотоэффекта (1), учитывающая применение метода векторных диаграмм, в виде:

$E_k = \hbar\omega_0 - \Phi$. (2)

где $\hbar$ - редуцированная постоянная Планка; ω_0 − угловая частота вращения радиус-вектора на векторной диаграмме; $\hbar\omega_0 = h\nu_{ph}$ − энергия падающего на фотокатод фотона; Φ − энергия ионизации атома в конденсированных средах, называемая **работой выхода электрона** и обозначаемая обычно символом A.

2. Ошибка в записи уравнения фотоэффекта Эйнштейна.

При анализе уравнения (2) В.Эткин обнаружил (цитируем), "что слагаемые выражения (2) имеют разную размерность. Действительно, слагаемые E_k и $Ф$ относятся к одному электрону (размерность Дж/электрон), а член $\hbar\omega_0$ – к одному фотону (размерность Дж/фотон). Поэтому для выравнивания размерностей член $\hbar\omega_0$, интерпретируемый как **энергия фотона**, должен быть дополнен множителем Y^{-1}, имеющим смысл отношения числа эмитированных электронов к числу поглощенных квантов излучения и размерность электрон/фотон".

С точки зрения метрологии заметим, что размерностями В.Эткин называет единицы, что, разумеется, неверно. К тому же, **таких единиц, как электрон или фотон, ни в физике, ни в метрологии нет. И электрон, и фотон являются материальными объектами, а не физическими величинами.** Суть проблемы в ином, и она обозначена В.Эткиным верно: в уравнении Эйнштейна нет указания на то, что число поглощенных фотокатодом фотонов и число эмитированных из фотокатода электронов могут быть не равны друг другу.

3. Модернизация записи уравнения фотоэффекта Эйнштейна.

И. Коган считает, что исправить этот недостаток уравнения фотоэффекта Эйнштейна следует следуюшим образом. В уравнение фотоэффекта Эйнштейна следует ввести две новые физические величины: число эмитированных из фотокатода электронов N_{el} и число поглощенных фотокатодом фотонов N_{ph} . Обе эти величины являются частными случаями основной величины под названием количество считаемых величин, они имеют одну и ту же размерность N и единицу квант (один из вариантов названия единицы количества считаемых величин). Если в уравнение фотоэффекта Эйнштейна в записи (2) ввести эти две величины, то это уравнение должно быть записано так:

$$N_{el}\,E_k = N_{ph}\,\hbar\omega_0 - N_{el}\,E_i\,. \quad (3)$$

Уравнение фотоэффекта Эйнштейна в записи (3) выдерживает проверку на анализ размерностей, так как каждое слагаемое уравнения (3) имеет в системе величин ЭСВП одну и ту же размерность ЕС и одну и ту же единицу Дж квант. Что касается величины $Y = N_{el} / N_{ph}$, упоминаемой в статье В.Эткина и называемой **квантовым выходом**, то это обычный критерий подобия. А размерность количества считаемых величин С − это та "скрытая размерность", о которой говорит В.Эткин в своей статье, посвященной уравнению фотоэффекта Эйнштейна, косвенно подтверждая тем самым необходимость внесения в набор основных величин количества считаемых величин со своими собственными размерностью и единицей.

4. Что подразумевается под массой и энергией фотона.

В современной физике установлено, что **масса фотона m_{ph} равна нулю**, что **фотон движется прямолинейно со скоростью света** c и что **энергия покоя фотона $E_0 = m_{ph} c^2$ тоже равна 0**. Правда, обычно не уточняется, что речь идет о кинетической энергии прямолинейно движущегося фотона. Без этого уточнения можно сделать неверный вывод о том, что энергия у фотона имеется только при прямолинейном движении.

Между тем **фотон - это частица, имеющая спиновое число, равное 1**, из чего следует, что фотон должен обладать еще и энергией вращательного движения вокруг своей оси независимо от энергии его прямолинейного движения. И эта энергия вращательного движения должна зависеть от собственного момента инерции фотона, определяющего угловой момент фотона. Не случайно физики в начале XX века различали "продольную массу" и "поперечную массу" фотона (Л.Б.Окунь, 1989, с.522). Как мы сейчас понимаем, речь идет не о разных массах, а о кинетических энергиях различных форм движения фотона.

5. Модернизация определяющего уравнения для импульса фотона.

Фотон является релятивистской частицей, а для релятивистских частиц, движущихся со скоростями, близкими к скорости света c в качестве меры инертности частицы пользуются **не массой частицы, а ее импульсом**

$p = E_к /c = h\nu/c = h/\lambda$, (4)

где ν – частота падения фотонов на фотокатод. Фактически она равна среднестатистической частоте испускания фотонов $<f>_{ph}$, физическое содержание которой пояснено в разделе 6, посвященном метрологии квантуемого периодического процесса. Соответственно среднестатистический импульс фотона должен определяться уравнением $<p>_{ph} = h<f>_{ph} /c$. Учитывая, что длина волны де Бройля $<\lambda>$ определяется для фотона уравнением $<\lambda>_{ph} = c/<f>_{ph}$ (таблица из раздела 5), мы приходим к уравнению для среднестатистического значения импульса фотона в виде:

$<p>_{ph} = h/<\lambda>_{ph}$. (5)

6. Таблица физических величин из уравнения фотоэффекта Эйнштейна и их единиц.

В заключение приводим таблицу сравнения единиц физических величин в уравнении внешнего фотоэффекта в СИ и в системе величин ЭСВП. Первые 5 строк поясняются в разделе, посвященном числу структурных элементов (в квантовой механике).

Название величины	**в СИ**		**в системе величин ЭСВП**	
	Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
Постоянная Планка	h	Дж с	h	Дж с квант$^{-2}$
Частота падения фотонов на фотокатод	ν	с$^{-1}$	$<f>_{ph}$	квант с$^{-1}$
Редуцированная постоянная Планка	$\hbar$	Дж с	$\hbar$	Дж с об$^{-1}$ квант$^{-1}$
Угловая частота (Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме)	ω	рад с$^{-1}$	ω_0	об с$^{-1}$
Размерный коэффициент	2π	-	2π	об квант$^{-1}$
Кинетическая энергия одного фотоэлектрона	$E_к = h\nu = \hbar\omega$	Дж	$E_к = h<f>_{ph} = \hbar\omega_0$	Дж квант$^{-1}$
Энергия ионизации атома	E_i	Дж	E_i	Дж квант$^{-1}$
Число электронов, эмитированных из фотокатода	-	-	N_{el}	квант
Число фотонов, поглощенных фотокатодом	-	-	N_{ph}	квант
Квантовый выход	$Y = N_{el} / N_{ph}$	-	$Y = N_{el} / N_{ph}$	-
Работа выхода	A	Дж	A	Дж квант$^{-1}$
Длина волны красной	$\lambda_0 = 2\pi\hbar c/A$	м	$\lambda_0 = 2\pi\hbar c/A$	м квант$^{-1}$

границы фотоэффекта				
Длина волны де Бройля для фотона	λ	м	$<\lambda>$	м квант$^{-1}$
Импульс фотона	$p = h/\lambda$	Дж м$^{-1}$ с	$<p>_{ph} = h/<\lambda>_{ph}$	Дж м$^{-1}$ с кв$^{-1}$

Литература

1. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: ”Успехи физических наук”, т. 158, вып.3, с.с.511-530
2. Эткин В.А., 2003, "Классическая" интерпретация фотоэффекта. - http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html

8.8. Ошибка в законе теплового излучения Планка

1. Ошибка при выводе закона теплового излучения Планка.

В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) закон теплового излучения Планка приводится в виде уравнения для определения спектральной плотности объемной плотности энергии излучения $\rho(\nu,T)$ в диапазоне частот $\Delta\nu$:

$$\rho(\nu,T) = (8\pi\nu^2/c^3)(h\nu)/[\exp(h\nu/kT) - 1] , (1)$$

где ν – частота излучения; h – постоянная Планка; $(h\nu)$ – энергия излучения; k – постоянная Больцмана; T – температура абсолютно черного тела. Выражение в первых скобках правой части уравнения (1) называют **спектральной плотностью стоячих волн** в абсолютно черном теле в диапазоне частот колебаний $\Delta\nu$, и ее значение приводят в виде отдельного уравнения

$$\rho_w = 8\pi\nu^2/c^3 . (2)$$

В работе, посвященной анализу закона теплового излучения Планка, В.Эткин (2005) заметил, что "*можно обнаружить нарушение правила размерностей, если учесть, что член* $(h\nu)/[\exp(h\nu/kT) - 1]$ *относится к фотону (и, следовательно, имеет полную размерность* [Дж/фотон])*, а сомножитель* $n_в = 8\pi\nu^2/c^3$ *- к плотности стоячих волн в полости абсолютно черного тела (полная размерность* [волн/м^3])*. Отсутствие "выравнивающего" сомножителя с размерностью* [фотон/волна] *в* *произведении этих двух величин означает, что в выражении закона излучения Планка заложено молчаливое допущение, согласно которому отношение числа испущенных абсолютно черным телом фотонов к числу стоячих волн в полости всегда равно единице.*"

Разумеется, нет таких единиц, как [Дж/фотон] и [фотон/волна]. Не существует и такого понятия, как "полная размерность". Кроме того, для обозначения спектральной плотности стоячих волн $8\pi\nu^2/c^3$ больше подходит символ ρ_w . Но это попутные замечания, не они являются причиной появления ошибки в законе Планка.

Корень проблемы в том, что **закон теплового излучения Планка** (1) получается в результате умножения спектральной плотности ρ_w , равной $8\pi\nu_w{}^2/c^3$ (где ν_w – **частота стоячих волн** в инфракрасном диапазоне), на энергию испускания фотонов ($h\nu_{ph}$), где ν_{ph} – **частота испускаемых фотонов**. И в общем случае, как правильно замечает В.Эткин, ν_w и ν_{ph} в общем случае не равны друг другу. Поэтому числитель закона теплового излучения Планка должен иметь вид $(8\pi\nu_w{}^2/c^3)(h\nu_{ph})$, то есть отличаться от числителя в уравнении (1). И отношение $h\nu/kT$ должно выглядеть как $h\nu_{ph}/kT$

В зависимости от того, на какой из частот (ν_w или ν_{ph}) мы хотим акцентировать своё внимание, числитель $(8\pi\nu_w{}^2/c^3)(h\nu_{ph})$ можно записать либо в виде произведения $(8\pi h\nu_w{}^3/c^3)(\nu_{ph}/\nu_w)$, либо в виде произведения $(8\pi h\nu_{ph}{}^3/c^3)(\nu_w/\nu_{ph})^2$. **Отношение ($\nu_{ph}/\nu_w$) и есть тот самый критерий подобия, который, по справедливому мнению В.Эткина, следует ввести в закон теплового излучения Планка**. Этот критерий подобия с любой точки зрения безразмерен, так как его единица равна квант/квант, **однако <u>в знаменателе квант - это волна, а в числителе квант - это фотон, то есть частица, а не волна.</u>**

Если акцентировать внимание на частоте испускания фотонов ν_{ph} , то закон теплового излучения Планка следует записать
а) для спектральной плотности $\rho(\nu,T)$ в диапазоне частот колебаний $\Delta\nu$ в виде

$$\rho(\nu,T) = (8\pi h\nu_{ph}{}^3/c^3)(\nu_w/\nu_{ph})^2/[\exp(h\nu/kT) - 1] , (3)$$

б) для функции Кирхгофа (испускательной способности) в диапазоне угловых частот $\Delta\omega_0$ в виде

$$f(\omega,T) = (\hbar\omega_p{}^3/\pi^2c^2)(\omega_w/\omega_{ph})^2/[\exp(\hbar\omega_0/kT) - 1] , (4)$$

в) для функции Кирхгофа в диапазоне длин волн $\Delta\lambda$ в виде

$\varphi(\lambda,T) = (2\pi hc^2/\lambda_{ph}{}^5)(\lambda_{ph}/\lambda_w)^4/[\exp(hc/kT\lambda) - 1]$. (5)

Данные варианты записи закона излучения Планка соответствуют существующему в современной физике взгляду на величину спектральной плотности стоячих волн в абсолютно черном теле.

Но И. Коганом обнаружено, что при выводе исходного уравнения для спектральной плотности стоячих волн ρ_w , допущена более серьезная ошибка, раскрытая в разделе 3 статьи и изменяющая численное значение постоянной Планка.

2. Какова истинная размерность постоянной Планка?

В разделе , посвященном необходимости введения в набор основных величин числа структурных элементов (количества считаемых величин), показывается, что постоянная Планка h при единице Дж с не имеет точного физического содержания. Только введение в качестве основной величины количества объектов с размерностью N и единицей, например, квант позволяет выяснить физическое содержание постоянной Планка.

Постоянная Планка определяется в квантовой механике уравнением $h = \varepsilon/\nu$, где ε − энергия одного кванта электромагнитного излучения, а ν − частота излучения. В таком виде постоянную Планка можно трактовать, как количество энергии, приходящееся на единицу частоты процесса излучения. **Но фотон - это частица, а не волна**, и испускание фотонов следует рассматривать в квантовой оптике, где постоянную Планка следует трактовать, как количество энергии, приходящееся на единицу частоты испускания фотонов, и ε − кинетическая энергия одного фотона, а ν − частота ипускания фотонов.

При введении в качестве основной величины количество считаемых величин с размерностью C энергия одного кванта ε получает в системе величин ЭСВП размерность EC^{-1} (где E − символ размерности энергии), а частота излучения получает размерность CT^{-1}. Отсюда следует, что постоянная Планка h должна иметь размерность $EC^{-2}T$ и единицу Дж с квант$^{-2}$.

В современные формулы для определения планковских единиц входит не постоянная Планка в виде h, а редуцированная постоянная Планка (постоянная Дирака) $\hbar = h/2\pi$. Редуцированная постоянная Планка получается при искусственной замене в методе векторных диаграмм частоты колебаний ν угловой скоростью вращения радиус-вектора на координатной плоскости с размерностью AT^{-1} и единицей об $с^{-1}$. При этом, как показано в разделе, посвященном числу π, размерность π должна стать равной AC^{-1}, а единица числа π должна стать равной об $квант^{-1}$. В итоге редуцированная постоянная Планка должна иметь размерность $EA^{-1}C^{-1}T$ и единицу Дж $об^{-1}$ с $кв^{-1}$.

В СИ у редуцированной постоянной Планка та же единица Дж с, что и у постоянной Планка, так как в СИ отсутствуют единицы оборот и квант. Редуцированная постоянная Планка используется при математической интерпретации теплового излучения волн с помощью вращения радиус-вектора в методе векторных диаграмм. Поэтому редуцированную постоянную Планка $\hbar$ можно трактовать лишь условно, например, как количество энергии, приходящееся на единицу угла поворота радиус-вектора на векторной диаграмме. Но это математическая интерпретация, лишенная физического содержания.

3. Ошибка при выводе формулы для спектральной плотности стоячих волн.

Проанализируем размерность спектральной плотности ρ_w из уравнения (2) с помощью размерностей системы величин ЭСВП, в которую введены две новые основные величины (угол поворота с размерностью A и количество считаемых величин с размерностью C).

По своему физическому содержанию спектральная плотность ρ_w должна иметь размерность, равную $L^{-3}C^3$, и единицу, равную $м^{-3}$ $квант^3$, которая, в принципе, может быть представлена также и как единица $м^{-3}$ $волна^3$. **Третья степень размерности числа стоячих волн обусловлена тем, что в абсолютно черном теле стоячие волны рассматриваются в трех измерениях**.

Анализ размерностей уравнения (2) показывает, что размерность ρ_w в этом уравнении равна $L^{-3}AC^2T$ (единица $м^{-3}$ об $квант^2$ с). Налицо явное несовпадение с размерностью $L^{-3}C^3$, указанной выше. При этом совершенно неясно, как в уравнение (2) могла попасть размерность времени.

Анализ вывода уравнения (2), приведенного, например, у И.Савельева (2005, кн. 5), показал истоки этой ошибки. Начнем с того, что абсолютно черное тело представляется в данном выводе как прямоугольный параллелепипед с разными значениями его сторон. При анализе размерностей формулы для спектральной плотности стоячих волн ρ_w при рассмотрении только одной координаты ошибка не обнаружена. Но при выводе формулы для спектральной плотности в плоскости, то есть при двух прямолинейных координатах, допущена ошибка, состоящая в следующем. Плоскость полости абсолютно черного тела является прямоугольником, а при расчете приращения площади этой полости взято не приращение площади прямоугольника, а приращение площади круга.

Аналогичная ошибка совершена и при расчете приращения объёма полости абсолютно черного тела. Вместо приращения объёма параллелепипеда взято приращение объема сферы. В результате в формуле (2) появилось в виде сомножителя число π, которое, как это показано в разделе о числе π, при анализе периодических процессов методом векторных диаграмм имеет размерность AC^{-1} и единицу об квант$^{-1}$. Вследствие этого частота стоячих волн ν_w в формуле (2) оказалась возведенной только в квадрат, вместо того чтобы быть возведенной в куб в соответствии с тремя линейными измерениями полости абсолютно черного тела. И в формуле (2) появилось число π, которому в ней не место.

4. Истинная формула для спектральной плотности стоячих волн.

При устранении указанной выше ошибки спектральная плотность стоячих волн в полости абсолютно черного тела в диапазоне частот колебаний $\Delta\nu$ должна вычисляться не по формуле (2), а по формуле

$\rho_w = 24\nu^3/c^3$. (6)

Анализ размерностей формулы (6) показывает, что на этот раз спектральная плотность ρ_w имеет размерность $L^{-3}C^3$. Численно при расчете ρ_w между уравнениями (2) и (6) разница невелика, она равна $3/\pi$, то есть 0.955, что приводит к погрешности в 4,5%. Но для современной метрологии, где борются за каждый порядок погрешности после запятой, такая погрешность очень велика.

Причиной того, что ошибка оказалась не обнаруженной, является набор основных величин как в существовавшей раньше системе единиц СГС, так и в существующей сегодня СИ. Только после применения набора основных величин, принятого в системе величин ЭСВП, анализ размерностей смог выявить ошибку в записи закона теплового излучения Планка.

5. Об исправленном численном значении постоянной Планка.

Известно (К.Томилин, 2001), что численное значение постоянной Планка h, представленное в 1900 г. самим М.Планком, равно было $6{,}415.10^{-27}$ эрг·с. А современное экспериментальное значение h равно $6{,}626.10^{-27}$ эрг с, то есть планковское значение на 3,3% меньше экспериментального.

Если учесть выявленную И. Коганом ошибку при определении спектральной плотности ρ_w , то у М.Планка должно было бы получиться значение h, равное $6{,}718.10^{-27}$ эрг с, что на 1,4% больше экспериментального значения. Расхождение в значениях между постоянной Планка, подсчитанной им в 1900 г., и современным ее значением уменьшилось более, чем в 2 раза.

6. Исправленная запись закона теплового излучения Планка.

Естественно, что обнаруженная ошибка перекочевала во все варианты записи закона излучения Планка. Если ее исправить, то закон излучения Планка (1) будет выглядеть в виде:

$$\rho(\nu,T) = (24h\nu_{ph}^3/c^3)(\nu_w /\nu_{ph})^2/[\exp(h\nu_{ph} /kT) - 1] , (7)$$

Для функции Кирхгофа (испускательной способности) в диапазоне угловых частот $\Delta\omega_0$ он будет выглядеть в виде:

$$f(\omega,T) = (3\hbar\omega_{ph0}^3/\pi^3c^2)(\omega_{w0} /\omega_{ph0})^2/[\exp(\hbar\omega_{ph0} /kT) - 1] , (8)$$

и в диапазоне длин волн $\Delta\lambda$ в виде:

$$\varphi(\lambda,T) = (6hc^2/\lambda_{ph}^5)(\lambda_{ph} /\lambda_w)^4/[\exp(hc/kT\lambda_{ph}) - 1] . (9)$$

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Томилин К.А., 2001, Планковские величины, http://www.ihst.ru/personal/tomilin/papers/tom00phil.pdf
3. Эткин В.А., 2005, О законе излучения Планка. -

http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ozakoneizluchenijaplanka.shtml.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

9. Новый взгляд на тепловую форму движения

9.1. Закон Фурье и его модификация

Интересный парадокс наблюдается при изучении термодинамики и теплотехники. С одной стороны, утверждается, что с теорией теплорода давно и бесповоротно покончено, как с несостоятельной теорией, и в то же время она широко применяется на практике в теории теплопередачи при использовании закона Фурье. Приведем одну из форм записи этого закона:

$\Phi = -\lambda(\partial T/\partial x)S$, (1)

где Φ − тепловой поток; λ − коэффициент теплопроводности; $\partial T/\partial x$ − градиент температуры; S − площадь сечения, сквозь которое протекает тепловой поток.

А.Вейник (1968) показал, что при использовании закона Фурье в записи (1) сохраняются до сих пор в теории теплопередачи терминология, единицы тепловых величин и уравнения теории теплорода. Основной тезис теории теплорода о том, что теплота является особой неуничтожимой жидкостью и может накапливаться, очевидны в терминах ”тепловой поток” и ”теплоемкость”. Как будет показано ниже, физические величины, базирующиеся на уравнении (1), невозможно включить в систему физических величин при попытке систематизации физических величин тепловой формы движения. А.Вейник доказал, что изучать тепловую форму движения можно, лишь модифицировав закон Фурье.

Неудачные попытки систематизации тепловой формы движения

Первую неудачную попытку предпринял И.Коган (1993, Приложение IV) в своей Таблице аналогий. В качестве координаты состояния тепловой формы движения был принят **температурный заряд** с единицей джоуль. Следствием такого решения оказалось, что при применении уравнения состояния температурный напор стал безразмерным, а у теплоёмкости оказалась единица джоуль.

Через 5 лет И.Коган (1998) попробовал использовать закон Фурье в современной записи (1) в главном определяющем уравнении в виде

$$\mathrm{d}W = P_i\,\mathrm{d}q_i\,, \quad (2)$$

где $\mathrm{d}W$ − изменение энергообмена системы со средой; $\mathrm{d}q_i$ − изменение координаты состояния i-ой формы движения системы; P_i − разность потенциалов между системой и средой в i-ой форме движения. Это привело к тому, что $\mathrm{d}W$ получило не существующую в термодинамике единицу Дж К. А в роли координаты состояния тепловой формы движения оказалось изменение количества поступающей в систему теплоты δQ, то есть изменение теплообмена. Если же учесть, что изменение теплообмена это частный случай изменения энергообмена, то оказывалось, что в тепловой форме движения отсутствует координата состояния и, следовательно, отсутствует и сама форма движения, что продемонстрировано в таблице "Теплопроводность". Наконец, если в уравнении (2) нет либо $\mathrm{d}W$, либо $\mathrm{d}q_i$, то невозможно определить разность потенциалов ΔP_i (в нашем случае температурный напор) и выяснить его размерность и единицу. Стало понятно, почему существующая размерность температуры Θ с единицей К (Кельвин) введена в СИ условно. Так что и эта попытка оказалась неудачной.

Помимо этого оставалось непонятным, почему в современной термодинамике единица теплоёмкости C совпадает с единицей энтропии, хотя эти две величины имеют разное физическое содержание.

Добавим, что в таблице "Теплопроводность" температурный напор и тепловой поток являются величинами скалярными вопреки условию направленности, которое говорит, что главное определяющее уравнение следует применять в виде векторного произведения:

$$\mathrm{d}W = \Delta\mathbf{P}_i\,\mathrm{d}\mathbf{q}_i\,. \quad (3)$$

В уравнении (3) в качестве $\Delta\mathbf{P}_i$ должен выступать температурный напор $\Delta\mathbf{T}$. Вместо этого в современной теории теплопередачи поступают иначе: искусственно вводят орт, направленный по нормали к изотермической поверхности, умножая его на плотность теплового потока. И этим искусственным математическим приёмом сообщают температурному напору векторный характер.

В теории теплопередачи должен использоваться модифицированный закон Фурье

Как выяснилось, решение этой проблемы может быть основано на предложении А.Вейника (1968), который отделил **упорядоченную тепловую форму движения** от **неупорядоченной тепловой формы движения диссипации**. В тепловую форму движения диссипации переходят все другие формы движения в реальных процессах вследствие наличия сопротивления трения. В нее переходит, в том числе, и упорядоченная тепловая форма движения.

Упорядоченная тепловая форма движения должна определяться своей собственной координатой состояния, как и все прочие формы движения (механическая, гидравлическая, электрическая и т.п.). Для этого А.Вейник ввел для упорядоченной тепловой формы движения свою координату состояния, назвав ее “**термическим зарядом**” Θ с единицей Дж $К^{-1}$ (мы пользуемся термином "тепловой заряд").

А.Вейник поделил обе части закона Фурье в записи (1) на температуру T и записал уравнение, которое справедливо было бы назвать законом Вейника, в виде:

$\Phi_a = - a(\partial T/\partial x)S$. (4)

В результате появилась физическая величина $\Phi_a = \Phi/T$, названная А.Вейником “**термическим потоком**”, а вместо теплопроводности λ появилась физическая величина $a = \lambda/T$, названная “**термопроводностью**”. (Ее не следует путать с другой величиной “температуропроводность”.)

А.Вейник назвал **упорядоченную тепловую форму движения “термической формой движения“, определив ее, как упорядоченную форму переноса импульса частиц.** В этом и состоит основное отличие термической формы движения А.Вейника от тепловой формы движения диссипации, как неупорядоченной (броуновской) формы переноса импульса частиц.

А.Вейник предложил записывать уравнение переноса не для теплового потока, а для термического потока, соответствующего реальному упорядоченному переносу импульса молекулами (или другими материальными носителями) из более нагретой в менее нагретую зону. В процессе такого переноса импульса и появляется, как показал А.Вейник, та форма энергообмена, которую сейчас называют **теплотой** (или

количеством теплоты), а следовало бы называть **теплообменом**.

Очевидно, что уравнение (4) при сокращении левой и правой части на T (при условии $T \neq 0$) превращается в закон Фурье (1). Поэтому-то закон Фурье и применим при практических расчетах. Но А.Вейник показал на многочисленных примерах, что применение уравнения (1) приводит к неверному истолкованию ряда результатов экспериментов, а уравнение (4) приводит к естественной и понятной трактовке целого ряда явлений не только в теории теплопередачи, но и в термодинамике в целом. К сожалению, предложение А.Вейника до сих пор не принято современной физикой. Многочисленные высокопоставленные критики А.Вейника, базируясь на отдельных недостатках его книг, отвергли одну из наиболее важных и плодотворных его идей.

Модифицированный закон Фурье позволяет систематизировать тепловую форму движения

Использование именно уравнения (4) привело И.Когана (1998) к успешной систематизации тепловой формы движения (см. таблицу "Движение теплового заряда"), хотя это потребовало изменения размерностей и единиц многих тепловых величин. К сожалению, современная физика пользуется до сих пор неадекватными тепловыми величинами с их неадекватными размерностями и единицами, которые освящены системой СИ.

В новой таблице "Движение теплового заряда" в роли dW выступает количество теплоты δQ, но под ним понимается количество тепловой энергии упорядоченной тепловой формы движения, сообщаемое системе при теплообмене. В роли координаты состояния формы движения присутствует изменение теплового заряда dΘ, и в роли разности потенциалов естественно оказывается температурный напор ΔT. Термический поток Φ_a представляет собой поток тепловых зарядов, тогда как в современной теории теплопередачи тепловой поток Φ отражает лишь интенсивность теплообмена.

Выясняется также, что у параметров производных величин упорядоченной тепловой формы движения, должны быть единицы, отличающиеся от единиц СИ тем, что единица К (Кельвин) присутствует в них не в первой, а во второй степени. Вместо понятия “теплоемкость” появилось новое понятие “термоемкость” (или тепловая ёмкость), отражающее интенсивность изменения теплового заряда в зависимости от изменения температурного напора. Используемый в современной теории теплопередачи коэффициент теплопроводности λ заменен на коэффициент термопроводности a с единицей измерений Вт $м^{-1}$ $К^{-2}$. К совершенно аналогичным размерностям и единицам для параметров теплопередачи независимо от А.Вейника и И.Когана пришел впоследствии Д.Ермолаев (2004), он привел дополнительные свидетельства необходимости модификации закона Фурье.

В.Эткин (2006) указал на необходимость различать термодинамическую энтропию от статистической энтропии и на то, что в реальных необратимых процессах изменение термического заряда не может трактоваться как изменение термодинамической энтропии. Поэтому изменение энтропии не включено в таблицу ”Движение теплового заряда”. Более детально вопрос об энтропии разобран в отдельном разделе.

Выводы

Предложения А.Вейника, если бы они были приняты в период их опубликования, привели бы в порядок теорию теплопередачи еще более полувека тому назад. Но этого не случилось тогда, и не делается сегодня, несмотря на то, что в работах И.Когана (1998) и Д.Ермолаева (2004) приведены доказательства того, что тепловую форму движения невозможно включить в процесс систематизации физических величин, если не принять предложения А.Вейника. Трудно сказать, сколько еще ученых и какого уровня должно подключиться к этой уже в основном решенной проблеме, чтобы на нее обратила внимание официальная наука.

Так как к решению проблемы включения тепловой формы движения в процесс систематизации физических величин подключаются всё новые ученые, предлагающие различную терминологию и символику, возникает необходимость выработать единую точку зрения на это. О чем и говорится в разделе, посвященном терминологии тепловой формы движения.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html

3. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
5. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml

9.2. Тепловая энергия, количество теплоты, тепловой заряд

Как было показано в разделе, посвященном упорядоченной тепловой форме движения, ее изучению посвятили свои работы несколько авторов, чьи работы следует прокомментировать, так как каждый из них пользовался введенными им терминами, и эти термины не всегда совпадают друг с другом.

В чем состоит отличие тепловой энергии от количества теплоты

А.Вейник (1968) указал на то, что величина, которую физики называют "количеством теплоты" или сокращенно "теплотой", отличается от той величины, которая была названа С.Карно "тепловой энергией". Термин "количество теплоты" в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) означает "*количество энергии, переданной системе внешними телами путем теплообмена*" **без указания на упорядоченность или неупорядоченность теплового движения**. Но тепловая энергия, как ее понимал С.Карно, – это такая же форма энергии упорядоченно движущихся объектов, как механическая, электрическая и другие формы энергии. То есть тепловая энергия у С.Карно – это лишь упорядоченная часть количества теплоты.

И.Львов в серии статей (2003-2004) привел развернутый обзор аналогий между основными физическими величинами в электродинамике, теплоте, механике и гидравлике. В частности, он подробно проанализировал электротепловые аналогии, приведенные в монографии А.Эйнштейна и Л.Инфельда (1965). И.Львов справедливо указал на то, что физическая величина, которую в теории теплопроводности называют “количеством теплоты“, отличается от той физической величины, которую называют “**тепловой энергией**“. И.Львов назвал ее “энергией С.Карно“.

В популярном учебнике по физике Д.Сивухина (2005) рекомендуется избегать применение термина "тепловая энергия" на том основании, что он по смыслу совпадает с внутренней энергий. Но это зависит от того, как понимать тепловую энергию. Если тепловую энергию понимать как энергию неупорядоченно движущихся энергоносителей, то Д.Сивухин прав. Если же тепловую энергию понимать, как энергию упорядоченно движущихся энергоносителей, то есть как функцию процесса теплообмена, как одной из форм энергообмена между равновесной системой и средой или между разными участками неравновесной системы, то тогда тепловая энергия не совпадает по содержанию с внутренней энергией системы, являющейся функцией состояния.

Рассуждения И.Львова (2004) приводят к выводу о том, что физической величиной, которую в современной теории теплопроводности называют “количеством теплоты“, является величина, которую следует называть “тепловым зарядом“. Правда, при этом И.Львов не предложил модифицировать форму записи закона Фурье, как это сделал А.Вейник (1968), и не предложил изменить единицы тепловых величин, как это сделали И.Коган (1998) и Д.Ермолаев (2004).

И.Львов справедливо полагает, что не следует полностью отвергать теорию теплорода, а следует взять из нее то рациональное, что в ней имелось, и, в частности, использовать понятие “тепловая энергия“. В этом случае движение теплового заряда действительно оказывается следствием теплообмена системы с окружающей средой тепловой энергией, а энергия движения теплового заряда является той частью тепловой энергии, которая находится в упорядоченном движении.

Рассуждения А.Вейника (1968) подтверждают вывод о том, что движение теплового заряда является проявлением обмена тепловой энергией среды с системой или обмена тепловой энергией между различными участками неравновесной системы. Этим они отличаются от утверждения в современной Википедии о том, что теплопроводность ограничивается лишь теплообменом между различными участками неравновесной системы. По А.Вейнику движение теплового заряда является лишь частью полного теплообмена. Энергию движения теплового заряда следует понимать лишь как тепловую энергию, присущую упорядоченно движущимся энергоносителям.

Возврат к пониманию тепловой энергии в трактовке С.Карно означает не возврат к теории теплорода XIX века, а переосмысливание этой теории в связи с современным переходом от термодинамики равновесных процессов к термодинамике неравновесных процессов. Обычное проявление философского закона движения по спирали. По этому поводу Р.Фейнман выразился так: "*Часто говорят, что аргументы Карно были ложными. На самом же деле логика Карно безукоризненна. Неверно только упрощенное толкование этих аргументов Клаузиусом, а именно с ним все обычно знакомятся.*"

А.Вейник (1968) считает, что теория Р.Клаузиуса ввергла термодинамику в затяжной кризис, из которого она до сих пор не может выбраться, он резко против самого понятия "энтропия", введенного Р.Клаузиусом. Весьма отрицательно отзывается о теории Р.Клаузиуса и И.Львов (2003б) . В то же время И.Львов не отрицает важности применения **физической величины "энтропия" как характеристики степени упорядоченности движения в любых формах движения.** Более тщательно описал разные варианты применения термина "энтропия" В.Эткин (2006), **разделив понятия термодинамической энтропии и статистической энтропии.**

Что является координатой состояния тепловой формы движения

Упорядоченная тепловая форма движения, как и всякая другая форма движения, должна иметь свою координату состояния. А.Вейник (1968) для этой цели ввел понятие "термический заряд". И.Коган (1993) первоначально применил другое понятие "температурный заряд", но затем (И.Коган, 1998) стал также применять понятие "термический заряд". И.Львов (2004), используя электротепловую аналогию А.Эйнштейна и Л.Инфельда, применил понятие "тепловой заряд". В работах Д.Ермолаева (2003, 2004) применяется похожее понятие "теплозаряд".

Д.Ермолаев и И.Львов, к сожалению, не ссылаются в своих работах на труды А.Вейника. О причинах этого можно догадаться. На книги А.Вейника многие годы был наложен официальный запрет, как на проявление лженауки, его книги были изъяты из библиотек или перемещены в запасники. Весь тираж его монографии был сожжен, а разосланные в библиотеки обязательные экземпляры были закрыты для открытого доступа, вследствие чего "тепловой заряд" открывался другими исследователями как бы заново. В 1991 году А.Вейник сумел выпустить за свой счет небольшим тиражом новую монографию, в которой он вместо термина "термический заряд" применил термин "вермический заряд" (от немецкого слова Wärme – теплота), что в буквальном переводе и есть тепловой заряд. На Общую теорию

А.Вейника наложено клеймо "лженауки", не снятое до сих пор. Так что о трудах А.Вейника И.Львов, скорее всего, просто мог не знать, а Д.Ермолаев узнал о них после публикации своих статей.

Если подытожить сказанное, то видно, что для **координаты состояния тепловой формы движения предлагались в разное время четыре термина,** звучащие по-разному, но имеющие одно и то же содержание: **“термический заряд“ А.Вейника, “температурный заряд“ И.Когана, “теплозаряд“ Д.Ермолаева и “тепловой заряд“ И.Львова**. Создается впечатление, что термин “тепловой заряд“ звучит несколько лучше остальных трех, так как он ближе к общепринятой терминологии. Учитывая это, мы остановились на термине “**тепловой заряд**“.

И.Коган и Д.Ермолаев так же, как и А.Вейник, указали на то, что у теплового заряда должна быть единица Дж К$^{-1}$. В работе (2004) Д.Ермолаев приводит убедительные аргументы, доказывающие, что значения теплоёмкости с единицей Дж К$^{-2}$ и теплового сопротивления с единицей Вт$^{-2}$ К^{2} объективно отражают суть физических явлений, тогда как значения теплоёмкости с единицей Дж К$^{-1}$ и термического сопротивления с единицей Вт$^{-1}$ К, применяемые в СИ, этой сути не отражают и приводят “*к множеству дополнительных ненужных вычислений, формул, таблиц, поправочных коэффициентов и оговорок*“. В 2008 году Д.Ермолаев вводит понятие "тепловая частица", аналогичное понятию "элементарный электрический заряд" в электродинамике. Правда, Д.Ермолаев отождествил тепловой заряд с энтропией, но А.Вейник указывал на то, что такое отождествление приемлемо только для равновесных процессов.

В роли потока энергоносителей у А.Вейника (1968) и впоследствии у И.Когана (1998) выступает величина, названная “термическим потоком“. У Д.Ермолаева для этой цели принято понятие “теплоток“, под которым он понимает “поток теплозаряда“ (поток теплового заряда). Но это одна и та же величина. А.Вейник указал, что тепловой заряд включен в "**ансамбли зарядов**", которые являются упорядоченно движущимися материальными объектами, переносящими энергию. Мы полагаем, что более подходящим термином для таких объектов является "**энергоносители**". Ими, например, в газах и жидкостях являются атомы и молекулы, а упорядоченно движущиеся ионы и электроны являются энергоносителями также и электрического заряда. **Энергоносителями являются свободно перемещающиеся в твердых телах электроны проводимости. Ими являются также волны теплового излучения.**

В работе Д.Ермолаева (2004) применительно к тепловой форме движения применяются законы неразрывности Кирхгофа. Он привел также доказательства того, что расчет термического **кпд** по абсолютным значениям термодинамической температуры приводит к физическому абсурду и что расчет термического **кпд** следует вести по разности температур. Тем самым он подтвердил необходимость рассматривать и в тепловой форме движения разность потенциалов вместо абсолютного значения потенциала.

Оснований считать термодинамическую температуру естественной основной величиной нет. Это условно введенная в СИ основная величина, и поэтому ее единица - условная основная единица. То, что в СИ единица термодинамической температуры стала единицей основной величины, является авторитарным решением создателей СИ и обусловлено историческими причинами. Прежде всего, наличием измерительной аппаратуры и отлаженных методик измерения температуры. Такое решение с точки зрения СИ легитимно также потому, что имеется стандарт, согласно которому основную величину можно принимать условно. Подробному анализу вопроса о размерности термодинамической температуры посвящен отдельный раздел.

К сожалению, **теория теплового заряда игнорируется физикой и метрологией до сих пор, хотя, как показано в данном разделе , именно эта теория раскрывает физическую природу термодинамической температуры.**

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Вейник А.И. 1991, Термодинамика реальных процессов. – Минск: «Навука і тэхніка», 576 с.
3. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html
4. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html
5. Ермолаев Д.С., 2008. Тепловой заряд и обобщение теплофизики. – М: «Компания Спутник+», Актуальные проблемы современной науки. №4(43), с.89.
6. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.

7. Львов И.Г., 2003а, Что такое энергия? – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6652.html
8. Львов И.Г., 2003б, Что такое энтропия? – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6653.html
9. Львов И.Г., 2004, Что такое тепловой заряд? – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7339.html
10. Сивухин Д.В., 2005. Общий курс физики. т.2. Термодинамика и молекулярная физика. 5-ое изд. М.: Физматлит. 544 с.
11. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.
12. Эйнштейн А., Инфельд Л., 1965, Эволюция физики. М.:Наука.
13. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml

9.3. В чем суть понятия "термодинамическая температура"

1. Существующие определения термодинамической температуры и их недостаток

БСЭ определяет **термодинамическую температуру** T, как “*физическую величину, характеризующую состояние термодинамического равновесия макроскопической системы*“. В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) температура равновесной системы определяется как ”*мера интенсивности теплового движения ее молекул (атомов, ионов)*” с указанием на то, что "*понятие температуры имеет смысл для равновесных состояний термодинамической системы*". В интернет-энциклопедии Глоссарий.ру температура − это ”*физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия*”.

Общим в этих трех определениях являются два обстоятельства: термодинамическая температура характеризует кинетическую энергию частиц системы и она может применяться только для равновесных систем. В молекулярно-кинетической теории газов термодинамическая температура T входит в уравнение для средней кинетической энергии поступательного движения W_k молекулы идеального газа

$W_k = m\hat{u}^2/2 = 3kT/2$, (1)

где *m* – инертная масса молекулы; *û*– среднеквадратичная скорость молекулы; *k* – постоянная Больцмана.

Определения термодинамической температуры не разрешают применять это понятие для описания неравновесных систем. Тем не менее, как для неравновесных систем, так и при взаимодействии системы с окружающей средой широко применяется векторная величина "**разность температур**" $\Delta\mathbf{T} = (T_1 - T_2)\,\mathbf{e}_{\Delta\mathrm{T}}$, называемая также **температурным напором**. Это служит поводом для давно длящейся дискуссии среди метрологов по вопросу о том, **что измеряется на практике: температура или разность температур**. Не случайно во введении сайта Информационного портала ВНИИМ им. Менделеева (2007) сказано следующее: ***"Температура − это искусственно введенный в уравнение состояния параметр"*.**

Термодинамическая температура отсчитывается по **термодинамической шкале температур**. В качестве единственной реперной точки этой шкалы до 1990 года существовала тройная точка воды (А.Чертов, 1990). Сейчас действует международная температурная шкала МТШ-90, в которой в качестве реперных точек выбраны дополнительно свойства других веществ. **Но температурная шкала является шкалой интервалов, а не абсолютной шкалой**. Следует надеяться, что при предстоящем переопределении единиц СИ возобладает точка зрения сторонников того, что **измеряется всё же разность температур, а не сама термодинамическая температура.**

2. Недостатки существующих размерности и единицы термодинамической температуры

Существует мнение о том, что единицей температуры должна быть единица энергии, даже если используются переводные коэффициенты. Известно также (К.Томилин, 2001), что сам Л.Больцман измерял температуру в единицах энергии, что соответствует выбору значения постоянной Больцмана $k = 1$. Более того, сама постоянная Больцмана введена не им, а в 1900 г. М.Планком, и М.Планком же рассчитано значение постоянной Больцмана $k = 1{,}346.10^{-16}$ эрг/град.

Это мнение отражено в выдержке из сайта Информационного портала ВНИИМ: "*Поскольку понятие температуры тесно связано с усредненной кинетической энергией частиц, было бы естественным и в качестве единицы ее измерения использовать джоуль. Однако, энергия теплового движения частиц очень мала по сравнению с джоулем,* *поэтому использование этой величины оказывается неудобным. Тепловое движение измеряется в других единицах, которые получаются из джоулей посредством переводного коэффициента k*". Однако это мнение принципиально неверно. Нельзя измерять термодинамическую температуру, как интенсивную величину, в джоулях, то есть в единицах измерения энергии, как экстенсивной величины.

Размерность Θ и единица измерений К (кельвин) присвоены термодинамической температуре в **СИ** априорно, а численные значения температуры определяются по шкале, составленной для идеального газа и обратимого процесса. По этому поводу хорошо выразился А.Чуев (2007): "*Если температуре приписать свою особую размерность, например – Θ, как это сделано в* **СИ**, *то практически теряется возможность выяснения ее* ***физической сути (то, в чем измеряют, само не измеримо)*****".**

Очень образно охарактеризовал эту неопределенную ситуацию видный системотехник Д.Конторов (1999): "*Введение температуры, условной шкальной величины, в число основных явно преследует практическую цель – потрафить привычности и широкой распространенности термометра как измерительного прибора.* ***Температура определяет кинетическую энергию молекул вещества и количество тепла.*** *Введение основной единицы – кельвина – приводит к сложной и труднопонимаемой физически размерности теплоёмкости* $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$, *то есть энергии, поделенной на температуру… Между тем совершенно ясно, что физическая природа температуры – энергетическая, а единица кельвин условна*".

3. История поиска приемлемого решения

Запишем применительно к тепловой форме движения уравнение для определения модуля разности потенциалов:

$\Delta T = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}\Theta)$, (2)

где $\mathrm{d}Q$ – изменение энергообмена (в тепловой форме движения − изменение теплообмена); $\mathrm{d}\Theta$ – приращение количества энергоносителей (в тепловой форме движения это приращение теплового заряда). Как видим, температурный напор ΔT является производной величиной, зависящей от изменения теплового заряда $\mathrm{d}\Theta$. Но каковы же тогда размерность и единица самого теплового заряда?

Если учесть, что в СИ размерность температурного напора равна Θ, то, согласно уравнению (2), размерность теплового заряда должна быть равной (dim Q)Θ^{-1}, а единица теплового заряда, соответственно, должна быть равной Дж $К^{-1}$ (джоуль на кельвин). Именно такая единица теплового заряда и была введена А.Вейником (1968), а затем повторена И.Коганом (1998) и Д.Ермолаевым (2003).

Но при этом перестал соблюдаться принцип последовательности, согласно которому единица производной величины второй очереди (в уравнении (2) это единица кельвин) должна определяться по единице производной величины первой очереди (в уравнении (2) это единица Дж $К^{-1}$). Ведь единица Дж $К^{-1}$ определяется единицей К, а не наоборот. Появилось даже предложение А.Чуева (2006) считать размерностью термодинамической температуры $Т^{-1}$, то есть равной размерности частоты колебаний в СИ.

С точки зрения уравнения переходного процесса $\mathrm{d}W = \Sigma_i\, \Delta \mathbf{P}_i\, (\mathrm{d}\mathbf{q}_{fl})_i$ для тепловой формы движения изменению энергообмена $\mathrm{d}W$ соответствует изменение теплообмена $\mathrm{d}Q$, а разности потенциалов $\Delta \mathbf{P}$ соответствует температурный напор $\Delta \mathbf{T}$, и тогда перемещающейся координате состояния $\mathrm{d}\mathbf{q}_{fl}$ соответствует перемещающийся тепловой заряд $\mathrm{d}\mathbf{\Theta}$, из чего следует, что

$$\mathrm{d}Q = \Delta \mathbf{T}\, \mathrm{d}\mathbf{\Theta}\ .\ (\ 3\ )$$

Уравнение переходного процесса можно записать применительно к тепловой форме движения также в виде:

$$D_{tm}\, \mathbf{\Theta} + R_{tm}\, \mathrm{d}\mathbf{\Theta}/\mathrm{dt} + I_{tm}\, \mathrm{d}^2\mathbf{\Theta}\ /\mathrm{d}t^2 = -\ \Delta \mathbf{T}\ ,\ (\ 4\ )$$

где $D_{tm} = \mathrm{d}T/\mathrm{d}\Theta$ – термическая жесткость; $R_{tm} = \delta/aS$ – термическое сопротивление (δ – толщина теплопроводящего слоя, $a = \lambda/T$ – коэффициент термопроводности; λ – коэффициент теплопроводности в современной теплопередаче, S – площадь сечения, сквозь которое протекает тепловой поток), I_{tm} – термическая инертность. Более понятным является уравнение, аналогичное уравнению переходного процесса в электродинамике:

$$(1/C_{tm}\ )\ \mathbf{\Theta} + R_{tm}\, \mathbf{\Phi}_a + I_{tm}\, \mathrm{d}\mathbf{\Phi}_a\ /\mathrm{d}t = \Delta \mathbf{T}\ ,\ (\ 5\ )$$

где $C_{tm} = \mathrm{d}\Theta/\mathrm{d}T$ – термическая ёмкость; $\mathbf{\Phi}_a = \mathrm{d}\mathbf{\Theta}/\mathrm{d}t$ – поток тепловых зарядов (в современной теории теплопередачи $\Phi_a = \Phi/T$, где Φ -

тепловой поток).

Будем понимать в уравнении (3) под приращением теплового заряда d**Θ** вошедшее в систему количество энергоносителей лишь упорядоченной тепловой формы движения, не отождествляя его с полным приращением теплообмена, как суммой энергий упорядоченного и неупорядоченного теплового движения. **И тогда мы приходим к парадоксальному, на первый взгляд, выводу о том, что основная идея теории теплорода оказывается верной, если только под теплородом понимать не общее количество вошедшей теплоты, а количество вошедшей тепловой энергии упорядоченного теплового движения, ассоциированное с приращением теплового заряда.** Кстати, именно так и понимал эту ситуацию С.Карно, он не отождествлял тепловую энергию с полным приращением теплообмена.

В соответствии с такой интерпретацией **тепловой поток должен рассматриваться не как поток всей тепловой энергии, а как поток упорядоченной части тепловой энергии, то есть как поток теплового заряда**. **Именно тепловой заряд и может накапливаться в системе**. Поэтому ***в тепловой форме движения энергоёмкость системы следует рассматривать, как ёмкость по отношению к тепловому заряду, а не как ёмкость по отношению к количеству теплоты***.

4. Физический смысл термодинамической температуры и постоянной Больцмана (элементарный тепловой заряд)

Постоянная Больцмана *k* имеет в СИ такую же размерность, что и теплоёмкость, она является в СИ производной величиной. Однако в естественной системе единиц М.Планка единица постоянной Больцмана является единицей основной величины. То есть именно М.Планк ввел в качестве основной величины наряду с энергией термодинамическую температуру.

В физике часто (например, справочник по физике Б.Яворского и А.Детлафа, 1990) постоянную Больцмана определяют, как отношение универсальной (молярной) газовой постоянной *R* к постоянной Авогадро. А учебник по физике И.Савельева (2005) определяет постоянную Больцмана, как долю газовой постоянной *R*, приходящуюся на одну молекулу газа. При этом надо иметь в виду, что значение газовой постоянной *R* получено экспериментально и приемлемо только для идеального газа.

А.Вейник (1968) высказал очень важную идею о том, что тепловой заряд, как координата состояния тепловой формы движения, является квантуемой величиной, и выдвинул гипотезу о существовании **единичного теплового заряда** подобно электрону в электрической форме движения. Он назвал его **термоном** и обозначил символом τ, подсчитал его значение. Это значение оказалось в 3 раза большим значения постоянной Больцмана, если для вычисления значения термона энергию моля газа разделить на число Авогадро.

Поскольку постоянная Больцмана трактуется в кинетической теории газов, как кинетическая энергия поступательного движения одной степени свободы молекулы идеального газа, то **термон можно трактовать, как кинетическую энергию трех степеней свободы молекулы.** Если термон трактовать именно так, то постоянную Больцмана k можно считать одной третью термона τ, и тогда суммарную кинетическую энергию из уравнения (1) можно записать двояко:

$W_k = 3kT/2 = \tau T/2$. (5)

Поскольку единицей термона, как и постоянной Больцмана, является Дж $К^{-1}$, то **термодинамическую температуру *T* следует понимать, как количество термонов в однородной системе. А кинетическую энергию всех упорядоченно движущихся молекул следует трактовать, как половину произведения кинетической энергии одного термона на количество термонов в системе. И тогда полный тепловой заряд системы можно считать произведением элементарного теплового заряда *τ* на количество тепловых зарядов в системе.**

В системе величин ЭСВП энергия является основной величиной с размерностью Е. Если использовать этот символ размерности энергии и применить символ размерности температуры Θ из СИ, то правило размерностей в уравнении (5) будет соблюдаться при условии, что размерности k и τ равны

$\dim \tau = \dim k = \mathrm{E}\Theta^{-1}$. (6)

Однако в системе величин ЭСВП отсутствуют как размерность Θ, так и единица кельвин как основная единица термодинамической температуры. Поэтому в этой системе величин размерности и единице термодинамической температуры должна быть дана другая трактовка.

5. Новая трактовка термодинамической температуры и постоянной Больцмана

Число молекул однородной системы является числом структурных элементов этой системы (количеством считаемых величин). Размерность количества считаемых величин обозначается в ЭСВП символом C, а общепринятая единица для этой величины еще не установлена, можно пока применять штуку или квант, это разъяснено подробно в статье И.Когана (2011) и в разделе о количестве считаемых величин указано, что такими величинами являются и степени свободы.

А.Вейник (1991), вводя понятие ”**вермическое вещество**”, связанное с тепловым зарядом, указал на то, что оно обладает в микромире ”квантовыми, порционными, зернистыми” свойствами. В работе Д.Ермолаева (2008) также развит ”штучный подход” (в терминологии автора этой работы), приводящий к аналогичным выводам. А в разделе, посвященном числу структурных элементов, приводится обзор дискуссии по этой теме, указывающий на то, что у идеи введения единицы для количества считаемых элементов с размерностью C имеется немало сторонников среди метрологов, а также немало полезных практических приложений.

Если считать **молекулу элементарным тепловым зарядом (как электрон считают элементарным электрическим зарядом, в смысле неделимым зарядом)**, то тепловая энергия одной молекулы (**энергия трех степеней свободы молекулы**) − **это энергия одного термона**. И тогда тепловая энергия всех молекул системы равна энергии одного термона τ, умноженной на число элементарных тепловых зарядов (**термонов**). А **размерность термона** − это размерность тепловой энергии всех молекул системы, приходящейся на число молекул, то есть EC^{-1}. Такая же размерность должна быть и у постоянной Больцмана k, что и соответствует иной, чем (6), формуле размерности:

$$\dim \tau = \dim k = EC^{-1} . \quad (7)$$

Единица, соответствующая этой размерности, − Дж шт$^{-1}$ (или Дж квант$^{-1}$). Из такой трактовки размерности и единицы термона следует, что для выполнения правила размерностей в уравнении (5) термодинамическую температуру T следует трактовать, как **количество**

термонов в однородной системе. И тогда термодинамическая температура *T* приобретает размерность С с единицей штука (или квант). А тепловую энергию системы следует трактовать, как произведение энергии одного термона на их количество в системе. И необходимость в такой условной основной величине, как термодинамическая температура, исчезает.

Две, на первый взгляд, разные единицы термодинамической температуры (кельвин и штука или кельвин и квант) друг другу не противоречат. Собственно говоря, единица кельвин, равная по значению градусу Цельсия, − это квант температуры, равный одной сотой доле интервала температур между точкой таяния льда и точкой кипения воды. Если бы, например, было бы решено взять одну пятидесятую долю, то кельвин был бы в два раза больше. Так что на самом деле еще в середине XX века в СИ сделали основной величиной один из вариантов количества считаемых величин и назвали единицу этого варианта кельвином.

6. Размерность и единица разности температур, необходимые при обновлении СИ.

Количество элементарных тепловых зарядов в тепловом заряде системы, как и вообще количество элементарных зарядов любой природы в заряде системы, можно измерять в штуках или в квантах (И.Коган, 2015). Соответственно, при обновлении СИ размерностью температурного напора (разности температур) должна быть размерность количества объектов с символом С.

Тем самым подтверждается отсутствие необходимости введения в систему величин специальной величины "термодинамическая температура" со своей отдельной размерностью. А кельвин является еще одним вариантом единицы основной величины "количество считаемых величин". **Кельвин, равный по значению градусу Цельсия, − это квант разности температур, равный одной сотой доле разности температур между точкой таяния льда и точкой кипения воды.** Правда, уже после того, как к точке таяния льда было официально привязано значение 273,15 К, выяснилось, что разность температур точек таяния льда и кипения воды немного меньше 100 К. То есть говорить о сотой доле разности температур между температурой таяния льда и температурой кипения воды, строго говоря, уже нельзя. Подобная ситуация лишний раз подтверждает опасность административной привязки определений единиц к физическим константам.

В состав набора основных величин должны входить энергия с размерностью Е и количество считаемых величин с размерностью С, и тогда размерности термона *τ* и постоянной Больцмана *k* равны EC^{-1}, чему соответствует единица Дж cnt^{-1} (Дж $квант^{-1}$ или Дж $шт^{-1}$).
Приведенная трактовка термодинамической температуры и разности температур приводит к необходимости существенных изменений единиц величин в тепловой форме движения. Можно, конечно, оставить всё, как есть, но это будет равносильно затягиванию болезни, которой уже давно страдает теория теплопередачи.

7. В метрологии фактически измеряется разность температур, а не температура.

Разность потенциалов $\Delta\mathbf{P}$ и потенциал системы *P* являются разными по своему содержанию физическими величинами. Это относится, соответственно, и к температурному напору $\Delta\mathbf{T}$ и абсолютной температуре *T*. В статьях В.Эмерсона указывается на то, что "*разность температур не является величиной той же природы, что и термодинамическая температура, и, возможно, не того же вида*" и что "*все термодинамические температуры являются разностями температур и их следует оценивать с использованием единицы разности температур*".
Наконец, включение тепловой формы движения в обобщенную систему физических величин оказывается возможным при использовании уравнения, в котором присутствует именно разность температур $\Delta\mathbf{T}$, а не термодинамическая температура *T*. В современной метрологии различие между температурой и разностью температур пока не учитывается. Единица кельвин была принята в резолюции 3 на 13-ом заседании ГКМВ в 1967-1968 г. одновременно и как единица термодинамической температуры, и как единица разности температур. С тех пор менялся только перечень реперных точек на температурной шкале. Однако в резолюции № 1 24-го заседания ГКМВ в 2011 г. о единице кельвин сказано так: "кельвин по-прежнему будет оставаться единицей термодинамической температуры, но ее величина будет установлена посредством фиксированного численного значения постоянной Больцмана, равной точно $1{,}38065X\times10^{-23}$, на основании выражения единицы СИ $м^2$ кг $с^{-2}$ K^{-1}, которая равна Дж K^{-1}." В этой резолюции говорится о кельвине уже только как о единице термодинамической температуры. То есть, доводы, приведенные в статьях В.Эмерсона, пока не приняты во внимание.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Вейник А.И. 1991, Термодинамика реальных процессов. – Минск: «Навука і техніка», 576 с.
3. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html
4. Ермолаев Д.С. Тепловой заряд и обобщение теплофизики. // Актуальные проблемы современной науки, №4(43) 2008г, стр.89, -М: «Компания Спутник+», (см. также http://icreator.ru/physics/tz0807.htm)
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.
6. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ. (Часть 1. О единицах с размерностью one). – Законодательная и прикладная метрология, 1.
8. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
9. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
10. Томилин К.А., 2001, Планковские величины, http://www.ihst.ru/personal/tomilin/papers/tom00phil.pdf
11. Чертов А.Г., 1990,Физические величины.– М.:Высшая школа, 336 с.
12. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. http://www.chuev.narod.ru/ .
13. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.
14. Информационный портал по измерению температуры, 2007-2011, Введение − Понятие температуры и температурной шкалы. http://temperatures.ru/mtsh/mtsh.php
15. Emerson W. H., 2005. On the concept of dimension. Metrologia, 42, L21–22
16. Emerson W. H., 2008. On quantity calculus and units of measurement. Metrologia, 45, p.p.134-138

9.4. Тепловое излучение

1. Взаимосвязь теплового излучения с уровневой физикой.

Тепловое излучение связано не только с той тепловой формой движения в макромире, которая понимается как движение материальных энергоносителей. Хотя любая волна тоже является энергосителем. **Тепловое излучение – это электромагнитное излучение в определенном диапазоне частот**. Но электромагнитные волны изучаются лишь на одном из уровней структурного строения материи.

На рисунке изображен в качестве примера один из вариантов уровневой схемы структурного строения материи, приведенный в работе В.Пакулина (2004).

На схеме $E_{св}$ − энергия связи, T − термодинамическая температура. Согласно этой схеме подуровень **макровещество**, в состав которого входят газы, жидкости и твердые тела, занимает очень малую долю того, что сейчас считают материей. И только для этой малой доли составлена международная температурная шкала МТШ-90. Естественно, что нет основания судить о температуре всех остальных структурных уровней материи с помощью этой шкалы.

В качестве любопытного феномена заметим, что принятое в современной физике процентное отношение энергии связи вещества (4,4%), электромагнитного поля и излучения (23%) и темной энергии с вышележащими уровнями (72,6%), если его представить в виде отношения логарифмов, приблизительно равно 1:2:3. В дальнейшем (В.Пакулин, 2012) схема уровневой структуры материи претерпела изменения, но для пояснения взаимосвязи температуры с уровнями лучше подходит схема, в которой имеется температурная ось.

Указанная схема, вне зависимости от того, насколько она верна в деталях, требует ответа на вопрос о том, в каких единицах оценивать температуру на любых уровнях структуры материи, а не только на подуровне "Макровещество". На этом подуровне, как показано в разделе об единичном тепловом заряде, таковым является **термон** (количество энергии, приходящееся на 3 степени свободы одного энергоносителя, на данном подуровне молекулы). А на всех других уровнях и подуровнях существуют другие энергоносители с другими элементарными зарядами, содержащими другое количество энергии и являющимися физическими константами для своего уровня.

Чем выше на схеме структурный уровень, тем меньше размеры его элементарного заряда, тем больше количество энергии, приходящееся на этот элементарный заряд, тем больше количество энергоносителей, содержащих эти элементарные заряды. При этом речь идет о различии не в разы, а в порядки. Определение термина термодинамическая температура при этом может не меняться, меняется физическое содержание энергоносителей и их элементарных зарядов.

2. Закон смещения Вина при тепловом излучении.

Закон смещения Вина описывает тепловое излучение, которое является частным случаем электромагнитного излучения в определенном диапазоне длин волн излучения. Сами волны являются энергоносителями, а единичным зарядом является полная энергия одной волны. Поскольку в разделе, посвященном термодинамической температуре, она определяется как количество единичных зарядов в однородной системе и измеряется либо в штуках, либо в других единицах, соответствующих штуке, то в данном случае **единицей термодинамической температуры** является **одна волна излучения**.

Закон смещения Вина относится к зависимостям испускательной способности абсолютно черного тела от изменения длины волны теплового излучения λ. Он устанавливает связь между температурой абсолютно черного тела T, называемой также **радиационной температурой**, и длиной волны теплового излучения λ_m , соответствующей экстремуму (максимуму) этой зависимости. Закон Вина обычно записывают в таком виде:

$T\lambda_m = b$, (1)

где b – постоянная Вина. Из уравнения (1) следует, что в СИ единица постоянной Вина b должна быть равна м К. В системе величин ЭСВП размерность любой длины волны равна LC^{-1}, а единица равна метр штука$^{-1}$ (в данном случае - метр волна$^{-1}$). Следовательно, **постоянная Вина *b* это длина волны, соответствующей λ_m при радиационной температуре *T***. Постоянство b свидетельствует об обратной пропорциональности T и λ_m . У И.Савельева (2005, кн.5) показано, что постоянная Вина

$b = hc/x_2\, k$, (2)

где h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; k – постоянная Больцмана, а безразмерная физическая константа $x_2 = hc/kb =$ 4,965. О размерности и единице постоянной Больцмана написано в разделе, посвященном размерности температуры, а о размерности и единице постоянной Планка написано в разделе, посвященном числу структурных элементов. Анализ размерностей уравнения (2) подтверждает, что постоянная Больцмана имеет единицу Дж волна$^{-1}$, а постоянная Планка – единицу Дж с волна$^{-1}$.

3. Как изменяет единица количества считаемых величин физическое содержание закона теплового излучения Планка.

В законе теплового излучения Планка присутствует множитель

$1/[\exp(h\nu/kT) - 1]$, (3)

определяющий всё физическое содержание этого закона. В отличие от критерия подобия x_2 с постоянным значением в законе смещения Вина в законе теплового излучения Планка присутствует критерий подобия с переменным значением:

$x_1 = h\nu/kT$. (4)

Если понимать знаменатель критерия x_1 , как **энергию, переносимую волнами теплового излучения**, то в нем должно находиться выражение $n_w\, kT$, в котором n_w – это количество волн теплового излучения. Точно так же числитель x_1 следует понимать, как энергию, переносимую фотонами, и тогда в числителе должно находиться выражение $n_{ph}\, h\nu$, в котором n_{ph} – это количество излучаемых фотонов. И тогда критерий x_1 должен быть записан не так, как в (4), а в виде:

$x_1 = (n_{ph}\, h\nu)/(n_w\, kT)$. (5)

В такой записи критерий x_1 приобретает следующее физическое содержание: **это отношение энергии какого-то количества n_{ph} испускаемых абсолютно черным телом фотонов к энергии какого-то количества n_w испускаемых абсолютно черным телом электромагнитных волн в тепловом диапазоне.** Если провести анализ единиц в критерии x_1 , то получится выражение

$[x_1]$ = (Дж·фотон)/(Дж·волна) . (6)

Так как единицы ”фотон” и ”волна” – это разные названия единицы ”штука”, то становится ясно, что критерий подобия x_1 включает в себя в качестве сомножителя еще один критерий подобия n_{ph} /n_w , который, в основном, и определяет физическое содержание закона теплового излучения Планка.

Это очень важный вывод, так как при отсутствии в современной записи закона теплового излучения Планка указанного критерия подобия как бы по умолчанию предполагается, что критерий подобия n_{ph} /n_w может быть равен единице и что он вообще не имеет никакого физического содержания.

4. Закон теплового излучения Планка подтверждает равенство единицы термодинамической температуры единице количества считаемых величин.

При рассмотрении знаменателя уравнения (4) становится понятным, почему единица штука оказалась единицей термодинамической температуры *T*, о чем подробно написано в разделе о термодинамической температуре. **Фактически это единица числа волн электромагнитного излучения n_w** . Но поскольку число волн n_w в современную запись закона теплового излучения Планка не включается, то единица штука оказалась включенной в единицу термодинамической температуры.

Становится также физически ощутимым смысл невозможности ультрафиолетовой катастрофы. Он заключается в следующем. **Суммарная энергия излучения тела состоит из двух слагаемых: энергии теплового излучения в виде электромагнитных волн и энергии излучаемых телом фотонов, являющихся частицами, а не волнами.** Несмотря на то, что скорость распространения электромагнитных волн в вакууме и скорость фотонов в вакууме одинаковы и равны скорости света *c*, **фотон и волна это два различных энергоносителя с различными физическими свойствами**. В частности, поглощение энергии электромагнитных волн и поглощение энергии фотонов в любой среде существенно отличаются друг от друга.

В низкочастотном диапазоне излучение тела состоит преимущественно из электромагнитных волн. **Чем выше частота, тем больший процент при излучении составляют фотоны, а энергия теплового излучения падает в процентном выражении до тех пор, пока не становится неощутимой.** Суммарная же энергия излучения, включающая энергию излучаемых фотонов, растет постоянно, как с ростом частоты, так и с ростом температуры излучающего тела. Кривые на графиках зависимости энергетической светимости от длины волны, имеющие максимум при λ_m , относятся только к энергии теплового излучения, то есть только к одному из слагаемых суммарной энергии излучения.

При условии $x_1 << 1$, то есть на нижнем пределе частотного диапазона инфракрасного излучения, закон теплового излучения Планка переходит в закон теплового излучения Рэлея-Джинса, определяющий равновесную плотность теплового излучения, исходя из статистического представления о равнораспределении энергии по степеням свободы. Отсюда следует вывод о том, что представление энергии теплового излучения с помощью выражения (kT) релевантно лишь на уровне макровещества, изучаемого классической физикой, но не квантовой оптикой.

Важен еще один вывод. Приведенная трактовка критерия подобия x_1 в виде (n_{ph} hv)/(n_w kT) отрицает существование корпускулярно-волнового дуализма. О неправомерности его существования говорят практически все приверженцы уровневой физики.

А в целом данный раздел приводит еще одно доказательство важности и необходимости введения в перечень основных величин числа структурных элементов (количества считаемых величин) с размерностью С.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru
2. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с.
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель

9.5. Новые единицы тепловых величин

1. Введение понятия "тепловой заряд" изменяет представление о теплопроводности.

При систематизации физических величин во всех формах движения следует руководствоваться обобщенным уравнением энергообмена. При энергообмене системы с окружающей ее средой это уравнение сокращается до вида:

$$dW = \Sigma_i \, \Delta\mathbf{P}_i \, (d\mathbf{q}_{fl})_i \,, \ (\ 1\ )\ (\ 1\ )$$

где dW - изменение энергообмена между системой и окружающей средой, $\Delta\mathbf{P}_i$ - разхность потенциалов между системой и средой для i-ой формы движения, $(d\mathbf{q}_{fl})_i$ - элементарное количество перемещающихся из системы в среду (или в обратном направлении) энергоносителей i-ой формы движения. Уравнение энергообмена (1) для тепловой формы движения будет, соответственно, иметь вид:

$\delta Q = \Delta\mathbf{T}\ d\mathbf{\Theta}$, (2)

где δQ - элементарное количество теплоты, $\Delta\mathbf{T}$ - температурный напор, $d\mathbf{\Theta}$ - бесконечно малое количество перемещающегося теплового заряда. Уравнение для определения температурного напора $\Delta\mathbf{T}$ вытекает из обобщенного уравнения для определения разности потенциалов. В тепловой форме движения оно имеет вид:

$D_{tm}\ \mathbf{\Theta} + R_{tm}\ d\mathbf{\Theta}/dt + I_{tm}\ d^2\mathbf{\Theta}/dt^2 = -\ \Delta\mathbf{T}$, (3)

где $D_{tm} = dT/d\Theta$ – термическая жесткость; $R_{tm} = \delta/aS$ – термическое сопротивление (δ – толщина теплопроводящего слоя, $a = \lambda/T$ – коэффициент термопроводности; λ – коэффициент теплопроводности в современной теплопередаче, S – площадь сечения, сквозь которое протекает тепловой поток), I_{tm} – термическая инертность. Уравнение для определения разности потенциалов может иметь вид, аналогичный подобному уравнению в электродинамике:

$(1/C_{tm})\ \mathbf{\Theta} + R_{tm}\ \mathbf{\Phi}_a + I_{tm}\ d\mathbf{\Phi}_a\ /dt = \Delta\mathbf{T}$, (4)

где $C_{tm} = d\Theta/dT$ – термическая ёмкость; $\mathbf{\Phi}_a = d\mathbf{\Theta}/dt$ – поток тепловых зарядов (тепловой поток в современной теории теплопередачи соответствует $\Phi = \Phi_a T$).

Всё это приводит к обновлению единиц тепловых величин, что показано ниже в таблице.

2. Единицы тепловых величин (в СИ и обновленные).

Название физической величины	Символ или формула	Единица измерений	
		обновленная	в СИ
Современная теория теплопередачи	.	.	.
Элементарное количество теплоты	δQ	-	Дж
Термодинамическая температура	T	-	К
Теплоёмкость	$C = dQ/dT$	-	Дж $К^{-1}$
Термическое	$R_{tm} = \delta/\lambda S$	-	$Вт^{-1}$ К

сопротивление			
Термическая проводимость	$Y_{tm} = \lambda S/\delta$	-	Вт К$^{-1}$
Коэффициент теплопроводности	λ	-	м$^{-1}$ Вт К$^{-1}$
Тепловой поток	Φ	-	Вт
Обновленная теория теплопередачи	.	.	.
Элементарное количество теплоты	δQ	Дж	Дж
Бесконечно малое количество перемещающегося теплового заряда	$d\mathbf{\Theta}$	Дж К$^{-1}$	К
Температурный напор	$\Delta\mathbf{T}$	К	-
Термическая жесткость	$D_{tm} = dT/d\Theta$	Дж$^{-1}$ К^{2}	-
Термическая ёмкость	$C_{tm} = d\Theta/dT$	Дж К$^{-2}$	-
Термическое сопротивление	$R_{tm} = \delta/aS$	Вт$^{-1}$ К^{2}	-
Термическая проводимость	$Y_{tm} = aS/\delta$	Вт К$^{-2}$	-
Термическая инертность	I_{tm}	Вт К$^{-1}$	-
Коэффициент термопроводности	$a = \lambda/T$	м$^{-1}$ Вт К$^{-2}$	-
Поток тепловых зарядов	$\mathbf{\Phi}_a = d\mathbf{\Theta}/dt$	с-1 К	-

3. Результаты сравнения единиц тепловых величин в таблицах “Теплопроводность“ и “Движение теплового заряда“.

Главным новшеством в приведенной выше таблице является то, что изменением координаты состояния считается бесконечно малое количество перемещающегося теплового заряда $d\mathbf{\Theta}$. Именно наличие **координаты состояния (теплового заряда)** обеспечивает реальность единиц тепловых величин в таблице "Движение теплового заряда", а отсутствие координаты состояния формы движения в таблице "Теплопроводность" указывает на ее ошибочность, на невозможность включения современных тепловых величин в систему физических величин.

Всё это следствие того, что под изменением энергообмена dW в тепловой форме движения следует понимать изменение тепловой энергии упорядоченного теплового движения. Тогда как при применении существующего немодифицированного закона Фурье роль координаты состояния dq_i тепловой формы движения в системе играет количество теплоты (теплота), и поэтому неизвестно, что должно стать изменением энергообмена dW в таблице “Теплопроводность“. В таблице же “Движение теплового заряда“ координатой состояния тепловой формы движения является тепловой заряд. И таким образом появляется возможность применения главного определяющего уравнения. Тепловой заряд имеет единицу Дж $К^{-1}$. В СИ такую же единицу имеет постоянная Больцмана. В разделе, посвященном размерности температуры, пояснено, что появление постоянной Больцмана было связано исторически с необходимостью включения в систему единиц условной основной величины, называемой термодинамической температурой. Тепловой заряд, как физическая величина, пропорционален постоянной Больцмана.

Работе в тепловой форме движения соответствует теплоообмен в виде приращения тепловой энергии системы. Термический поток $\mathbf{\Phi}_a$ представляет собой поток тепловых зарядов, тогда как тепловой поток Φ в современной теории теплопередачи отражает лишь интенсивность теплообмена во времени.

Единицы важных производных величин в таблице “Движение теплового заряда“ отличаются от единиц СИ тем, что единица К (Кельвин) присутствует в квадрате, а не в первой степени. Это иные производные величины, чем в современной теории теплопередачи, так как модифицирована запись закона Фурье. Вместо “теплоемкости” появилась “термоемкость”, отражающая интенсивность изменения теплового заряда в зависимости от изменения температурного напора. Соответственно, коэффициент теплопроводности λ заменен на коэффициент термопроводности a. К совершенно аналогичным размерностям и единицам тепловых величин пришел также и Д.Ермолаев (2004).

4. Разъяснение понятия "термическая ёмкость".

Под изменением теплового заряда d**Θ** понимается входящее в систему какое-то количество энергоносителей упорядоченной тепловой формы движения, не отождествляя его с полным изменением теплообмена между системой и средой, то есть с суммой изменений энергий упорядоченного и неупорядоченного теплового движения. И тогда нам приходится прийти к парадоксальному, на первый взгляд, выводу о том, что основная идея теории теплорода оказывается верной, если под теплородом понимать не общее количество вошедшей теплоты, а количество вошедшей тепловой энергии упорядоченного теплового движения, ассоциированное с движением теплового заряда. Именно так и понимал эту ситуацию С.Карно, он не отождествлял тепловую энергию с изменением теплообмена.

В соответствии с такой интерпретацией поток теплового заряда должен рассматриваться не как поток энергии тепловой формы движения, а как поток упорядоченной части тепловой энергии. Именно тепловой заряд и может накапливаться в системе. Поэтому в тепловой форме движения энергоёмкость системы следует рассматривать, как ёмкость по отношению к тепловому заряду, а не как ёмкость по отношению к общему количеству теплоты.

Поэтому приведенная в таблице термическая ёмкость $C_{tm} = \mathrm{d}\Theta/\mathrm{d}T$, имеющая единицу Дж $К^{-2}$, отличается от применяемой в современной термодинамике теплоёмкости $C = \delta Q/\mathrm{d}T$, имеющей единицу Дж $К^{-1}$. Точно так же бесконечно малое количество тепловых зарядов d**Θ**, входящее в систему, меньше подведенного к системе элементарного количества теплоты δQ. Входящее в систему количество тепловых зарядов d**Θ** является частью количества теплоты δQ.

5. О тепловой инертности при движении теплового заряда.

В таблицу “Движение теплового заряда“ включена физическая величина, соответствующая тепловой инертности теплового потока. Ни в теоретической, ни в технической термодинамике тепловая инертность сегодня не характеризуется конкретной физической величиной, хотя тепловая форма движения в реальных термодинамических системах обладает большой инертностью. При расчетах процесса переноса теплового заряда сейчас учитывается только сопротивление тепловому потоку, а тепловая инертность обычно не учитывается. Введение “тепловой инертности потока“ может при необходимости позволить рассчитать характер переходного процесса в тепловой форме движения и время его протекания, как бы велико оно не было.

В молекулярно-кинетической теории газов существуют формулы для расчета кинетической и потенциальной энергии молекул в отдельности и для расчета массы газа, находящейся в системе в целом, однако эти формулы не увязаны с “тепловой инертностью потока“. Это происходит по той причине, что при исследовании термодинамических систем обычно не применяют уравнение динамики, из которого можно вычислить тепловую инертность.

6. Вкратце о термодинамической энтропии в теории теплового заряда.

И. Коган преднамеренно не включил в приведенную выше таблицу "термодинамическую энтропию". При этом он не смешивает это понятие с понятиями "статистическая энтропия" и "информационная энтропия", имеющими иное содержание. И. Коган согласен с А.Вейником и многими другими учеными, считающими введение Р.Клаузиусом энтропии в термодинамику причиной болезни, поразившей термодинамику, от которой она не может излечиться на протяжении уже полутора веков.

Элементарное количество перемещающегося теплового заряда определяется уравнением $d\Theta = \delta Q/\Delta T$, оно не может трактоваться как изменение термодинамической энтропии, определяемой по Р.Клаузиусу уравнением $dS = \delta Q/T$, хотя бы потому, что ΔT и T – это двe разные величины. Изменение количества теплового заряда $d\Theta$ и изменение термодинамической энтропии dS определяются разными уравнениями связи и, следовательно, имеют разное физическое содержание.

В ряде статей по метрологии наличие одинаковых размерностей у теплоёмкости и термодинамической энтропии рассматривается как один из недостатков СИ. Однако СИ в данном случае не при чем. Стремление некоторых ученых к поиску идентичности физического содержания величин на основании идентичности их размерностей или единиц совершенно не обосновано. Физическое содержание величины определяется только уравнением связи, а вовсе не формулой размерности. И если две физические величины различной природы имеют одну и ту же размерность, то причину этого надо искать в возможной неверности уравнения связи одной из этих величин.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – 2004, – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – "Законодательная и прикладная метрология", **5**.
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
5. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.

9.6. В термодинамике энтропия должна быть заменена тепловым зарядом

1. В чем состоит различие между термодинамической и статистической энтропией.

Несмотря на то, что параметр состояния термодинамической системы “энтропия“, введенный в теорию обратимых процессов Р.Клаузиусом в 1865 г. и определяемый уравнением

$dS = \delta Q / T$, (1)

имеет широкое применение во многих научных направлениях, имеются веские основания подробнее рассмотреть аспекты применения этого понятия при рассмотрении тепловой формы движения. Согласно уравнению (1) энтропия в термодинамике имеет единицу Дж $К^{-1}$.
В свое время введение энтропии устранило недостатки теории теплорода при рассмотрении циклических процессов. Правда, в разделе, посвященном современной теории теплопередачи, показано, что основные положения и термины теории теплорода применяются по сей день. По замыслу Р.Клаузиуса введение в термодинамику энтропии должно было придать ей стройность. На самом же деле оно ввергло термодинамику в длительную непрекращающуюся дискуссию.

Л.Больцман придал энтропии S в 1872 г. статистическое содержание, определив ее уравнением

$S = k\sigma$, (2)

в котором она пропорциональна безразмерной величине σ, отражающей степень упорядоченности движения в макроскопических системах. А определяющим уравнением для σ стало уравнение $\sigma = \ln P$, где P – вероятность состояния системы (не путать этот символ с обобщенным дифференциалом системы P). Из сказанного следует, что σ – это не физическая величина, а математическая абстракция, имеющая общенаучное статистическое содержание. В таком плане σ применяется далеко не только в термодинамике или вообще в физике. Естественно, что величина σ ни размерности, ни единицы не имеет.
Для приобщения σ к физике Л.Больцман умножил ее на размерный коэффициент k, названный впоследствии М.Планком **постоянной Больцмана**, имеющей такую же единицу Дж $К^{-1}$, как и S. Поэтому сейчас при применении энтропии S в термодинамике ее называют **термодинамической энтропией**. В отличие от этого математическую величину σ стали называть **статистической энтропией**. Всё было бы нормально, если бы прилагательное перед словом энтропия чаще всего не опускалось бы для краткости, по какой причине оба эти понятия стали путать.

2. Критический анализ понятия "термодинамическая энтропия".

А.Вейник (1968) резко выступил против той роли, которую играет энтропия в современной термодинамике, но его попытка изменить ситуацию не была принята современниками. А, может быть, и не понята. Против применения энтропии в термодинамике в том ключе, в каком это задумал Р.Клаузиус, доказательно и подробно выступил также И.Львов (2003, 2004).

В.Эткин (2006) подробнейшим образом описал эволюцию понятия "энтропия" в различных отраслях знания, показав, что в результате эволюции науки содержание понятия "энтропия" ушло далеко в сторону от того содержания, которое придал ему Р.Клаузиус. Однако В.Эткин считает, что "*в термодинамике энтропия является носителем тепловой формы движения, т.е. величиной, способной передаваться через границы системы в процессе теплообмена или массообмена между ней и окружающей средой.*" Таким образом, у В.Эткина термодинамическая

энтропия оказалась отождествленной с координатой состояния тепловой формы движения, то есть с тепловым зарядом.
Однако координатой состояния тепловой формы движения, как указывал А.Вейник, энтропия может считаться только при равновесных обратимых процессах. Да и то ее можно лишь приравнять к тепловому заряду, но не отождествить с ним. В общем же случае энтропию нельзя приравнивать к тепловому заряду. Отождествление энтропии с тепловым зарядом, как это следует из работы Д.Ермолаева (2004), сужает статистический смысл энтропии и переводит **статистическую энтропию** из разряда величин, имеющих сейчас обобщенное содержание для любых материальных систем, в частную характеристику тепловой формы движения. Но в этом случае следует уже обязательно говорить о термодинамической энтропии, а не просто об энтропии.

По А.Вейнику координатой состояния в упорядоченной тепловой форме движения является именно тепловой заряд. Из определяющего уравнения тепловой формы движения следует, что изменение теплового заряда $d\Theta$ определяется уравнением

$d\Theta = \delta Q / \Delta T$. (3)

Уравнение (3) принципиально отличается от уравнения (1) тем, что δQ – это воздействие на систему тепловой энергии (изменение теплообмена), а не изменение количества теплоты в трактовке теории теплорода. В знаменателе уравнения (3) находится температурный напор ΔT, а не абсолютное значение термодинамической температуры T, как в уравнении (1). В таблице тепловой формы движения (таблица "Движение теплового заряда"), в соответствии с условием приращений, присутствует именно температурный напор ΔT. Из этого следует, что при систематизации величин тепловой формы движения применение термодинамической энтропии в качестве координаты состояния неприемлемо.

При адиабатических процессах тепловой заряд системы Θ не изменяется точно так же, как и термодинамическая энтропия системы S. Так что процессы с постоянным количеством теплового заряда в системе – это и есть те процессы, которые в теплотехнике называют изоэнтропийными.

При необратимости процесса в системе может измениться суммарное количество теплового заряда диссипации вследствие переноса энергии любых упорядоченных форм движения в неупорядоченную тепловую форму движения диссипации, но тепловой заряд диссипации – это совсем не то же самое, что тепловой заряд упорядоченной тепловой формы движения.

3. К чему приводит замена термодинамической энтропии тепловым зарядом.

Приведем таблицу (И.Коган, 2006), показывающую, что именно изменяется при переходе от несуществующей формы движения, применяющей термодинамическую энтропию в качестве координаты состояния, к реальной тепловой форме движения, применяющей в качестве координаты состояния тепловой заряд. Различие заметно достаточно отчетливо.

Форма движения с энтропией		**Форма движения с тепловым зарядом**	
Наименование физической величины	Обозначение или формула	Наименование физической величины	Обозначение или формула
Изменение теплообмена	δQ	Изменение теплообмена	δQ
Изменение энтропии системы	$dS = \delta Q/T$	Изменение теплового заряда	$d\Theta$
Термодинамическая температура	T	Температурный напор	$\Delta \mathbf{T} = (dQ/d\Theta)\mathbf{e}_{\Delta T}$
Теплоёмкость системы	$C = dQ/T$	Ёмкость системы по отношению к тепловому заряду	$C = d\Theta/dT$

Приведем также таблицу (И.Коган, 2006), показывающую изменение уравнений для определения так называемых термодинамических потенциалов для случая адиабатного сжатия (расширения) идеального газа. Наглядная схема взаимосвязей термодинамических потенциалов приведена также в работах И.Когана (2006, 2007).

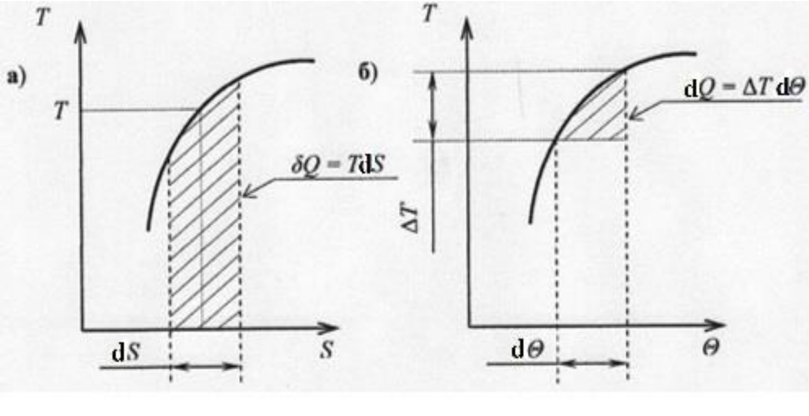
Наименование физической величины	**Форма движения с энтропией**	**Форма движения с тепловым зарядом**
	Обозначение или формула	Обозначение или формула

Изменение внутренней энергии	$dU = \delta Q + dA$	$dU = \delta Q + dA$
Изменение энтальпии (теплосодержания)	$dH = dU + dA$	$dH = dU + dA$
Изменение связанной энергии	TdS	$Td\Theta$
Изменение свободной энергии Гельмгольца	$dF = dU - TdS$	$dF = dU - Td\Theta$
Изменение свободной энтальпии Гиббса	$dG = dH - TdS$	$dG = dH - Td\Theta$
Уравнение состояния тепломеханической системы	$dW = pdV + TdS$	$dW = \Delta pdV + Td\Theta$

4. Каковы следствия замены энтропии в термодинамике тепловым зарядом.

Возникает вопрос: как быть с TS-диаграммами, часто применяемыми при изображениях термодинамических циклов в теплотехнике и для расчета этих циклов? Можно показать, что в изображениях термодинамических циклов возможна замена изменения термодинамической энтропии dS на изменение теплового заряда $d\Theta$, то есть TS-диаграммы вполне можно заменить на $T\Theta$-диаграммы. Разница между применением на этих диаграммах T и ΔT проиллюстрирована на рисунке.

Заштрихованной площадью на TS–диаграмме (рис. **а**) показано количество теплоты δQ, сообщенное системе. На $T\Theta$–диаграмме (рис. **б**) заштрихованной площадью показано изменение теплообмена dQ. Поскольку при использовании диаграмм оперируют с разностями



энергообменов, большие практические затруднения при переходе с *TS*–диаграмм на *TΘ*–диаграммы не предвидятся. Но это трудно с точки зрения привычек.

Для многих поколений студентов и инженеров мысленно осязаемый смысл энтропии в термодинамике заключается в том, что возрастание энтропии означает снижение работоспособности термодинамической системы. Но в термодинамике такую же, если не большую познавательную ценность должно иметь и термическое сопротивление в реальном термодинамическом процессе при рассмотрении переноса теплового заряда через проточную систему.

В современной **физике термодинамическая энтропия используется для подсчета меры работоспособности любой формы движения в любой системе. А статистическую энтропию сейчас применяют и в информатике, где она определяет критическое значение скорости "помехоустойчивой" передачи информации по конкретному каналу связи, и в космологии, и для понимания явлений живой жизни, и даже в лингвистике.** Всё это подробно проанализировано в работе В.Эткина (2006). Но в качестве координаты состояния упорядоченной тепловой формы движения термодинамическую энтропию применять не следует.

Будем надеяться, что доводы, приведенные в данном разделе, дополнят доводы А.Вейника, И.Львова, Д.Ермолаева и помогут освободиться от некоторых неадекватных представлений.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html
3. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
4. Коган И.Ш., 2007, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию “энергия” – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8784.html
5. Львов И.Г., 2003, Что такое энтропия? – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6653.html
6. Львов И.Г., 2004, Что такое тепловой заряд? – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7339.html

7. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml

10. Обновленный взгляд на явления переноса

10.1. Явления переноса существуют в каждой форме движения

Недостаток при изучении явлений переноса

В современной физике для изучения пространственного перераспределения какой-либо скалярной физической величины вследствие нарушения равномерной концентрации материальных частиц внутри системы применяют понятие о скалярном поле распределения этой величины. Пространственная неравномерность распределения скалярной величины вызывает направленный перенос материальных частиц внутри системы с целью восстановления равномерности этого распределения, отчего этот процесс получил обобщенное название **явлений переноса**. В соответствии с этим, скалярное поле распределения получило название **поля переноса**. Раздел физики, изучающий явления переноса и поля переноса, называют **физической кинетикой**.
Обычно физическая кинетика ограничивается рассмотрением диффузии, теплопроводности и внутреннего трения в жидкостях и газах. И речь в этих **трех случаях** идет о переносе массы или, в более обобщенном виде, о **переносе импульса частиц жидкости и газа**. Уравнения переноса в этих трех явлениях совпадают в современной физической кинетике по структуре, но не совпадают по форме записи. Соответственно, не совпадают и определяющие уравнения для коэффициентов переноса. При этом не подчеркивается тот факт, что уравнения переноса описывают не только перенос частиц вместе с их импульсом, но и перенос энергии из рассматриваемых форм движения в энергию тепловой формы движения диссипации.

Справочник по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) помещает параграф о явлениях переноса в главу “Кинетическая теория газов“, как бы подчеркивая этим исключительно статистический характер происходящих процессов. Учебник по физике И.Савельева (2005, кн.3) лишь одной фразой намекает о том, что явления переноса могут относиться также и к возникновению потока электрических зарядов. **Но**

ведь и электрический ток можно рассматривать как следствие неравномерной концентрации “электронного газа“ в системе. А **условие аналогий прямо указывает на то, что явления переноса должны носить обобщенный характер и иметь место во всех формах движения.** Между тем, они не учитываются, например, в механике твердого тела и в электротехнике, возможно, из-за своей незначительности.

Универсальный характер явлений переноса

И все же явления переноса носят универсальный характер, а причина этого заключается в следующем. Если бы коэффициенты из обобщенного уравнения динамики, определяющие противодействия жесткости и диссипации, были бы равны нулю, то приращения координаты состояния системы при переходном процессе происходили бы одновременно во всех точках системы. В реальности же приращения энергетического воздействия передаются внутри системы с какой-то определенной **скоростью переноса**, поэтому в разных точках системы они происходят не одновременно. Лишь в электрических и механических формах движения скорость переноса настолько велика в масштабах реальных размеров систем, что приращения координаты состояния системы при переходном процессе происходят практически одновременно во всех точках системы. Поэтому физическая кинетика и не изучает явления переноса в этих формах движения, хотя одно из главных следствий переноса – **диссипация энергии** – имеет место и в них тоже.

В тех случаях, когда запаздываниями при переносе пренебрегают, можно считать, что энергетическое воздействие на систему приводит к изменению потенциальной энергии всей системы сразу. Если же пренебречь запаздыванием нельзя, то его влияние особенно сильно ощущается в тех случаях, когда система имеет достаточно большие размеры или обладает малой жесткостью (большой ёмкостью, что одно и то же). Последний вариант как раз и характерен для систем с текучей, особенно, с газовой средой. Поэтому физическая кинетика и сосредоточила свое внимание на явлениях переноса в текучих средах.

Когда речь идет о непроточных системах, явления переноса ограничены только временем действия переходного процесса. А в проточных системах явления переноса существуют постоянно, поскольку в них постоянно существует процесс переноса энергоносителей. **И он сопровождается переходом энергии из той формы движения, которая**

рассматривается, в энергию тепловой формы движения диссипации. Поэтому любые процессы в любой форме движения системы являются принципиально необратимыми.

Поле переноса и его отличие от поля взаимодействия

Упорядоченное движение частиц, вызываемое пространственной неравновесностью какой-либо скалярной величины, обычно не увязывается с влиянием силового поля, если эти частицы не содержат заряды силового поля или если влиянием силового поля на движение частиц можно пренебречь. Например, в температурном поле, в поле давлений или в поле скоростей материальные носители часто являются электрически нейтральными, а влиянием на них гравитационного поля можно пренебречь вследствие незначительности этого влияния.

Однако в результате нарушения равновесия в системе, характеризуемым неравномерным пространственным распределением скалярной физической величины возникает разность потенциалов внутри той формы движения системы, в которой возникла неравномерность распределения. **Эта разность потенциалов приводит к возникновения поля этой скалярной величины и, как следствие, к появлению сил, стремящихся восстановить равномерность распределения.** Это поле и можно назвать **полем переноса**, в отличие от **поля взаимодействия** зарядов, которых в поле переноса нет.

В работе В.Эткина (2005) показывается, что поля переноса, названные им полями “термодинамических“ сил (к ним он относит, например, термодвижущие силы, гидродинамические силы, диффузионные силы), нужно рассматривать в качестве векторных полей, несмотря на то, что они вызваны пространственной неравномерностью распределения скалярных величин. Причиной тому является то обстоятельство, что вызванное полями переноса упорядоченное движение частиц носит направленный характер. И поэтому так называемые “термодинамические“ силы и вызванные ими потоки материальных носителей тоже являются векторными величинами.

В поле переноса, например, в неравномерном температурном поле газовой среды, молекулы движутся хаотически, но результирующий вектор их скоростей совпадает по направлению с направлением движения от более нагретой зоны к менее нагретой. Ни о каком гравитационном или электрическом взаимодействии более быстрых молекул с менее быстрыми молекулами на расстоянии, существенно большем эффективного диаметра молекулы, речь не идет, оно слишком незначительно.

Необходимость обобщения уравнений переноса

В системе физических величин **ЭСВП**, рассматриваемой в данной работе, для уравнений, описывающих явления переноса, имеются обобщенные формы записи. Коэффициенты переноса в уравнениях, выведенных из обобщенного уравнения переноса, не совпадают с коэффициентами переноса в тех уравнениях, которые применяются в современной физической кинетике. Исключение представляют лишь коэффициенты переноса в гидродинамическом пограничном слое и при течении электрического тока в проводнике. И это обстоятельство говорит о прозорливости И.Ньютона, предложившего закон вязкого трения в пограничном слое, и Г.Ома, предложившего закон электропроводности.

Коэффициенты переноса, применяемые сейчас в физической кинетике, могут быть получены из соответствующих коэффициентов переноса, приведенных в таблицах физических величин, с помощью ввода дополнительных множителей, что проиллюстрировано в таблицах соответствующих форм движения.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению“. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shmtl.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

10.2. Обобщенное уравнение явлений переноса

Уравнения явлений переноса в современной физике

В современной физике изучают **три явления переноса**: **диффузию, теплопроводность и внутреннее трение**. Соответственно имеются три эмпирические уравнения. Уравнение явления переноса при диффузии называют законом Фика:

$M_i = -D\,(\mathrm{d}\rho_i/\mathrm{dz})\,S$, (1)

где M_i – поток массы i-го компонента, D – коэффициент диффузии, ρ_i – парциальная плотность i-го компонента, Oz – ось координат, S – площадь поперечного сечения потока i-го компонента. Уравнение явления переноса при теплопередаче называют законом Фурье:

$q = -\kappa\,(\mathrm{d}T/\mathrm{dz})\,S$, (2)

где q – поток теплоты, κ – коэффициент теплопроводности, T – термодинамическая температура, z - длина в направлении оси Oz. Уравнение явления переноса в гидродинамическом пограничном слое называют законом вязкого трения Ньютона, который можно записать так:

$K = -\eta\,(\mathrm{d}u/\mathrm{dz})\,S$, (3)

где K – поток импульса, передаваемого от слоя к слою поперек потока жидкости, η – коэффициент вязкости (динамическая вязкость), u – продольная скорость. Уравнения приведены в записи из учебника по физике И.Соловьева (2005).

Обобщенное уравнение явлений переноса

Все три уравнения имеют одинаковую структуру, отличаясь лишь физическим содержанием и размерностями. Поэтому запишем все три уравнения в виде **обобщенного уравнения явлений переноса** вдоль оси направления переноса Ol:

$\mathbf{\Phi}_R = -k_R\,(\mathrm{d}\mathbf{P}_R/\mathrm{d}l)\,S$, (4)

где $\mathbf{\Phi}_R$ – поток энергоносителей диссипации конкретной формы движения, k_R – **коэффициент переноса** в этой форме движения, $\mathbf{P}_R$ – диссипативное противодействие переносу энергоносителей. Коэффициент переноса является удельной физической величиной, и потому на него условие однозначности не распространяется. Знак “–“ во всех уравнениях отражает противоположность направлений потока энергоносителей и диссипативного противодействия $\mathbf{P}_R$.

Наличие диссипативного противодействия в процессе движения энергоносителей через систему приводит к тому, что поток упорядоченно движущихся энергоносителей **Ф**, входящий в систему, делится как бы на две части. Часть потока переносит энергию через систему, а часть потока, обозначаемая символом $\mathbf{Ф}_R$, переносит энергию в неупорядоченную тепловую форму движения диссипации, остающуюся в системе, и потому ее можно назвать **потоком энергоносителей диссипации**. (Иначе говоря, **энергия упорядоченного движения энергоносителей частично переходит в энергию хаотического теплового движения энергоносителей**.) Коэффициент переноса k_R в общем случае определяется уравнением

$k_R = l/RS$, (5)

где R – диссипативное сопротивление трения. Подстановка уравнения (5) в уравнение (4) приводит к упрощенной записи обобщенного уравнения явлений переноса:

$\mathbf{Ф}_R = -\mathbf{P}_R/R$. (6)

Особенности потока энергоносителей диссипациии

Размерность потока энергоносителей диссипации $\mathbf{Ф}_R$ совпадает в с размерностью потока **Ф**, но это различные физические величины, так как у них разные определяющие уравнения и разное физическое содержание.

Например, в электрической форме движения поток энергоносителей **Ф** пропорционален электрическому току в проводнике, а поток энергоносителей диссипации $\mathbf{Ф}_R$ пропорционален колебательной скорости узлов кристаллической решетки тела проводника. Значение $\mathbf{Ф}_R$ определяется только сопротивлением системы R, а значение потока энергоносителей **Ф** определяется значениями всех параметров обобщенного уравнения динамики системы.

Поток энергоносителей диссипации $\mathbf{Ф}_R$ согласно уравнению (6) обратно пропорционален диссипативному сопротивлению R. Следовательно, чем меньше диссипативное сопротивление, тем $\mathbf{Ф}_R$ больше. При малом сопротивлении R перенос энергоносителей диссипации протекает в течение очень короткого промежутка времени. Например, при резком падении электрического сопротивления (**коротком замыкании**) **переход электрической энергии в энергию тепловой формы движения диссипации резко усиливается, а сам переходный процесс протекает очень быстро**.

10.3. Обобщенная таблица явлений переноса

Определяющее уравнение явлений переноса.

Явления переноса существуют как в проточных системах, так и в непроточных системах, но в первых из них они рассматриваются чаще. Запишем главное определяющее уравнение для проточной системы так, чтобы в роли изменения координаты состояния выступило изменение среднеквадратичной по сечению потока скорости энергоносителей $d\hat{\mathbf{u}}$. Тогда в роли разности потенциалов окажется изменение импульса разности потенциалов $\Delta\mathbf{S}$. В итоге главное определяющее уравнение будет выглядеть так:

$dW = \Delta\mathbf{S}\, d\hat{\mathbf{u}}$. (1)

В механике изменение импульса разности потенциалов $\Delta\mathbf{S}$ равно изменению самого импульса $\Delta\mathbf{p}$. (К сожалению, изменение импульса обозначается тем же символом, что и перепад давлений.) Изменение импульса $\Delta\mathbf{p}$ направлено так же, как среднеквадратичная скорость $\hat{\mathbf{u}}$ энергоносителей, хотя векторы скоростей отдельных энергоносителей по направлению не совпадают. Различают компоненту изменения импульса $\Delta\mathbf{p}_x$, параллельную направлению среднеквадратичной скорости $\hat{\mathbf{u}}_x$ потока частиц (ее называют изменением **продольного импульса**) и компоненту изменения импульса $\Delta\mathbf{p}_y$, перпендикулярную направлению скорости $\hat{\mathbf{u}}_x$ (ее называют изменением **поперечного импульса**). Так что уравнение (1) можно записать и таким образом

$\Delta\mathbf{p} = \Delta(m\hat{\mathbf{u}})$, (2)

где m – линейная инертность энергоносителей (молекул, частиц и т.п.), называемая инертной массой.

Если теперь подставить значение изменения импульса из уравнения (2) в уравнение (1), то для проточных систем, где $m = \mathrm{const}$ по длине потока, после преобразования придем к уравнению

$dW = \Delta(\mathrm{m}\hat{\mathrm{u}}^2/2)$. (3)

Из уравнения (3) видно, что в проточных системах с текучими средами энергетическое воздействие на систему равно разности кинетических энергий материальных носителей на входе и выходе системы.

Иллюстрацией явлений переноса в различных формах движения является обобщенная таблица явлений переноса.

Обобщенная таблица явлений переноса

Примечание к таблице. В столбце "Изменение по длине переноса" указываются тенденции, имеющие место в направлении изменения значения характерных величин. Символом ρ обозначается плотность перемещаемых энергоносителей.

Направление переноса импульса	Название явления переноса	Вид физической системы	Изменения по длине переноса	Координата состояния системы		Разность потенциалов		Координата состояния процесса переноса	
Продольный импульс	Однофазная диффузия и термодиффузия	Непроточная	ρ *падает* $\hat{\mathbf{u}}_x$ *падает*	Парциальная масса	m	Разность диффузионных потенциалов	$\Delta\mathbf{p}/\rho$	Расход парциальной массы	$\mathbf{Q}_m$
	Течение жидкости в трубе	Проточная	ρ = const $\hat{\mathbf{u}}_x$ = const	Объём	V	Перепад давлений	$\Delta\mathbf{p}$	Объёмный расход	$\mathbf{Q}_V$
				Вес	G	Перепад напоров	$\Delta\mathbf{H}$	Весовой расход	$\mathbf{Q}_G$
	Течение газа в трубе	Проточная	ρ падает $\hat{\mathbf{u}}_x$ растет	Масса	m	Разность аэродинамич. потенциалов	$\Delta(\mathbf{p}/\rho)$	Массовый расход	$\mathbf{Q}_m$
	Теплопроводность	Проточная	ρ растет $\hat{\mathbf{u}}_x$ падает	Тепловой заряд	Θ	Температурный напор	$\Delta\mathbf{T}$	Термический поток	$\mathbf{\Phi}_a$
	Электропроводность	Проточная	ρ_e падает $\hat{\mathbf{u}}_e$ растет	Электрический заряд	q_e	Падение напряжения	$\Delta\mathbf{U}$	Электрический ток	$\mathbf{I}$
Поперечный импульс	Внутреннее трение в пограничном слое	Проточная	ρ падает $\hat{\mathbf{u}}_y$ падает	Поперечный импульс	$\mathbf{p}_y$	Сдвиг продольных скоростей	$\Delta\hat{\mathbf{u}}_y$	Ток поперечного импульса	$\mathbf{Q}_p$

Диффузия − обобщенное понятие при явлениях переноса

Обращаем особое внимание на то, что принципиальной разницы между переносом вещества в непроточной системе, возникшей в результате различия плотностей текучей среды в разных точках системы, и течением той же среды в проточной системе нет.

В непроточной системе разность плотностей возникает вследствие флуктуации (естественной или вызванной искусственно), и диффузия в непроточной системе имеет место только в течение переходного процесса. В проточной системе разность плотностей является следствием различия плотностей внутри проточной системы между системой-источником на входе и системой-стоком на выходе. Эта разность плотностей поддерживается искусственно. Так что течение текучей среды в любом виде физической системы тоже можно называть **диффузией**. Изменение продольного импульса $\Delta\mathbf{p}_x$ имеет место в большинстве систем. В физике оно изучается при описании таких явлений, как диффузия, течение текучих сред в каналах, теплопроводность, электропроводность. В последнем случае речь идет о диффузии электрических зарядов в так называемом «электронном газе».

Изменение поперечного импульса $\Delta\mathbf{p}_y$ играет роль в процессе диссипативного энергообмена на границе текучей среды и твердого тела. Например, изменение поперечного импульса исследуется при изучении движения в гидродинамическом пограничном слое между текучей средой и твердой стенкой. В физике это явление переноса известно, как внутреннее трение. Следует только заметить, что пограничный слой в теории явлений переноса рассматривается как среда с непрерывным изменением плотности и скорости поперек слоя, то есть усредненно. Последние исследования показывают, что реально перенос энергии в пограничном слое является процессом прерывистым.

10.4. Диффузия в газах и жидкостях

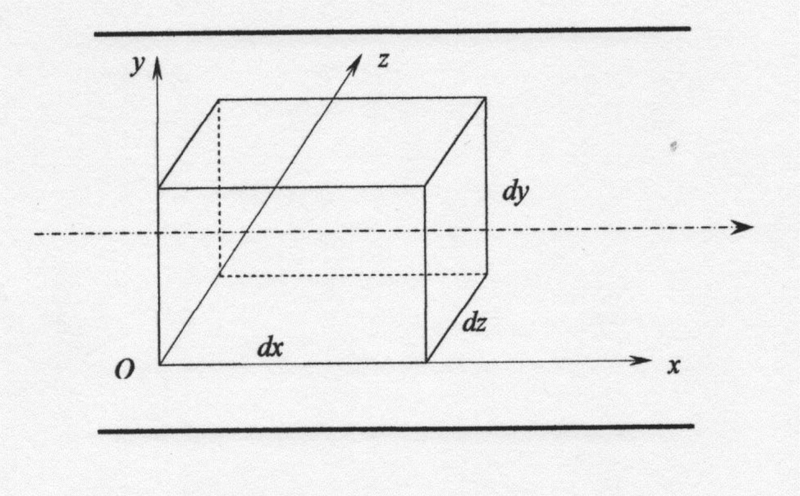
Обобщенный взгляд на диффузию

Покажем, какие дополнения вносит в трактовку явлений переноса вносит систематизация физических величин. В современной физической кинетике термин “диффузия“ имеет узкое конкретное применение, относящееся только к непроточным системам. К проточным системам этот термин не применяется. Это неверно, физическое содержание явлений переноса в проточных системах точно такое же, как и в непроточных системах. Поэтому термин “диффузия“ является обобщенным термином для переноса вещества в любых видах физических систем.

В качестве физической системы представим себе показанный на рисунке участок пространства внутри системы в виде параллелепипеда со сторонами dx, dy и dz. Этот участок заполнен веществом, движущимся в направлении оси Ox. Будем также условно считать, что составляющая средней скорости частиц $\mathbf{v}_z = 0$, а обмен веществом между участком и окружающей его средой происходит только через поверхности, параллельные плоскостям yOz и xOz.

Допустим, что этот элементарный участок имеет достаточно большой объем, чтобы можно было воспользоваться статистическими методами, но в то же время достаточно малый объем, чтобы считать распределение плотности текучей среды внутри участка равномерным и однородным.

Рассмотрим вначале так называемое **потенциальное течение**, характеризуемое тем, что составляющая средней скорости $\mathbf{v}_x$ одинакова по всему поперечному сечению потока, а, следовательно, $\mathbf{v}_y = 0$. Импульс элементарного участка вдоль оси Ox равен $(m\mathbf{v})_x$, где m – масса вещества участка, $\mathbf{v}_x$ – среднее по сечению участка значение продольной скорости. **Изменение импульса может происходить либо за счет изменения массы участка, либо за счет изменения скорости его движения, либо за счет того и другого**. Во всех трех случаях физическая система, которой принадлежит участок, может быть как непроточной, так и проточной. Для любого из этих случаев можно построить модель явления переноса, выбрав в качестве координаты состояния различные величины.



Поэтому явления переноса можно объединить фактом обобщенного изменения импульса элементарного участка $(m\mathbf{v})_x$. Явления переноса будут отличаться друг от друга тем, какой из двух сомножителей импульса постоянный, а какой – переменный, а также тем, в каком виде системы происходит перенос импульса: в непроточной или в проточной. Конкретный же вид записи уравнения переноса будет зависеть от того, какая физическая величина избрана в качестве координаты состояния. Для иллюстрации сказанного составлена обобщенная таблица переноса.

Диффузия в многокомпонентной смеси газов (закон Фика)

Если система содержит многофазную смесь жидкостей или газов и составляющие ее компоненты распределены неоднородно, то возникает **многофазная диффузия**. Для каждого *i*–го компонента смеси диффузия является течением этого компонента внутри системы, а сам процесс диффузии – переходным процессом восстановления равновесия распределения в системе данного компонента.

В физической кинетике уравнение переноса при диффузии имеет две формы записи. Это следствие того, что за координату состояния диффузионной формы движения принимают либо массу молекул, либо число молекул. Оба вида уравнения переноса называют **законом Фика**. Приведем одно из них:

$$M_i = -D_i\,(d\rho_i/dl)S, \quad (1)$$

где M_i – поток массы *i*-го компонента; D_i – коэффициент диффузии *i*-го компонента; ρ_i – парциальная плотность молекул *i*-го компонента. Координатой состояния для диффузионной формы движения можно считать массу элементарного перемещаемого участка *i*–го компонента dm_i . И тогда в роли разности потенциалов оказывается величина, называемая **диффузионным потенциалом** и равная $\Delta\mathbf{p}_i/\rho_i$, где $\Delta\mathbf{p}_i$ – изменение парциального давления *i*–го компонента. В системе величин ЭСВП уравнение переноса получает такую форму записи:

$$\mathbf{\Phi}_{Ri} = -\,k_{dif\,i}\,/\,[d(\Delta\mathbf{p}_i/\rho_i)_R/dl]\;S\;, \quad (2)$$

где $k_{dif\,i}$ можно назвать **коэффициентом переноса при диффузии** *i*-го компонента. Уравнение (2) можно назвать **обобщенным законом Фика**, описывающим диффузию в поле переноса. В современной физической кинетике применяют лишь уравнение (1) и **коэффициент диффузии** D_i из этого уравнения. Коэффициент диффузии D_i и коэффициент переноса при диффузии $k_{dif\,i}$ связаны уравнением

$D_i = k_{df\,i}\,[d(p_i\,/\rho_i\,)\,/\,d\rho_i]\,(M_i\,/\,\Phi_{Ri}\,)$. (3)

Оба коэффициента отличаются размерностями и единицами. Коэффициент диффузии D_i измеряется в $м^2\ с^{-1}$, а коэффициент переноса при диффузии $k_{dif\,i}$ – в Дж $м^{-2}$ с.

Различие уравнений (1) и (2) проистекает из того, что в современной физике в диффузионной форме движения в роли энергетического воздействия выступает изменение удельной энергии (энергии, приходящейся на единицу объёма). Это и позволяет выступать плотности газа ρ в роли потенциала диффузионной формы движения. Применение уравнения (2) позволяет записать уравнение диффузии в виде частного случая обобщенного уравнения переноса и позволяет объективно сравнивать его с другими уравнениями явлений переноса.

Упрощение уравнения диффузии в однофазной системе

В однофазной непроточной системе при нарушении равновесия давлений жидкости или газа нарушается также и равновесие плотностей, что приводит к однофазной диффузии до восстановления равновесия плотностей во всей системе. Однофазная диффузия газа как раз и рассматривается при медленном сжатии (расширении) системы, рабочим телом которой является газ, когда процесс медленного сжатия (расширения) можно приблизительно считать изотермическим. При быстром сжатии (расширении) газовой системы процесс происходит в двух формах движения: в механической и тепловой, и тогда следует рассматривать две разные формы однофазной диффузии.

При сжатии (расширении) газовой системы происходит изменение положения одной из поверхностей газовой системы (например,поверхности поршня), что приводит к временному изменению плотности рядом с этой поверхностью. А это, в свою очередь, приводит к диффузии вещества в направлении от поверхности к центру системы. Возникает переходный процесс, а вместе с ним и всплеск скорости изменения координаты состояния. Характер этого всплеска одинаков по всей длине системы, но значение каждого локального максимума уменьшается с ростом расстояния от места возмущения в системе.

При однофазной диффузии нижний индекс *i* в уравнении (2) можно опустить. Перемещаемой координатой состояния остается перемещаемая масса $d\mathbf{m}$, а в роли разности потенциалов оказывается временно существующая в период переходного процесса разность потенциалов

$\Delta(\mathbf{p}/\rho)$ в разных точках системы. Скорость распространения изменения диффузионного потенциала внутри системы равна скорости распространения звука в среде системы.

10.5. Поток жидкостей (газов) − непрерывная диффузия

Течение жидкости (газа) в канале, то есть в проточной системе, принципиально ничем не отличается от однофазной диффузии в непроточной системе, только в проточных системах речь идет о постоянно протекающем процессе диффузии, а в непроточных системах − о переходном процессе, происходящем в период выравнивания плотностей в разных точках системы. Неравновесность состояния проточной системы, вызывающее постоянно протекающую диффузию в виде потока жидкости через систему, искусственно поддерживается разностью потенциалов на входе и выходе системы. Поэтому поток жидкости (газа) тоже относится к явлениям переноса.

Различные варианты потока жидкостей (газов)

Течение несжимаемой (капельной) жидкости и сжимаемой жидкости (газа) рассматриваются раздельно потому, что на капельную жидкость воздействует гравитационное поле, а ее плотность изменяется незначительно, на газ же гравитационное поле практически не воздействует, но плотность газа меняется существенно.

Особо следует остановиться на термине “несжимаемая жидкость“. Этим термином называют текучую среду, коэффициент сжимаемости которой настолько мал, что им можно пренебречь при практических расчетах. Но в реальной ситуации любой процесс диффузии возможен только при существовании разности плотностей жидкости в начале и в конце ее пути внутри системы. **Поэтому с точки зрения систематизации физических величин “несжимаемой жидкости“ нет, это математическая абстракция, противоречащая условию реальности, хотя и удобная при математическом описании потока.**

Координатой состояния аэрогидродинамической формы движения А.Вейник (1968) считал “*элементарный объём жидкости (или газа) dV, протекший через сечение с давлением p*“. Содержание этого определения оказалось недостаточно ясным. В систему величин ЭСВП введено понятие “**перемещаемая координата состояния**“, под которое подпадает перемещаемый объём жидкости (или газа) $d\mathbf{V}$, и понятие "разность потенциалов", которым в данном случае является перепад давлений $\Delta\mathbf{p}$.

Следует заметить, что течение жидкости в трубе и течение в открытом канале должны рассматриваться раздельно. Это связано с необходимостью учета влияния силы притяжения. Учет силы притяжения необходим всегда, когда центр тяжести системы смещается. В трубе, заполненной жидкостью, центр тяжести жидкости внутри трубы при течении не смещается, значит, влияние гравитационного поля в этом случае можно не учитывать. А в открытом канале при наличии поверхности потока, открытой в атмосферу, учитывать воздействие гравитационного поля необходимо.

Наконец, течение в трубе жидкостей (и газов при малых перепадах давления) можно считать изотермическим, если тепловой заряд диссипации не накапливается в системе, а уходит через стенки трубы в окружающую среду. Течение же газов при больших перепадах давления проходит в системе, в которой следует учитывать и аэродинамическую, и тепловую формы движения.

Таблицы для различных вариантов потока жидкостей

Учет всех указанных обстоятельств привел к составлению отдельных таблиц для разных форм течения. Течение жидкости в трубе отражено двумя таблицами: в одной из них в качестве перемещаемой координаты состояния выбран элементарный объём жидкости $d\mathbf{V}$, а в другой – элементарный вес жидкости $d\mathbf{P}_g$. В первой из них фигурируют объемный расход $\mathbf{Q}_V$ и перепад давлений $\Delta\mathbf{p}$, этой таблицей пользуются в гидродинамике. В другой фигурируют весовой расход $\mathbf{Q}_g$ и разность напоров $\Delta\mathbf{H}$, этой таблицей пользуются в практической гидравлике.

Отдельные две таблицы представляют движение жидкости с открытой в атмосферу поверхностью. При наполнении (опорожнении) сосуда речь идет о непроточной системе, а при течении жидкости в открытом канале – о комплексной системе.

Уравнение переноса в гидродинамике

Диссипативное сопротивление в гидродинамических формах движения R_V при ламинарном режиме течения связано линейной зависимостью со скоростью изменения координаты состояния (то есть с объёмным расходом жидкости). Уравнение переноса при этом выглядит так:

$\mathbf{\Phi}_R = -\, k_V\, [d(\Delta \mathbf{p}_R)\, /dl]\, S$, (1)

где $\Delta \mathbf{p}_R$ – потери давления на трение перемещаемой жидкости о стенки трубы, а k_V – **коэффициент переноса** при течении жидкости. В современной гидродинамике вместо коэффициента переноса при течении жидкости применяется другая величина, называемая **динамической вязкостью** и обозначаемая символом η. Между коэффициентом переноса k_V и динамической вязкостью η существует простая зависимость:

$\eta = k_V\, S$. (2)

В реальных условиях гораздо чаще встречается не ламинарный, а турбулентный режим течения с нелинейным уравнением переноса. Поэтому падение давления вследствие трения определяется в гидроаэродинамике с помощью критериального уравнения подобия, учитывающего особенности турбулентного режима течения.

Инертность и ёмкость системы в гидродинамике

Инертность потока жидкости, как физическая величина, отличается от таких привычных в современной гидравлике величин, как динамическое давление или скоростной напор. В современной гидродинамике такого понятия, как “инертность потока жидкости“, пока нет. Инертность потока в гидродинамической объёмной форме движения I_V измеряется в единицах СИ, соответствующих Па м$^{-3}$ с^2, а инертность потока в гидродинамической весовой форме движения I_g измеряется в единицах, соответствующих Н$^{-1}$ м с^2.

Особенностью гидродинамических форм движения является рассмотрение ёмкости системы вместо жесткости системы (величины, обратной ёмкости). Но величину “ёмкость системы“ нельзя приравнивать к объему сосуда или трубы, ёмкость гидродинамической системы имеет другое физическое содержание и другую размерность. Например, ёмкость системы при наполнении сосуда жидкостью C_V измеряется в единицах м^3 Па^3, а не в м^3. Величина, аналогичная ёмкости гидродинамической системы, имеется в термодинамике, и там ее называют “теплоёмкостью“. Логично было бы называть “ёмкость системы“ в гидродинамике “**энергоёмкостью**“, именно такой термин применен в работе Д.Ермолаева (2003). Противодействие ёмкости в гидродинамических формах движения соответствует изменению статического давления.

Энергоёмкость системы C_V при наполнении сосуда или при течении жидкости в открытом канале или сосуде отражает способность жидкости изменять свой объём в сосуде или открытом канале (и, следовательно, высоту уровня жидкости) и тем самым изменять потенциальную энергию системы. Но попутно с этим изменяется и положение центра тяжести жидкости, что определяется проекцией на ось канала вектора силы притяжения жидкости, и это изменение отличается от изменения потенциальной энергии, обусловленного изменением статического давления.

Уравнение переноса в аэродинамике

Главной особенностью таблицы, систематизирующей аэродинамическую форму движения, является учет сжимаемости газа. При течении газа его плотность ρ является существенно переменной величиной, и в качестве перемещаемой координаты проточной системы можно рассматривать перемещаемую массу $d\mathbf{m}$. Поток перемещаемой массы называют массовым расходом.

Разностью потенциалов в аэродинамической форме движения является физическая величина $\Delta(\mathbf{p}/\rho)$ с единицей м^2 с$^{-2}$ (или Дж кг$^{-1}$ в СИ). А.Вейник (1968) назвал эту величину механическим потенциалом, а при ламинарном режиме течения в капиллярах – фильтрационным потенциалом. Е.Фудим (1973) назвал эту величину **аэродинамическим потенциалом** при описании течения в капиллярах. Мы предпочитаем последний из этих трех вариантов названия. Уравнение переноса в аэродинамической форме движения получает такую форму записи:

$$\mathbf{\Phi}_R = - k_m /[d(\Delta \mathbf{p}/\rho)_R /dl]\, S, \quad (3)$$

где k_m – коэффициент переноса при течении газа. В современной аэродинамике уравнение переноса при течении газа не записывается, динамическая вязкость учитывается лишь при ламинарном режиме течения газа.

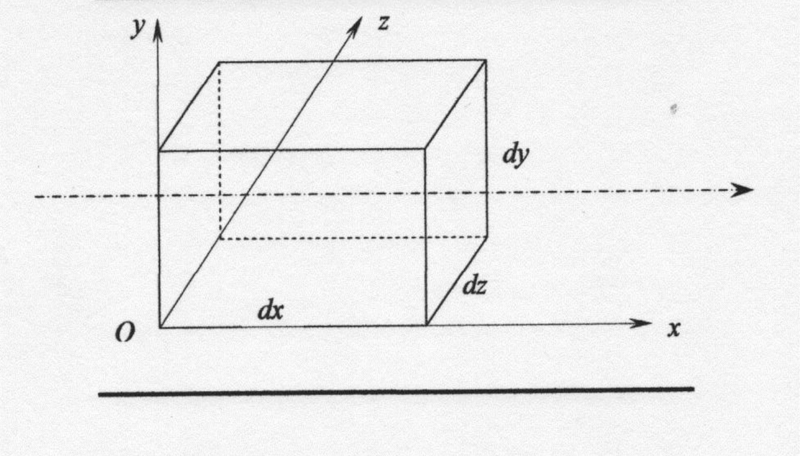
Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html
3. Фудим Е.В., 1973, Пневматическая вычислительная техника. - М:, Наука, 528 с.

10.6. Пограничный слой как пример явлений переноса

Пограничный слой и течение в нем жидкости (газа)

Рассмотрим течение жидкости или газа в пограничном слое между жидкостью и твердой стенкой. Оно характеризуется наряду с продольной скоростью $\mathbf{v}_x$ наличием поперечной скорости $\mathbf{v}_y$, сравнимой по значению с продольной скоростью. Это явление возникает потому, что в реальных потоках жидкости и газа плотность и суммарный импульс частиц не равны друг другу в начале и в конце рассматриваемого на рисунке объема, то есть при $x = 0$ и $x = dx$.



Чтобы не нарушить законы сохранения, необходимо, чтобы дефицит или избыток частиц или их импульса при их движении параллельно оси *Ox* были бы скомпенсированы их притоком или оттоком через поверхности, параллельные плоскости xOz при $y = 0$ и $y = dy$. А это означает, что имеет место перенос частиц или импульса частиц поперек трубы. Наиболее заметно это явление в слое жидкости, пограничном с твердой стенкой. Такое явление называют в гидраэродинамике **внутренним трением**. Распределение поперечных скоростей $\mathbf{v}_y$ в плоскости, перпендикулярной оси канала, весьма неравномерно, хотя оно симметрично относительно оси трубы. На самой оси симметрии $\mathbf{v}_y = 0$.

Если выделенный участок расположен асимметрично относительно оси потока, в пограничном слое, и речь идет о притоке жидкости со стороны стенки и об ее оттоке с другой стороны. Правда, следует учесть, что значения $\mathbf{v}_y$ (например, при ламинарном течении в трубе) не превосходят 1–2% от значения $(\mathbf{v}_x)_{max}$, что на практике приводит подчас к рассмотрению модели одномерного переноса. Но при допущении модели одномерного переноса объяснить физику явления невозможно.

В пограничном слое в каждом поперечном сечении потока имеет место перенос импульса, выделяемый в особую форму движения. Перемещаемой координатой этой формы движения является **поперечный импульс** $(m\mathbf{v})_y$, а разностью потенциалов является разность продольных скоростей $\Delta\mathbf{v}_x$ в интервале dy. Она называется в гидроаэродинамике **сдвигом скоростей**. Что касается продольного переноса импульса в пограничном слое в направлении оси Ox, то нет принципиального различия между переносом в центральной области потока (в так называемом ядре потока) и в пограничном слое. Это различие имеется лишь при поперечном переносе импульса в направлении оси Oy, и оно существенно.

Диффузия в пограничном слое

Распределение плотности текучей среды поперек потока неравномерно, в том числе, и при рассмотрении так называемой несжимаемой жидкости. Плотность жидкости имеет минимум в так называемом **критическом слое**, расположенном неподалеку от стенки. Плотность жидкости понижается в направлении от центра потока к критическому слою, а затем повышается в направлении от критического слоя к стенке. Соответственно этому меняются значения поперечной скорости $\mathbf{v}_y$.

В пограничном слое превалирует поперечный перенос импульса. Ядро потока отличается от пограничного слоя именно тем, что в ядре $\mathbf{v}_y$

значительно меньше $\mathbf{v}_x$, тогда как в пограничном слое значения скоростей $\mathbf{v}_y$ и $\mathbf{v}_x$ одного порядка.

Уравнение переноса в пограничном слое

Уравнение переноса в пограничном слое в точности соответствует **закону вязкого трения И.Ньютона**:

$\mathbf{\Phi}_R = -\eta /[d\mathbf{u}_x /dy] S$, (1)

где η – динамическая вязкость.

В районе стенки присутствуют кроме гидродинамического пограничного слоя также диффузионный и температурный пограничные слои, поскольку там поперек потока меняются коэффициент диффузии и температура. С точки зрения обобщенного подхода к явлениям переноса принципиальная разница между всеми пограничными слоями отсутствует. Только толщина каждого пограничного слоя зависит от значения коэффициента переноса в обобщенном уравнении переноса. А поскольку значения коэффициентов переноса разные, то различна и толщина вышеперечисленных пограничных слоев.

10.7. Термодиффузия и электродиффузия

Теплопроводность (термодиффузия)

При нарушении равновесия температур жидкости или газа в однофазной системе нарушается равновесие плотностей текучей среды, что приводит к явлению, называемому **термодиффузией**. При термодиффузии в однофазной системе происходит восстановление равновесия распределения импульсов молекул жидкости или газа в рамках тепловой формы движения. В современной физике это описывается законом Фурье, записываемом в векторной форме в виде

$\mathbf{\Phi} = -\lambda\ [d(\Delta\mathbf{T})/dl]\ S$, (1)

где $\mathbf{\Phi}$ − тепловой поток; λ − **коэффициент теплопроводности**; $d(\Delta\mathbf{T})/dl$ − температурный градиент. Однако в разделе о законе Фурье доказывается, что его запись в том виде, в каком он был выведен, базируется на теории теплорода. Уравнение закона Фурье должно быть заменено на предложенное А.Вейником (1968) модифицированное уравнение, записываемое в векторной форме не для теплового потока, а для потока $\mathbf{\Phi}_a$, названного А.Вейником термическим потоком:

$$\mathbf{\Phi}_a = - a\,[d(\mathbf{\Delta T})/dl]\,S\ .\ (\ 2\ )$$

В уравнении (2) вместо теплопроводности λ появляется физическая величина $a = \lambda T$, названная А.Вейником **термопроводностью**. Если коэффициент теплопроводности λ измеряется в Вт м$^{-1}$ К$^{-1}$, то термопроводность измеряется в Вт м$^{-1}$ К$^{-2}$. Уравнение (2) соответствует реальной тепловой форме движения (**термодиффузии**). В качестве перемещаемой координаты при термодиффузии следует рассматривать перемещаемый тепловой заряд $d\mathbf{\Theta}$ (понятие, также введенное А.Вейником), а в роли разности потенциалов − температурный напор $\Delta\mathbf{T}$ между источником тепловой энергии и ее приемником.

Термодиффузия в непроточной системе часто возникает при поверхностном нагреве (охлаждении) жидкого или газообразного тела. Это приводит к изменению скорости перемещения молекул в соседние элементарные участки до завершения переходного процесса, пока скорость теплового движения молекул, соответствующая новой температуре, не выровняется по всему объёму системы.

Термодиффузия в однофазной проточной системе соответствует упорядоченной тепловой форме движения и отражена в соответствующей таблице, называемой "Движение теплового заряда". В современной физике термодиффузию отождествляют с **теплопроводностью**, но термин "теплопроводность" в данном случае относится к физическому явлению, а не к физической величине. При явлении теплопроводности существует постоянно поддерживаемая разность температур двух противоположных контрольных поверхностей (например, при теплопередаче через стенку).

При теплопередаче в твердых телах перенос продольного импульса осуществляется за счет передачи изменения колебательных скоростей атомов или ионов в узлах кристаллической решетки от одного узла к другому.

Электропроводность (электродиффузия)

Явления переноса энергии любой формы движения в энергию тепловой формы движения диссипации повсеместны. К явлениям переноса следует отнести и такие физические явления, которые в современной физике к явлениям переноса не причисляют. Это, прежде всего, **электропроводность**, то есть **упорядоченное перемещение электронов проводимости (свободных электронов) в проводнике под влиянием разности электрических потенциалов.** Уравнение переноса при электропроводности выглядит так:

$$\mathbf{\Phi}_R = -\gamma[d(\Delta\mathbf{U})/dl]\,S\,,\ (\ 3\ )$$

где γ – **удельная электрическая проводимость**; $d(\Delta\mathbf{U})/dl$ – градиент разности электрических потенциалов. Чаще, чем удельная проводимость γ, применяется обратная ей величина ρ, называемая **удельным электрическим сопротивлением**. Из уравнения (3) после небольщих преобразований вытекает закон Ома, применяемый в электротехнике.

В жидкой среде (в электролите) перенос энергии осуществляется с помощью ионов. Поэтому **электролитическая диссоциация** в непроточных системах также является явлением того же порядка, что и электродиффузия. Перемещение электропроводящей жидкости в каналах под влиянием разности электрических потенциалов является таким же явлением, что и течение жидкости в трубе под влиянием перепада давлений. Подобные явления в проточных двухфазных системах изучает магнитогидродинамика, а явления переноса плазмы в проточных системах изучает плазмодинамика.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.

10.8. Явления переноса при перемещении и вращении тел

Перемещение и вращение тел как явление переноса

Особенность перемещения тела в механических формах движения состоит в том, что перемещаемой координатой состояния является **перемещение центра масс тела**. Но мы рассмотрим в качестве системы участок пространства, заполненный не одним, а многими движущимися твердыми телами. В технике такой объект называют **сыпучим телом**, если размеры тел невелики. Движение твердых частиц сыпучего тела можно рассматривать, в принципе, точно так же, как и движение молекул жидкого тела.

Если мысленно увеличивать размеры твердых частиц и одновременно уменьшать их количество, то в итоге мы придем к перемещению одного твердого тела. Правда, при рассмотрении движения сыпучих тел в качестве перемещаемой координаты состояния принимается перемещаемый элементарный объем. Но если его делят на площадь поперечного сечения тела, то таким путем переходят к перемещению тела и к обычной прямолинейной форме перемещения твердого тела, рассматриваемой в соответствующей таблице. Главная мысль этого рассуждения заключается в том, что **реальной перемещающейся координатой является масса, а вовсе не перемещение центра масс тела.**

Не проще для восприятия и ситуация с вращением твердого тела вокруг своей оси. В данном случае следует представить себе вращающееся тело, как сумму элементарных вращающихся секторов, составляющих вращающееся тело. Подобно тому, как движущееся твердое тело можно представить себе как сумму элементарных прямолинейно движущихся участков. При прямолинейной форме движения перемещение твердого тела можно привести к движению его центра масс, а при вращательной форме движения вращение твердого тела можно привести к вращению любого его радиуса вокруг той же самой оси вращения. И в том, и в другом случае мы заменяем реальную координату движения удельной величиной.

Особенности изучения движения твердого тела как явления переноса

Для учета переноса энергии внутри любой системы важную роль играют такие основные физические величины, как длина и угол поворота (по отдельности или совместно). **Они характеризуют пространственную протяженность системы, конфигурацию системы, неоднородность системы и движение материальных носителей в системе.** В метрологии для этой цели применяют термины “характерная длина” и “характерный угол“.

В разных системах характерную длину и характерный угол устанавливают по-разному. Например, в проточных системах речь может идти о длине участка между контрольными поверхностями системы-источника и системы-стока, на протяжении которого существует перенос энергии. В непроточных системах это может быть расстояние от контрольной поверхности системы до точки с наименьшим значением потенциала внутри системы.

Следует лишь иметь в виду, что в случае, когда размерность координаты состояния совпадает с размерностью длины, то это еще не означает, что модуль перемещения тела $d\mathbf{x}$ и характерная длина переноса l являются одинаковыми физическими величинами. То же самое касается и модуля углового перемещения $d\boldsymbol{\varphi}$ и характерного угла φ. Они имеют лишь одинаковые размерности, но разное физическое содержание.

Курьёзность ситуации с точки зрения методики преподавания физики заключается в том, что физику в средней школе начинают изучать с механических форм движения. То есть с таких форм движения, которые только на первый взгляд кажутся простыми, потому что их настоящее физическое содержание не раскрывается. С точки зрения обобщения и систематизации физических величин и понятий эти формы движения являются одними из наиболее трудно объясняемых.

При перемещении и вращении твердого тела также следует учитывать, что они являются явлениями переноса, и при перемещении или вращении твердого тела имеет место перенос механической энергии в тепловую форму движения диссипации внешнего трения при контакте с окружающей средой. Но происходит этот контакт либо в гидродинамическом пограничном слое смазки при контакте двух твердых тел, либо в гидродинамическом пограничном слое окружающей среды, в которой перемещается или вращается твердое тело. Об этом при изучении явлений переноса почти не говорят. А зря!

11. О неверности некоторых терминов, связанных с критериями подобия

11.1. Замаскированные названия критериев подобия

Определения критериев подобия и их примеры

Критерии подобия – это главное понятие в разделе физики, называемом **теорией подобия**. **Они являются отношениями двух одинаковых по природе физических величин, имеющих одинаковые размерности.** Как указано в разделе, посвященном классификации производных величин, величину, находящуюся в знаменателе отношения, называют **базовой величиной**. В современной метрологии критерии подобия относят к безразмерным величинам.

А.Гухман (1968) различает в теории подобия такие **четыре категории безразмерных величин**: **константы подобия, параметрические критерии подобия, безразмерные комплексные переменные и критерии подобия**. Сам А. Гухман считает, что термин “теория подобия” имеет скорее исторический характер. Он утверждает, что критерии подобия - это обобщенные физические переменные величины, а саму теорию подобия правильнее было бы назвать **методом обобщенных переменных**. Так что **теория подобия – один из методов обобщения в науке.**

К категории **констант подобия** следует отнести такую безразмерную величину, у которой базовой величиной является **величина с фиксированным размером**. Такой базовой величиной может быть фундаментальная физическая константа (например, электродинамическая постоянная, элементарный электрический заряд, число Авогадро и т.п.).

К категории **параметрических критериев подобия** относят такую безразмерную величину, у которой базовой величиной является **характерный и общеизвестный параметр**. Например, при оценке величины перегрузки силами инерции при движении летательных аппаратов в качестве характерного значения ускорения принимают ускорение свободного падения и параметрический критерий подобия называют **критерием перегрузки**. Другой пример: для оценки скорости летательного аппарата в качестве базовой величины применяют скорость звука в воздухе.

И лишь в том случае, когда базовая величина является не постоянной и не фиксируемой величиной, а представляет собой комбинацию величин, переходят к рассмотрению такой категории, как **критерии подобия**. Таким образом, если уточнить определение, то **критерии подобия – это отношения двух однородных величин, изменяющихся независимо друг от друга.**

Наиболее известный пример критерия подобия – это **критерий Рейнольдса *Re*, равный отношению сил инерции движущегося текучего вещества к сумме сил внутреннего и внешнего трения.** Другой известный пример: **коэффициент трения скольжения *f*, равный отношению силы прижима поверхностей соприкасающихся тел друг к другу к силе сопротивления, возникающей при относительном сдвиге этих тел.** В этом случае сила сопротивления зависит как от сдвигающей силы, так и от силы прижима.

Примеры некорректных названий критериев подобия

К сожалению, константы подобия и критерии подобия нередко получают в физике и технике самые разные названия, в соответствии с которыми трудно установить их принадлежность к критериям подобия. Это могут быть такие термины, как “**степень**“ (например, степень сжатия), “**коэффициент**“ (например, коэффициент трения, коэффициент полезного действия, коэффициент гидравлического сопротивления), “**число**“ (например, число Маха, спиновое число), хотя указанные термины имеют в математике иной смысл и иное содержание.

По поводу термина “число“, применяемого в названиях критериев подобия, А.Митрохин (2005) справедливо замечает, что в подобном применении этот термин “логически ущербный“, так как “*само по себе число не несет размерности в физическом смысле*“, то есть термин “безразмерное число“ является обычной тавтологией.

Проанализируем также лексическое значение слова “коэффициент“. В переводе с латыни это слово состоит из префикса “co“ (по-русски “совместно“) и корня “efficiens“ (по-русски “производящий“), **то есть коэффициент в переводе на современный язык означает не самостоятельную величину, а какой-то числовой сомножитель.** Коэффициентом может быть и число (2, или 5, или 128), которое не оказывает влияния на размерность. Тем не менее, мы не раз сталкиваемся с ситуацией, когда критерии подобия некорректно называют коэффициентами.

О том, что слово “степень“ в математике имеет совершенно иное значение, чем в теории подобия, понятно без дополнительных разъяснений. К слову, на английский язык термин “степень сжатия“ переводится, например, с применением слова “ratio“ (то есть, отношение), а не “степень“.

Таким образом, можно констатировать некорректность применения ряда терминов при наименовании многих безразмерных физических величин. Во всяком случае, можно констатировать наличие такой синонимизации, которая только путает и которую лучше было бы избежать. Во многих случаях при применении констант подобия или параметрических критериев подобия применяют определение “относительный (ая, ое)“. Это, по крайней мере, не противоречит смыслу этого слова, принятому в математике.

Всё сказанное можно отнести к примерам проявления “понятийной бессистемности” в физике и технике. И связана эта бессистемность с тем, что некорректные термины вводились в физику и технику в те времена, когда теории подобия еще не существовало. Впрочем, они, бывает, вводятся и сейчас, когда те, кто их вводит, не знакомы с теорией подобия.

Некоторые причины некорректной подмены терминов

Согласно современным учебным планам и программам технических вузов основы теории подобия излагаются при преподавании теплотехники в разделе “Теплопередача”. Тем самым как бы подчеркивается частное значение теории подобия. До преподавания теплотехники только при преподавании гидравлики разъясняется сущность такого критерия подобия, как критерий Рейнольдса, без которого и изучить-то гидравлику невозможно. Но при этом без пояснения основ теории подобия. Иногда в гидравлике вспоминают и о критерии Фруда.

Между тем критериями подобия в той или иной форме заполнены все технические дисциплины, включая механику, которую изучают в первую очередь. Ученые прибегали к помощи критериев подобия задолго до того, как сформировалась сама теория подобия. Скорее всего, поэтому их и называли то “коэффициентами”, то “степенями”, то еще как-нибудь. Например, в подобных треугольниках тригонометрические функции всех углов безразмерны. Эти функции как раз и являются критериями геометрического подобия, оттого и треугольники подобны.

А самый известный и самый древний критерий подобия в математике π – это отношение длины окружности к длине ее диаметра. Все окружности подобны друг другу именно потому, что у них одно и то же значение критерия подобия π. Между прочим, правильнее было бы сравнивать длину окружности с длиной ее радиуса, а не с длиной диаметра, как это пояснено в разделе о числе π. Но этот, возможно, первый в истории науки критерий подобия был задуман так, чтобы его было удобно вычислять, ибо измерить диаметр значительно удобнее и точнее, чем радиус.

Приходится мириться с тем, что развитие науки шло именно по такому пути: принимались и закреплялись в науке очевидные, удобные критерии подобия, и назывались они так, как их называли первооткрыватели. А со временем это все больше затрудняло понимание установленных опытным путем законов природы, увеличивало трудности обучения и освоения науки. **В результате перед методологами науки и метрологами постепенно выросли завалы исторически возникших неточностей и практицизмов, которые рано или поздно придется расчищать.**

Сейчас теория подобия стала необходимым и широко известным инструментом научного исследования, и пора бы уже начать расставлять все по своим местам. Для начала следовало бы перенести изложение основ теории подобия в курс общей физики, или излагать его параллельно с общей физикой, чтобы было понятно использование критериев подобия при изучении самой физики. В технических вузах теорию подобия следовало бы изложить студентам перед началом изучения общетехнических дисциплин.

Чтобы не быть голословным, мы приводим в этом разделе примеры понятийной путаницы, связанной с критериями подобия, из различных разделов физики и технических дисциплин.

Литература

1. Митрохин А.Н., 2005, Качественная единица как элемент размерностного анализа или к вопросу о размерности ”безразмерных” величин. – http://www.metrob.ru/HTML/stati/kachestv-edinica.html
2. Гухман А.А. , 1968, Введение в теорию подобия. – М:, Высшая школа, 355 с.

11.2. Коэффициент трения и другие критерии подобия в механике

Изучать и физику, и технику начинают с механики. Не потому, что это – самый простой раздел в физике, на самом деле – он ничуть не проще остальных ее разделов, но зато лежит в основе всей физики. Механика отличается видимой наглядностью, и потому преподавателям кажется, что ее нетрудно объяснить. Между тем механические формы движения с точки зрения систематизации их физических величин оказались весьма сложными. Слишком много в современной механике упрощения и абстрактности.

В механике очень много критериев подобия, но их называют чем угодно, только не критериями подобия. В этом нет ничего удивительного, механика родилась намного раньше, чем теория подобия.

Коэффициент трения скольжения

Стоит ли убеждать кого-нибудь в значимости всего того, что связано с трением и, в частности, с такой важной характеристикой этого процесса, как **коэффициент трения скольжения** f_o . Из второго закона Кулона для трения скольжения вытекает уравнение:

$\mathbf{F}_{lim} = f_o \mathbf{N}$, (1)

где $\mathbf{F}_{lim}$ – предельная сила трения, после достижения которой тело начинает скользить; **N** – нормальная (перпендикулярная к поверхности трения) сила.

Таким образом, коэффициент трения скольжения является отношением двух независимых друг от друга сил: силы трения и силы прижима контактирующих тел. **То есть, коэффициент трения является вовсе не**

коэффициентом пропорциональности, а настоящим критерием подобия.

Сила трения – это сложная физическая величина, комплексно отражающая большое количество разнородных факторов. Этими факторами являются показатели упругого сопротивления микронеровностей контактирующих поверхностей, электрохимические показатели взаимодействия молекул поверхностных слоев, наличие слоя смазывающей жидкости, ее вязкость и маслянистость.
Собственно говоря, численное значение f_o , взятое из справочника, - не что иное, как критическое значение этого критерия подобия. При превышении этого значения наступает состояние относительного движения контактирующих тел, а при значении, меньшем критического, контактирующие тела относительно друг друга неподвижны.

Коэффициент полезного действия

Очень популярен в механике такой критерий подобия, как **коэффициент полезного действия** (**кпд**), являющийся отношением потребляемой машиной мощности к мощности, отдаваемой двигателем. И когда у двух различных машин или систем **кпд** равны, то эти машины или системы подобны друг другу по фактору использования подводимой энергии.
Так что кпд совсем не коэффициент, а типичный ритерий подобия.

Передаточное отношение

В прикладной механике очень распространен такой параметрический критерий подобия, как **передаточное отношение**, являющееся отношением угловых скоростей ведущего и ведомого звеньев вращательного механизма. **Отношения двух физических величин действительно являются критериями подобия.**

Коэффициент неравномерности хода

Важным параметрическим критерием подобия в механике является **коэффициент неравномерности хода машины**, представляющий собой отношение диапазона изменения угловых скоростей вала машины к средней угловой скорости этого вала.

Польза от того, что мы назовем, наконец, критерии подобия в механике так, как их положено называть, может сказаться не только в том, что будет легче исправлять исторически возникшие неточности в терминологии. Польза будет еще и в том, что на примере простых и наглядных критериев подобия из прикладной механики удастся потом проще объяснить более сложные критерии подобия в гидравлике и теплотехнике.

На примерах из механики, изучаемой первой среди общетехнических дисциплин, студенты почувствуют необходимость применения теории подобия. И при этом у них не создастся потом впечатление, что теория подобия необходима только при изучении гидравлики и теплотехники.

11.3. Число Рейнольдса и другие критерии подобия в гидравлике

Физическое содержание критерия Рейнольдса

Определяющее уравнение для критерия Рейнольдса при течении по трубопроводу обычно выглядит так:

$Re = \rho v d/\eta$, (1)

где ρ – **плотность текучей среды**; v – модуль характерной скорости среды; d – внутренний диаметр трубопровода; η – динамическая вязкость среды.

Но уравнение (1) не отражает физического содержания критерия Рейнольдса, так как этот критерий не является отношением двух динамических вязкостей. **На самом деле критерий Рейнольдса является отношением сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкости.** А к уравнению (1) приходят после подстановки выражений для сил инерции и сил вязкости и последующего сокращения ряда сомножителей в числителе и знаменателе. Тем самым уравнение (1) не отражает физического содержания критерия Рейнольдса.

Примеры некорректно названных критериев подобия

Одной из важнейших формул, применяемых для расчета потерь напора на трение в трубопроводе, является **формула Дарси-Вейсбаха** для определения потерь напора Δh_{fr} :

$$\Delta h_{fr} = \lambda(l/d)(\hat{u}^2/2g) , (2)$$

где λ – **коэффициент гидравлического сопротивления**; l/d – относительная длина трубопровода; $\hat{u}^2/2g$ – скоростной напор.

Но λ – это вовсе не коэффициент, а самый настоящий критерий подобия. При ламинарном режиме течения это производный критерий подобия в виде $\lambda = 64/Re$, а при турбулентном режиме течения – это функция не только критерия Рейнольдса Re, но и функция параметрического критерия подобия k/d, неверно называемого **относительной шероховатостью**. Да и l/d в уравнении (2) тоже является параметрическим критерием подобия.

Критериальный анализ числа Эйлера

Следует напомнить еще об одном критерии подобия – о критерии Эйлера, некорректно называемом **числом Эйлера** Eu. **Критерий Эйлера равен отношению энергии диссипации в трубе к кинетической энергии потока жидкости**. Но опять-таки после подстановки выражений для энергий и последующих сокращений этот критерий приобретает в практической гидравлике такой вид:

$$Eu = \Delta h_{fr} /(\hat{u}^2/2g), (3)$$

в котором трудно угадать первоначальный смысл числа Эйлера, как отношения энергий. Если теперь объединить уравнения (2) и (3), то формула Дарси-Вейсбаха окажется тем, чем она и является на самом деле – критериальным уравнением подобия в виде

$$Eu = \lambda (l/d) , (4)$$

в котором число Эйлера является определяемым критерием подобия, а λ и l/d – определяющими критериями подобия. Формула Дарси-Вейсбаха в записи (2) выведена экспериментально около 200 лет тому назад, но в записи (2) она выглядит, как набор параметров. Ее физическое содержание раскрывается лишь записью (4).

Гидравлика – “наука критериев подобия”

В гидравлике популярен еще целый ряд критериев подобия, неверно именуемых по традиции коэффициентами. К ним относятся:
- коэффициент местного сопротивления ξ, являющийся числом Эйлера для местных сопротивлений,
- коэффициент сжатия струи ε,
- коэффициент скорости φ,
- коэффициент расхода μ и т.д.

Все они применяются при расчетах истечения жидкостей из резервуаров через отверстия. Существует даже шуточное определение гидравлики, как “науки коэффициентов”. Это несправедливо, его следует заменить другим нешуточным определением – “наука критериев подобия”.

11.4. Критерии подобия в теплотехнике и электротехнике

Критерии подобия в термодинамике и теплотехнике

Современная теория теплопередачи немыслима без применения критериев подобия. Это объяснимо, так как многие закономерности этой теории являются дифференциальными уравнениями математической физики, которые на сегодняшний день математика не в состоянии решить аналитически. И поэтому прибегают к экспериментально определяемым критериальным уравнениям.

Но знакомство с термодинамическими критериями подобия начинается еще раньше, при изучении общей физики, но о том, что речь идет именно о критериях подобия, речь при преподавании физики не идет. Приведем наиболее известные примеры.

При лучистом теплообмене используют следующие параметрические критерии подобия: поглощательную способность, или **коэффициент поглощения** A, отражательную способность, или **коэффициент отражения** R и пропускательную способность, или **коэффициент пропускания** D. Сумма всех этих трех критериев $A + R + D = 1$. **Но это вовсе не коэффициенты, а критерии подобия, поскольку являются отношениями какой-либо компоненты энергии к полной энергии излучения, падающего на тело.** Значения каждого из этих критериев подобия, равные 1, определяют состояние тела, как **абсолютно черное,**

абсолютно белое или абсолютно прозрачное.

Чтобы определить поглощательную способность тела к падающему на него излучению, введено отношение интенсивности излучения серого тела φ к интенсивности излучения абсолютно черного тела φ_s при той же температуре:

$\varepsilon = \varphi / \varphi_s$. (1)

Это тоже критерий подобия, но назван он **степенью черноты** тела, Впрочем, с таким же успехом его могли бы назвать степенью серости тела.

Важнейшим параметрическим критерием подобия в термодинамикие является так называемый **показатель адиабаты**

$k = c_p / c_v$, (2)

где c_p и c_v – удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме. Это типичный критерий подобия, но его назвали показателем, потому что он часто, хотя и не всегда, находится в показателе степени.

При изучении тепловых машин применяется большое количество параметрических критериев подобия, называемых как угодно, только не критериями подобия. **Это коэффициент использования теплотворной способности топлива, термический кпд, холодильный коэффициент, степень сухости водяного пара и проч.**

При изучении двигателей внутреннего сгорания применяют такие критерии подобия, как степень сжатия, степень предварительного расширения, степень повышения давления и проч.

Значение теории подобия в теплотехнике настолько велико, что саму теплотехнику невозможно изучать без знания хотя бы элементарных основ теории подобия. Видимо, поэтому и совмещают изучение основ теории подобия с изучением теплотехники. Но все содержание данного раздела достаточно ясно указывает на то, что основы теории подобия следует изучать еще в самом начале изучения физики.

Критерии подобия в электротехнике

В электротехнике тоже пользуются критериями подобия, забывая об этом сказать. Например, **относительное скольжение** в электрических машинах.

Но наиболее широко известен в электротехнике такой критерий подобия, как “**косинус фи**“, который никакого отношения к тригонометрии практически не имеет. Просто в электродинамике и электротехнике любят пользоваться методом векторных диаграмм, на которых реактивное, активное и комплексное сопротивления контура тока выглядят в виде векторов, являющимися сторонами прямоугольного треугольника. Так вот отношение модуля вектора активного сопротивления к модулю вектору комплексного сопротивления и назвали косинусом фи.
С таким же успехом можно было бы пользоваться и критерием подобия, названным синусом фи, представляя отношение модуля вектора реактивного сопротивления к модулю вектору комплексного сопротивления. А если бы вместо фи воспользовались бы другой греческой буквой, например, кси, то мы бы говорили о косинусе кси. Догадаться о том, что это критерий подобия, а не тригонометрическая функция, может только инженер, хорошо знакомый с теорией электротехники.

12. Систематизация физических величин и педагогика

12.1. Недостатки методики преподавания физики и пути их преодоления

1. Перечень вопросов, связанных с недостатками методики преподавания физики.

Природа едина, и физика, изучающая законы природы, также едина, хотя и поделена на разделы и подразделы. Но студенту, изучающему последовательно механику, гидродинамику, теплоту, электричество, кажется, что эти разделы объединяются словом “физика” потому, что их преподают преподаватели одной и той же кафедры? Или в школе один и тот же учитель. Сами физики воспринимают свою науку как единое целое, почему же такое восприятие не складывается у обучающихся?

Почему разделы физики видятся, как дисциплины, слабо связанные друг с другом, поскольку у них различный набор терминов и обозначений?
Зачем для обозначения родственных, а иногда и одинаковых физических величин применяются различные термины и обозначения?
Почему физические величины и их единицы в разных разделах физики так не похожи друг на друга?
Почему закон сохранения энергии каждый раз записывается по-разному?
Почему теоретические сведения из разделов физики плохо стыкуются друг с другом с педагогической точки зрения, даже когда они имеют общие основные положения?
Почему для уравнений, имеющих одно и то же физическое содержание, применяется различная форма записи?
Почему лишь к окончанию вуза до студента начинает доходить, что физика на части не делится, что не видно, где кончается механика и начинается электричество? Зато выясняется, что **вся техника – это прикладная физика** и что математика тоже приходит через физику, что хорошему специалисту надо знать физику не по частям, а в целом.

На эти вопросы современная методика преподавания физики ответа не дает.

2. Краткий анализ методики преподавания современной физики и техники.

Методология современной физики исчерпывающе охарактеризована в работе О.Бондаренко и С.Кадырова (2000). Это “*...анализ физических объектов, событий, систем, их расчленение на отдельные составляющие, их систематизация и тщательное описание (феноменология), дробление физики на разделы и подразделы, существование множества не связанных друг с другом теорий*“. А ведь такая методология не просто затрудняет преподавание, она существенно снижает эффективность усвоения учебного материала, да, к тому же, перегружает учебный процесс из-за дублирования учебного материала.

Если преподаватели физики стараются обращать внимание на внутреннюю взаимосвязь ее разделов, то при преподавании технических дисциплин их взаимосвязь разъясняется редко. Технические дисциплины ведут преподаватели разных кафедр, так называемые “узкие специалисты“, и они сами иногда плохо представляют себе эту взаимосвязь. Как пишет К.Гомоюнов (1983): “*Порой создается впечатление, что каждая наука отгородилась от других непреодолимой* *стеной, и студент изучает ее как нечто совершенно самостоятельное, само на себя замкнутое*“.

В процессе обучения студенты на каком-то этапе с удивлением узнают о том, что современная физика, якобы, опровергает уже достаточно хорошо освоенные ими законы классической физики, но в заключение им доказывают, что это на самом деле не так. В результате, закончив курс обучения физике, студенты или совсем не улавливают или улавливают с большим трудом взаимосвязь между различными законами, описывающими по существу одни и те же или сходные физические явления, разбросанные по разным разделам физики. Физика предстает при этом перед ними как набор огромного числа не связанных друг с другом уравнений, которые, несмотря на одно и то же содержание, имеют различные формы записи и в которых физические величины, характеризующие один и тот же круг физических явлений, имеют разные названия и разные обозначения, а подчас и разные размерности и единицы измерений.

Чтобы физик или инженер мог понять статью коллеги, он иногда должен потратить немало времени только на освоение его понятийного аппарата и принятой им символики. Это забирает много всегда дефицитного времени. Сколько интереснейших и полезнейших статей не прочитывается только по этой причине. Умножающиеся год от года достижения теоретической и прикладной физики увеличивают объем учебного материала и сложность его восприятия, но сроки обучения измениться не могут. Следовательно, **увеличение объёма и сложности учебного материала может быть скомпенсировано только новыми подходами в методике преподавания.**

Методика преподавания физики пока не смещает акцент с использования **индуктивного метода познания** (от частного к общему) к использованию **дедуктивного метода познания** (от общего к частному) даже там, где для этого нет никаких противопоказаний (И.Коган, 2004, 2006). По этой причине и возникают многие из вышеуказанных вопросов.

В вузах пока имеет место обратное, и примером этого является тот факт, что курс “Автоматизация производственных процессов“, обобщающий научно-техническое мировоззрение студентов технических вузов, отнесен в учебных планах на последние годы обучения. Сначала изучаются общеобразовательные и общетехнические дисциплины и лишь потом то, что их обобщает.

3. Как устранить указанные недостатки методики преподавания физики?

Весьма убедительна цитата В.Вайскопфа (1977): “*В преподавании науки надо вернуться к принципам, подчеркивающим единство и универсальность науки, оно должно стать более широким, чем простое старание выпустить знающего ремесленника со специализированной профессией. Конечно, мы должны обучать компетентных специалистов, но мы также должны обобщать и указывать связи между разными областями науки. Эта задача трудна, так как требует от тех, кто занят современными исследованиями, много времени и больших умственных способностей*“.

Вот как характеризуют О.Бондаренко и С.Кадыров (2000) ту методологию преподавания физики, на которую следует переходить. Это “*...синтез физических объектов, событий, систем, намеренное абстрагирование от форм с целью работы непосредственно с содержанием; создание объединенных физических теорий, отказ от противопоставления различных разделов физики; переход к сути вещей, выявление их причин без акцентирования внимания на внешних признаках, описывающих это поведение*“.

Именно такую методологию и предлагает настоящая во всех ее разделах . Она базируется на обобщении и систематизации физических величин, упорядочении терминологии и упорядочении символики, чему и посвящена данная работа и описываемая в ней система физических величин и понятий ЭСВП.

Примечателен огромный интерес к известным лекциям Р.Фейнмана, преподававшего физику не тривиально. Имеются серьезные педагогические исследования, убедительно доказывающие необходимость пересмотра концепций преподавания (К.Гомоюнов, 1983). Но если и существуют перемены в учебных программах, то лишь с точки зрения включения в них новых достижений физики и техники, а не с точки зрения пересмотра концепций преподавания.

4. Обобщение и систематизация физических величин улучшают методику преподавания физики.

Именно желание усовершенствовать методику преподавания физики явилось веским стимулом для исследования проблемы обобщения и систематизации физических величин. Не случайно многие из авторов, исследовавших и исследующих эту проблему, имеют большой педагогический стаж работы в вузе. “Общая теория“ А.Вейника (1968), первая монография В.Эткина (1992) и первая работа по систематизации физических величин И.Когана (1993) были выпущены в виде учебных пособий для вузов. Методике дедуктивного обучения физике в средней и высшей школах посвящена глава в монографии И.Когана (2006). Для помощи студентам и школьникам опубликованы работы Н.Плотникова (1978), Д.Ермолаева (2003), К.Гольберта (2003). А две работы по систематизации физических величин (П.Пирнат, 2005 и А.Легейда, А.Чуев, 2006) являются электронными учебными пособиями для студентов.

5. Основные резервы для совершенствования методики преподавания физики.

Такими резервами являются:
1. смещение центра тяжести в преподавании от **индуктивного метода** обучения (от частного к общему) к **дедуктивному методу** (от общего к частному) в школе и, особенно, в вузе;
2. поиск рациональных критериев соотношения этих двух методов преподавания;
3. совместная работа физиков с психологами по поиску рационального по возрасту периода перехода от одного метода к другому в процессе обучения в школе;
4. строгое соблюдение при обучении принципа причинности (причинно-следственной связи).

Литература

1. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, - http://www.newphysics.h1.ru.
2. Вайскопф В. 1977, Физика в двадцатом столетии. М., 272 с.
3. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
4. Гомоюнов К.К.,1983,Совершенствование преподавания технических дисциплин.–Л.Изд. Ленинградского ун-та, 206с.
5. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html
6. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.

7. Коган И.Ш., 2004, Как можно одновременно интенсифицировать и упростить процесс преподавания физики и технических дисциплин. – http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/1522.pdf
8. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
9. Легейда А.Н., Чуев А.С., 2006, СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН А.С.Чуева. – http://www.chuev.narod.ru/
10. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., а также http:/plotnikovna.narod.ru
11. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.
12. Holbert, K.E., 2003, Interdisciplinary Electrical Analogies. – http://www.eas.asu.edu/~holbert/images/math_integ.gif
13. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt

12.2. Дедукция и индукция при изучении физики

1. Определения дедукции и индукции и их применение при изучении физики.

Определений этих двух методов познания много, но все они несущественно отличаются друг от друга. Если их объединить, то можно придти к двум определениям, приведенным в статье О.С.Тягнибединой (2005):

Дедукция (от лат. deductio – выведение) – переход в процессе познания от *общего знания* о некотором классе предметов и явлений к знанию *частному* и *единичному*.

Индукция (от лат. inductio – наведение) – это переход в процессе познания от *частного* знания к *общему*; от знания меньшей степени общности к знанию большей степени общности.

В педагогике эти методы познания не противопоставляются друг другу, а применяются в соответствии с возрастом обучающихся и с учетом уже освоенного учебного материала. В начальной школе применяется индуктивный метод познания, а в следующей ступени постепенно переходят к дедуктивному методу познания. Хорошим примером такого перехода является переход при изучении математики от арифметики к алгебре.

Физику начинают изучать в школе после освоения базовых знаний по математике с применением индуктивного метода познания, постепенно переходя к дедуктивному методу в старших классах. В высшей школе при изучении физики в настоящее время идут тем же путем, но на более высоком уровне, широко применяя дополнительно **исторический метод** преподавания, о котором будет рассказано ниже.

В науке имеются яркие примеры применения дедуктивного метода познания. Можно привести примеры из химии (Периодическая система элементов Д.И.Менделеева) и квантовой физики (система элементарных частиц М.Гелл-Манна и Ю.Неэмана). В биологии применяют классификацию Карла Линнея, в грамматике – деление слов на части речи и члены предложения, вводят склонения и спряжения.

Примеров использования в методологии физики систематизации таких основных понятий, как физические величины, пока нет. Хотя работ в этом направлении уже много, им посвящен раздел "История проблемы"**. В стандартах и справочниках физические величины расположены без определенной последовательности, опирающейся на законы природы. Иногда по алфавиту, чаще по соображениям авторов, хотя физические величины следует располагать в закономерной последовательности и в полном соответствии с принципом причинности.**

Систематизация физических величин может и должна явиться серьезным средством рационализации учебного процесса по изучению физики, более глубокого проникновения в сущность явлений и процессов. Она может упростить задачи преподавателей, избежать дублирования учебного материала. Правда, избежать корректировки учебных планов, учебных программ и учебных пособий при этом не удастся. Но это естественный процесс.

2. Примеры применения дедукции при изучении физики в школе.

При изучении физики в школе применение дедуктивного метода познания пока ограничивается (да и то в старших классах) ознакомлением с небольшой темой “Физические аналогии” при изучении раздела ”Электричество“ и общим подходом к разным явлениям природы при изучении раздела ”Колебания и волны”. В работах И.Когана (1993, 2004б) указывается на то, что этого недостаточно и что в старших классах и, тем более, в техникумах можно и нужно изучать принципы систематизации физических величин, чтобы применять их с достаточной эффективностью.

Например, учащимся старших классов в начале второго цикла изучения физики можно раздать папки с вклеенными, разлинованными но не заполненными таблицами величин. Это известный прием: все любят решать кроссворды, а японской игрой “судоку“ увлечены многие.

При изучении раздела “Механика” можно разъяснить на примере функционирования простой механической системы такие понятия, как “система”, “воздействие на систему”, ”закон сохранения энергии”. И заполнить две группы величин таблицы механической прямолинейной формы движения.

Необходимо разъяснять учащимся понятия “определяющее уравнение”, ”размерность” и “единица измерений”. Это не сложнее, чем уже освоенные абстрактные понятия из алгебры и геометрии. **Важно разъяснить, чем отличается размерность от единицы. (К сожалению, это различие неясно сейчас и многим специалистам.)** Можно даже пояснить простейшие правила анализа размерностей на базе анализа единиц. Конечно, это сравнительно сложный материал, но чем раньше дать его, тем легче будет потом.

При изучении раздела “Электричество” учащиеся обычно уже имеют понятие о производных. Поэтому при изучении темы “Физические аналогии”, которая обычно иллюстрируется электромеханическими аналогиями, необходимо изучить уравнение динамики и заполнить соответствующую группу величин в таблицах механической и электрической форм движения. При этом обязательно указать на то, что физические аналогии являются отражением законов природы (И.Коган, 2004), а не случайными совпадениями.

В техникумах, в зависимости от объема пройденного материала, вполне можно заполнить и таблицы, посвященные вращательному движению, гидравлике, термодинамике, магнетизму, а также таблицы обобщенных величин периодических процессов. Таким образом, учащиеся по окончании среднего учебного заведения уже могут получить первоначальные навыки применения в физике дедуктивного метода и приобрести некоторые представления о методах обобщения в физике.

3. Необходимость расширения применения дедукции при изучении физики в вузе.

Малая распространенность дедуктивного метода познания при обучении физики в школе понять можно. Но почему слабо представлено применение этого метода при изучении физики в вузе, сказать трудно.

Попросите студента технического вуза рассчитать электрическую мощность по току и напряжению, и это быстро сделают многие, перемножив ток на напряжение. Через пару дней предложите тем же студентам рассчитать мощность подъёмного крана, поднимающего груз с известным весом и с известной скоростью, тут уже не все догадаются перемножить вес на скорость. Еще более сложным окажется вопрос о расчете мощности насоса по напору и расходу жидкости или даже вопрос о роли коробок передач в станках и автомобилях. И нет уверенности в том, что хотя бы два из десяти инженеров-практиков ответят на все четыре вопроса, да еще и усмотрят в этом прямую аналогию.

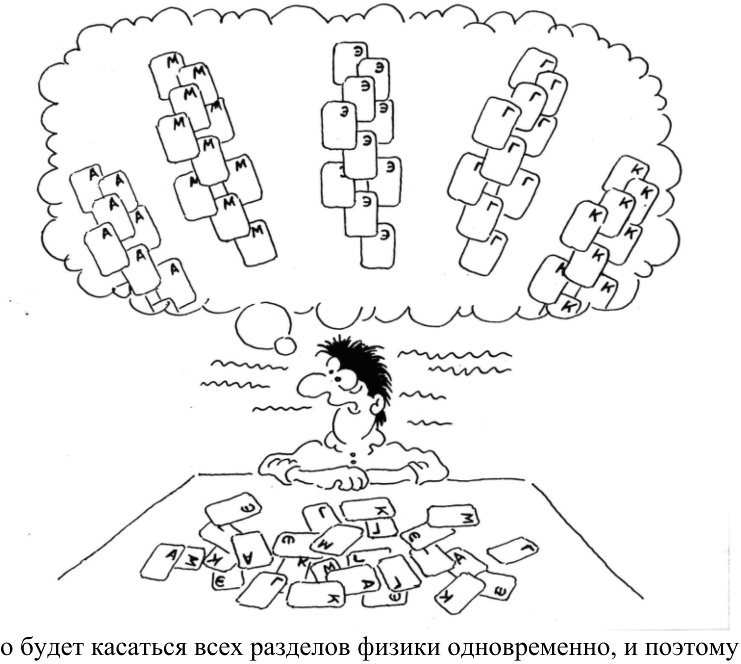
Уже в самом начале обучения в вузе знания, полученные в школе, позволяют плодотворно использовать потенциал дедуктивного метода познания. Но приходится учитывать неравноценность предшествующей подготовки разных студентов. По-видимому, в вузе перед началом изучения физики следует прочесть небольшой пропедевтический курс, в который надо, помимо прочего, включить схему освоения методики обобщения и систематизации в целом и систематизации физических величин, в частности. Это, к тому же, даст возможность повторить школьный материал по физике, глубже усвоить его, а, самое главное, подравнять уровень знаний студентов, пришедших в вуз с различной степенью подготовленности по физике. Подобный пропедевтический курс в дальнейшем сократит учебное время на освоение самой физики, не говоря уже о качестве освоения.

4. Дедукция различает системы величин и системы единиц.

Разъяснению различия между системами величин и системами единиц посвящена отдельный раздел. Но для популярного объяснения этого различия предлагается пример, иллюстрируемый рисунком.

На столе лежат разбросанные в беспорядке карточки, похожие на игральные карты. На каждой карточке написано название физической величины, ее размерность и единица. Разбросанные и перемешанные в беспорядке карточки как раз и служат иллюстрацией принципа составления СИ. В лучшем случае эти карточки раскладывают по разделам физики (то есть, по мастям, если продолжить аналогию с игральными картами). Но никаких правил по поводу того, в каком порядке следует “раскладывать карты в каждой масти“, в физике нет. А ведь в игральных картах такой порядок существует (туз, король, дама и т.д.).

В настоящее время метрологи раскладывают подобный пасьянс в том порядке, какой видится его составителям. Это приводит лишь к видимости упорядоченности, поскольку такой порядок произволен. Предлагаемые разными авторами системы физических величин тем и отличаются от систем единиц, что физические величины расставляются в определенной закономерной последовательности. Даже ели в дальнейшем изменится последовательность расположения физических величин, изменятся названия групп величин и названия самих величин,



то это будет касаться всех разделов физики одновременно, и поэтому процесс перемен принципиально ничего не изменит.

Корректировка Таблиц физических величин, составленных И. Коганом, производилась неоднократно, но с каждым разом необходимость корректировки уменьшалась. По мере совершенствования Таблицы физических величин сами начинали диктовать процесс расположения в них величин, указывать на то, какая физическая величина по какой определяется, какие у нее должны быть размерность и единица измерений.
В этом процессе присутствует жесткая логика, определяемая принципами систематизации. Если в какой-нибудь таблице что-то не стыковалось, то после анализа причин выяснялось одно из двух: либо следует корректировать то, что не стыкуется, руководствуясь Таблицами обобщенных величин, либо необходимо корректировать эти таблицы. Вторая из этих причин уже не возникает.

Процесс систематизации не должен волновать практических метрологов, так как он не касается единиц. А вот для обучения физике важно находить методики преподавания, дающие наилучший педагогический эффект, и систематизация физических величин, как элемент дедуктивного метода познания, способствует этому.

Оппонентами внедрения в методологию физики систематизации величин, принципиально отличающейся от унификации единиц, приводится ссылка на популярность СИ, как на достаточную альтернативу созданию систем величин. Но эта ссылка не состоятельна, так как СИ не предназначена для систематизации физических величин. Единицы СИ и их взаимосвязь надо просто запоминать, грубо говоря, зазубривать, и всегда иметь под рукой справочник. А систематизация величин помогает изучать физику.

5. Методика освоения дедукции в вузе на примере систематизации величин.

Если будет принята на вооружение система физических величин, то обобщенные величины следует разъяснить уже в процессе изучения вышеупомянутого пропедевтического курса. Начинать надо с изучения схемы иерархии уровней систематизации физических величин в виде плаката на стене учебной аудитории.

По мере изучения различных разделов физики таблицы физических величин, соответствующие изучаемым формам движения, следует заполнять совместно со студентами. А таблицы конкретных форм движения можно также вывешивать в качестве наглядных пособий в виде плакатов на стенах специализированных лабораторий, где проводятся практические и лабораторные занятия по отдельным разделам физики. Сравнение таблиц физических величин друг с другом включает на полную силу зрительную и ассоциативную память, а это очень важно чисто с психологической точки зрения.

Все разделы физики и развивающие их на практике технические дисциплины должны преподаваться обязательно с учетом обобщения и систематизации физических величин и таким образом, чтобы студент постоянно чувствовал то общее, что увязывает их в единое целое. Из этого складывается мировоззрение студента. В процессе изучения физики появляется возможность придать более глубокое содержание примерам единства законов природы в их проявлениях в разных формах движения.

Систематизация величин имеет не только познавательное и дидактическое, но и воспитательное значение. Оно состоит в том, что наличие в таблицах незаполненных ячеек, возможность их заполнения в будущем или даже возможность создания новых строк и новых таблиц будит воображение, наглядно свидетельствует о том, что физика и техника находятся в развитии, и заполнение новых таблиц вполне доступно мыслящему уму. Систематизация величин может указать пути наиболее целесообразного выбора производных величин в любом новом прикладном направлении, чтобы новые придумываемые (и подчас неудачно) величины нового направления не пришлось бы потом “втискивать” в существующие системы величин, иерархия которых соответствует принципам систематизации.

Первые опыты внедрения принципов систематизации величин при преподавании физики известны. По их следам опубликованы работы Н.Плотникова (1978), И.Когана (1993), А.Чуева (2007). Эти опыты еще скромные, но они дают положительные результаты, несмотря на то, что методы систематизации у упомянутых авторов разные.

6. К каким последствиям приводит исторический метод преподавания физики.

В настоящее время преподавание физики в вузах часто нацелено на исторический метод преподавания. В одном из наиболее популярных учебников по физике И.Савельева (2005) часто в начале какого-нибудь параграфа встречаются слова типа: “*опыт показывает*“, “*опытным* *путем установлено*“ или “*формула может быть получена только экспериментально*“. При этом следуют ссылки на экспериментальные закономерности, полученные впервые тем или иным ученым, иногда даже в том виде, в каком они были им когда-то получены.

Но это, по нашему мнению, можно делать лишь в случае, если такое изложение не противоречит дедуктивному методу познания, поскольку ссылки на историю приводят к неоднократным нарушениям принципа причинности в определяющих уравнениях. **Это основная причина возникновения в физике понятийной бессистемности и символьной бессистемности.** Ведь каждый первооткрыватель вводил свои понятия и символы в соответствии с современным ему уровнем физики, они закреплялись в работах других ученых, а затем входили в учебники, справочники и стандарты.

Попытки И. Когана систематизировать применяемые символы и индексы, особенно в электромагнетизме и гравитации, не привели его к положительным результатам, и он вынужден был предложить для созданной им системы величин ЭСВП собственную систему символов и индексов. Тем же путем были вынуждены идти и составители других систем величин.

Совместить обобщение и систематизацию физических величин и понятий со стандартными определениями, стандартной символикой и общепринятой последовательностью составления определяющих уравнений, исходящей из исторического метода преподавания, оказалось невозможным. И это привело И. Когана к иной последовательности составления определяющих уравнений, что и помогло найти приемлемое решение задач по систематизации физических величин.

Исторический метод подчас неоправданно расходует драгоценное учебное время вследствие необходимости приводить обстоятельства открытия того или иного закона и существовавшие на тот период времени и уже устаревшие научные подходы и воззрения. Этот метод ставит студентов в сложное положение, когда за два лекционных часа они должны узнать о том, на что ученым иногда требовались века. Говорить о том, кто и когда открыл ту или иную физическую закономерность можно, но не более чем с целью попутной иллюстрации учебного материала.

Приведем такой пример. Свойства природных магнитов были обнаружены пару тысячелетий тому назад, поэтому сначала в физике появилось понятие “магнитное поле“. Значительно позже появилось понятие “электрическое поле“, и только в XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом. И после того, как теория Д.Максвелла обобщила важнейшие законы электрического и магнитного полей, утвердилось обобщающее понятие “электромагнитное поле“. Однако уравнения Максвелла достаточно сложны, они требуют предварительного ознакомления с векторным анализом, и начинать с них изучение электричества и магнетизма невозможно. Поэтому сейчас электромагнетизм изучают, используя исторический метод, завершая это изучением уравнений Максвелла. Но изучение электромагнетизма вполне допустимо начинать, предварительно изучив основы систематизации физических величин и закономерностей, ведь для системного подхода достаточно знания векторной алгебры.

Многие физики понимают это, но проще двигаться по стандартной колее, чем по ходу движения менять колеса. И все же менять колеса придется, хоть и не торопясь, и так же постепенно переносить исторические сведения в отдельную дисциплину “История физики и техники“, которую следует изучать к концу обучения в вузе. Эта мировоззренческая дисциплина может оказаться очень полезной как раз после завершения изучения физики и техники.

7. Об этической стороне применения дедукции при изучении физики.

При использовании дедуктивного метода преподавания сразу же в начале обучения в вузе любая новая система определений и обозначений может быть воспринята без особых затруднений. Зато это с лихвой окупит себя в дальнейшем. Необходимо лишь реальное понимание того, что затягивание с введением такого перехода будет лишь затруднять его. А то, что рано или поздно его придется осуществлять, сомнений нет.

В отзыве на публикацию монографии И.Когана (2006) доцент Московского Физико-Технического института В.А.Петухов написал, что для того, чтобы научить студентов физическому мышлению, “*... лучше честно объяснить студентам, что установлено достоверно, а что нет, чем строить обучение на каких-то схемах, которые могут оказаться неверными. Особенно опасно это при обучении будущих физиков, у которых не должно быть ложных представлений*“.

Но разве нет примеров в истории науки, когда достоверно установленное оказывалось неверно интерпретированным? Разве не об этом говорит пример с термодинамикой Клаузиуса и введенной им энтропией, некорректное применение которой до сих пор вводит студентов и даже специалистов в заблуждение? Разве при обучении не надо честно рассказывать о новых идеях и теориях, в том числе, и о тех, с которыми преподаватель лично не согласен, и по поводу которых еще не появились доказательства их достоверности? Особенно, когда речь идет о студентах, собирающихся стать учеными. Правда, в этом случае преподаватель вынужден будет встать на ту или иную точку зрения. Эта позиция честна, но не для всех преподавателей удобна.

О причинах, по которым современная физика боится давать студентам так называемые “ложные представления“, хорошо написано в статье А.Шляпникова (1999). Сейчас, когда физика находится в сложном периоде своего развития (О.Зайцев, 2001), как раз и необходимо давать будущим физикам понятие о наиболее спорных современных идеях вместо того, чтобы зачислять эти идеи в “лженауку“, как это сейчас практикуется в Российской Академии Наук. Разве история не преподала в XX веке урок по поводу того, как записывали в лженауку кибернетику и генетику. Вопрос о том, являются ли те или иные представления ложными или истинными, не решается большинством голосов на заседаниях комитетов и комиссий любого ранга.

Преподавателю лучше рассказать студентам о новых теориях, пусть даже и со своими комментариями, чем дождаться, пока студенты сами обнаружат эти теории в Интернете и начнут об этом спрашивать. Авторитета преподавателю это не прибавит.

Литература

1. Зайцев О.В., 2001, С какими проблемами физическая наука вступила в 21 век. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2356.html
2. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
3. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
5. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., также http:/plotnikovna.narod.ru
6. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
7. Тягнибедина О.С., 2005, Дедуктивный и индуктивный методы познания.
http://rusnauka.com/ONG/Philosophia/6_tjagnibedina.%20tezisy.doc.htm

8. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. http://www.chuev.narod.ru/ .
9. Шляпников А.А., 1999, Истинные возможности классической физики и ложные современной. – Сб. “Другая физика”, http://www.newphysics.h1.ru .

12.3. О необходимости изменения методики преподавания механики в вузе

Современная методика преподавания механики в вузе

Механика, как, впрочем, и вся физика, изучается сейчас с помощью исторического метода, который заключается в том, что студентам излагаются сведения в том же временном порядке, в каком их постигала наука. Сначала очень подробно изучаются законы Ньютона вместе с принципом относительности Галилея, которые действуют только в инерциальных системах отсчета. При этом само понятие “инерция“ не вводится и не разъясняется, а просто говорится о том, что первый закон Ньютона сформулирован в виде закона инерции, а все системы отсчета, относительно которых тела движутся равномерно и прямолинейно, названы инерциальными.

При рассмотрении инерциальных систем отсчета вводится понятие “сила“ и рассматриваются разновидности сил, вводятся понятия о консервативных силах и консервативных системах, изучаются основные три закона сохранения и многое другое. При этом у студентов создается твердое впечатление о том, что нас со всех сторон окружают только инерциальные системы отсчета. И когда приступают к изучению неинерциальных систем отсчета, из которых самыми важными являются вращательные системы, последние воспринимаются как какое-то досадное исключение из общего правила. Этому способствует и одна чисто психологическая деталь: приставка “не“ на уровне подсознания всегда воспринимается как нечто отрицающее главное, основное. Именно в этот момент о силах инерции говорят, как о каких-то фиктивных силах, помогающих тем не менее провести расчеты равнодействующих сил в неинерциальных системах отсчета и сопоставить эти расчеты с уже освоенными ранее расчетами в инерциальных системах отсчета, применяя так называемый принцип Д'Аламбера.

Природа указывает на необходимость другой методики преподавания механики

В природе все обстоит с точностью наоборот по сравнению с той методикой, которая была описана выше. **Именно вращательное движение является устойчивой формой движения. А любое прямолинейное движение принципиально неустойчиво, так как оно вследствие неизбежных флуктуаций и сопротивления среды либо превращается во вращательное движение, либо распадается на два противоположно направленных вращательных движения, то есть на два вихря.** Условие реальности указывает на то, что прямолинейное движение является математической абстракцией, когда радиус кривизны траектории движения тела устремляют к бесконечности. Если мы и изучаем системы, которым присуще прямолинейное движение, то лишь потому, что это применимо на практике, что это хорошо заметно и понятно, отчего и человеческий ум заметил его раньше всех прочих форм движения.

С точки зрения систематизации физических величин единая система отсчета единой обобщенной формы движения является инерциальной. Согласно условию аналогий, одному из условий успешной систематизации физических величин, все системы отсчета должны быть инерциальными. И если с этим согласиться, то сам термин “инерциальная система“ становится излишним, как, впрочем, и термин “неинерциальная система“.

Силы инерции − реальные силы противодействия

В работе Дж.Асанбаевой (2001) доказывается, почему силы инерции являются вовсе не фиктивными, а вполне реальными физическими величинами, являющимися одной из составляющих суммы сил противодействия тела внешнему энергетическому воздействию. Особое внимание силам инерции уделяется при изучении механики потому, что при практических расчетах удобно пренебречь на первых порах другими двумя составляющими суммы сил противодействия: упругими силами противодействия и силами трения. А вот противодействием сил тяготения пренебречь удается далеко не всегда, их приходится учитывать. И тогда начинают говорить об эквивалентности сил инерции и сил тяготения, хотя природа этих сил различна.

Так не проще ли сразу объяснить студентам уравнение динамики, представить тело как физическую систему, а внешнее воздействие на тело приравнять сумме противодействий тела и силовых полей, в которых оно находится. После этого можно изучать все то же самое, что изучают сейчас. И при этом объяснить студентам, что инерциальные системы отсчета – всего лишь удобная для практики абстракция, без которой, в принципе, можно обойтись.

Силы инерции − не единственные силы противодействия

Вырисовывается такая последовательность причинно-следственных связей при объяснении взаимосвязей, например, при прямолинейном движении. Если следовать мысленно от следствия (ускорения) до причины (воздействия на тело), то для расчета ускорения, приобретаемого телом, определяющей величиной согласно второму закону Ньютона является сила инерции $\mathbf{F}_I$, а не просто воздействующая на систему сила **F**. Сила инерции является лишь одним из слагаемых результирующей противодействующей силы. А результирующая противодействующая сила равна и противоположна по знаку воздействующей на систему силе **F**. Непростая причинно-следственная цепочка, но ведь и механические формы движения сложнее, чем это кажется на первый взгляд.

Добавляется еще и педагогический аспект. В памяти "железно" запечатлевается формула второго закона Ньютона в записи $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$, или, того хуже, в записи $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, противоречащая принципу причинности. Тогда как верная запись второго закона Ньютона $\mathbf{a} = \mathbf{F}_I /m$. В подсознании движение всегда ассоциируется с силой, но вот с какой конкретно, непонятно. А речь-то ведь идет в записи второго закона Ньютона только о **силе инерции**. Если же подставить в эту форму записи **результирующую силу противодействия, то есть, сумму силы инерции, упругой силы противодействия и силы трения,** то кроме одного произведения $m\mathbf{a}$ окажется сумма нескольких произведений физических величин. Именно это и следует заложить в подсознание. Проще говоря, следует дать понять, что формула $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$ отражает лишь частный случай противодействия тела внешнему воздействию.

Наконец, второй закон Ньютона в виде уравнения динамики необходимо обобщить и на другие формы движения: вращательную и орбитальную. И тогда необходимость в том, чтобы придумывать и изучать неинерциальные системы отпадет сама собой.

Литература

1. Асанбаева Дж.А., 2001а, Новая модель ядра атома в виде протон-нейтронной решетки. – Бишкек: Кыргыз Жер №1, также http://newphysics.h1.ru/sep_art/nuclear.htm.

12.4. Изменить методику преподавания электричества и магнетизма

Нарушения принципа причинности при преподавании имеют место и в других разделах физики. Например, в термодинамике принцип причинности нарушается при записи уравнения состояния. В разделе, посвященном этому уравнению, пояснено, что это продиктовано удобством записи уравнения, хотя нарушение принципа причинности ничем оправдывать нельзя. При преподавании же электричества и магнетизма неоднократные нарушения принципа причинности вызваны недопониманием сущности физического поля, что и пояснено далее.

Какова методика преподавания электричества и магнетизма сейчас

Электричество начинают изучать с закона Кулона, определяющего **силу взаимодействия F** двух неподвижных друг относительно друга электрически заряженных систем в электрическом поле. Электрическое поле действительно создается заряженной системой с зарядом системы Q, но оно создается полеобразующим зарядом Q. И если нет второго, взаимодействующего с ним полевого заряда q, то нет и силы взаимодействия этих двух заряженных систем. Хотя поле от этого не перестает существовать.

В современной физике для преодоления этого алогизма вводят в электрическое поле путем мысленного эксперимента так называемый пробный заряд, что и позволяет записать закон Кулона для взаимодействия двух зарядов. А уж затем по силе взаимодействия полеобразующего заряда с мысленно введенным пробным зарядом выводят определяющее уравнение для такой важнейшей характеристики поля, как напряженность.

Основной ошибкой такой методики является игнорирование факта, что физическое поле может иметь место и при наличии только полеобразующего заряда. И этого вполне достаточно для определения напряженности созданного полеобразующим зарядом электрического поля. А сила взаимодействия является следствием внесения в уже существующее физическое поле другого заряда. Получается, что в современной физике преподавание электричества начинают с определения силы взаимодействия зарядов, зависящей от напряженности поля, а затем по силе взаимодействия определяют напряженность поля. Прямо скажем, нелогичный путь.

Интересно еще и то, что вместо силы взаимодействия двух зарядов часто говорят о силе, действующей на заряд в физическом поле, поскольку суммарная напряженность в той точке, в которой находится заряд, может создаваться не одним, а многими полеобразующими зарядами, и она получается тогда с помощью метода суперпозиции. Но метод суперпозиции можно использовать и другим путем: суммировать силы взаимодействия зарядов вместо суммирования напряженностей.

В чем суть неверности методики преподавания электричества и магнетизма?

Если следовать **новым взглядам на устройство мира, являющимся повторением не совсем забытых старых взглядов, то энергия поля, создаваемого зарядом центрального или вихревого поля, – это количественная и качественная мера движения частиц среды, окружающей полеобразующий заряд.** Эту среду раньше называли **эфиром**, в XX веке стали называть **физическим вакуумом**, сейчас предлагают вернуться к старому названию (В.Ацюковский, 2003) или называть **гравитонной средой** (В.Пакулин, 2004, 2007), либо **полевой средой** (О.Репченко, 2008). Но суть от изменения названий не меняется**, природа не терпит пустоты**.

Локальная напряженность в любой точке эквипотенциальной поверхности поля зависит от значения полеобразующего заряда и от расстояния от центра полеобразующего заряда до точки, в которой напряженность определяется. **И сила взаимодействия зарядов в данном случае не при чем, она возникает только после того, как в уже существующем поле появляется физическая система, обладающая зарядом той же природы.**

А пока физики спорят о том, какова природа пространства, заполненного движущейся материей, ***принцип причинности при преподавании электричества и магнетизма отсутствует***.

В левой половине представленной ниже схемы показана та последовательность изложения учебного материала по электромагнетизму, которая применяется сейчас (см. например, учебник Т.Трофимовой, 2004, и учебник И.Савельева, 2005) и которая соответствует учебной программе. В этой схеме нами опущены только дополнительные разделы, которые расширяют знания об электромагнитном поле, такие как "Диполи" и "Электромагнитное поле в веществе". Учебники для будущих физиков отличаются от учебников для будущих инженеров лишь глубиной изложения и подробностями, но не последовательностью изложения.

Какая методика преподавания электричества и магнетизма предлагается

Правая половина схемы показывает ту последовательность изложения учебного материала, которая диктуется принципом причинности. Ее основные особенности заключаются в следующем:

1. Электрическое (центральное) и магнитное (вихревое) поля и образующие их заряды изучаются параллельно, а не последовательно (магнитное поле после электрического поля). При этом приводится аналогия между электромагнитным и гравитационным полем.

2. Причиной возникновения центрального поля считается скалярный заряд Q. Поясняется различие между зарядом системы и элементарным (единичным) зарядом, приводится модель последнего.

3. Электрический ток $\mathbf{I}$, как направленный поток зарядов, является векторной величиной, а не скалярной, как в современной физике.

4. Причиной возникновения вихревого поля считается векторный (динамический заряд) $\mathbf{Q}$, который может иметь две разновидности: движущийся заряд ($Q\mathbf{v}$) и токовый заряд ($\mathbf{I}l$) как аналог магнитного заряда. Сомножители движущегося заряда и токового заряда не выносятся за скобки в определяющих уравнениях для других физических величин.

5. Составлена общая классификация зарядов физического поля, а на ее основе классификация форм физического поля.

6. Определяющие уравнения для потенциала форм поля и напряженности форм поля, составленные именно в указанной последовательности, имеют одну и ту же форму записи, отличаясь друг от друга только видом заряда и видом векторной функции (в центральном поле − градиент, в вихревом поле − ротор). Не выносится за скобки множитель 4π, входящий в уравнение для расчета площади эквипотенциальной поверхности.

7. Силы взаимодействия зарядов определяются по напряженностям соответствующих форм поля (а не наоборот), и их определяющие уравнения имеют аналогичные формы записи.

8. Понятие об электрическом вихревом поле устраняется, поскольку то, что понимается под электрическим вихревым полем, является одной из составляющих переменного магнитного поля. Пересматривается физическое содержание понятия "электромагнитная индукция".

9. Понятию ток смещения придается физическое содержание, соответствующее реальности, а именно: изменению поляризованности диэлектрической среды. Уравнения Максвелла принимают другую форму записи.

10. Вводится единая система символов и индексов, физические величины электромагнитного поля объединяются в единую Таблицу величин физического поля.

Конечно, при внедрении предлагаемой методики в педагогическую практику предвидятся трудности, связанные с частичной сменой символики и терминологии практически во всех разделах электромагнетизма. Нельзя не предвидеть и психологическую сложность перехода к унифицированным терминам и символам. Для облегчения перехода от старых, но, к сожалению, уже привычных терминов и символов к унифицированным новым можно было бы на первых порах применять их параллельно, подобно тому, как это делается и сейчас в учебниках и справочниках по физике в отношении уравнений электродинамики, записываемым и в СИ, и в СГС.

Весьма чувствительными могут оказаться экономические затраты, связанные с заменой учебных и справочных пособий, с необходимостью переквалификации преподавателей. Но рано или поздно такой или подобный этому переход осуществить придется. И могут это сделать только люди с государственным мышлением, ориентирующиеся на будущее, то есть скорее на послезавтра, чем на завтра.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – http://www.valpak.narod.ru
3. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, НТФ "Истра".
4. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерия, 320 с.
5. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ:

Астрель
6. Трофимова Т.И., 2004, Краткий курс физики. – М:, Высшая школа, 352 с.

12.5. Недостатки применения математики в физике

1. Как сказывается излишняя математизация на развитии физики.

Все чаще появляются публикации, в которых авторы критикуют процесс излишней математизации физики, затуманивающий, а порой и искажающий физическое содержание явлений.

Физика должна описывать реальную природу, математика же – плод человеческих размышлений. Математика базируется на формальной логике, для нее, например, равноправны и геометрия Эвклида, и геометрия Лобачевского, физика же должна отражать только одну реальную геометрию, существующую в природе. Но дело не только в формализме, присущем математике. Следует иметь в виду еще два обстоятельства.

Во-первых, подтверждение выводов некоей математической теории экспериментальными фактами еще не говорит о том, что эта математическая теория единственно верная. Те же экспериментальные факты могут быть впоследствии подтверждены и другой математической теорией, и такие примеры в физике имеются. Например, колебательные процессы одинаково успешно описываются и тригонометрическими, и экспоненциальными функциями, и методом векторных диаграмм.

Во-вторых, в физике часто применяется разложение математических функций в ряд с пренебрежением третьего и последующих членов разложения ввиду их малости. Однако, то, что на данном этапе развития физики считается пренебрежительно малым и даже просто незаметным, в дальнейшем на другом уровне развития физики может сыграть исключительно важную роль. Это красочно описано в книге Б.Грина (2004), посвященной теории суперструн.

По всем этим причинам при преподавании физики следует, прежде всего, обращать внимание на физическое содержание величин. Даже в тех случаях, когда их математическое описание не совпадает с физическим содержанием. Более того, именно в таких случаях это приобретает особое значение, ибо следует объяснять, почему такое случилось, и как следует понимать в этом свете излагаемый учебный материал.

2. Примеры принципиальных ошибок при применении математики в физике.

1. Прямолинейного движения в природе нет. Прямолинейной можно считать приближенно криволинейную траекторию, кривизна которой стремится к нулю, а радиус кривизны – к бесконечности. Прямая линия – это геометрическое, а не физическое понятие. В физике отрезок прямой линии характеризует кратчайшее расстояние между двумя точками пространства. Расстояние можно измерять в единицах длины, но длину траектории нельзя измерять без учета ее кривизны.

2. Движение в природе всегда связано с вращением, но это не всегда учитывается. Основная характеристика вращения – угол поворота, следовательно, он должен быть основной величиной, имеющей свою размерность и измеряемой в оборотах и его долях. Сейчас в физике угол поворота оценивается математической величиной – плоским углом, измеряемым в радианах. Вследствие этого угол поворота принудительно лишен полагающейся ему размерности, что до предела запутало всю терминологию и метрологию вращательной формы движения и периодических процессов. В настоящее время в связи с предстоящим переопределением единиц исправление этого недостатка пока не планируется.

3. В физике обязательно соблюдение принципа причинности, тогда как в математике его соблюдение не обязательно. В математике если $a = b$, то $b = a$. В физике это не так: если a функция от b, то b не может быть функцией от a. Если явление a произошло после явления b, то явление b не может произойти раньше явления a или даже одновременно с ним. В любых определяющих уравнениях в физике причина (аргумент) должна находиться в правой части уравнения, а следствие (функция) – в левой. На любом графике в физике аргумент должен откладываться на оси абсцисс, а функция – на оси ординат. К сожалению, в современной физике имеется большое число примеров нарушения этих очевидных положений.

4. Вне движения нет смысла говорить о пространстве и времени, а в математике это допускается. Пространство является вместилищем движения, а время отмеряет последовательность событий. **Движение** характеризуется количественно и качественно (по направлению). У движения есть своя количественная мера, и называется она **энергией**. А направление движения характеризуют импульс и угловой момент (или момент импульса). Пытаться построить всю совокупность физических величин, базируясь только на геометрических сочетаниях размерностей пространства и времени, как это сделал Р.Бартини и пытаются сделать его многочисленные последователи, может оправдать себя только в кинематике. Реальная природа должна описываться в динамике.

5. Безразмерных величин в природе нет, сам термин неверен. Каждая физическая величина имеет свой размер. В английском языке применяется термин "безразмерностная величина", но и этот термин тоже неверен. Каждая величина имеет свою размерность (если даже эта размерность соответствует 1) и свое определяющее уравнение, которое и определяет физическое содержание этой величины. Каждый критерий подобия (каждая относительная физическая величина) тоже имеет свое определяющее уравнение и потому свое собственное физическое содержание. И это не отменяется тем фактом, что в формуле размерности относительной величины все размерности имеют показатель степени, равный нулю. Физическое содержание любой величины определяется не размерностью, а определяющим уравнением.

6. В природе нет материальных точек, а есть физические системы (тела). Они имеют объём, могут вращаться вокруг собственного центра вращения, обладают свойством деформируемости и свойством переводить при своем движении энергию упорядоченного движения в энергию неупорядоченного движения. Поэтому консервативные системы являются математической абстракцией. Пренебрежение тем или иным свойством физической системы, конечно, существенно упрощает математические выкладки, но и попутно оттесняет физическое содержание на второй план.

7. В физике существуют величины, записывающиеся, как произведение величин, заключенное в скобки. Сомножители этих произведений нельзя сокращать, не теряя при этом физическое содержание таких величин (это, например, импульс, количество движения, движущийся заряд и токовый заряд). При сокращении одного из сомножителей таких физических величин, подобные величиню просто исчезают из рассмотрения. В математике же сокращать равные величины в числителе и знаменателе не запрещается.

8. В физике направлением обладает только движение, его различные свойства и побуждающие движение физические величины. Только эти величины можно считать **векторными**. В математике же можно любую геометрическую величину объявить векторной. Например, в физике при движении электрических зарядов по проводнику векторной величиной должен являться сам поток зарядов (электрический ток). При привлечении же математики допускается назначить векторной величиной длину элемента проводника, а поток зарядов сделать скалярной величиной. В физике вектором является поток вещества, а при привлечении математики вектором становится площадь сечения этого потока. В итоге в современной физике при изучении потоков порой не просматривается их физическое содержание.

9. В математическом методе векторных диаграмм вращающийся радиус-вектор не является физической величиной. В этом методе, широко применяющемся для анализа реальных колебательных процессов, вращение радиус-вектора лишь сопоставляется с колебаниями физической величины, которая, в принципе, может не иметь никакого отношения к процессу вращения радиус-вектора. В результате терминология и метрология периодических процессов оказалась нуждающейся в радикальном пересмотре.

Мы полагаем, что все эти примеры наглядно показывают, как важно быть осторожным при применении математики для объяснения физических явлений.

Литература

1. Грин Б., 2004, Элегантная Вселенная. – М.: УРСС, 288 с.

12.6. Учебно-наглядные пособия по систематизации физических величин

И. Коганом разработаны таблицы и схемы, которые могут быть с успехом использованы в качестве учебно-наглядных пособий при изучении физики и технических дисциплин. Все они не связаны с проводимой И. Коганом систематизацией физических величин и понятий. Они полезны в учебном процессе, их можно повесить на стену физических аудиторий и лабораторий. Ниже представлен их перечень с указанием разделов, в которых эти схемы поясняются подробно..

Схемы и таблицы, полезные на всем протяжении периода изучения физики и технических дисциплин

1. Схема систематизации форм и видов энергии.

2. Схема систематизации форм и видов механического движения.

3. Схема классификации физических систем.

4. Схема уровневого строения материи.

5. Иерархия уровней систематизации физических величин.

6. Таблица физических (динамических) аналогий.

7. Таблица, иллюстрирующая и объясняющая физические аналогии.

Схемы и таблицы, полезные для изучения отдельных разделов физики и технических дисциплин

1. Схема классификации полей по виду заряда.

2. Схема классификации зарядов физического поля.

3. Таблица напряженностей в разных формах поля.

4. Схема классификации форм и видов энергии в термодинамике.

5. Обобщенная таблица явлений переноса в физике.

6. Таблица физических величин при упругих деформациях (сопротивление материалов).

13. Систематизация физических величин и метрология
(Общие проблемы теоретической метрологии)

13.1. Метрологические термины, размерности и единицы физических величин

Основные и производные физические величины

- Что такое физическая величина?
- Что такое основная физическая величина?
- Какие именно физические величины являются естественными основными величинами?
- Что такое единица измерения?
- Что такое размерность физической величины?
- Число структурных элементов (количество объектов) - естественная основная величина
- Производные физические величины и их классификация
- Условно принятые основные физические величины
- Чем отличаются системы величин от систем единиц измерения?
- Реальные и абстрактные физические величины
- Какая размерность у числа π в физике?
- О физике и метрологии тригонометрических функций

Размерности и единицы в Таблицах физических величин

Размерности и единицы величин физического поля

- Размерности и единицы электромагнитных величин
- Размерности и единицы потенциалов поля
- Размерности и единицы параметров центрального поля
- Размерности и единицы параметров вихревого поля
- Размерности и единицы зарядов поля
- Размерность и единица заряда центрального поля
- Размерность и единица динамического заряда
- Физические постоянные или размерные коэффициенты?
- Таблица размерностей и единиц напряженностей поля

Размерности и единицы величин в механических формах движения

- Размерности и единицы инертной и гравитационной масс
- Размерность и единица угла поворота
- Размерность и единица телесного угла
- Размерности и единицы величин вращательного движения
- Размерности и единицы параметров орбитальной формы движения

Размерности и единицы физических величин в электромагнетизме

- Размерности и единицы объёмных плотностей зарядов
- Размерности и единицы величин в поле соленоида
- Размерности и единицы величин в поле тороида
- Размерности и единицы магнитного момента и магнитного потока
- Размерности и единицы спинов и спиновых моментов

Размерности и единицы физических величин в колебаниях и волнах

- Размерности и единицы фазы и частоты колебаний
- Размерности и единицы угловой частоты
- Размерности и единицы частоты и числа периодов
- Размерности и единицы параметров волнового движения

- Размерности и единицы параметров теплового излучения

Размерности и единицы температуры

- В чем суть понятия "термодинамическая температура"

Размерности и единицы в явлениях переноса

- Обобщенная таблица явлений переноса

13.2. О современной взаимосвязи физики и метрологии

Образное сравнение метрологии с косметологией

Метрология как любая наука имеет два направления: практическую метрологию (процессы измерения) и теоретическую метрологию (системы размерностей и единиц). Причем практическая метрология довлеет над теоретической, образно говоря, диктует свои моды на прически (на системы единиц). Физики рассуждают, какая система единиц удобнее, но уступают требованиям метрологов, так как не физики создают средства измерения (не они являются парикмахерами). Но и метрологов ограничивают технические и экономические возможности создания измерительных эталонов. Изменение ситуации наметилось лишь в 2011 году, когда метрологи стали готовиться к переходу на фундаментальные физические константы в качестве измерительных эталонов. Это мероприятие названо **переопределением** основных единиц.

Основная часть метрологической литературы старается объяснить и популяризировать СИ. В книге Л.Брянского "Непричесанная метрология" (2002) ее автор хоть и намекает названием своей книги на то, что клиент не очень хорошо причесан, но рекомендаций по поводу того, как его лучше причесать, не дает.

Стремление некоторых физиков выйти за рамки современной метрологии

XIX век был богат учеными, которые предлагали новые системы единиц, но их старания приживались не надолго, так как физика быстро прогрессировала. В XX веке физики и метрологи сошлись на Международной Системе Единиц СИ, базирующейся на Международной системе величин ISQ (см. JCGM 200:2012). Но сторонников системы единиц СГС среди физиков осталось много. Студентов и инженеров легко приучили к новой моде, но физики старой закваски на людях ходят как бы в парике, а для себя под париком оставили старую прическу, то есть СГС. Неравнодушные к такой ситуации метрологи (например, П.Пирнат, 2005, Г.Трунов, 2006) ищут выход из такого состояния, предлагая новые системы единиц.

Некоторые физики стали в XX веке пытаться найти другие выходы, которые не зависели бы вообще ни от технических средств, ни от экономических возможностей. То есть стали доказывать, что системы величин не должны зависеть от систем единиц. Одна из таких попыток − это создание **теории физических аналогий**, когда сравниваются не размерности физических величин, зависимые от принятой системы единиц, а физические закономерности (Г.Ольсон, 1943). В этом случае не играет роли, какая при этом применяется система единиц.

Появились такие физики (например, Плотников, 1978), которые строят красивые и познавательные графические схемы, расстанавливая в них физические величины согласно их физическому содержанию, а не в соответствии с их размерностями и единицами, так как не они определяют физическое содержание величины, а ее определяющее уравнение. Многообещающей является многослойная графическая система физических закономерностей, предложенная А.Чуевым (1999, 2003). Выводы при ее использовании не зависят от принятого комплекта основных величин.

В 60-х годах XX века появилось новое направление, привлекшее многих внешней простотой и элегантностью формы, его основателем стал Р.О. ди Бартини (1965). Это достигнуто тем, что комплект основных величин сокращен до минимума (всего 2 величины − длина и время). В интернете появилось даже предложение построить систему единиц только на единице одной величины − метре. В монографии К.Томилина (2006) и в статье И.Когана (2011) показаны искусственность и несостоятельность такого направления.

Перспективы приближения метрологии к реальным законам природы

На рубеже XX и XXI веков отдельные ученые стали доказывать, что физические аналогии − это не какие-то случайно обнаруженные совпадения закономерностей, а следствия реальных законов природы (И.Коган, 2004, В Ермолаев, 2003). При этом **предлагается опираться не на системы единиц, а на не зависимые от них системы величин. Благодаря этому физические величины можно систематизировать без учета их единиц, а, следовательно, и без учета трудностей практической метрологии.**

В этот же период времени несколько новых открытий в экспериментальной физике послужили причиной возникновения нового направления, сближающего позиции физиков и метрологов. Группа метрологов во главе с И.Миллсом (2006) предложила **переопределение** основных единиц СИ, используя вместо измерительных эталонов фундаментальные физические константы. Это существенно снижает зависимость метрологов от решения проблемы создания всё более точных и дорогих измерительных эталонов. В 2011 г. это предложение было принято к исполнению Международным комитетом мер и весов (**CIPM**) со сроком исполнения в 2014 г. Однако эта проблема оказалась сложной и вызвала оживленную дискуссию среди метрологов. В итоге она пока еще не решена.

Переопределение основных единиц СИ, безусловно, станет важным шагом на пути сближения позиций физиков и метрологов. Но оно не решит еще одну давно и усиленно обсуждаемую проблему − проблему выбора нового комплекта естественных основных величин, более объективного с точки зрения законов Природы, чем это сейчас имеет место в системе величин ISQ. Основные требования для решения этой проблемы таковы:

1. Необходимость включения энергии в набор основных величин (А.Вейник, 1968, И.Коган, 1998, К.Томилин, 2006).

2. Признание угла поворота (или углового перемещения) основной величиной (И.Коган, 1998, 2011, М.Фостер, 2010).

3. Признание числа структурных элементов (количества считаемых величин) основной величиной (И.Коган, 2011, М.Фостер, 2010). Эта возможность уже признана в JCGM 200:2012 (п. 1.4, прим. 3), но в Международную систему величин ISQ еще не включено.

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4.
2. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
3. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с.
4. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html
5. Коган И.Ш., 2004, "Физические аналогии" – не аналогии, а закон природы. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html
6. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – "Законодательная и прикладная метрология", 5, с.с. 30-43.73.
7. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – "Мир измерений", 8, с.с. 46-50.
8. Коган И.Ш., 2011, Угол поворота – основная физическая величина. – " Законодательная и прикладная метрология, 6, с.с. 55-66.
9. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., также http:/plotnikovna.narod.ru
10. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 2006, 368 с.
11. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.
12. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности "длина-время". Серия "Информатизация России на пороге XXI века". – М., СИНТЕГ, 96 с., также Естественная кинематическая система размерностей. http://www.chuev.narod.ru/ .
13. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html
14. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51
15. Mills I.M. et al, 2006, Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005). Metrologia, **43**, p.p. 227–246
14. Olson H.F., 1943, Dynamical analogies. – New York, D. Van Nostrand

Co. (Русский перевод: Ольсон Г., 1947, Динамические аналогии. –М.: ИЛ.)
15. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt
16. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
17. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.3. Что первично: размерность или единица?

Две различные точки зрения на размерность величины

Вот как описывает ситуацию Л.Брянский (1993): “*Более ста лет продолжаются споры о физическом смысле размерностей. Одна точка зрения – размерность выражает физическую связь между данной величиной и основными величинами системы. Вторая, противоположная, предполагает, что единственный смысл размерности – указание на то, как изменится единица данной величины при известном изменении единиц, принятых за основные*“. Проще говоря: первая точка зрения говорит о том, что во главу угла следует ставить размерность, а вторая точка зрения - единицу измерения.

Первую точку зрения отстаивал А.Зоммерфельд. Его точка зрения отражена в определении размерности, взятом из справочника М.Юдина и др. (1989): “***Размерность физической величины** – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятой в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице*“. Обратим внимание на то, что в этом определении нет ни слова о единицах измерения. Ключевую роль играет выбор основных величин.

Вторую точку зрения отстаивал М.Планк (1932), который считал, что “***размерность физической величины*** *не есть свойство, связанное с существом ее, но представляет некоторую условность, определяемую выбором системы измерений*“. Л.Сена (1988) придерживался мнения, согласно которому понятие размерности относится вообще не к физической величине, а к ее единице измерений. Эта же точка зрения изложена и в учебнике по физике И.Савельева (2005). В развитие второй точки зрения в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) системы величин отождествляются с системами единиц. Л.Брянский (2002) считает, что “*это мнение подтверждается зависимостью размерности от выбранной системы единиц*“, не упоминая о том, что такая зависимость установлена учеными, а не природой. В работе Л.Брянского (2002) из определения размерности вообще исчезло понятие “физические величины“, вместо него имеется понятие “единицы“.

В настоящее время в Международном бюро мер и весов формально возобладала точка зрения А.Зоммерфельда. Вот определение размерности из Международного словаря по метрологии JCGM 200:2012: “*выражение зависимости величины от основных величин системы величин в виде произведения степеней сомножителей, соответствующих основным величинам, в котором численные коэффициенты опущены*“. Но фактически система величин ISQ согласно JCGM 200:2012 имеет набор основных величин, полностью совпадающий с набором основных единиц СИ, что совпадает с точкой зрения М.Планка. Так что тема дискуссии осталась.

Что объединяет две точки зрения по поводу размерности и единицы

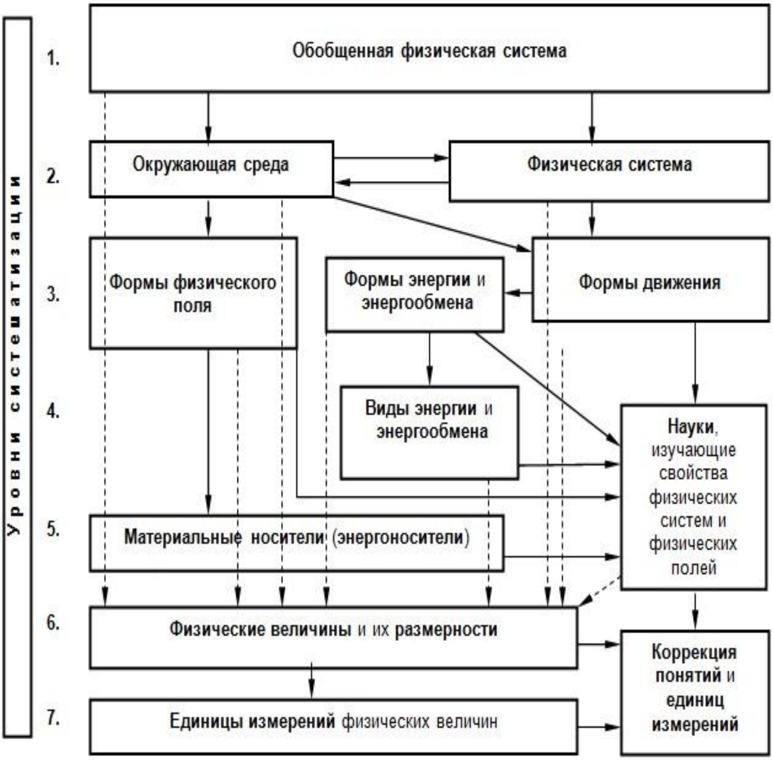
Можно проиллюстрировать неопределенность в позиции некоторых метрологов. Согласно А.Власову и Б.Мурину (1990) единица измерений сама по себе является физической величиной, и потому понятие “размерность“ может относиться одновременно и к величине, и к ее единице. Эти авторы пишут: “*Каждой из основных величин <u>приписывают</u> свою особую, независимую от других размерность*“. Однако там же, но в другом параграфе, сказано иное: “*Пользование единицами СИ приводит к убеждению в том, что каждой физической величине присуща своя собственная неизменная размерность*“. Так и остается неясным, приписывают ли размерность величине люди, или каждой величине размерность присуща от природы?

В Международном словаре JCGM 200:2012 (п. 1.4) сказано, что размерность - “*одна из величин подмножества, <u>условно выбранного</u> для* *данной системы величин*“. И там же (п. 1.9) говорится, что единица измерения “*действительная скалярная величина, определенная и* *принятая по соглашению*“. Получается, что с любой точки зрения признается ***субъективность*** при определении набора основных величин. В признании этой субъективности и состоит **общность взглядов** сторонников А.Зоммерфельда и сторонников М.Планка.

В чем должно состоять решение проблемы размерности величины

Различие во взглядах сторонников А.Зоммерфельда и М.Планка, по мнению И. Когана, менее важно по сравнению с указанной выше общностью их взглядов. А именно оно и мешает решению проблемы систематизации физических величин, которое определяется **системным подходом**. В рамках такого подхода составлена иерархия уровней систематизации физических величин, приведенная на схеме.

Из схемы видно, что физические величины находится на более высоком 6-ом уровне, а единицы измерения - на следующем 7-ом уровне. **Единицы получаются тогда, когда уже установлены размерности,**



которые не должны быть зависимы ни от каких условно выбранных основных единиц. Более того, физические величины могут быть систематизированы независимо от наличия у них размерностей и единиц. Размерность у величины имеется постольку, поскольку имеется уравнение, определяющее эту величину. И единица измерения тут не при чем.

Размерности физических величин для одних и тех же физических величин должны быть одинаковыми на любой планете в любой звездной системе, в то время как единицы измерения тех же величин могут оказаться там какими угодно и, конечно же, не похожими на наши земные единицы.

Так что и А.Зоммерфельд, и М.Планк правы, но каждый по-своему. Один имел в виду первичность размерности, а другой − первичность единицы измерения. Но те, кто противопоставляет эти две точки зрения, как бы не замечают, что обе они **игнорируют третью точку зрения**: необходимость различать естественные основные физические величины, установленные природой, и условные основные величины, принятые людьми. Тем самым затушевывается суть проблемы, заключающаяся в необходимости выявления естественных основных физических величин, данных нам природой, а вовсе не в условном выделении основных единиц, которые можно придумать какими угодно (по соглашению).

Отрицательные следствия отсутствия решения проблемы размерности величины

Л.Брянский (2002) предлагает называть размерности “*специфическими логическими операторами*“, но при этом полагает, что пользоваться ими можно лишь до тех пор, пока они “*определены только в рамках соответствующих систем единиц*“. Но ведь в этих рамках можно, в принципе, обходиться и без размерностей физических величин. К слову, Л.Брянский (2002) сам отмечает как недостаток систем единиц “*совпадение размерностей величин, имеющих различную физическую природу*“. Об этом пишут также А.Власов и Б.Мурин (1990).

Наличие одной и той же размерности у разных по природе производных физических величин возможно, если это величины одной природы. Различие физического содержания таких величин устанавливается только по определяющему уравнению. Поэтому, если смущает совпадение размерностей у разных величин, надо проанализировать их определяющие уравнения. Совпадение размерностей может иметь место и при неправильном выборе комплекта основных величин. Например, причиной одной и той же размерности в СИ у энергии и у вращающего момента является, как показано И. Коганом, отсутствие в числе основных физических величин угла поворота.

И последнее замечание. Р. ди Бартини и П.Кузнецов (1978) считали, что "*появляющиеся в формулах размерностей дробные показатели при использовании первичных величин LMT лишены всякого физического содержания и логического смысла*". Неверность этого утверждения показана в книге А.Власова и Б.Мурина (1990, § 31). Дробность или целочисленность показателей размерностей или показателей единиц зависит только от выбора системы единиц. Например, дробные показатели имеются во всем семействе систем СГС, но от этого научные работы, выполненные с применением этих систем единиц не лишены ни физического содержания, ни логического смысла. **Физическое содержание относится только к самой величине, а вовсе не к ее размерности или единице измерений.** Более подробному мнению о дробных показателях размерностей посвящена другая статья.

Литература

1. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: "Проблемы и особенности современной научной методологии" , с. 55-65, см. также ://pobisk-memory.narod.ru
2. Брянский Л.Н., 1993, Кое-что о размерностях единиц измерений. – Законодательная и прикладная метрология, **3**
3. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.66.
4. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
5. Планк М., 1932, Введение в теоретическую физику. ч.1. – М.: ГТТИ.
6. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
7. Сена Л.А., 1988, Единицы физических величин и их размерности. – М.: 336 с.
8. Чертов А.Г., 1990,Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
9. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов.
10. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL:

http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
11. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.4. Что дает переопределение основных единиц СИ.

1. В чем заключается переопределение основных единиц.

Принятое Генеральной конференцией мер и весов в 2011 г. решение о переопределении основных единиц СИ на базе Фундаментальных Физических Констант (ФФК) всколыхнуло весь мир метрологов и вызвало шквал одобрений, возражений, поправок и предложений. Это переопределение единиц будет основано на фиксации точных значений ФФК подобно тому, как это был сделано при определении метра в 1983 году. Сейчас предлагается использовать с нулевой неопределенностью значения таких ФФК, как постоянная Планка h, заряд электрона e, постоянная Больцмана k и постоянная Авогадро N_A, и по ним переопределить килограмм, ампер, кельвин и моль (И.Миллс и др., 2006).

По поводу переопределения килограмма рассматриваются два варианта: на основе постоянной Планка h или на основе постоянной Авогадро N_A. Первый вариант, названный «электрическим килограммом», предусматривает измерение тока и сопротивления катушки ватт-весов с применением постоянной Джозефсона и эффекта Холла. Второй вариант, названный «атомным килограммом», реализуется с помощью тщательно отполированного кремниевого шара с использованием атомной единицы массы.

Два варианта рассматриваются и для переопределения моля. Первый – по постоянной Планка и заряду электрона, второй – по числу Авогадро A_N.

Переопределение ампера с помощью константы Джозефсона $K_J = 2e/h$ и константы фон Клитцинга $R_K = h/e^2$, а также переопределение термодинамической температуре по постоянной Больцмана *k* затрудняются вследствие пока еще недостаточно высокой точности фиксации этих констант.

2. Какие проблемы возникают при переопределении основных единиц.

При переопределении основных единиц, естественно, возникает ряд проблем, проанализированных В.Т.Кондратовым (2012). Перечислим здесь только те проблемы, которые связаны непосредственно с переопределением единиц.

1. Проблема хранения и передачи размеров основных единиц системы, основанной на фиксации точных значений фундаментальных физических констант (ФФК).
2. Проблемы выбора способа переопределения единицы массы – килограмма, т.е. с помощью «электрического килограмма» или «атомного килограмма».
3. Проблема высокоточного определения фундаментальной физической константы — постоянной Больцмана *k* на основе уравнения состояния воды в термодинамическом пределе при переопределении кельвина на основе точного значения *k*.
4. Проблема реализация концепции построения эталонной базы основанной на взаимосвязи единиц физических величин с ФФК в области измерений длины.
5. Проблема воспроизведения единицы измерения электрического сопротивления – ома – на основе квантового эффекта Холла.
6. Проблема постепенного преобразования жёстких поверочных схем передачи размеров единиц от первичного эталона к различным средствам измерений через цепочку эталонов последующих уровней.
7. Проблема создания схем передачи размеров единиц от ФФК через измерительные системы (эталоны) до исходных калибровочных средств с указанием неопределённости результатов измерений.
8. Проблемы оценивания влияния временных и пространственных вариаций ФФК на стабильность размеров единиц физических величин и их эталонов.
9. Проблема перехода на новые определения единиц СИ.
10. Проблема использования методов избыточных и сверхизбыточных измерений для решения метрологических задач при переходе к новым определениям единиц измерений, основанных на фундаментальных физических константах.

Более детально проблемы при переопределении основных единиц раскрыты в статье С.Кононогова (2014).

3. Позволяет ли переопределение единиц говорить о появлении Новой СИ?

В связи с предстоящим переопределением единиц в статьях метрологов возник термин "Новая СИ". Однако все основные единицы СИ остаются прежними. Им предлагается лишь дать новые определения. Является ли обновление определений единиц признаком появления Новой СИ? Об этом сказано в статьях И.Когана (2014, 2015).

В истории метрологии система единиц считалась новой, когда изменялся набор основных единиц (базис системы). Так было, когда система СГС (сантиметр-грамм-секунда) была заменена в 1901 году системой МКС (метр-килограмм-секунда), а в 1935 году системой МКСА (метр-килограмм-секунда-ампер). Так было, когда в 1954 году система МКСА пополнилась новыми основными единицами и стала системой метр-килограмм-секунда-ампер-кельвин-кандела, с 1960 года эта система стала называться СИ. Наконец, о появлении новой СИ стало возможно говорить, когда в 1971 году СИ пополнилась седьмой основной единицей моль.

В настоящее время сложилась неопределенная ситуация. С одной стороны, основные единицы СИ, как сказано п.1.10 Международного метрологического словаря (JCGM 200:2012), базируются на основных величинах международной системы величин ISQ, на которой базируется СИ (п.1.6, прим. 2, словаря). С другой стороны, система величин ISQ основана на наборе из семи основных величин (п.1.4, прим. 1), который в точности соответствует набору основных единиц. Менять набор основных величин при переопределении единиц не предполагается. Поэтому оснований говорить о Новой СИ нет, можно говорить о более качественной, о более точной, о более надежной, но не новой СИ.

В то же время, в (JCGM 200:2012, п.1.4, прим. 3) сказано: "Количество объектов можно рассматривать как основную величину в любой системе величин". Значит, если это осуществить, то система величин ISQ будет основана на наборе из восьми основных величин, и СИ получит восьмую основную единицу. Тогда и появится основание говорить о Новой СИ.

В обзорной статье М.Фостера (2010), посвященной истории последних

50 лет развития СИ, наглядно продемонстрировано обоснованное стремление ряда метрологов к обновлению набора основных единиц, но не совсем в том формате, в каком это предполагается сделать сейчас.

Сторонники предстоящего переопределения основных единиц СИ, естественно, осведомлены об этом, но считают изменение набора основных величин необоснованным (И.Миллс и др, 2006). Это их право, но в таком случае переопределение единиц нельзя считать основанием для применения названия "Новая СИ".

Литература

1. 24th meeting of the General Conference on Weights and Measures, 2011. On the possible future revision of the International System of Units, the SI.
2. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition.
3. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 29-42
4. Kogan J., September 2014. An Alternative Path to a New SI (Part 1. On Quantities With Dimension One). – MetrologyBytes.net. p. 20
5. Кондратов В.Т., 2012, Фундаментальная метрология, http://kondratov.com.ua/index.php/problemy/2-obrazovanie-edinits-fv-i-sistem-edinits/1-problemy-pereopredeleniya-osnovnykh-edinits-si
6. Кононогов С.А., 2014, О переопределении некоторых основных единиц СИ. - Экономика качества. № 3 (7)
7. Foster M.P., 2010. The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51
8. Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Edwin R Williams E.R., 2006. Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005). Metrologia, 43, p.p. 227-246.

13.5. Основные величины назначаются или продиктованы природой?

1. Две точки зрения на выбор основных величин.

В разделе, посвященном вопросу о том, что первично: размерность величины или единица измерения, не рассматривается вопрос о том, как выбирать основные величины и основные единицы. Оживленная дискуссия по этому поводу ведется с начала XX века. Эта дискуссия определяется различными взглядами, суть которых можно выразить коротким вопросом: “***Выбор основных величин произволен или продиктован природой?***“.

Известный метролог Л.Сена (1988) считает, что выбор основных величин определяется практическими соображениями удобства пользования системой единиц этих величин. То же самое говорится и в метрологическом справочнике А.Чертова (1990): “*Выбор физических величин, принимаемых за основные, и их число в принципе произвольны, но практические соображения приводят к некоторому ограничению свободы в выборе основных величин*“. Другую точку зрения можно озвучить словами, например, В.Ерохина (2008): “*Мы вольны произвольно выбирать лишь единицы измерений, но размерности физических величин мы должны найти, они заданы самой природой этих величин*“. Эта точка зрения, поддерживаемая и И. Коганом , приводит к выводу: **выбор основных величин должен быть продиктован природой и ни от каких систем единиц зависеть он не должен.**

2. Единая точка зрения на выбор основных единиц.

Поставим тот же вопрос, но в отношении единиц: “***Выбор основных единиц произволен или продиктован природой?***“. Ответ на этот вопрос у метрологов единодушен: практические соображения приводят к ограничению свободы выбора основных единиц и к ограничению свободы выбора их числа. Но с поправкой: только при составлении систем единиц. И это естественно. **Метрология – наука об измерениях**, и это обязывает ее заботиться, прежде всего, о международной унификации единиц величин и об экономичности создания измерительных эталонов.

Заметим попутно, что в системах единиц не соблюдается принцип последовательности (очередности) образования единиц, вытекающий из принципа причинности. Да и нужен ли он в системах единиц? А.Власов и Б.Мурин (1990) пишут: “*Условия когерентности и последовательности образования производных единиц не являются совершенно жесткими и оставляют некоторую свободу, как в выборе определяющих уравнений, так и в очередности образования производных единиц*“.

Другое дело, когда речь идет не об унификации единиц, а о систематизации величин. Если вопросы практических измерений при этом не затрагиваются. В этом случае правильной оказывается иная точка зрения. Ведь природе безразлично, какие системы единиц удобны человеку на планете Земля. И поэтому никакие практические соображения в этом случае не могут влиять на то, каким должен быть набор основных величин.

3. Предлагаемое решение проблемы выбора основных величин.

Физические величины существуют независимо от их размерностей и единиц – это характеристики свойств природы. Поэтому любые соображения и действия по выявлению основных величин и их числа в процессе систематизации физических величин **не могут относиться к разряду случайных и волевых событий,** даже если такие события имеют форму международной конференции. Волевой подход в этом вопросе может привести только к бессистемности, что мы и наблюдаем, когда набор основных величин составляется в полном соответствии с набором основных единиц.

Последние несколько веков именно унификация единиц определяла, какими должны быть основные величины. Унификация единиц и сейчас продолжает диктовать решение этой проблемы и будет стремиться диктовать всегда. Об этом как раз и свидетельствуют поправки к определению размерности в работе Л.Брянского (2002), когда слова “в системе величин“ заменяются словами “в системе единиц“. Однако исследования по проблеме систематизации физических величин показывают: после того, как систематизация величин начинает проводиться без оглядки на системы единиц, начинает выясняться, что некоторые основные величины, единицы которых положены в основу СИ, не способствуют подобной систематизации. Об этом свидетельствует работа И.Когана (2008).

Оказывается, что процесс систематизации физических величин указывает на необходимость коррекции некоторых часто применяемых единиц СИ. Естественно, если такую коррекцию провести, то пришлось бы вносить соответствующие изменения в метрологические стандарты и в учебные пособия. Поэтому подобная деятельность обречена на активное противодействие метрологов-практиков. Чтобы избежать такого противодействия, необходимо, как указывается в работе И.Когана (2007**), разделить два принципиально разных понятия – система величин и система единиц измерений.** Это даст возможность устранить возражения метрологов-практиков относительно предлагаемых сторонниками систематизации физических величин мероприятий.

4. Какими должны быть основные величины?

Для основной физической величины имеется стандартное определение (А.Чертов, 1990). Это “*физическая величина, входящяя в систему величин и условно принятая в качестве не зависящей от других величин этой системы*“. В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 дано такое определение основной величины: “*одна из величин подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин подмножества не может выражаться через другие величины*“. Это подмножество называется "набором основных величин". В обоих определениях фигурируют два слова: "условно принятая" или "условно выбранного". Само упоминание об условности недвусмысленно говорит о том, что нет желания приводить свои взгляды в соответствие с объективной реальностью.

В работе И.Когана (2007) предлагается иной путь. **Если речь идет о системе величин, то следует дать такое определение: “*Основная величина − это величина, входящая в систему величин и не зависящая от других основных величин этой системы*“.** То есть основная величина не должна иметь определяющего уравнения. **Если же речь идет о системе единиц, то следует дать другое определение: “*Основная единица – это единица, условно принятая в данной системе единиц в качестве не зависящей от других основных единиц этой системы*“.**

Л.Брянский (2002) утверждает: “*Все величины обозначают существующие свойства, среди которых нет ни основных, ни производных от них. Все величины в этом смысле равноправны. Это реальности нашего мира. Человек над ними не властен. Он может их только называть* (*поименовывать*)“. Это утверждение верно тогда, когда речь идет о единицах, а не о величинах, ибо сами процессы измерения налагают определенные условия на процесс выбора основных единиц. Процессы измерения – это и есть реальности нашего мира, которые человеку подвластны лишь отчасти. **В природе же величины не равноправны, одни из них независимы (например, протяженность и длительность, характеризующие пространство и время), а другие определяются с их помощью. И задача науки в процессе систематизации физических величин – выявить (а не условно**

выбрать) естественные основные величины.

Развивающаяся сейчас уровневая физика тоже “не понимает“ равноправия физических величин. **Системный подход, одна из основ уровневой физики, требует придерживаться принципа причинности, следствием которого является принцип последовательности**. **Содержание принципа последовательности таково: *то, что находится на более низком иерархическом уровне, должно определяться тем, что находится на более высоком иерархическом уровне*. Только свойства материи и ее движения находятся на самом высоком уровне иерархии обобщения и систематизации в физике.** Они и заслуживают того, чтобы те величины, которые характеризуют эти свойства, считались основными. А уж в каких единицах будет их измерять человек на планете Земля, – это для природы совершенно безразлично.

5. Возможные перспективы создания новой естественной системы единиц.

По нашему мнению, в новую естественную систему единиц должна входить единица энергии Джоуль, переопределить которую с помощью постоянной Планка еще проще, чем переопределить с помощью этой постоянной единицу килограмм. Но дело не только в этом. В монографии К.Томилина (2006) обращается внимание на следующее. Для того чтобы “*...система единиц стала полной* (*т. е. достаточной для эталонирования всех физических единиц*), *должна быть открыта и* (*или, если она уже открыта*) *приобрести фундаментальный статус еще одна размерная постоянная, не являющаяся комбинацией постоянных с, ħ и е*“. Она названа в указанной монографии “фундаментальным масштабом энергии“. Там же, в таблице 3.4.1, указаны 4 варианта этой недостающей размерной фундаментальной физической константы, которая должна войти в гипотетическую единую естественную систему единиц. Все 4 варианта имеют размерность энергии. Все они находятся в таблице 3.4.1 в колонке “Единица массы“, в которой раньше для всех созданных до сих пор естественных систем единиц стояла единица массы электрона, измеряемой, к тому же, в электрон-Вольтах, то есть в единицах энергии.

Подобное предвидение К.Томилина подтверждает обоснованность создания системы величин ЭСВП, в **которой присутствует энергия как основная величина.** Однако надеждам на то, что набор основных физических величин может измениться при предстоящем переопределении основных единиц СИ, не суждено сбыться в ближайшем будущем. Хотя переопределение единиц следует современной тенденции **квантовой метрологии**, заключающейся в переходе “*от измерения фундаментальных констант к измерению с помощью фундаментальных констант*“ (К.Томилин, 2006), отход от существующего набора основных единиц в СИ пока не предвидится.

В статье идеологов и организаторов нынешнего переопределения единиц (И.Миллс и др., 2006) сказано однозначно: “*... общая структура существующей* СИ, *– т.е. современные основные величины* СИ *и их единицы – должны остаться неизмененными. Причина заключается в том, что эти величины и единицы считаются удовлетворяющими современные и будущие потребности как метрологического, так и научного сообществ, и признаны и понятны огромному большинству пользователей* СИ *в мире. Ясно, что такое допущение исключает рассмотрение глобальной реструктуризации* СИ*, например, замещение массы энергией в качестве основной величины и превращение массы в производную величину, что привело бы к джоулю как основной единице, а килограмму как производной единице, или замещение электрического тока зарядом в качестве основной величины и превращение электрического тока в производную величину, что привело бы к кулону как основной единице, а амперу как производной единице*.“

Данная точка зрения получила подтверждение в резолюции № 1 “О возможном будущем пересмотре международной системы единиц (СИ)“, принятой на 24-м заседании Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) в 2011 году. Естественно, что это не означает, что она не может измениться в принципе, но трудно сказать, когда это может произойти.

6. Возможные перспективы создания естественной системы величин.

Вопреки приведенной выше цитате из статьи И.Миллса и др. (2006), можно выразить сомнение в том, что величины и единицы СИ полностью удовлетворяют современные и, тем более, будущие потребности научного сообщества. Поэтому остается надежда на то, что научное и метрологическое сообщества прислушаются к доводам, изложенным в статье И.Когана (2012), о необходимости проведения различия между “системами физических величин в метрологии“ и “естественными системами физических величин“. Напомним, что в этой статье предлагается следующее:

1. Существующее сейчас определение в JCGM 200:2012: “*Система величин – совокупность величин вместе с совокупностью непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины*“ предлагается дополнить словом “в метрологии“. То есть начинать это определение словами: “Система величин в метрологии“. Это позволит сохранить ситему единиц СИ на какой-то период времени в приемлемом для практической метрологии виде.

2. Ввести дополнительное определение: “*Естественная система величин – совокупность независимых друг от друга физических величин, набор которых соответствует законам природы*“. Подобное определение развяжет руки физикам и квантовым метрологам. Оно одновременно не будет мешать и практическим метрологам, как не мешают им давно уже существующие естественные системы единиц.

Возможно, некоторым не понравится, что такое различие в определениях системы величин как бы намекает на то, что в практической метрологии система физических величин, принятая в СИ, является неестественной. Но существующее определение неопределенно. Ибо основные величины могут быть приняты простым голосованием на международной конференции. Сохранение существующего положения дел, то есть наличие одного определения системы величин, легитимирующего только СИ, так и оставит нерешенной анализируемую в данной статье проблему. А это означает, что к ее решению все равно придется возвращаться в будущем.

Литература

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
3. Ерохин В.В., 1995, Конструктивная электродинамика. – Торез, а также Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1
4. Зоммерфельд А., 1958, Электродинамика. – М.: ИЛ.
5. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html
6. Коган И.Ш., 2008, Аналитический обзор по теме «Обобщение и систематизация физических величин» – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8910.html

7. Сена Л.А., 1988, Единицы физических величин и их размерности. – М.: 336 с.
8. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
9. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
10. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.6. О различии между понятиями "размерность величины" и "число измерений"

Различие понятий "размерность величины" и "размерность пространства".

Приведем определение из Международного Словаря по метрологии JCGM 200:2012: размерность величины это “*выражение зависимости величины от основных величин системы величин в виде произведения степеней сомножителей, соответствующих основным величинам, в котором численные коэффициенты опущены.*“ Подробному разъяснению содержания понятия “размерность физической величины“ посвящен отдельный раздел.

В математике существует другое понятие: “**размерность пространства**“ (размерность векторного пространства). В Википедии оно определяется, как **“*количество независимых параметров, необходимых для описания состояния объекта, или количества степеней свободы физической системы*“.** В других первоисточниках определение размерности пространства примерно такое же. Как видим, определение размерности пространства совершенно не совпадает с определением размерности физической величины.

Это естественно. Размерность пространства – это понятие из математической физики. Это понятие предусматривает возможность наличия n измерений пространства, где n может быть любым натуральным числом. Причем под **измерением** в данном случае понимается конкретная физическая величина (степень свободы физической системы), а не техническая операция оценки размера физической величины, как это понимается в метрологии, когда говорят: измерить диаметр, измерить электрическое напряжение и т.п. Таким образом, понятие "измерение" имеет совершенно различное содержание в метрологии и математической физике.

Число измерений в разных системах координат

Евклидово пространство, изучаемое в элементарной геометрии, трёхмерно, плоскости – двумерны, прямые – одномерны. Но в физике, в отличие от геометрии, все три измерения евклидова пространства, рассматриваемые в ортогональной системе координат, оцениваются одной основной величиной – протяженностью (длиной), у которой в метрологии имеется только одна размерность (L) и одна единица (метр). То, что протяженность может иметь разные названия (длина, ширина, высота, глубина и пр.), с точки зрения метрологии положения не меняет. Это в теории относительности рассматривается 4-мерное пространство-время, в котором добавляется четвертое измерение (время), и количество размерностей становится равным двум.

Г.Хантли (1970), а за ним В.Ацюковский (2004) приписывают трем линейным измерениям евклидова пространства три разные размерности, называя их векторными единицами длины (L_x , L_y и L_z). Этот прием уместен при использовании анализа размерностей для прикидочного получения определяющих уравнений для физических величин, использующих векторы перемещений с различными взаимно перпендикулярными направлениями. Однако в JCGM 200:2012 (п. 1.9) единица измерения определяется как скалярная величина.

Пространство оценивается тремя линейными измерениями только в ортогональной системе координат. Если же пространство рассматривается в сферической или цилиндрической системах координат, то к линейным измерениям добавляются угловые измерения. И тогда пространство оценивается (в системе величин ЭСВП) уже двумя независимыми друг от друга основными величинами – протяженностью и углом поворота, имеющими две разные размерности (L и A) и две разные единицы: метр и оборот. Угловое измерение включено как обязательный элемент и в теорию суперструн (Б.Грин, 2005).

В полярной системе координат, если следовать методическому приему Г.Хантли, пришлось бы применять три, но уже другие векторные единицы, например, L_r , A_φ и A_θ . В цилиндрической системе координат к двум линейным измерениям пришлось бы добавить одно угловое измерение, а в сферической системе координат к одному линейному измерению добавить два угловых измерения. Указанные примеры лишний раз свидетельствуют о том, что ***не следует смешивать два разные понятия: размерность величины и измерение***.

Пример расчета числа измерений и количества размерностей

Рассмотрим для примера такую физическую систему, как движущийся в пространстве тороидальный вихрь в виде “бублика“ (свёрнутого в круг соленоида), вращающийся вокруг оси симметрии “бублика“, а его кольцо (тело "бублика") вращается вокруг собственной оси симметрии, свернутой в круг. Рассчитаем у этой системы число измерений и количество размерностей. Именно такие физические системы рассматривает В.Пакулин (2010) в предложенной им модели вихревого строения мира.

Пространство, в котором движется тороид, имеет три линейных измерения и одну размерность – размерность длины L. Вращение вихря вокруг свёрнутой в окружность оси симметрии можно рассматривать в цилиндрической системе координат, что добавляет еще три измерения: два линейных и одно угловое, и еще одну размерность – размерность угла поворота A. Вращение “бублика“ вокруг свой центральной прямолинейной оси симметрии добавляет еще три измерения: два линейных и одно угловое, не добавляя ни одной размерности. Всё это совершается с определенными скоростями: линейной и угловой скоростью “бублика“ и угловой скоростью вихря, что добавляет еще одно измерение, имеющее размерность времени T. Наконец, само движение должно быть оценено количественно, что добавляет еще одно измерение, имеющее размерность энергии E. Итого рассмотренная физическая система имеет 11 измерений и всего 4 размерности (E, L, A, T). Обратим внимание на совпадение числа 11 с числом измерений пространства, рассматриваемого в теории суперструн (Б.Грин, 2005).

Рассмотрение взаимодействия нескольких вихрей добавило бы еще какое-то число измерений, но не размерностей. А в том случае, когда речь идет не об одном вихре, а о системе, состоящей из множества однотипных вихрей, приходится добавить еще одно измерение, имеющее размерность числа структурных элементов системы N. И мы приходим к 5-размерностной системе естественных физических величин ЭСВП, описанной в разделе, посвященном набору основных физических величин.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2004, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ. Сб. “Фундаментальные проблемы метрологии “, – М.: Изд. «Петит», 24 с
2. Грин Б., 2005, Элегантная вселенная. – УРСС, 285 с.
3. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
4. Хантли Г., 1970, Анализ размерностей. - М.: Мир, 175 с.
5. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
6. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.7. “Безразмерных физических величин” не существует

1. Термин “безразмерная величина” неверен.

Применение слова “безразмерная” по отношению к физической величине ошибочно. Наличие нулевых показателей степени размерностей в размерности величины еще не означает отсутствие у этой величины размера. Согласно метрологическому справочнику М.Юдина и др. (1989), **размер величины** является “*количественной определенностью физической величины*“. Размер входит в понятие **значение величины**, которое согласно тому же справочнику является “*оценкой размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц*“. В Международном метрологическом словаре JCGM 200:2008 значение величины определено как “*число с указанием основы для сравнения, выражающее размер величины*“. Под основой для сравнения понимается единица величины.

Поскольку все “безразмерные величины“ количественно определяются, значит, они имеют размер. Таким образом, термин “безразмерная величина” не соответствует его содержанию. В английском языке, например, нет термина “sizeless”, соответствующего русскому слову “безразмерная”, имеется термин “dimensionless”, который переводится как “безразмерностная”. Но такого термина в русскоязычной метрологии пока нет, достоин удивления тот факт, что этот термин до сих пор не заменен даже после того, как ВНИИМ им. Менделеева издал перевод на русский язык словаря JCGM 200:2008, в котором присутствует термин "безразмерностная величина".

2. Термин “безразмерностная величина” также неверен.

Термин “**безразмерностная величина**” имеет следующее определение: “*величина, для которой все показатели степени сомножителей, соответствующих основным величинам в ее размерности, равны нулю*”. В русском переводе словаря JCGM 200:2008 применяется термин "**величина с размерностью единица**". Но такой перевод не точен. В англоязычном оригинале присутствует термин "quantity of dimension one", что в буквальном переводе означает "величина с размерностью один", а еще лучше "величина с размерностью 1". Ибо на русском языке число 1 отличается по своему содержанию от слова "единица", под которым в метрологии подразумевается единица измерений. Равенство размерности числу 1 не означает, что размерность отсутствует вообще, поскольку нулевой показатель степени размерности разрешается.

Следует различать имя числительное "one" из оригинала (в переводе "один"), от имени существительного "unit", которое является сокращением термина "measurement unit", то есть "единица измерения". В прим. 1 п. 1.8 JCGM 200:2008 так и сказано: “*Термин “величина с размерностью единица” отображает соглашение, согласно которому символическим представлением размерности таких величин является символ* 1“.

В определении "величины с размерностью единица" говорится о "сомножителях" в размерности величины. Однако метрологического умножения не существует, **символы размерностей не перемножаются друг на друга, а просто располагаются один за другим**. Так что определение "величины с размерностью единица" следует скорректировать, убрав из него слово "сомножители". Можно предложить, например, такое определение величины с размерностью 1: "*величина, которая, будучи сомножителем любого **уравнения связи между величинами**, не изменяет размерность той величины, которая* *определяется этим уравнением*".

Термин "безразмерностная величина" согласно прим. 1. п. 1.8 словаря JCGM 200:2008 "*сохранен по историческим причинам*". Во избежание неверных представлений о величинах с размерностью 1 следует усиленными темпами упразднять неверный термин "безразмерная величина" ("безразмерностная величина"), а при преподавании разъяснять необходимость этого. Оживленная дискуссия по поводу терминологии этого рода величин не прекращается, особенно после опубликования статьи П.Мора и В.Филлипса (2015), комментариев к ней Б.Леонарда (2015) и статей И.Когана (2014, 2015).

3. О проблеме размерности "безразмерных" физических величин.

Анализ этого понятия имеет прямое отношение к проблеме обобщения и систематизации физических величин. Собственно говоря, предложения о введении размерностей и единиц для величин с размерностью 1 появились уже давно, и ведется оживленная дискуссия по поводу того, как это всё упорядочить.

Обратим внимание на прим. 3 к п.1.8 JCGM 200:2008: "*Некоторые величины с размерностью единица определяются как отношение двух величин одного рода*". Слово "некоторые" подразумевает, что не все величины с размерностью 1 определяются как отношение двух величин одного рода. Эти "некоторые величины" имеют в физике и технике своё устоявшееся название: **критерии подобия**. Критерии подобия на приведенной в разделе 4 схеме из статьи И.Когана (2014) выделены в отдельную группу величин. Значения критериев подобия могут быть любым положительным числом, в том числе, дробным.

Другая группа "безразмерных величин", представляемых только целыми положительными числами, называется **считаемыми величинами**. Согласно статье П.Мора и В.Филлипса (2015) к ним относятся **количество объектов** и **количество событий**. Прим. 4 к п.1.8 JCGM 200:2008 "*Количество объектов является величиной с размерностью единица*" является неполным и неточным. Неполным потому, что вместо слов "количество объектов" следует поставить слова "считаемые величины". Невреным потому, что количество считаемых величин должно стать основной величиной со своей собственной размерностью и единицей.

В статье Л.Брянского и др. (1999) указывается на то, что некоторые метрологи, чтобы “*не оперировать размерностью, равной 1, ставят в соответствующих графах прочерк*“. Ясно, что это не решение проблемы. В той же статье сказано, что имеются “*примеры, в которых безразмерные величины в одной системе единиц оказываются размерными в другой системе*”. Ответом на эту цитату служит цитата из работы А.Митрохина (2005): “*Имеющийся «размерно-безразмерный» дуализм, несомненно, противоречит основным законам логики, т.к. понятия взаимно исключают друг друга, физическая величина не может быть одновременно размерной и «безразмерной»*”.

И.Йохансон (2010) считает, что безразмерностные (dimensionless) величины следовало бы называть “безединичными“ (unitless). Но единицы у некоторых из них на практике уже имеются, а со временем единица будет у всех таких величин. Именно по этому поводу, в основном, и ведется дискуссия (И.Коган, 2014, П.Мор и В.Филлипс, 2015, Б.Леонард, 2015). Время ставит постепенно всё на свои места.

4. Существующие классификации "безразмерных величин".

М.Фостер (2010) считает, что СИ идентифицирует четыре разные группы величин с размерностью 1: a) различного рода **критерии подобия**; b) **углы поворота** и угловые перемещения; c) числа, представляющие собой **количества однородных элементов**; d) **логарифмические отношения**.

И.Коган (2014) предложил пользоваться несколько иной классификацией, в которой под понятие "величина с размерностью единица" подпадают 3 принципиально различные группы величин (критерии подобия, циклические величины, количества объектов), одна из которых (циклические величины) делится еще на 3 подгруппы (величины вращения, колебаний и волн).

После сравнительного анализа статей И.Миллса (1995), М.Фостера, И.Когана (2014), П.Мора и В.Филлипса (2015) становится ясно, что **к величинам с размерностью 1 относятся только критерии подобия, частным вариантом которых являются логарифмы критериев подобия. Угловые величины**, согласно многочисленным статьям (например, В.Эдер,1982, А.Торренс, 1986, И.Коган, 2011), должны быть **выделены в отдельную группу величин со своей размерностью** А **и единицей оборот или радиан**. А величины периодических явлений (колебания и волны) должны войти в группу **считаемых величин**, к которой будут относиться **все количества однородных элементов (количество объектов и количество событий).** Анализ этих групп приведен ниже.

5. Анализ разных групп "безразмерных величин".

1. **Критерии подобия** чрезвычайно различны по своей природе, так как **являются отношениями разных физических величин** (отношениями сил, мощностей, интенсивностей, скоростей, напоров, площадей, температур и т.д.). И это различие должно быть отражено. Вариант решения этой проблемы присутствует в разделе о единицах величин с размерностью 1 и в статьях И.Когана (2014, 2015), где показано, что каждый критерий подобия имеет свою внесистемную единицу. Предложение Я.Миллса (1995) присвоить буквенный символ размерности 1, на наш взгляд, излишне, так как к критериальным уравнениям не применяют анализ размерностей. А вот иметь единицу полезно.

Анализ применяемых критериев подобия приведен в отдельном разделе. Применительно к критериям подобия у термина “величина с размерностью 1“ имеется серьезный недостаток. Если о физическом содержании размерностных величин можно составить некоторое представление по их размерности, то о физическом содержании “критериев подобия“ можно судить лишь по их определяющему уравнению и косвенно по названию критерия. Но название – это всего лишь слово, в лучшем случае, словесная формулировка. Она тоже в определенной мере условна.

Логарифмы критериев подобия - это не физические, а математические величины, которые, в принципе, не должны иметь размерности или единицы. Но в физике применяют для логарифмов критериев подобия такие единицы, как непер и децибел.

2. Физические величины вращательной формы движения должны быть выделены в отдельную группу величин, поскольку для **угловых величин** уже давно (см., например, у В.Эдера, 1982, А.Торренса, 1986 и еще более, чем у десятка авторов) предложена своя размерность с символом A и свои единицы (радиан и оборот). Суть предложения заключается в том, что угол поворота является основной физический величиной, оцениваемой в единицах плоского угла. Это также детально аргументировано в разделе, посвященном углу поворота. Только до сих пор это предложение не принимается к исполнению в метрологии. В

статье П.Мора и В.Филлипса (2015), поддержанной председателем ГКМВ Я.Миллсом, эта проблема не упоминается.

Несмотря на отсутствие в современной метрологии размерности для угла поворота, единица для плоского угла в СИ имеется давно, это радиан. Только используется эта единица лишь для угловой скорости и углового ускорения. Только в статье П.Мора и В.Филлипса (2015) эта единица используется для других величин вращательной формы движения со ссылкой на В.Эдера (1982). **На практике при измерениях используется отнюдь не радианная мера плоского угла, а градусная мера (угловые градусы, минуты и секунды, как доли полного плоского угла).** Полный плоский угол при оценке угловых величин в физике соответствует единице оборот.

3. Решений для **количеств однородных элементов** (**считаемых величин**, counter quantities) имеется несколько. Одно из них, рассмотренное в разделе, посвященном числу структурных элементов, предлагает сделать эту величину основной. Такое же предложение содержится в статье Р.Дибкаера (2004). В словаре JCGM 200:2008 уже появилось прим. 3 к п. 1.4: “*Количество объектов можно рассматривать как основную величину в любой системе величин*“.

В статье П.Мора и В.Филлипса (2015) справедливо указывается на то, что к количеству считаемых величин следует отнести также **количество событий** (number of events). Но пока практических решений по этому вопросу еще нет. Это сдерживается, видимо, тем, что пока нет единодушия по поводу того, как называть обобщенную единицу количества считаемых величин, и как на уровне размерностей и единиц различать критерии подобия и считаемые величины (И.Миллс, 1995, Т.Квинн и И.Миллс, 1998, А.Митрохин, 2005, П.Мор и В.Филлипс, 2015). По нашему мнению, наилучшим вариантом названия основной единицы для количества считаемых элементов является cnt (от counting - считаемые), а для символа размерности этой единицы буква С.

4. Величины, характеризующие колебания и волны (**периодические величины**), подробно рассмотрены в разделе , посвященном колебаниям и волнам. Особенностью единиц этих величин будет включение в них единицы количества считаемых величин.

6. Основные выводы.

1. К величинам с размерностью 1 можно отнести только критерии подобия. При этом их нельзя называть ни безразмерными, ни безразмерностными величинами, так как их размерностью является 1.
2. Угол поворота следует считать основной величиной со своей размерностью и единицей.
3. Количество считаемых величин следует считать основной величиной со своей размерностью и единицей. Единица количества считаемых величин должна входить в единицы величин периодических явлений.
4. Предстоит решить, какое название дать единице величин с размерностью 1.

Всё изложенное в данной статье, иллюстрируется таблицей.

Величины, пока еще называемые безразмерными			
Название группы физических величин	Величины с размерностью 1 (критерии подобия)	Угловые величины (угол поворота, угловое перемещение)	Считаемые величины (количество объектов, количество событий)
Символ размерности физических величин	1	A	C
Предлагаемые названия единиц	one, heis, uno	оборот, радиан	cnt (ent, evt)

Литература

1. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 48-50.
2. Kogan J., September 2014. An Alternative Path to a New SI (Part 1. On Quantities With Dimension One). – MetrologyBytes.net. p. 20
3. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица) – Законодательная и прикладная метрология, **1**,
4. Коган И.Ш., 2011, Угол поворота – основная физическая величина. – Законодательная и прикладная метрология, 6, с.с. 55-66.
5. Митрохин А.Н., 2005, Качественная единица как элемент

размерностного анализа или к вопросу о размерности ”безразмерных” величин. – http://www.metrob.ru/HTML/stati/kachestv-edinica.html
6. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
7. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов, 113 с.
8. Dybkaer R., 2004, Units for quantities of dimension one Metrologia **41**, p.p.69–73
9. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review article. – Metrologia, **47**, p.p. R41-51.
10. Johansson I., 2010, Metrological thinking needs the notions of parametric quantities, units, and dimensions. Metrologia, **47**, p.p.219–230
11. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
12. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf
13. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, 18, p.p. 1–12
14. Leonard B.P., 2015, Comment on 'Dimensionless units in the SI'. - Metrologia, v. 52, p.p. 613-618.
15. Mills I.M., 1995, Unity as a Unit. – Metrologia, v. 31, p. 537.
16. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.
17. Torrens A.B., 1986, On angles and angular quantities. Metrologia, 22, 1–7

13.8. Размерности и единицы “безразмерных величин”

1. Термины “размерная величина” и “безразмерная величина” неверны.

В разделе, посвященном "безразмерным величинам", показано, что термин "безразмерная величина" неверен, так как любая физическая величина не может не иметь размера, ибо в этом случае она перестает быть физической величиной, а становится просто числом. Поэтому безразмерных величин не существует. По этой же причине в термине "размерная величина" слово "размерная" излишне, наличие размера подразумевается, как необходимость, в определении термина "величина".

Термин "безразмерная величина" является неграмотным переводом с английского языка термина **безразмерностная величина** (dimensionless quantity), то есть величина без размерности. Но и этот термин тоже неверен, так как физическая величина не может не иметь размерности. Для таких физических величин, как критерии подобия, в Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 рекомендовано применять термин "**величина с размерностью 1**". А по поводу термина "безразмерностная величина" в словаре сказано, что он пока сохраняется по историческим причинам. Так что термин "безразмерная величина" будет применяться заключенным в кавычки.

В JCGM 200:2012 указывается, что числовое значение величины Q обозначается как $\{Q\}$, а единица величины Q обозначается как $[Q]$, Таким образом, можно записать равенство

$$Q = \{Q\}\,[Q]\,. \quad (1)$$

Если единица измерения $[Q]$ принадлежит к принятой международной системе единиц, то ее называют **системной единицей**, в противном случае - **внесистемной единицей**. Отсутствие у величины какой-либо единицы вообще означает, что она является не физической, а математической или порядковой величиной.

Следует отличать порядковые величины от **считаемых величин**, количество которых должно являться основной физической величиной. В разделе о считаемых величинах и в разделе о числе структурных элементов указано, какие именно величины должны к ним относиться. Что касается углов, которые ошибочно считаются безразмерными величинами, то они подробно рассмотрены в разделе об угловых величинах.

Единица $[Q]$ иногда называется в литературе "базисом величины", в словаре JCGM 200:2012 для него имеется термин "reference", который в русском переводе JCGM 200:2012 назван "основой для сравнения" (от греч. basis - основание). Если базис величины (единица) отсутствует, то не существовует и сама величина. Если для числового значения $\{Q\}$ записать вытекающее из ууравнения (1) равнество

$$\{Q\} = Q / [Q] , (2)$$

то становится ясно, что числовое значение $\{Q\}$ имеет размерность 1, так как величина Q и ее единица $[Q]$ имеют одинаковые размерности. А размерность 1 является такой же легитимной, как и другие размерности. Важно отметить, что единица $[Q]$ может быть как системной, так и внесистемной единицей. Обзор ситуации в метрологии по поводу единиц для "безразмерных" (безразмерностных) единиц приведен в работах И.Когана (2014, 2015).

2. Вариант замены 1 в качестве размерности для критериев подобия.

Критерии подобия имеют ту же физическую природу, что и физические величины, от которых они образованы. В разделе, посвященном "безразмерным величинам", показано, что приписываемая критериям подобия “безразмерность“ проявляется лишь в том, что при анализе размерностей определяющих уравнений физических величин, в которые входят эти критерии подобия, наличие критериев подобия не влияет на результат анализа размерностей, поскольку размерность критериев подобия равна 1. Но на физическое содержание величины, устанавливаемой этой закономерностью, критерии подобия влияют существенно.

В статье И.Когана (1998) выполнена буквально рекомендация, взятая из метрологического справочника А.Чертова (1990): “*Чтобы найти размерность производной физической величины в некоторой системе величин, надо в правую часть определяющего уравнения этой величины вместо обозначений величин подставить их размерности*“. В **результате размерность каждого критерия подобия записывается, как размерность знаменателя (или числителя) критерия подобия в нулевой степени.** Например, размерность относительной линейной деформации можно записать как L^0, а ее единицу как $м^0$, размерность числа Маха (отношения скоростей) можно записать как $(LT^{-1})^0$, а его единица как (м $с^{-1})^0$.

При этом различие между физическим содержанием разных критериев подобия сразу становится заметным. В прим. 2 п. 1.8 JCGM 200:2012 сказано так: "*Единицы измерения и значения величин с размерностью* 1 *есть числа, но они выражают больше информации, чем просто число*". А происходит это вследствие того, что единицы и значения величин с размерностью 1 числами не являются (текст данного примечания неверен), они являются тоже величинами с размерностью 1. Как показано абзацем выше, информацию о них легко выяснить, применяя предложенную И.Коганом (1998) запись размерности, и это оказывается эффективным при преподавании гидравлики и теплотехники, в которых применяется множество критериев подобия.

При записи размерностей критериев подобия важно учитывать физическое содержание физических величин, образующих критерии подобия. Например, при записи размерности критерия Рейнольдса следует указывать не размерность динамической вязкости η (исходя из формулы $Re = ud\rho/\eta$), а размерность силы, так как критерий Рейнольдса является не отношением вязкостей, а **отношением сил инерции к силам вязкого трения**. Размерность критерия Рейнольдса в СИ можно записать, как $(LMT^{-2})^0$, а единицу как $Н^0$ (Ньютон)^0.

3. Три примера внесистемных единиц для критериев подобия.

1. Пусть скорость тела, движущегося в воздухе при 0ºС и давлении 1 ат, равна $v = 662$ м/с. Эта запись соответствует равенству (1), если ее записать как

$$v = M\,v_s\,, \quad (3)$$

где v_s – скорость звука в воздухе; M – число Маха (критерий подобия), равное в данном примере двум скоростям звука. Скорость звука v_s можно принять условно за внесистемную единицу в данной области техники. Коль скоро число Маха характеризует скорость летательного аппарата, то внесистемная единица числа Маха имеет размерность скорости. Не зря ведь в авиации, говоря о сверхзвуковых скоростях, говорят, что скорость летательного аппарата соответствует, например, двум числам Маха, хотя точнее было бы сказать: числу Маха, равному двум скоростям звука.

2. В молекулярной физике для определения числа элементов N

однородной системы применяют уравнение:

$N = n\, N_A$, (4)

где N_A – постоянная Авогадро с единицей моль$^{-1}$. Величину n в СИ называют количеством вещества, ему присвоена размерность N и единица моль. Однако числовое значение постоянной Авогадро, называемое числом Авогадро A_N, само является числом структурных элементов однородной системы. И размерность N должна относиться не к **количеству вещества** n, а к числу элементов N и к числу Авогадро A_N . Именно единица числа Авогадро должна быть внесистемной единицей в молекулярной физике и иметь размерность N. А количество вещества n является в СИ “размерной величиной” с единицей моль. На этот недостаток СИ указывает Г.Прайс (2010). О том, что название “количество вещества“ для множителя n выбрано неудачно, говорилось в статье Б.Горнштейна (1972).

3. В атомной физике большое распространение имеет собственный момент импульса (спин) частицы L, определяемый по уравнению

$L = J\,\hbar$, (5)

где J – спиновое число, $\hbar$ – редуцированная постоянная Планка ($\hbar = h/2\pi$, где h – постоянная Планка). Спиновое число J является критерием подобия, хотя физики называют его просто спином. Но это неправильно, так как нельзя называть одним и тем же термином "спин" размерную величину L (собственный момент импульса частицы) и “безразмерную величину” J.

4. В чем особенности внесистемных единиц в приведенных примерах.

В уравнении (3) внесистемная единица скорости звука [v_s] равна 331 м с$^{-1}$, тогда как системная единица скорости равна 1 м с$^{-1}$. Редуцированная постоянная Планка $\hbar$ из уравнения (5) имеет в СИ единицу Дж с. Но, как показано в разделе о числе структурных элементов, $\hbar$ должна иметь единицу Дж с об$^{-1}$ квант$^{-1}$, в которой единица об (оборот) принадлежит полному углу поворота радиус-вектора на векторной диаграмме, а единица квант принадлежит количеству излучаемых фотонов. Там же указано на то, что физическое содержание имеет не редуцированная постоянная Планка $\hbar$, а постоянная Планка h с единицей Дж с квант$^{-2}$.

Внесистемные единицы критериев подобия могут быть дробными числами. Например, вполне допустимо говорить: три четверти скорости звука [v_s]. Внесистемные единицы могут иметь как фиксированные, так и переменные значения. Например, постоянная Авогадро N_A и постоянная Планка h являются фундаментальными физическими константами с фиксированными значениями их внесистемных единиц. Это еще раз подчеркивает тот факт, что внесистемные единицы являются физическими величинами.

Согласно терминологии, предложенной А.Гухманом (1968), критерии подобия с базисом, являющимся физической константой, следует называть **константами подобия**. В отличие от них значение скорости звука v_s в уравнении (3) зависит от физических характеристик атмосферы в том месте, в котором находится летательный аппарат. Подобные “безразмерные величины“ А.Гухман (1968) рекомендует называть **параметрическими критериями подобия**. Все остальные критерии подобия имеют в качестве базиса переменные физические величины. Например, у числа Рейнольдса базисом является сила трения жидкости о стенку, которая зависит от многих факторов.

5. Как решить проблему единицы постоянной Авогадро.

В уравнении (4) внесистемная единица (постоянная Авогадро [N_A]) совершенно не соответствует принятой в СИ единице моль$^{-1}$. Так что вполне справедливо недоумение Дайнеко и др. (1997) по поводу того, что ”*постоянная Авогадро имеет абсурдную единицу измерений* моль$^{-1}$ (*чего «на моль»*?)”. Действительно, число структурных элементов N в уравнении (4) должно иметь размерность 1 и единицу, к примеру, штука. И тогда в уравнении (4) при единице N_A, равной моль$^{-1}$, единица количества вещества n согласно правилу размерностей должна быть равна штук моль$^{-1}$, а вовсе не моль.

Согласно определению из JCGM 200:2012 (п.1.4) основная величина – "*одна из величин подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин подмножества не может выражаться через другие величины*". А, судя по уравнению (4), количество вещества n выражается через количества объектов N и постоянную Авогадро N_A . Получается, что назначение количества вещества n основной величиной в СИ противоречит определению основной величины. Причина такого алогизма кроется в том, что основная величина в СИ может быть "условно выбрана". В данном случае те, кто выбирал, ошиблись. Введение количества считаемых величин в качестве основной величины в систему величин ISQ может устранить существующий алогизм.

С единицей постоянной Авогдро (моль$^{-1}$) не согласны многие химики и метрологи. Это хорошо выражено в статье И.Йоханссона (2010): "*Я не могу понять, что это за величина, существующая в природе, с единицей 1-на-моль (1/моль) и с чем она согласуется. Традиционно, единицы измерения типа х-во-что-то (х-в-секунду, х-в-метре, х-в-моле и др.) представлены единицами измерения реальных типов-величин, и я думаю, что это требование должно соблюдаться. То есть, на мой взгляд, килограмм-на-моль имеет смысл, но 1-на-моль не имеет.*" Обзор многочисленных критических замечаний по поводу единицы моль приведен в статье М.Фостера (2010, проблема 6).

Эта же проблема может быть решена кардинально по-иному, путем преобразования уравнения (4) в уравнение связи

$n_A = N / A_N$, (6)

где число Авогадро A_N иметь, например, единицу штука, как и число структурных элементов N. В этом случае количество вещества i>n_A будет являться критерием подобия, числовое значение которого будет равно 1 при $N = A_N$. И тогда единица моль станет единицей критерия подобия. Устроит ли такое решение химиков, им решать. Но метрологи точно вздохнут с облегчением. А пока что вся дискуссия сводится к обсуждению единицы моль, как будто нет другого варианта уравнения для количества вещества.

6. Как назвать единицу “величины с размерностью 1“?

И.Миллс (1995) считал, что слово one (один) может рассматриваться как единица СИ для “количеств однородных элементов“, отдавая себе отчет в том, что это приведет к ревизии СИ. Такая ревизия сейчас и проводится. Сложность ситуации в русском языке заключается в том, что единица под названием “один“ звучит как тавтология. В английском языке этого нет: единица измерений − это unit, а числовая единица − это one.

Для единицы критериев подобия И.Миллсом (1995) предложен символ I и название heis. На классическом греческом языке ɛιϭ означает единицу.

Несколько позже Т.Квинн и И.Миллс (1998) предложили дать этой единице другое название uno и другой символ U, а также использовать подобную единицу с приставками для замены десятичной доли, процента и промилле. Поскольку для проверки критериальных уравнений анализ размерностей не применяется, то нет необходимости заменять размерность 1 буквенным символом.

И.Миллс (1995) указал на то, что “one“ для “количеств однородных элементов“ является целым числом в квантовой механике, а в других разделах физики – нецелым числом. Но причина такого несоответствия в том, что единица one приемлема только для критериев подобия, а не для количеств считаемых величин (однородных элементов), которые должны иметь другую единицу. Применение количества считаемых величин, как основной величины, приводит к качественно новым результатам при анализе размерностей. В частности, в разделе, посвященном метрологии периодических процессов, приведены примеры уточнения с помощью размерности количества считаемых величин уравнений закона фотоэффекта Эйнштейна и закона излучения Планка.

К количеству считаемых величин (числу структурных элементов, количеству объектов, количеству событий) нельзя применять ту же единицу, что и для критериев подобия. В статье П.Мора и В.Филлипса (2015) приводится большое количество вариантов названий для единиц считаемых величин, отражающих число конкретных структурных элементов (число молекул, атомов, электронов, фотонов и пр.).

В экономике широкое применение имеет единица штука, где ею измеряют количество штучных товаров. Слово ”штука” происходит из немецкого языка. В русском языке оно имеет значение ”отдельного предмета из числа однородных, считаемых предметов” (Словарь Грамота-ру). Примерно такое же лексическое значение оно имеет в основных европейских языках. Так что лексическое значение этого слова полностью адекватно его физическому содержанию.

Что касается углов поворота, которые в СИ имеют единицу радиан, но считаются при этом “безразмерными величинами“, поскольку их размерность в СИ равна 1, то здесь вопрос должен быть решен совершенно иначе, как описано в разделе об угловых величинах. Называть радиан единицей угла поворота с точки зрения метрологии нельзя, ибо измерительный эталон существует не для радиана, а для углового градуса (для доли полного угла поворота, то есть для доли одного оборота). В разделе, посвященном углу поворота, показано, что именно оборот является основной единицей для угла поворота. Впрочем, группа угловых величин должна быть изъята из категории “величин с размерностью 1“.

Литература

1. Гухман А.А., 1968, Введение в теорию подобия. – М:, Высшая школа. 355 с.
2. Дайнеко В.И. и др., 1997, Памятка для решения расчетных задач по химии (школьникам, учителям, абитуриентам) - М.: Интеллект, 49 с.
3. Коган И.Ш., 1998, К вопросу о размерности и единицах измерений безразмерных физических величин. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 55-57.
4. Kogan J., September 2014. An Alternative Path to a New SI (Part 1. On Quantities With Dimension One). – MetrologyBytes.net. p. 20
5. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, **1**, с.с. 29-42
6. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
7. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
8. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf
9. Foster M.P., 2010. The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. Metrologia, 47, R41–R51
10. Gornshtein B., 1972, The mole — a unit for the quantity of matter. Meas. Tech., **15**, p.p. 711–716
11. Johansson I., 2014. Constancy and Circularity in the SI. Metrology Bytes, 25 p.
12. Mills I.M., 1995, Unity as a Unit. – Metrologia, **31**, p. 537
13. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.
14. Price G., 2010, Failures of the global measurement system: I. The case of chemistry. Accreditation Qual. Assur., **15** p.p. 421–427
15. Quinn T.J., Mills I.M., 1998, The use and abuse of the terms percent, parts per million and parts in 10^n. – Metrologia, **35**, p.p. 807–810.

13.9. Единицы производных величин с$^{-1}$ и м$^{-1}$ ошибочны

Если размерность какой-нибудь производной физической величины равна только размерности основной физической величины в минус первой степени, то это означает, что у такой производной величины имеется определяющее уравнение, в котором основная величина находится в знаменателе. А в числителе определяющего уравнения этой производной величины отсутствует какая-либо размерная физическая величина. И это лишает подобную производную величину физического содержания, если только это не удельная величина.

Имеется, прежде всего, в виду то, что не должно быть физических величин с размерностями L^{-1} или T^{-1} и единицами измерения м$^{-1}$ и с$^{-1}$. **Тот факт, что такие размерности и единицы широко и на законных основаниях используются в СИ, говорит о необходимости устранения указанного недостатка в этой системе единиц.** Рассмотрим причины появления этой ошибки и способы ее устранения.

Примеры производных величин с размерностью основной величины в минус первой степени

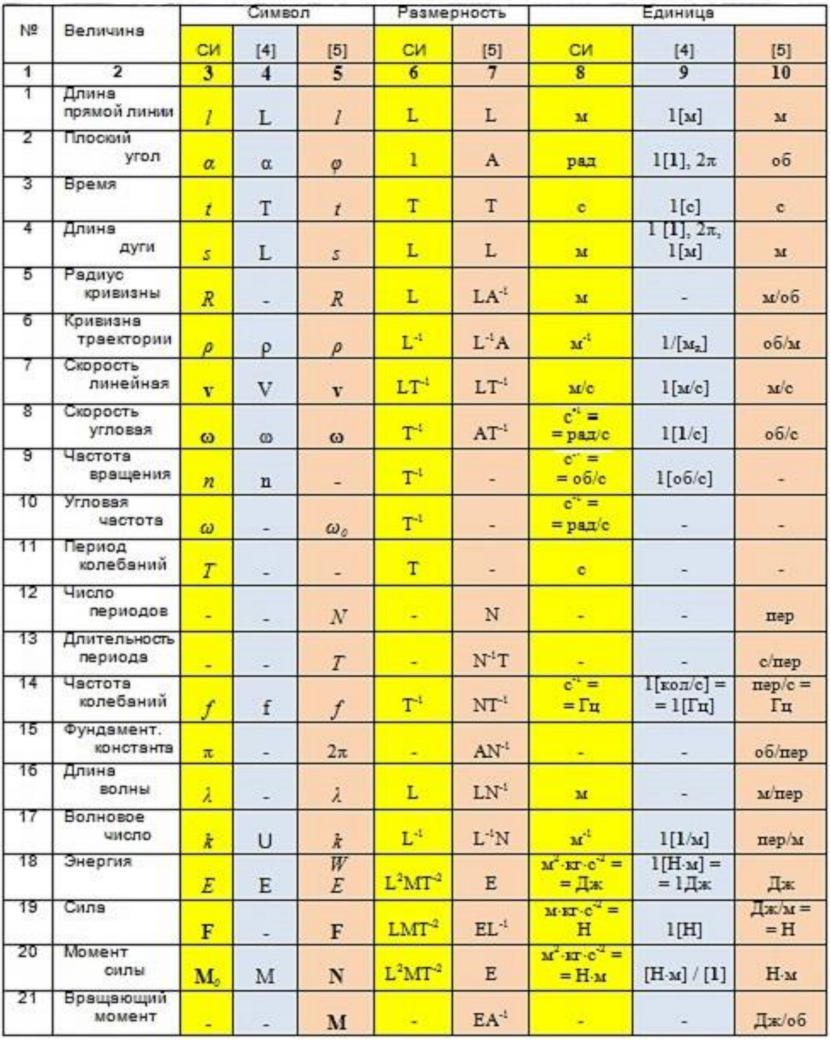
Размерности четырех физических величин (угловой скорости вращающегося тела, частоты вращения, частоты обращения и частоты колебаний) в СИ совпадают и равны T^{-1}. Уже сам факт совпадения размерностей таких разных по содержанию производных величин противоречит физическому смыслу, так как **указанные величины относятся к принципиально разным формам движения (вращению, колебаниям и волновому излучению).** Правда, в Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 сказано: "*Единицы измерения величин одинаковой размерности могут иметь одинаковые наименования и обозначения, даже когда величины не являются однородными*". И, чтобы хоть как-то различать эти величины, метрологи присвоили **угловой скорости** единицу рад/с, **частоте вращения** – единицу с$^{-1}$, **частоте обращения** – единицу об/с и **частоте колебаний** – единицу Гц. Но это еще больше запутывает ситуацию, так как возникает вопрос: **почему величины с одной и той же размерностью имеют разные единицы.**

Известно, что угловая скорость принципиально отличается от частоты вращения тем, что угловая скорость принадлежит реальному вращающемуся телу, а частота вращения является угловой скоростью абстрактного радиус-вектора на абстрактной векторной диаграмме. Что касается частоты колебаний, то она характеризует не вращение, а любой периодический процесс, независимо от того, что, как и в какой форме движения колеблется. Крутильные колебания являются лишь частным случаем периодического процесса.

Примером совпадения размерностей разных физических величин является совпадение размерностей L^{-1} у таких совершенно разных физических величин, как кривизна траектории движущегося тела и волновое число. От того, что единица кривизны называется “обратным метром“, а единица волнового числа так не называется, ситуация не проясняется.

Два разных варианта исправления существующего положения

Ниже представлена **Таблица сравнения**, в которой сравниваются символы, размерности и единицы двух десятков важнейших физических величин. В колонках 3, 6, и 8 это указывается в соответствии со стандартом ГОСТ 8.417-2002, введенным в 2003 г. на базе СИ. В колонках 4 и 9 то же самое указывается в соответствии с работой А.Митрохина (2010). В колонках 5, 7 и 10 − в соответствии с работой И.Когана (2011).



№	Величина	Символ			Размерность		Единица		
		СИ	[4]	[5]	СИ	[5]	СИ	[4]	[5]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Длина прямой линии	l	L	l	L	L	м	1[м]	м
2	Плоский угол	α	α	φ	1	A	рад	1[1], 2π	об
3	Время	t	T	t	T	T	с	1[с]	с
4	Длина дуги	s	L	s	L	L	м	1 [1], 2π, 1[м]	м
5	Радиус кривизны	R	-	R	L	LA^{-1}	м	-	м/об
6	Кривизна траектории	ρ	ρ	ρ	L^{-1}	$L^{-1}A$	$м^{-1}$	$1/[м_2]$	об/м
7	Скорость линейная	**v**	V	**v**	LT^{-1}	LT^{-1}	м/с	1[м/с]	м/с
8	Скорость угловая	**ω**	ω	**ω**	T^{-1}	AT^{-1}	$с^{-1}$ = = рад/с	1[1/с]	об/с
9	Частота вращения	n	n	-	T^{-1}	-	$с^{-1}$ = = об/с	1[об/с]	-
10	Угловая частота	ω	-	ω_0	T^{-1}	-	$с^{-1}$ = = рад/с	-	-
11	Период колебаний	T	-	-	T	-	с	-	-
12	Число периодов	-	-	N	-	N	-	-	пер
13	Длительность периода	-	-	T	-	$N^{-1}T$	-	-	с/пер
14	Частота колебаний	f	f	f	T^{-1}	NT^{-1}	$с^{-1}$ = = Гц	1[кол/с] = = 1[Гц]	пер/с = Гц
15	Фундамент. константа	π	-	2π	-	AN^{-1}	-	-	об/пер
16	Длина волны	λ	-	λ	L	LN^{-1}	м	-	м/пер
17	Волновое число	k	U	k	L^{-1}	$L^{-1}N$	$м^{-1}$	1[1/м]	пер/м
18	Энергия	E	E	W E	L^2MT^{-2}	E	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$ = = Дж	1[Н·м] = = 1Дж	Дж
19	Сила	**F**	-	**F**	LMT^{-2}	EL^{-1}	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$ = Н	1[Н]	Дж/м = = Н
20	Момент силы	$\mathbf{M}_0$	M	**N**	L^2MT^{-2}	E	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$ = = Н·м	[Н·м] / [1]	Н·м
21	Вращающий момент	-	-	**M**	-	EA^{-1}	-	-	Дж/об

Оба автора стремятся устранить несовершенство СИ. И, действительно, в колонках 9 и 10 отсутствуют единицы $м^{-1}$ и $с^{-1}$. Но средства для достижения этой цели выбраны авторами разные. А.Митрохин предлагает в существующую систему единиц добавить еще одну основную единицу, названную им **качественной единицей**, обозначаемую символом [**1**]. Тем самым он как бы реализует прим. 2 из п. 1.8 Международного словаря по метрологии JCGM 200:2012 "*Единицы измерения и значения величин с размерностью* 1 *есть числа, но они выражают больше информации, чем просто число*". А И.Коган разработал систему величин ЭСВП, в набор основных величин которой добавлены энергия с размерностью E, угол поворота с размерностью A и число структурных элементов с размерностью N. В колонке 7 Таблицы представлены размерности производных величин в системе ЭСВП, а в колонке 10 – единицы, соответствующие этим размерностям.

Чем отличаются единицы СИ и единицы в колонках 9 и 10 таблицы

1. В Таблице понятие “плоский угол“ сохранено. Но в системе ЭСВП (колонка 10) в качестве основной физической величины рассматривается не плоский угол, а угол поворота, имеющий единицу оборот (об), а единицу рад (радиан) предложено считать внесистемной единицей. Ведь на практике угол поворота измеряют не в радианах, а в долях от оборота, то есть в угловых градусах, угловых минутах, угловых секундах, для них существует измерительный эталон (Л.Брянский, 2002). При применении для угла поворота единицы оборот исчезает необходимость в применении для этой же цели "качественной единицы".

2. В колонке 9 единицей кривизны траектории (строка 6) является $1/[\text{м}_\text{R}]$, из чего ясно, что для радиуса кривизны траектории применена особая единица $[\text{м}_\text{R}]$, отличающаяся от обычной единицы длины. Длина пути ds, пройденного по траектории (она же – длина дуги в строке 4), определяется по уравнению $\mathrm{d}s = R\mathrm{d}\varphi$, где $\mathrm{d}\varphi$ – угол поворота и R – радиус окружности, соприкасающейся с траекторией, то есть **радиус кривизны**. Анализ уравнения $\mathrm{d}s = R\mathrm{d}\varphi$ в системе ЭСВП показывает, что правило размерностей выполняется лишь при условии, что размерность $\mathrm{d}s$ равна L, размерность угла поворота $\mathrm{d}\varphi$ равна A и размерность радиуса кривизны R равна LA^{-1} с единицей м об^{-1}. Единица м об^{-1} и является аналогом единицы $[\text{м}_\text{R}]$. Тогда размерность кривизны траектории $\rho = 1/R$ равна $\mathrm{L}^{-1}\mathrm{A}$, а единица кривизны равна м^{-1} об, что и представлено в колонке 10.

3. Угловая скорость $\boldsymbol{\omega}$ вращающегося тела (строка 8) в ЭСВП имеет единицу – об с^{-1}, а не рад с^{-1}, как в СИ. У применяемых в СИ понятий "частота вращения" n (строка 9) и "угловая частота" ω (строка 10) одно слово термина не согласуется с другим, так как слово “частота“ относится к колебаниям, а слова “вращения“ и “угловая“ относятся к вращательному движению. А колебания не обязаны быть связанными только с вращением. Правда, в физике используется математический метод векторных диаграмм, в котором ω – угловая скорость радиус-вектора, вращающегося на векторной диаграмме. Но в этом методе ω – это уже абстрактная математическая, а не физическая величина.

4. В ЭСВП основной величиной вместо количества вещества в СИ является число структурных элементов (количество объектов), общепринятое название единицы которого еще отсутствует, а в волновых и колебательных формах движения применяется единица период (пер), что отражено в строках 12-17 в колонке 10. А та величина, которая называется сейчас в физике периодом и измеряется в секундах (строка 11), на самом деле является длительностью периода (строка 13). Именно длительность периода должна измеряться в с пер$^{-1}$, а не в секундах, как сейчас.

5. Для частоты колебаний (строка 14) вместо единицы [кол/с] в колонке 9 применена единица пер с$^{-1}$ в колонке 10. Единица период относится только к числу периодов (строка 12), как частному случаю числа структурных элементов N периодического процесса. Показано, что понятие “один период“ должно быть применено при $N = 1$, и его единицей также является период.

6. По-новому выглядит в ЭСВП фундаментальная константа π (строка 15). Показано, во-первых, что фундаментальной константой является 2π, а не π, и, во-вторых, что константа 2π при использовании метода векторных диаграмм приобретает размерность AN^{-1} и единицу об пер$^{-1}$. Это позволяет соблюсти правило размерностей в уравнении $\omega = 2\pi f$, связывающем реальный периодический процесс с абстрактной угловой скоростью радиус-вектора в методе векторных диаграмм.

7. При волновом движении каждая волна в системе величин ЭСВП также является частным случаем числа структурных элементов N, и поэтому длина волны (строка 16) должна измеряться в м пер$^{-1}$, а не в метрах, как в СИ. Следовательно, и волновое число (строка 17) должно измеряться в пер м$^{-1}$, а не в м$^{-1}$, как в СИ, или в [**1**/м], как в колонке 9.

8. По поводу момента силы (строка 20) следует заметить, что это статическая искусственно введенная в физику величина, поэтому равенство размерностей у энергии и у момента силы случайно. Момент силы не связан непосредственно с вращением, это вспомогательная величина для статических систем, и применение угловой единицы для оценки его значения не обосновано. На вращающееся тело воздействует вращающий момент (строка 21), единица которого Дж об$^{-1}$ как раз и соответствует единице [Н·м]/[**1**], примененной в строке 20 по отношению к моменту силы. При такой постановке вопроса отсутствует равенство размерностей энергии и вращающего момента, считающееся недостатком СИ (М.Юдин и др., 1889).

Литература

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – М.: Издательство стандартов, 2003.- 27 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, 3, с.с. 62-64.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 30-43.
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Коган И.Ш., 2011, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, 6, с.с. 12-18.
7. Митрохин А.Н., 2000, Математика и ее роль в анализе размерностей и образовании единиц измерения. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 39-47
8. Митрохин А.Н., 2002, К вопросу об адекватности некоторых понятий, определений и терминов метрологии или слово в защиту единицы измерения. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 37-45
9. Митрохин А.Н., 1996, О взаимодействии размерностей в математических преобразованиях. – М.: Транспорт, 102 с.
10. Митрохин А.Н., 2010, Качественная единица как элемент размерностного анализа или к вопросу о размерности ”безразмерных” величин. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 3
11. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
12. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов, 113 с.
13. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor

corrections. URL:
http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
14. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.10. Противоестественны ли дробные степени в показателях размерности?

Противоестественными назвал размерности с дробными степенями показателей известный физик А.Зоммерфельд. Между тем современный метрологический стандарт дробные степени допускает. Во всем семействе систем единиц СГС дробные степени присутствуют в размерностях и единицах электрических и магнитных величин.

В СИ сочли необходимым избавиться от их записи ценой введения в качестве основной величины такой обобщенной производной величины, как электрический ток. Это действительно упростило запись и размерностей, и единиц, но привело к обилию новых именованных единиц электромагнитных величин. В системе величин ЭСВП в качестве обобщенной производной величины для этой же цели введен **электрический заряд**. А введение в ЭСВП в качестве основной величины энергии устранило небходимость в именованных единицах.

Почему в показателях размерности появляются дробные степени?

Дробные степени существуют в реальности хотя бы потому, что основной величиной в любой системе величин и в любой системе единиц является длина. А длина во второй степени входит в уравнение для определения силы взаимодействия зарядов физического поля в виде радиус-вектора как в законе всемирного тяготения Ньютона, так и в законе Кулона. И поэтому в размерность электрического или гравитационного заряда неизбежно должен войти корень квадратный из размерности длины.

Происхождение дробных степеней в показателях размерностей связано с тем, что существуют физические величины первого и второго порядка.

К **величинам первого порядка** относятся все величины, в определяющие уравнения которых входит заряд центрального физического поля в первой степени (сам заряд, поток заряда, потенциал и напряженность физического поля, дипольный момент и т.д.). В электромагнетизме к величинам первого порядка относятся, например, такие величины, как электрический заряд, электрический ток, потенциал и напряженность электрического поля, электрический момент диполя, магнитная индукция, магнитный момент, поляризованность, намагниченность, в чем можно убедиться, посмотрев Таблицу величин физического поля.

В гравитации к величинам первого порядка относятся гравитационная масса и все прочие величины, в которые эта масса входит в первой степени (аналоги соответствующих величин из электромагнетизма). Все эти величины составляют основу гравидинамики космоса, где их значения достаточно велики. В земных условиях и, тем более, в физике элементарных частиц эти значения очень малы, и поэтому на них не обращают внимание.

К **величинам второго порядка** относятся такие основные физические величины, как энергия, длина, время, угол поворота, а также такие производные от них величины, как, например, сила, импульс тела.

***Если в системе физических величин или в системе единиц основными являются только величины второго порядка, то любая величина первого порядка неминуемо будет иметь в показателях размерностей и единиц дробные степени с числом 2 в знаменателе показателя степени*.**

Компромиссное решение, устраняющее дробные степени в показателях размерности

Для того, чтобы дробные степени в показателях размерностей и единиц исчезли, надо в число основных физических величин включить хотя бы одну величину первого порядка. Это как раз и сделано в СИ, так как в число основных физических величин включен электрический ток. И сделано это вовсе не для того, чтобы записи размерностей в электродинамике и гравидинамике стали "естественнее" с точки зрения так называемого "здравого смысла".

Из приведенных выше рассуждений отнюдь не следует вывод о том, что включить в качестве основной величину первого порядка в систему физических величин следует *обязательно*, ибо заряд центрального физического поля сам по себе является производной величиной. Поэтому при создании системы величин ЭСВП принято компромиссное решение: назвать заряд центрального поля обобщенной производной физической величиной и применить для его размерности вспомогательный символ Q. Это вовсе не означает, что в ЭСВП существует какая-нибудь основная величина, связанная с величинами первого порядка, применяемыми в электромагнетизме и в гравидинамике.

Критический анализ доводов о дробных степенях в показателях размерности

Рассуждения Р.ди Бартини и П.Кузнецова (1978) и В.Ацюковского (2006), повторяющих мнение А.Зоммерфельда, о том, что дробные степени якобы не несут физического смысла, беспочвенны. Дробные степени, как мы уже показали, исчезают только в том случае, если в число основных физических величин включена величина первого порядка, что сделано в СИ при помощи включения в число основных физических величин электрического тока с размерностью I, а в ЭСВП при помощи включения в число основных физических величин электрического заряда с размерностью Q.

Ввод электрического тока в СИ вовсе не является случайной удачей создателей СИ, как полагает В.Ацюковский (2006), а вполне осознанным решением. Ведь в системах единиц набор основных физических величин принимается условно, исходя из соображений практического удобства.

Г.Трунов (2006) считает наличие дробных показателей размерностей одним из принципиальных недостатков системы единиц СГС и рационализованной системы единиц Хевисайда-Лоренца. А по мнению И. Когана, вообще **нельзя фетишизировать ни размерности, ни единицы, ни показатели их степеней**. Размерности и единицы всего лишь вытекают из анализа определяющих уравнений, поэтому **искать физический смысл или указывать на его отсутствие следует только при анализе определяющих уравнений, а не глядя на размерности или единицы.** Единица с^2, например, имеет не больше физического смысла, чем единица м^{½}. И считать наличие дробных показателей размерностей недостатком системы величин или системы единиц, видимо, не следует. Разве что с точки зрения психологии восприятия. А вот это действительно важно.

Система ЭСВП систематизирует физические величины, а не их

размерности и единицы, и ей, в принципе, безразлично, какие степени находятся в показателях размерностей основных величин, дробные или целые, лишь бы это соответствовало определяющим уравнениям. Но учитывать психологию восприятия тоже приходится.

Литература

1. Ацюковский В. А., 2006, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ. – Энергетика Сибири, 3 (8), с.с. 10-11.
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии“ , с. 55-65, см. также http://pobisk-memory.narod.ru
3. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.

13.11. Семь вариантов применения термина “количество“ в физике

ВИКИПЕДИЯ так определяет это понятие: “*количество – это категория, выражающая внешнее, формальное взаимоотношение предметов или их частей, а также свойств, связей: их величину, число, степень проявления того или иного свойства*“. Из этого определения следует, что понятие “количество“ имеет широкую область применения.

И действительно, в физике официально применяются такие величины, как количество вещества, количество движения, количество теплоты, количество энергии, количество электричества, количество информации. Понятие “**количество объектов**“ (number of entities) является аналогом понятия “**число структурных элементов**“, оно на пути к включению в набор основных величин. Но детальный анализ применения понятия “количество“ показывает, что это понятие применяется не всегда с достаточной степенью логичности.

Примеры применения термина “количество“

О **количестве вещества** и **количестве информации** достаточно подробно рассказано в разделе, посвященном числу структурных элементов. **Количество информации является физической**

величиной, содержание которой наиболее полно соответствует содержанию понятия “количество“, как целого числа. А вот понятие “количество вещества“ определено в СИ неверно.

Применение понятия “количество“ к такой физической величине, как “**количество энергии**“ и, в частном случае, к величине “**количество электроэнергии**“, не противоречит физическому содержанию этих величин, но эти величины уже не являются целыми числами. А термин “**количество электричества**“ вообще не несет в себе никакого физического смысла потому, что такой физической величины, как “электричество“, нет. Указанный термин даже не определяется в словарях. Судя по метрологическому справочнику А.Чертова (1990), “количество электричества“ – это синоним термина “электрический заряд системы“, в отличие от элементарного электрического заряда.

Весьма сомнителен термин “**количество теплоты**“, так как нет определенности у термина “теплота“. Что такое теплота: результат энергообмена, координата состояния тепловой формы движения или название раздела физики? В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990): “*Количество теплоты, сообщенной системе, - это количество энергии, переданной системе внешними телами путем теплообмена*“, то есть результат энергообмена. Но для этой цели существует другой термин “теплообмен“. В том же справочнике подмечено, что “*иногда термин количество теплоты там, где это не вызывает недоразумений, заменяется термином теплота*“. Тем самым косвенно признается, что применение термина “теплота“ может вызывать недоразумения, что, собственно, и происходит не так уж редко.

Ситуация с применением термина “теплота“ подробно анализируется в соответствующем разделе настоящей работы, где доказывается, что физическая величина “количество теплоты“ не может быть и координатой состояния тепловой формы движения. Если же говорить о количество энергии, переданной системе путем теплообмена, то для этого существует более легитимный термин “тепловая энергия“, введенный еще С.Карно. **Из сказанного следует, что лучше всего было бы термин “количество теплоты“ изъять из обращения.**

Неясным можно назвать и такой распространенный термин, как “**количество движения**“. Этот термин, заменяемый сейчас повсеместно термином “импульс“, анализируется в разделе об импульсе. Понятие “импульс“ введено Р.Декартом в первой половине XVII века. А затем И.Ньютон ввел понятие “количество движения“, определив его как “*меру* *таковото, устанавливаемую пропорционально скорости и массе*“. Определение И.Ньютона сохранилось до сих пор, разве что у А.Чертова (1990) говорится о “*векторной мере механического движения*“. Эта поправка, видимо, не случайна, так как отдельно взятое понятие “движение“ определяется часто скорее как категория, чем как физическая величина. И все же даже с учетом этой поправки определение количества движения является скорее пересказом определяющего уравнения, чем определением.

В разделе, посвященном определению таких категорий, как материя и вещество, И. Коган определил **движение, как векторную физическую величину, модулем которой является энергия**. В такой интерпретации **модуль движения становится количеством энергии**, и такая трактовка уже приобретает физическое содержание.

Вывод

Подводя итог содержанию данного раздела , можно сказать, что применение в физике понятия “количество“ только в двух случаях из рассмотренных семи не вызывает серьезных возражений. И это достаточный повод для того, чтобы задуматься перед тем, как использовать этот термин.

Литература

4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.

13.12. О нарушениях принципа причинности в метрологии электромагнетизма

Введение

Напомним общепринятое во всех словарях определение: «Принцип причинности в физике, один из наиболее общих принципов, устанавливающий допустимые пределы влияния физических событий друг на друга. Принцип причинности исключает влияние данного события на все уже прошедшие события ("будущее не влияет на прошлое", "событие-причина предшествует по времени событию-следствию")». Этот принцип не ставится под сомнение в макромире, в котором изучается электромагнетизм.

В данном разделе будут приведены 14 (!) примеров нарушения принципа причинности в метрологии электромагнетизма. Эти примеры будут приведены в той последовательности и с той терминологией, в каких излагается электромагнетизм и определяются его физические величины в метрологическом справочнике А.Чертова (1990), в монографии А.Власова и Б. Мурина (1990), в популярном справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) и в учебнике по физике И.Савельева (2005). Эти первоисточники базируются на современных метрологических и терминологических стандартах, основанных на СИ.

Существенной проблемой СИ является проблема, сформулированная И.Миллсом и др. (2006) так: «она (СИ) должна служить двум конкурирующим и часто конфликтующим господам». Первый – это «ежедневная коммерция», второй – «квантовая физика». В принципе, возможен и примиряющий «двух господ» вариант, опубликованный в статье И.Когана (2011), то есть разрыв взаимосвязи между системами величин и системами единиц. Для «ежедневной коммерции» можно оставить СИ, а для «квантовой физики» применять естественные системы величин. Поскольку процесс систематизации физических величин, в отличие от процесса унификации их единиц, не нуждается в применении измерительных эталонов, то при принятии этого варианта во многих случаях отпала бы необходимость нарушать принцип причинности.

Примеры нарушения принципа причинности в теории электричества

Пример 1. Электрический заряд Q. В СИ размерность заряда по размерности **электрического тока** I из уравнения $Q = \int I\, dt$ (А.Чертов, с. 106), поскольку в СИ электрический ток I является основной величиной. Правда, далее (А.Чертов, с. 118) ток определяют по заряду ($I = dQ/dt$). Это тот редкий пример нарушения принципа причинности, который признается. В справочнике (А.Чертов, с. 106,107) так и сказано: «*Будем рассматривать это как издержку построения системы единиц*».

24-е заседание Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) (В.Крутиков и др.) приняло в 2011 году резолюцию «О возможном будущем пересмотре международной системы единиц (СИ)». Согласно этой резолюции при предстоящем переопределении ампера в 2014 году, как одной из основных единиц СИ, это нарушение принципа причинности должно остаться в силе. Это обосновывается (И.Миллс и др., с.230) тем, что «*общая структура существующей СИ, то есть современные основные величины СИ и их единицы, должны остаться неизмененными*». Имеется и альтернативное предложение, призывающее сделать основной единицей единицу заряда (Г.Трунов, 2008), но к этому мнению пока не прислушались. В системе величин ЭСВП этому ничто не препятствует (И.Коган, 2011).

Пример 2. Напряженность электрического поля E. Ее сейчас определяют в метрологии (А.Чертов, с. 108) по силе взаимодействия **F** полеобразуюшего заряда и пробного заряда q ($\mathbf{E} = \mathrm{d}\mathbf{F}/\mathrm{d}q$), то есть напряженность поля **E** считают следствием силы взаимодействия **F** с априорно вводимым пробным зарядом. На деле же всё обстоит наоборот, а пробный заряд является искусственным понятием. В то же время в физике (Б.Яворский и А.Детлаф, с. 183) напряженность электрического поля определяют как градиент потенциала этого поля φ ($E = \mathrm{grad}\ \varphi$), а потенциал поля определяют по полеобразующему заряду Q и по радиусу эквипотенциальной поверхности.

Пример 3. Электрическое смещение D определяют в метрологии (А.Чертов, с. 110) по потоку вектора электрического смещения Ψ ($\mathbf{D} = \mathrm{d}\Psi/(\mathrm{d}S\cdot\mathbf{k})$, где **k** – орт вектора **D**). Но нельзя причину (**D**) определять по следствию (Ψ). Не говоря уже о том, что векторный анализ не допускает операцию деления на векторную величину (на **k**). Электрическое смещение **D** следует определять по напряженности электрического поля **E** с учетом относительной диэлектрической проницаемости среды ε (Б.Яворский, А.Детлаф, с. 196). А уж потом по электрическому смещению можно определить поток вектора электрического смещения.

Пример 4. Электрический потенциал φ определяют в метрологии (А.Чертов, с. 114), как отношение потенциальной энергии U пробного заряда q к этому заряду ($\varphi = U/q$) и измеряют в Дж/Кл. Однако разность потенциалов измеряют в СИ другой единицей, в Вольтах (А.Чертов, с. 119). Зачем нужны две единицы? Потенциал в физике определяют также (Б.Яворский, А.Детлаф, с. 185) по полеобразующему заряду Q с учетом размерного коэффициента ε_0 , называемого электрической постоянной ($\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 r$). При использовании этого уравнения определение потенциала (А.Чертов, с. 114) по уравнению $\varphi = U/q$ лишается смысла.

Пример 5. Электрическое напряжение U, согласно словесной формулировке (А.Чертов, с. 114), равно «*работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной точки в другую*». Однако определяющее уравнение для электрического напряжения ($U = P/I$) (А.Чертов, с. 114), где P − мощность электрического тока, не соответствует этой словесной формулировке. При этом определяющее уравнение для мощности ($P = IU$) приводится в справочнике до уравнения для напряжения ($U = P/I$).

Пример 6. Электродвижущая сила (ЭДС) определяется в словесно (А.Чертов, с. 120), как «*отношение энергии, подаваемой источником, к электрическому заряду, проходящему через источник*», и по этой формулировке записывается уравнение $E = W/Q$. А в справочнике (Б.Яворский, А.Детлаф, с. 220) определение ЭДС практически совпадает с определением электрического напряжения ($U = P/I$) (А.Чертов, с. 114), если вместо уравнения $E = W/Q$ записать уравнение $U = (\mathrm{d}W/\mathrm{d}t)/(\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t) = P/I$. В то же время в справочнике (Б.Яворский, А.Детлаф, с. 220) для ЭДС имеется еще одно определяющее уравнение с новым обозначением ($\varepsilon = \int \mathbf{E}\mathrm{d}\mathbf{l}$), где **E** – напряженность поля, а d**l** – вектор элементарной длины участка электрической цепи. Но у физической величины не должно быть двух разных определяющих уравнений.

Пример 7. Плотность электрического тока j является векторной величиной. Но определяющее уравнение (А.Чертов, с. 121) приводится для модуля плотности тока ($j = \mathrm{d}I/\mathrm{d}S$), так как электрический ток считается величиной скалярной ($I = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}t$) (А.Чертов, с. 118). Однако выражение ($\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t$) должно быть истолковано как скорость приращения количества элементарных зарядов в заряженном проводнике. В физике (Б.Яворский, А.Детлаф, с. 215) имеется уравнение ($I = \int \mathbf{j}\, \mathrm{d}\mathbf{S}$), определяющее ток I, как поток вектора **j** через сечение dS, представленное в виде векторной величины. Получается, что причина (ток I) выводится из следствия (потока вектора плотности тока **j**). На самом деле ток является векторной величиной **I**, доказательство чего приводится в разделе, посвященном электрическому току. Это позволяет устранить необходимость нарушать принцип причинности.

Пример 8. Удельное электрическое сопротивление ρ. В его определяющее уравнение (А.Чертов, с. 122) ($\rho = E/J$) входят модуль напряженности E и модуль плотности тока j, то есть физические величины, не входящие в закон Ома. В то же время удельное электрическое сопротивление следует определять так, как определяют любую удельную величину, в данном случае, как электрическое сопротивление R, отнесенное к площади сечения проводника ($\rho = R/S$). Само же сопротивление R определяется в соответствии с законом Ома. То же самое относится и к **удельной электрической проводимости** (А.Чертов, с. 123) ($\gamma = j/E$). В законе Ома вообще отсутствует напряженность электрического поля.

Пример 9. Силы взаимодействия зарядов F. Они являются функциями значений этих зарядов и расстояния между ними (Б.Яворский, А.Детлаф, 1990, И.Савельев, 2005). В законе Кулона и в законе Ампера размерности величин зависят от выбранной системы единиц. В частности, в СИ в эти законы введены размерные коэффициенты: ε_0 и μ_0 , также зависящие от выбранной системы единиц (А.Власов и Б.Мурин, 1990, Г.Трунов, 2007). Поэтому неправильно называть ε_0 и μ_0 физическими постоянными (А.Чертов, с. 132). Фундаментальной константой является электромагнитная постоянная c, а ε_0 и μ_0 связаны с ней уравнением (А.Власов и Б.Мурин, 1990, с. 104) для коэффициента смешивания $\gamma = c$ $(\varepsilon_0 \mu_0)^{1/2}$. Применение этого уравнения при $\gamma = 1$ делает значения ε_0 и μ_0 неопределенными, для определения одной из них следует произвольно назначить значение другой. Например, для системы СГСМ произвольно выбрано значение $\mu_0 = 1$, для СГСЭ – $\mu_0 = 1/c^2$, для СИ – $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (А.Чертов, с. 132). И тогда значение ε_0 определяется по электромагнитной постоянной c и значению μ_0 . А правильнее определять μ_0 по ε_0 .

Примеры нарушения принципа причинности в теории магнетизма

Пример 10. Магнитная индукция B − это напряженность магнитного поля в вакууме, а напряженность магнитного поля в веществе, обозначаемая символом **H**, так и называется. Подобное различие в терминах как бы ставит под сомнение тот факт, что магнитная индукция тоже является напряженностью магнитного поля. **Магнитная индукция является причиной появления силы взаимодействия в магнитном поле**, но ее модуль в уравнении ($B = F/Qv \sin\alpha$) определяется (А.Чертов, с. 128) в функции от силы взаимодействия F, которая становится причиной по отношению к магнитной индукции. Подобная ситуация связана с применением в практической метрологии токовых весов, в которых магнитная сила сравнивается с силой притяжения. А вектор магнитной индукции можно определять как ротор векторного потенциала **A** (**B** = rot **A**) (И.Савельев, т.2, с. 176), определяемый в функции от тока I и расстояния b до точки, в которой определяется. Наконец, можно определить модуль магнитной индукции напрямую (И.Савельев, т.2, с. 142) по формуле $B = (\mu_0/4\pi)(2I/b)$.

Пример 11. Электромагнитная индукция − это, согласно принятой терминологии, **воздействие переменного магнитного поля на электрический контур**. Но **слово «индукция» в переводе на русский язык означает наведение, воздействие, влияние**, и, коль скоро магнитное поле воздействует на электрический контур, то следует применять термин **магнитоэлектрическая индукция**. Нелогично возник и термин **магнитная индукция**, так как в опытах Х.Эрстеда электрический ток в проводнике воздействовал на магнитную стрелку, а не наоборот. Вот в опыте Х.Эрстеда как раз была электромагнитная индукция. В разделе, посвященном электрическому вихревому полю, показано, что оно на самом деле является переменным магнитным полем, образующем **переменную магнитную силу**, воздействующую на электрический контур, и ее нельзя называть электродвижущей силой индукции.

Пример 12. Магнитный момент m определяется (А.Чертов, с. 130) словесной формулировкой уравнения $\mathbf{m} = IS\mathbf{n}$, где S – площадь токового контура, а $\mathbf{n}$ – орт, нормальный к плоскости контура. Принцип причинности не позволяет приводить словесную формулировку определяющего уравнения до самого уравнения. В разделе, посвященном магнитному моменту, детально разъясняется фактическая последовательность вывода уравнения $\mathbf{m} = IS\mathbf{n}$, и показано, как в процессе математических преобразований перестает просматриваться истинное физическое содержание магнитного момента.

Пример 13. Индуктивность L участка электрической цепи определяется (А.Чертов, с. 131) по потокосцеплению самоиндукции Ψ и по току I, протекающему через этот участок ($L = \Psi/I$). Однако катушка индуктивности является конструктивным элементом участка цепи, а индуктивность L − ее параметром (электрической инертностью). **И поэтому именно потокосцепление Ψ следует определять по индуктивности L, а не наоборот**. Индуктивность, как инертность, должна определяться в функции от разности потенциалов на концах участка цепи, некорректно называемой терминами «ЭДС самоиндукции» или «ЭДС взаимоиндукции».

Пример 14. Абсолютная и относительная магнитные проницаемости вещества (А.Чертов, с. 133,134) определяют как отношения магнитной индукции **B** к напряженности магнитного поля в веществе **H**. В то же время **абсолютная и относительная диэлектрические проницаемости** вещества (А.Чертов, с. 112, 113) определяются как отношения напряженности электрического поля в веществе (электрического смещения **D**) к напряженности электрического поля в вакууме **E**, то есть применяется прямо противоположный подход. В разделе, посвященном характеристикам поля в веществе рассмотрены причины этого.

Причины нарушений принципа причинности

Дело, разумеется, не в цитатах из справочников и учебников, их авторы просто отразили профессионально современное состояние методологии физики и метрологии. По мнению И. Когана, имеются три основные причины такого положения:

Причина 1. На первое место **практическая метрология** (И.Миллс и др., 2006) ставит экономичность и удобство процессов измерения и создания измерительных эталонов и измерительных устройств. Возможность такого подхода узаконена включением слов «условно принятая» или «принятая по соглашению» в стандартное определение основной величины (А.Чертов, с. 20, JCGM 200:2012). К сожалению, эти слова часто не согласовываются с соблюдением принципа причинности. Но если устранить эти слова, то это приводит к различным принципам образования систем единиц и систем величин, в том числе, к другому определению понятия «система величин» (И.Коган, 2012). Это может сохранить все наработки практической метрологии и позволить систематизировать физические величины без оглядки на ограничения, накладываемые практической метрологией.

Причина 2. В методологии физики господствует **исторический подход**, в рамках которого физические величины и закономерности излагаются в том хронологическом порядке, в каком они были открыты, подчас с сохранением тех определений и той терминологии, которые были предложены первооткрывателями. С точки зрения методологии это **индуктивный метод**, в процессе которого к истине идут «от частного к общему». Но при этом можно прийти к неверно сделанным обобщениям из-за неверно истолкованных частных случаев, в том числе, и к нарушению принципа причинности. К тому же, индуктивный метод не всегда продуктивен, так как ряд первоначально предложенных теорий приходится корректировать или даже отвергать. Более объективен **дедуктивный метод** («от общего к частному»), **когда создается обобщенная теория, в рамках которой рассматриваются все частные случаи.** А исторические подробности приводятся вскользь, по мере необходимости. Переход к такой методологии требует перестройки методологии физики и огромных финансовых затрат. Но чем дальше затягивается начало этого перехода, тем большие затраты потребуются впоследствии.

Причина 3. В физике широко используются **математические методы**. Особенно это ощущается в электромагнетизме при применении векторного анализа и метода векторных диаграмм. Но при этом не учитывается, что в математике нет необходимости соблюдать принцип причинности. В математике: если А = В, то В = А. В физике: если $A = \mathrm{f}\,(B)$, то $B \neq \mathrm{f}\,(A)$. Так что нарушения принципа причинности проникают в физику и в метрологию и через математику при ее неаккуратном использовании.

Выводы

В процессе обобщения и систематизации физических величин составление определяющих уравнений должно быть обязательно увязано с принципом причинности. Именно такой подход должен превалировать и при изучении физики и технических дисциплин. Отсутствие логических связей, базирующихся на принципе причинности, не способствует усвоению учебного материала, превращает процесс преподавания в формальное заучивание нелогичного учебного материала. Методика составления определяющих уравнений не должна быть продиктована только требованиями метрологических стандартов. Требования метрологов можно и нужно учитывать при решении практических задач метрологии, но при преподавании необходимо отдавать предпочтение соблюдению принципа причинности. А когда этот принцип по каким-то объективным причинам всё же вынужден быть нарушенным, следует объяснять причины такого нарушения.

История обсуждения предложения о переопределении основных единиц показывает, что совместить интересы «ежедневной коммерции» и «квантовой физики» (И.Миллс и др., 2006) при применении СИ пока не удается. Несмотря на то, что необходимость переопределения единиц была признана еще в 1999 году на 21-ой ГКМВ, что оно ожидалось в 2007 году на 23-ой ГКМВ, затем в 2011 году на 24-ой ГКМВ, всё вылилось в резолюцию о «возможном» переопределении в 2014 году. По-видимому, следует начать обсуждать и другие варианты, в частности, вариант различного определения понятия «система физических величин», предложенный в статье И.Когана (2012).

Литература

1. Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Edwin R Williams E.R. Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005). – Metrologia. – 2006. – 43. – p.p. 227-246.
2. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, – 1990, 176 с.
3. Коган И.Ш. Природа размерности и классификация физических величин. –Законодательная и прикладная метрология. – 2011. – 4. – с.с. 40-50.
4. Коган И.Ш. Системы величин не должны зависеть от систем единиц. – Мир измерений. – 2012. – 7. – с.с. 46-50.
5. Крутиков В. Н., Исаев Л. К., Канищева Т. Д., Кононогов С. А., Ханов Н. И. 24-е заседание Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). Законодательная и прикладная метрология. – 2012. – 1. – с.с. 2-7.
6. Савельев И.В., Курс общей физики (т. 2). –М.: АСТ: Астрель, – 2005
7. Трунов Г.М., Магнитная постоянная μ_0 : фундаментальная физическая константа или просто размерный коэффициент? – Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – 2. – с.с. 58-62.
8. Трунов Г.М. О некорректности нового определения ампера. – Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – 3. – с.с. 60-63.
9. Чертов А.Г. Физические величины. – М.: Высшая школа, – 1990, 336 с.
10. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, – 1990, 624 с.
10. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
11. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf

13.13. Примеры бессистемного применения понятий и терминов в физике и технике

> Следуя математическому методу, мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и поэтому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи, хотя и можем предвычислять следствия из данных законов
>
> Дж.К.Максвелл

Необходимость адекватности понятий и терминов их физическому содержанию

Выражение “понятийная бессистемность” взято из статьи О.Зайцева (2001), в которой образно сказано: “*Возникновение этой проблемы связывается не с результатом введения каких-либо новых понятий или отказа от использования прежних, а с бессистемной ревизией их внутреннего содержания*“. И еще оттуда же: “*Может быть, переход к языку адекватных понятий станет следующим и немаловажным шагом к решению проблемы корректного описания явлений постклассического уровня*“.

Необходимость адекватности физических понятий и терминов их физическому содержанию так охарактеризована выдающимся физиком В.Гейзенбергом (1987): “*Первая предпосылка познания явлений природы — введение адекватных понятий; лишь с помощью верных понятий мы в состоянии по-настоящему знать, что мы наблюдаем*“.

Превосходный анализ несчетного количества ошибок и несуразностей, встречающихся в современных учебных пособиях по физике и технике, приведен в монографии известного методиста К.Гомоюнова (1983). Проблеме адекватности понятий в метрологии посвящена статья А.Митрохина (2002). Проблеме многозначности одних и тех же физических терминов посвящена монография С.Суровикиной (1998). В качестве одного из примеров приведем понятие “энтропия“, многоликость которой детально проанализирована в работе В.Эткина (2006). О понятийной бессистемности можно прочесть в разделе , посвященном теории подобия.

Причины появления не адекватных понятий и терминов в физике

Многие понятия и термины, возникшие еще в XIX веке, а то и раньше, попросту стали противоречить современному уровню науки, но отказаться от них трудно, поскольку к ним уже настолько привыкли, что перестали замечать их некорректность, а порой и бессмыслицу. Ниже будут показаны примеры того, как одни и те же понятия имеют принципиально различные применения из-за их различного физического содержания, что вводит обучающихся только в заблуждение.

Немало теоретических сведений из смежных технических дисциплин и различных разделов физики плохо стыкуются друг с другом с познавательной точки зрения, хотя они имеют общие основные положения. Причиной этому является применение различных терминов для обозначения родственных, а иногда и одинаковых по природе физических величин, различная форма записи уравнений, имеющих практически одно и то же физическое содержание. Все это усложняет осмысление, познание и запоминание учебного материала. Далеко не все, например, понимают, что закон Ома в электротехнике, закон Фурье в теплопередаче и закон вязкого трения Ньютона в гидравлике – это одно и то же уравнение переноса, только записанное разными символами и в разной форме после чисто формальных математических преобразований.

Имеется и еще одна причина возникновения понятийной бессистемности − профессиональный сленг, включающий всевозможные сокращения и многократные повторения терминов, когда-то и подчас непродуманно введенных в обиход в каком-то первоисточнике. Физики-профессионалы прекрасно понимают этот сленг, а вот начинающие изучать физику или смежные специалисты, чаще всего, инженеры, хорошо знакомые с прикладной стороной предмета, иногда перестают его понимать, хотя речь может идти о простых вещах.

Таким образом, совершенно не случайна та точка зрения, что **обобщению и систематизации подлежат не только физические величины, но и физические понятия. Особенно те, смысл которых явно противоречит принципу причинно-следственной связи,** а таких накопилось много. Поэтому и система ЭСВП, предлагаемая И . Коганом в данной работе, называется не просто системой величин, а **системой величин и понятий**.

Мы далеки от мысли, что в соответствующих терминологических комиссиях Российской Академии наук эти вопросы не поднимаются. Но все же складывается впечатление, что все эти комиссии, после работы которых возникают терминологические стандарты, часто возводят в ранг закона ту же самую “понятийную бессистемность” по одной причине: она общепринята.

Примеры не адекватных понятий и терминов в физике

Мы понимаем, что смена терминов, особенно тех, которые применяются часто, дело чрезвычайно сложное, дорогостоящее и психологически трудно выполнимое. И все же ниже в виде примеров обращено внимание на особенно яркие проявления понятийной бессистемности в физике. Это то, к чему все привыкли, но что необходимо постепенно, но все-таки упорядочить. Каждому примеру посвящен в работе отдельный раздел, а ниже приведены только ссылки и аннотации этих разделов.

1. Можно ли жесткость именовать сопротивлением?

Нет, это два совершенно разных параметра уравнения динамики. У пружины сжатия есть жесткость, а не сопротивление. При расчете магнитных цепей магнитное сопротивление следует называть магнитной жесткостью, а магнитную проводимость − магнитной упругостью.

2. Сколько значений у слова “сила“?

Термин “сила“ встречается настолько часто, что его следует применять с дополнительными определениями. Следует изъять из обращения термин “сила“, когда он применяется для описания физических явлений, совершенно не подходящих для его применения.

3. Как понимать термин “момент“?

Любопытная ситуация складывается, когда начинаешь переводить слово “момент“, дополнения и определения к нему на русский язык и сравниваешь лексическое значение перевода с физическим смыслом термина. Получается то тавтология, то бессмыслица, а то и просто искажение физического смысла. Термин “момент“ применяется то в динамике, то в статике, то по отношению к векторным величинам, то по отношению к скалярным величинам. Полная анархия.

4. Два слова термина “частота вращения“ не соответствуют друг другу.

Термин “частота“ относится к колебательным и волновым процессам, а вращение может происходить без всяких колебаний. А то, что у частоты вращения и угловой скорости разные единицы измерений, так это так, “мелкие хитрости“ метрологов.

5. Что расшифровывает термин “количество“?

Слово “количество“ имеет определенное смысловое содержание. Но это содержание не всегда идентично по отношению к тому понятию, с которым слово “количество“ применяется.

6. Так ли уж постоянен “постоянный ток“?

Терминологическое деление тока на постоянный и переменный неверно, так как на практике ток подразделяется по признаку направления на однонаправленный и разнонаправленный, а вовсе не по признаку постоянства значения тока.

7. Являются ли ЭДС и электрическое напряжение работой силы?

И ЭДС, и электрическое напряжение, и разность электрических потенциалов являются сомножителями работы силы. Поэтому общепринятые утверждения о том, что они равны работе электростатических и сторонних сил неверны.

8. Течет ли вектор?

Вектор понятие математическое, условное, никуда он течь не может. Понятие “поток вектора“ возникло исторически вследствие постепенного сокращения длинного термина и в результате превратилось в лексическую бессмыслицу. В сердечниках соленоидов, например, ничего не течет, хотя главным параметром магнитной цепи является магнитный поток. Эта неверно названная величина потянула за собой неверные названия для таких популярных терминов, как “магнитная цепь“, “магнитодвижущая сила“, “магнитное сопротивление“ и “магнитная проводимость“ (см. также п.1).

9. Конкретен ли термин “гравитационное поле“?

Термин “гравитационное поле“ может быть понят только как обобщенный термин, указывающий на физическое поле с гравитационным зарядом. Точно так же, как электромагнитное поле имеет две компоненты: электрическое (электростатическое) поле и магнитное (электродинамическое) поле, гравитационное поле тоже должно иметь две компоненты: гравистатическое и гравидинамическое.

10. Утверждение об отсутствии магнитного заряда − следствие терминологической путаницы

Магнитный заряд под названием “токовый заряд прямого тока“ реально существует в природе, не существует лишь магнитного заряда замкнутого токового контура.

11. Всегда ли к месту слово “индукция“?

Термин “индукция“ имеет несколько значений, и он скорее должен применяться для названия физического явления, чем для названия физической величины. Термин “магнитная индукция“ вообще появился случайно, он не отвечает физическому содержанию того явления, которому он обязан своим появлением.

12. Ни электрического вихревого поля, ни ЭДС индукции, ни тока смещения в природе не существует

Это математические абстракции, придуманные Д.Максвеллом при создании своей знаменитой системы уравнений. Пора в электродинамике реально объяснять явление электромагнитной индукции.

13. Напряженность − это физическая величина или название поля?

Мы привыкли к тому, что напряженность − это основная характеристика любого силового поля, но оказывается, что можно говорить про поле **E** или про поле **B**. Следует говорить о напряженностях **E** и **B**.

14. Почему абсолютная восприимчивость и абсолютная проницаемость абсолютные?

Эти характеристики вещества являются отношениями напряженностей связанных зарядов или напряженностей сторонних зарядов к напряженностям в вакууме. Они бывают и безразмерными, и размерными. Но почему они названы абсолютными, неясно.

15. Что же все-таки называется силой Лоренца?

Под силой Лоренца понимают то суммарное воздействие на движущуюся в электромагнитном поле заряженную частицу, то только одну из составляющих этого воздействия − магнитную силу. Это случается даже в одном и том же метрологическом справочнике. Пора хотя бы в стандартах устранить неопределенность.

16. Может ли существовать “полуцелый спин“?

Спин − это собственный момент импульса электрона, частный случай собственного момента импульса, которым обладает любое вращающееся тело. Значение спина электрона − фундаментальная физическая константа (постоянная Планка). Дополнять слово “спин“ определениями “целый“ или “полуцелый“ − все равно, что говорить “целая единица“ или “полуцелая единица“. Слова "целый" и "полуцелый" относятся не к спину, а к спиновому числу.

17. Потенциалы и разности потенциалов в электродинамике и термодинамике имеют разный смысл.

В электродинамике рассматривают потенциал физического поля, а в термодинамике рассматривают потенциал системы и разность потенциалов между системой и окружающей ее средой. Это совершенно различные физические понятия. А термин "термодинамические потенциалы" вообще ошибочен, вместо него следует говорить о функциях состояния термодинамической системы.

Вывод

Создается впечатление, что количество приведенных примеров (а это далеко не все) позволяет утверждать, что “понятийная бессистемность в физике“ − не придуманная кем-то метафора, а реальность. Тем более, что это количество имеет тенденцию к росту.

Литература

1. Гейзенберг В., 1987, Шаги за горизонт: Пер. с нем./Сост. А.В.Ахутин. -М.:Прогресс, 368 с.
2. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин.– Л.:Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
3. Зайцев О.В., 2001, С какими проблемами физическая наука вступила в

21 век. – http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2356.html
4. Митрохин А.Н., 2002, К вопросу об адекватности некоторых понятий, определений и терминов метрологии или слово в защиту единицы измерения. "Законодательная и прикладная метрология". № 5, с.с.37-45.
5. Суровикина С.А., 1998, Многозначные физические термины. – Омск: Изд. ОмГПУ, 34 с.
6. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml

13.14. О символьной бессистемности в физике и технике

Ничуть не лучше, чем с понятиями, складывается положение с применением символов для обозначения физических величин. Единая система конструкторской документации (**ЕСКД**), являющаяся одним из важнейших конструкторских и метрологических стандартов, запрещает применение одних и тех же букв для обозначения разных физических величин в одной и той же публикации. Однако нарушения этого требования практически неизбежны и существуют почти во всех монографиях и учебных пособиях.

Далеко не единственной причиной этого является ограниченность количества букв в латинском и греческом алфавитах вместе взятых по сравнению с количеством физических величин. Более существенной причиной является нежелание физиков глубоко проработать проблему унификации обозначений, она представляется многим не стоящей внимания по сравнению с проблемой унификации единиц измерений. И весьма удручающей причиной является стремление метрологов стандартизировать наиболее часто применяемые в научной литературе обозначения без попыток их унифицировать.

В рамках одного раздела физики еще можно как-то избежать повторов, но в книгах или справочниках, охватывающих несколько разделов, особенно в справочниках по физике и метрологии, сделать это пока не удается. Но и стремления избежать этого тоже не заметно.

Примеры символьной бессистемности

Согласно метрологическим стандартам буквой *A* следует обозначать работу механической силы, амплитуду колебаний, векторный потенциал магнитного поля и иногда площадь сечения, буквой *S* – площадь сечения, энтропию и импульс силы, буквой *T* – термодинамическую температуру, период колебаний, крутящий момент и кинетическую энергию, буквой *L* – момент количества движения, механическую работу (в теплотехнике) и индуктивность (в электротехнике), буквой *р* – механическое давление, импульс и электрический момент диполя, буквой *v* – скорость и удельный объём.

Метрологические стандарты часто просто возводят в ранг закона мнения отдельных групп ученых. Как еще можно объяснить тот факт, что символ **M**, к которому привыкают в качестве символа для обозначения вращающего момента, становится символом и для обозначения момента импульса вместо привычного для этой цели символа $\mathbf{L}_z$ (величины с другой размерностью) и даже для обозначения намагниченности, вместо часто применяемого для этой цели символа **J**.

При преподавании эта ситуация выглядит особенно разочаровывающе. Не успел студент привыкнуть к тому, что в одном из разделов физики или в одной из технических дисциплин какая-то буква обозначает определенную физическую величину, как в следующем учебном семестре он должен привыкать к другому применению этой же буквы, никак не связанному с тем, к чему он уже привык в предыдущем семестре.

И. Коган в данной работе специально привел примеры одинакового обозначения совершенно разных и в то же время часто применяемых физических величин. Но этот разнобой хоть как-то скрадывается тем, что одни и те же приведенные в качестве примера символы обозначают разные физические величины в разных разделах физики. А вот когда не то, что в одном разделе, а в одной той же главе учебного пособия один и тот же символ буквально через страницу круто меняет свое физическое содержание, то тут уж точно студентам не позавидуешь.

Приведем примеры из достаточно популярного учебника по физике И.Савельева (2005, кн. 2). Чуть ли не в одном параграфе символ ρ обозначает то объемную плотность электрического заряда, то удельное электрическое сопротивление проводника. Расстояние между зарядами обычно обозначается символом *r*, но при рассмотрении электрического диполя оно обозначается уже символом *l*, а буквально через несколько страниц при рассмотрении магнитного поля проводника с током символ *l* обозначает уже длину проводника с током. Еще через несколько страниц символ *l* обозначат уже длину контура, по которой определяют циркуляцию вектора магнитной индукции, а вскоре уже – и длину соленоида. И все это без всякой дополнительной индексации.

Впрочем, с индексацией в учебнике тоже не все в порядке. В параграфе о потенциале заряд, создающий электрическое поле, обозначен символом q, а точечный заряд в этом же поле - символом q'. На следующей странице под точечным зарядом понимается уже пробный заряд, обозначаемый символом $q_{\text{пр}}$, и с помощью этого символа выводится формула для определения потенциала поля. Через страницу по этой формуле выводится уравнение для определения потенциальной энергии, но индекс в обозначении заряда $q_{\text{пр}}$ уже пропадает.

В векторной алгебре, без которой физика не может обойтись, единичный вектор векторной величины принято обозначать символом **e** с нижним индексом, соответствующим этой величине. Но из этого правила почему-то сделано одно исключение: единичный вектор, направленный нормально к плоскости, в которой лежит физическая величина, обозначается символом **n** без всякого нижнего индекса. Так ли уж это необходимо? А если уж он введен, то почему без индекса? Ведь плоскости, к которым этот орт перпендикулярен, бывают разные.

Несогласованность между стандартами, справочниками и учебниками

Отличный пример такой несогласованности показан на странице, посвященной физическим характеристикам электромагнитного поля в веществе, когда восприимчивость и проницаемость вещества обозначаются то одними символами, то другими. Короче говоря, студенту-заочнику или студенту, пропустившему соответствующие лекции, можно только посочувствовать .

Чересполосица с символами и индексами связана и с естественной несогласованностью ученых-первоткрывателей, каждый из которых предпочитал собственный набор символов. Эти символы обычно привязывались к первым буквам терминов. Но сами термины ученые придумывали, кто как хотел, к тому же термины брались из разных языков: английского, немецкого, французского, греческого, латыни. Авторов современных учебников, справочников и, в особенности, стандартов это обстоятельство оправдывать не должно.

И. Коганом подсчитано, что несовпадающих по начертанию заглавных и строчных букв в латинском алфавите – 50, а в греческом алфавите – 32. Но даже 82 букв явно недостаточно, ведь количество производных физических величин исчисляется сотнями. И нет другого выхода, кроме как пользоваться индексами. Но, к сожалению, и для процесса подбора индексов характерны те же самые недостатки, что и при подборе самих символов. Иногда пользуются двухбуквенными символами, например, при обозначении критериев подобия, а в химии – для обозначения химических элементов. Но широкому распространению двухбуквенных символов в физике мешает то, что запись в уравнении двух букв подряд может быть расценено, как произведение двух разных физических величин.

И. Коган старался не нарушать метрологические стандарты в отношении символики. Но ему подчас приходилось идти на это, ведь это нарушается и в самих метрологических справочниках и стандартах.

Возможный выход из положения

И. Коган настолько замучился с проблемой символики при систематизации физических величин, особенно относящихся к величинам физического поля, что начал работать над собственной системой символов и индексов для этого раздела физики. Результаты этой работы можно увидеть в Таблице величин физического поля и в левой части всех таблиц **ЭСВП**, где расположены обобщенные физические величины. При этом И. Коган на собственном опыте почувствовал, насколько облегчается при систематизации символики решение проблемы обобщения и систематизации физических величин и ее понимание. Более того, систематизация символики позволяет не допускать ошибки при записи определяющих уравнений.

Наука и практика уже давно нуждаются в необходимости международной систематизации и унификации символов и индексов при максимально возможном устранении их дублирования. Будем надеяться, что это произойдет в не очень далеком будущем.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель

14. Систематизация физических величин и экономика

14.1. Краткая предыстория использования методологии физики в экономике

Первым ученым, указавшим на тесную взаимосвязь между экономикой и физикой, как указывают Л.Ларуш (1992), Д.Конторов и др. (1999), был Готтфрид Лейбниц. Развитие Г.Лейбницем экономической науки началось со статьи «Общество и экономика», опубликованной в 1671 г. и посвященной вопросам реальной стоимости и оплаты производительного труда. Эти работы были продолжены в процессе изучения принципов работы тепловых машин. Исследование функциональных зависимостей между увеличением потребляемой тепловых машинами энергии и ростом производительной силы работников, то есть их способности выполнить определенную работу, позволило Г.Лейбницу дать определения таким основополагающим понятиям физики, как «мощность», «работа» и «технология».

Г.Лейбниц первым синтезировал физику и экономику, развитый им подход сейчас стал отдельной наукой, называемой **физической экономикой**. Суть ее заключается, по мнению Л.Ларуша (1992), в том, что она «*предлагает отойти от монетаристских взглядов на суть вещей и перейти к физическим параметрам оценки экономической деятельности человечества*». **Физическая экономика во многих своих аспектах опирается на аналогии между процессами, происходящими в неживой природе и изучаемыми физикой, и процессами,**

происходящими в человеческом социуме и изучаемыми экономикой.

Имеет смысл процитировать мнение Д.Конторова и др. (1999): ***«Физическая экономика позволяет использовать физические аналоги как прогнозный инструмент экономических исследований».*** Методология физической экономики состоит «*... в модельном исследовании экономических процессов... Гносеологической основой физической экономики является единство мира*». Этими же свойствами характеризуется и энергодинамика, положенная в основу систематизации физических величин. Поэтому естественна попытка провести в этом разделе систематизацию и экономических величин.

Параллельно с методологией физической экономики получило широкое распространение применение в экономике тех же математических методов исследования и анализа, которые успешно используются в физике и кибернетике. Все это привело к формированию в 90-х годах XX века нового научного направления, получившего название "**эконофизика**". Несколько российских университетов открыли специальные курсы по эконофизике. В 2004 г. на физическом факультете Санкт-Петербургского Государственного Университета начали готовить физиков по специальности «"Информационные технологии, эконофизика и менеджмент сложных систем".

Будущие специалисты должны изучать методы теории сложных систем, элементы теории вероятностей и тензорного анализа, математической статистики и статистической физики, статистическое и математическое моделирование, специальные вычислительные средства и методы, функциональное моделирование информационных систем. Таким образом, то, что называют **эконофизикой, с полным правом можно расшифровать, как синтез экономики с физикой, математикой и информатикой** с более значительным упором на две последние науки.

Исходя из сказанного, следует заметить, что энергодинамический и метрологический подходы, ограничиваются рассмотрением прямых физико-экономических аналогий и поиском взаимосвязи между основными и производными физическими и экономическими величинами.

То, что для такого подхода имеются основания, видно из трудов ряда экономистов. Так, Л.Ларуш (1992) предлагает применять вместо экономической величины «деньги» физическую величину с единицей энергии (киловатт-час). В этом вопросе у него много последователей. Л.Ларуш предсказал в ближайшем будущем наступление глобального экономического кризиса. Похоже, что его предсказание имеет тенденцию к тому, чтобы сбыться. По мнению Л.Ларуша в результате этого кризиса тем, кто его переживёт, **придётся отказаться от денег и перейти к другим мерам измерения и оценки труда, например, с помощью энергии.** Справедливость этого предсказания еще предстоит выяснить.

Большой вклад в развитие физической экономики внес П.Г.Кузнецов, предложивший использовать такую единицу, как **энергорубль**, по аналогии с **нефтедолларом Сороса**. Он же предложил использовать единицу **транспортной услуги (Тран),** которая сопоставима с квадратом скорости доставки груза, что, в свою очередь, сопоставимо с кинетической энергией. А.Петров (2005) также предлагает вести экономические расчёты в энергетическом выражении и описывает недостатки монетаристкого подхода.

Литература

1. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики.(Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
2. Ларуш Л., 1992, Вы на самом деле хотели бы всё знать об экономике? – Пер. с англ. М.: Шиллеровский институт, 540 с.
3. Петров А.Е., 2005, Тензорный метод и физическая экономика. http://216.239.59.104/search?sourceid=navclient&hl=ru&ie=UTF-8&rlz=1T4SKPB_ru___IL203&q=cache:http%3A%2F%2Fwww.situation.ru%2Fapp%2Fj_art_929.htm

14.2. Обобщенная схема производства энергии

БСЭ определяет процесс производства, как "*процесс создания материальных благ, необходимых для существования и развития общества*". Основным необходимым условием для этого является использование энергии.

Источниками энергии являются энергия солнечного излучения, химическая энергия, скрытая в полезных ископаемых, и атомная энергия. Эти формы энергии чаще всего преобразуются в удобные для использования механическую и электрическую формы энергии четырьмя путями:

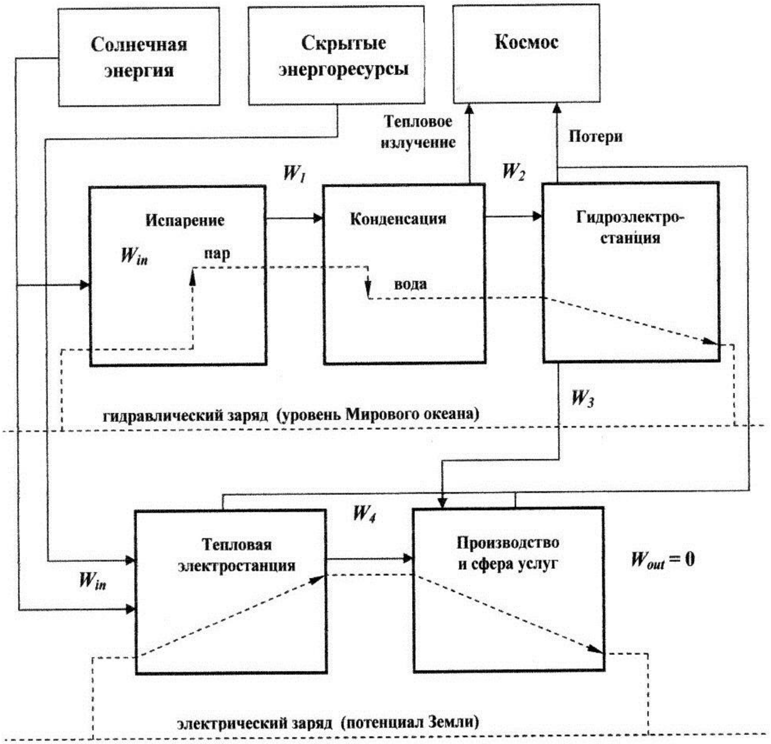
1. использованием мускульной механической формы энергии людей и животных и умственного труда человека по переработке информации;

2. использованием механической энергии падающей воды на гидравлических электростанциях;

3. переносом химической формы энергии в механическую в двигателях внутреннего сгорания и в реактивных двигателях;

4. переносом химической или атомной формы энергии в электрическую на тепловых электростанциях.

Рассмотрим схематично варианты преобразования энергии в виде последовательного соединения проточных физических систем.



Сплошными линиями показаны потоки различных форм энергии, а штриховыми линиями – уровни потенциальной энергии гидравлической формы движения (в среднем ряду) и электрической формы движения (в нижнем ряду).

Каждая из пяти изображенных на схеме проточных физических систем (выделены жирными линиями) понижает уровень энергии на входе в систему.

Первая система (процесс испарения воды Мирового океана) переносит тепловую форму энергии (энергию излучения Солнца) в гидравлическую энергию путем повышения потенциальной энергии воды вследствие фазового перехода воды в водяной пар.

Во **второй системе** (процесс конденсации водяного пара в атмосфере) потенциальная гидравлическая энергия понижается за счет обратного фазового перехода водяного пара в воду, падающую на Землю, и за счет потерь энергии атмосферы в виде теплового излучения в космос.

В **третьей системе** происходит процесс преобразования гидравлической формы энергии рек в электрическую форму энергии, сопровождаемый потерями на трение. Во второй и в третьей системах происходит падение уровня энергии воды. Нулевым уровнем гидравлической формы энергии можно считать уровень Мирового океана. Закон сохранения вещества находит своё выражение в сохранении количества **гидравлического заряда (кругооборот воды в природе).**

Практически тот же круговорот воды, только уже в качестве рабочего тела, происходит и в **четвертой системе** (в тепловой электростанции), в которой тепловая энергия Солнца, законсервированная в виде химической энергии нефти, газа или угля, переходит в электрическую энергию. На атомных электростанциях внутренняя энергия атомов переходит сначала в тепловую энергию, а потом - в электрическую. На солнечных электростанциях в тепловую энергию воды переходит непосредственно энергия солнечного излучения. Солнечная энергия может переходить в электрическую и непосредственно.

Использование человеком скрытых ресурсов (энергии полезных ископаемых и атомной энергии) нарушает ежедневный баланс энергообмена между Солнцем, Землей и космосом и увеличивает общее количество энергии в атмосфере Земли.

Конечным звеном в этой цепочке физических систем является **пятая система**, в которой происходит перенос произведенной электрической энергии в различные формы энергии, используемые человеком в процессе производства и в сфере услуг. **Все формы энергии, используемые человеком, переносятся в итоге в тепловую форму энергии, переходящую в атмосферу Земли**. В любом процессе производства товаров и услуг используется не только электрическая энергия, уровень которой падает до нуля, которому соответствует электрический потенциал Земли, но и энергия человека в виде физического и умственного труда.

Обратим особое внимание на то, что все без исключения физические системы имеют **кпд**, меньший единицы, поскольку **диссипация энергии (переход ее в тепловую форму энергии вследствие трения)** существует в любой физической системе. БСЭ определяет **кпд**, как "*характеристику эффективности системы в отношении преобразования или передачи энергии; определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии*".

Интеллектуальное воздействие человеческого труда вносит свои специфические черты в функционирование любого производства.

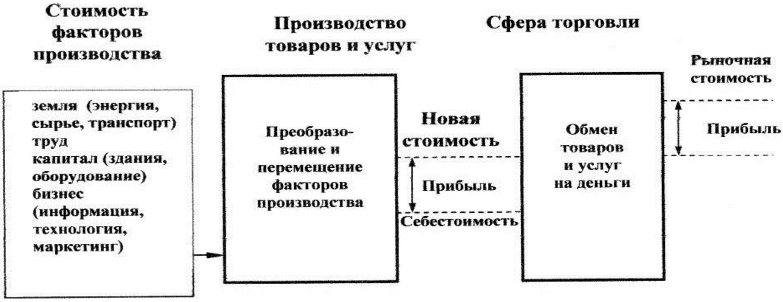
Поэтому любая система, сопровождаемая деятельностью человека, является не просто физической, а физико-экономической системой. **Физико-экономические системы** требуют отдельного рассмотрения, попытка которого сделана в последующих разделах.

14.3. Стоимость товара с точки зрения физической экономики

Схема изменения стоимости товара

В **физико-экономической системе** наряду с физическими процессами происходят экономические процессы, основным фактором которых является деятельность человека. Она существенно изменяет процессы в этой системе по сравнению с процессами в физической системе.

Рассмотрим схематично форму движения, в которой координатой состояния системы рассматривается такая экономическая величина, как **суммарная стоимость товара**, которая равна произведению количества товара (услуг) на его цену.



Исходными составляющими, определяющими стоимость товара, являются **факторы производства**, в которых стоимость энергозатрат, включая энергию труда человека, составляет лишь часть стоимости товара, подчас небольшую. **Себестоимость товара** на выходе любой экономической системы меньше суммарной стоимости факторов производства, так как включает в себя текущие издержки производства, обращения и реализации товара.

Социальная роль человека в процессе производства и реализации товара заключается в том, что он искусственно повышает стоимость товара на выходе любой экономической системы с тем, чтобы получить **прибыль**. Для того, чтобы реализовать эту прибыль, товар должен быть продан, и для этой цели существует **рынок**. На схеме рынок показан в виде **сферы торговли**.

Коэффициент полезного действия труда

Рассматривая соотношение стоимостей на входе и выходе из экономической системы, Д.Конторов (1999) ссылается на **закон С.Подолинского**, который он приводит в следующей формулировке: "*Кпд труда исчисляется как отношение выходной стоимости к входной, и это отношение больше единицы*". Но в этой формулировке имеется существенная терминологическая неточность. Отношение выходной стоимости к входной нельзя назвать термином **кпд**, так как **кпд** – это отношение энергий, а не стоимостей. А **стоимость – это не физическая, а экономическая величина**. К тому же **кпд** любой физической системы меньше единицы, поскольку в любой физической системе часть энергии переходит в тепловую форму энергии диссипации.

Повышение стоимости в процессе производства вызвано не физическими, а социальными причинами. Стоимость продукта и стоимость энергии, затраченной на производство продукта, – это разные величины, хотя между ними и имеется взаимосвязь. Поэтому отношение выходной стоимости к входной следует называть иначе, например, **коэффициентом повышения стоимости** (сокращенно **кпс**). Тогда у физиков не будет возражений.

Трудно согласиться с утверждением Д.Конторова, что "*непроизводительный труд (научный, учебный, актерский, организационный, административный, общественный, воинский) не имеет количественной оценки естественно-научного содержания*". Если в качестве физико-экономической системы взять государство, то указанные в цитате разновидности непроизводительного труда относятся к накладным расходам, без которых не может обойтись ни одно государство, ни одно общество. Просто надо установить его количественную оценку.

Нельзя также согласиться и с тем, что "*психическая энергия не имеет физической меры*". Именно психическая энергия, являющаяся, по сути дела, умственным трудом, "*вовлекает в полезный процесс внешние* *источники энергии*", способствуя тем самым повышению стоимости на выходе экономической системы.

Д.Конторов прав тогда, когда говорит, что на сегодня нет коэффициента пересчета психической энергии (умственного труда) в другие виды энергии. По нашему мнению, **мозг человека с точки зрения теории автоматического управления можно уподобить вычислительному устройству с колоссальной ёмкостью оперативной памяти, имеющему на выходе усилитель мощности с колоссальным коэффициентом усиления.**

В итоге можно сказать, что функционирование физико-экономических систем совершенно не адекватно функционированию физических систем.

Литература

1. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.

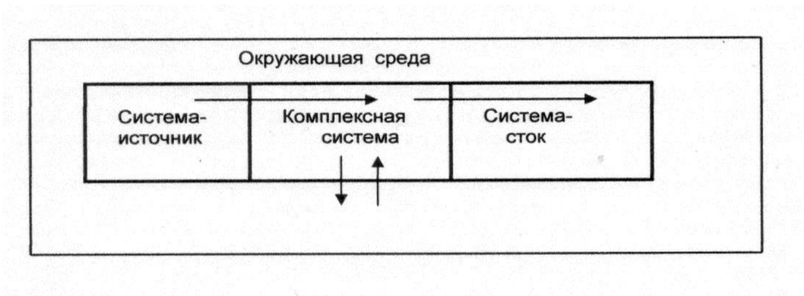
14.4. Рынок как экономическая система

Рынок как комплексная динамическая система

Проанализируем поведение рынка с точки зрения системного подхода. При анализе рынка, как динамической экономической системы, будем применять ту же методологию, какая применяется при анализе физических систем. По нашему мнению, именно такой подход ближе всего соответствует предмету физической экономики. Это может позволить применить уравнение динамики, которое для экономических систем может быть скорректировано путем введения поправочных коэффициентов, учитывающих социальную природу рынка.

Экономическую систему под названием "рынок" согласно классификации динамических систем следует отнести к категории комплексных систем, упрощенная схема которой приведена ниже на рисунке. Стрелки на схеме показывают движение энергономителей (в данном случае - товаров). Под системой-источником подразумевается производство, под системой-стоком - потребитель, под комплексной системой - рынок, под окружающей средой - общество.

В экономической системе "рынок" существуют две формы движения: товарную и денежную, направленные навстречу друг другу. Соответственно, имеются и две координаты состояния: товар и деньги.



1. Товарная форма движения.

Системой-источником товарной формы движения по отношению к какому-нибудь товару является **производитель товара** (или сумма производителей), а системой-стоком – **покупатель товара** в расширенном толковании, то есть та часть населения, которая нуждается в данном товаре. В роли окружающей среды выступает **внешний мир**, который воздействует на рынок вне зависимости от производителя товара. Между внешним миром и рынком существует **сторонний товарообмен**, на который влияют случайные факторы. Они приводят к незапланированному поступлению товара на рынок из неизвестных источников, помимо производителя, к нерегулируемым потерям товара на рынке из-за его порчи, кражи и т.д., и т.п.

2. Денежная форма движения.

Системой-источником денежной формы движения, в отличие от товарной формы движения, является покупатель товара, а системой-стоком – производитель товара. Внешний мир воздействует на денежную форму движения путем финансовых затрат на оплату труда торговцев, на складские расходы. Колебания цены товара могут возникать из-за информационного шума, приходящего из внешнего мира и воздействующего на сознание и производителя, и покупателя, и т.д., и т.п.

Критерий товарного потока (спрос и предложение)

В первобытном обществе существовало натуральное хозяйство, при котором человек был и производителем, и потребителем одновременно. Рынок породил разделение труда, а товарообмен породил деньги. Разделение труда привело к появлению **спроса** на товары, который будем обозначать символом *Dm* (от английского слова demand), и к их **предложению** *Sp* (от английского слова supply), удовлетворяющему спрос.

Согласно словарному определению**, спрос - это количество товаров и услуг, которое может быть реализовано в заданный период на рынке при существующем уровне цен.** Рынок всегда стремится к такому положению, когда предложение равно спросу, но **причиной существования товарного потока всегда является спрос, а предложение является следствием.** Даже тогда, когда технологический прогресс выбрасывает на рынок новый товар, всегда учитывается возможный спрос на него.

Уровень товарного потока устанавливается спросом, а уровень самого спроса пропорционален двум социальным величинам: **количеству людей**, заинтересованных в покупке конкретного товара или услуги, и их **покупательной способности**, равной количеству денег, имеющихся у покупателя. Перемножив одно на другое, мы получим, что такая **экономическая величина, как спрос, выражается в деньгах**. Размерность этой экономической величины обозначим символом **$**, а единицу спроса обозначим символом **у.е.** (условная единица). Соответственно, такие же размерность и единицу имеет предложение, как экономическая величина.

Важной экономической величиной, характеризующей устойчивость товарного потока, является критерий подобия, равный отношению спроса к предложению *Dm*/*Sp*. Назовем его **критерием товарного потока**. Если этот критерий равен 1, то товарный поток устойчив. Если он становится не равным 1, то это приводит к переходному процессу в экономической системе "рынок", в результате чего уровень товарного потока изменяет свое значение или колеблется относительно какого-то значения.

Что такое энергоэкономический эквивалент

Чрезвычайно важным представляется ответ на вопрос: что должно являться основной величиной в экономической системе величин. В физических системах главной основной величиной является энергия, в экономике она может быть представлена как в денежном, так и в товарном эквиваленте. Д.Конторов (1999), например, пишет: "*Энергию можно выразить через деньги. Описывать производственные процессы энергетической и денежной единицами совместно гораздо удобнее (и интуитивно приемлемее), чем одной из них, тем более, что всегда ситуационно стоит острый вопрос о цене энергии*".

По нашему мнению, эквивалентом энергии в физике следует считать в экономической системе величину, пропорциональную и количеству денег, и количеству товара. Обозначим количество денег символом Mn (от английского слова money), а количество товара символом Gd (от английского слова goods). Назовем величину, равную произведению количества денег на количество товара, **энергоэкономическим эквивалентом**, обозначив его символом Ee, и запишем такое определяющее уравнение:

$Ee = Mn\ Gd$. (1)

Размерность энергоэкономического эквивалента будет равна $N, где N – размерность числа структурных элементов экономической системы, тогда единица измерений будет равна у.е.·шт. Энергоэкономический эквивалент должен быть основной величиной как в товарной, так и в денежной форме движения.

Пропорциональность энергии и энергоэкономического эквивалента можно выразить уравнением:

$W = k_{Ee}\ Ee = k_{Ee}\ Mn\ Gd$. (2)

где k_{Ee} – коэффициент эквивалентности с размерностью $E^{-1}$$N, где E – размерность энергии, и с единицей у.е.·шт/Дж.

С учетом сказанного таблица экономических величин, предложенная Д.Конторовым (1999) и приведенная в разделе, посвященном экономическим величинам, скорректирована.

Литература

1. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.

14.5. Экономические величины, их размерности и единицы измерений

Общепринятой системы экономических величин, аналогичной имеющимся системам физических величин, в настоящее время не существует. Более того, Экономико-математический словарь утверждает, что "*еще не найдена (и, возможно, никогда не будет найдена) единая мера, эталон, который был бы применим к разным экономическим величинам и позволял бы измерять их: это главная особенность экономических величин вообще*". Существуют лишь "*три основные системы измерителей экономических величин: **натуральные, трудовые и стоимостные (денежные)***".

Тем не менее, Д.Конторов (1999) создал автономную систему единиц экономических величин, предложил основные и производные экономические величины и считает, что "*необходимо установить формальную связь между единицами экономических и физических величин*". Ниже показан предложенный Д.Конторовым перечень основных физических и экономических величин, их размерностей и единиц. Понятие размерность по отношению к экономическим величинам до этого нами не встречалось.

Основные физические и экономические величины по Д.Конторову

Величина	**Размерность**	**Единица**
Длина	L	м (метр)
Время	T	с (секунда)
Энергия	E	Дж (Джоуль)

Деньги	Д	$ (доллар)
Труд	Тр	10^6 чел/год
Информация	I	бит

Как видно из таблицы, речь идет не только о системе единиц, как ее назвал Д.Конторов, а о системе величин, так как в таблице представлены размерности величин, а не только их единицы. В качестве основной физической величины в таблицу включена энергия, чего нет в системе единиц СИ. Правда, Д.Конторов предварил это включение обтекаемым по смыслу предложением: "*Есть серьезные основания для включения в состав автономной системы энергии*". Впрочем, это не догадка Д.Конторова, а вывод, вытекающий из работ многих ведущих экономистов мира. Вот что пишут соавторы Д.Конторова: "*Экономика имеет две основные меры: энергию и деньги, вообще говоря, сводимые*".

Можно также заметить, что символы размерностей денег и труда даны в таблице русскими буквами, что не соответствует общепринятой практике обозначения размерностей. Единственное, что добавлено нами в таблицу по сравнению с оригиналом, это введение символа единицы экономической величины "**деньги**". Предложен символ $.

В систематике Д.Конторова деньги, труд и информация возглавляют отдельные системы единиц (экономические, социальные и информационные), но взаимосвязь между этими системами единиц, а также между ними и физическими единицами в этой систематике практически отсутствует. Более того, в ней отсутствуют такие важные экономические величины, как спрос, предложение, количество товара, относящиеся к категории считаемых величин, и цена товара. Поэтому мы считаем, что таблицу Д.Конторова следует модифицировать путем добавления наиболее распространенных производных экономических величин с присвоением им обозначений, уточнения символов размерностей и единиц измерений.

Основные и производные физические и экономические величины

И. Коганом предлагается следующая таблица, в которой экономическим величинам присвоены двухбуквенные обозначения, чтобы отличать символику экономических величин от символики физических величин.

В таблице обозначаются: **энергоэкономический эквивалент** – символом *Ee*, **количество товара** – символом *Gd* (от английского слова goods), **деньги** – символом *Mn* (от английского слова money), **штучная цена товара** – символом *Pr* (от английского слова price), **стоимость товара** – символом *Cs* (от английского слова cost), **прибыль** – символом *Pf* (от английского слова profit), **экономическое воздействие** – символом *Ei* (от английских слов economic impact), **спрос** на товар – символом *Dm* (от английского слова demand), **предложение** – символом *Sp* (от английского слова supply).

Величина	**Предлагаемое обозначение**	**Размерность**	**Единица**
Основные величины			
Энергия	W	E	Дж
Время	t	T	сутки
Деньги	Mn	$	у.е.
Количество товара	Gd	C	шт
Главные производные величины			
Энергоэкономический эквивалент	Ee	$C	у.е.·шт
Коэффициент эквивалентности	k_{Ee}	$E^{-1}\$C$	у.е.·шт/Дж
Производные величины в <u>денежной форме движения</u>			
Цена товара	Pr	$\$C^{-1}$	у.е./шт
Стоимость товара	Cs	$\$C^{-1}$	у.е./шт
Прибыль	Pf	$\$C^{-1}$	у.е./шт
Денежная ёмкость	C_{Mn}	$\$C^{-1}$	у.е./шт
Денежное сопротивление	R_{Mn}	$\$^{-1}CT$	шт·сутки/у.е.
Денежная инертность	I_{Mn}	$\$^{-1}CT^2$	шт·сутки^2/у.е.
Производные величины в <u>товарной форме движения</u>			
Экономическое воздействие	Ei	C	шт
Спрос	Dm	C	шт
Предложение	Sp	C	шт
Товарный поток	Φ_{Gd}	CT^{-1}	шт/сутки
Критерий товарного	Dm/Sp	C^0	-

потока			
Товарная ёмкость	C_{Gd}	$\$^{-1}C$	шт/у.е.
Товарное сопротивление	R_{Gd}	$\$C^{-1}T$	у.е.·сутки/шт
Товарная инертность	I_{Gd}	$\$C^{-1}T^2$	у.е.·сутки^2/шт

Сравнение двух таблиц

Главные отличия предложенной таблицы от таблицы Д.Конторова заключаются в следующем:

1. Единица времени **с** (секунда), представляется слишком малой для экономических систем, рациональнее измерять время в сутках.

2. Единица измерений денег в каждом государстве своя. Поэтому ее удобно обозначать на русском языке уже ставшими привычными буквами у.е. (условная единица).

3. Количество товара совершенно естественно считать числом структурных элементов экономической системы с размерностью N, его удобно измерять в шт (штуках). Международные метрологические организации признали **количество объектов** (аналог числа структурных элементов) основной физической величиной. Идет дискуссия только о названии единицы этой величины.

4. Единицы измерений денег и товаров не имеют измерительных эталонов, как это имеет место в метрологии. Заметим, что в натоящее время готовится замена натуральных измерительных эталонов фундаментальными физическими константами. В экономике единица денег устанавливается государственными институтами в каждой стране, а единицы товаров включаются в стандарты фирм-производителей или государственные стандарты.

5. Мы не видим пользу от применения длины в качестве основной экономической величины. Если в сельском хозяйстве используют в качестве единицы площади гектар, то эту единицу можно считать равносильной одной штуке. Точно так же в строительстве можно считать штукой кубометр песка, в торговле – килограммовую упаковку, в международной торговле - один контейнер. А применить длину, характеризуя движение товара на рынке или денег в банковской системе, вряд ли имеет смысл.

6. В таблице И. Когана отсутствует такая величина, как труд, да и сам Д.Конторов отнес труд не к экономическим, а к социальным величинам. Единица труда 10^6 чел./год представляется недостаточно обоснованной.

7. В таблице И. Когана отсутствует такая величина, как информация, которая имеется в таблице Д.Конторова. Но информация – это категория, а не фическая величина. Физической величиной является **количество информации**, которое является частным случаем основной величины "количество считаемых величин". Поэтому размерность количества информации можно обозначать символом С. А единицы количества информации (бит и байт) эквивалентны друг другу, только применяются в разных системах счисления (в десятичной и двоичной).

8. Штучная цена товара по определению – это категория, означающая количество денег, за которое продавец согласен продать, а покупатель готов купить единицу товара. Следовательно, размерность цены товара – $\$C^{-1}$, а единица цены – у.е./шт. Экономический словарь отождествляет **стоимость** одной штуки товара с ценой товара. Но эти экономические величины (стоимость и цена товара) связывает между собой лишь одна и та же единица. А реальную цену товара устанавливает только рынок. При неблагоприятной конъюнктуре рыночная цена товара может оказаться даже меньше его стоимости.

Литература

1. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.

14.6. Рынок как система

В разделе, посвященном рынку как экономической системе, определено, что рынок, согласно классификации динамических систем, является комплексной системой. Посмотрим на таблицу, показывающую перечень основных и наиболее важных производных величин в этой системе.

Основные и производные величины в комплексной системе

Величина	**Обозначение**	**Размерность**	**Единица**
Энергетическое воздействие на систему	dW	Е	Дж
Изменение координаты состояния	dq	К	-
Интервал времени	dt	Т	с
Динамическое воздействие на систему	U	$ЕК^{-1}$	-
Поток координаты состояния	Φ	$КТ^{-1}$	-
Емкость системы	C	$Е^{-1}К^{2}$	-
Сопротивление системы	R	$ЕК^{-2}Т$	-
Инертность системы	I	$ЕК^{-2}Т^{2}$	-

Примечание к таблице: Обобщенная координата состояния с размерностью К фигурирует в таблице тогда, когда не конкретизирована форма движения. Поэтому и отсутствует единица. Единица появляется тогда, когда конкретизируется форма движения и становится ясной ее координата состояния.

Рассмотрим две формы движения на рынке: товарную и денежную. Обозначения экономических величин приведены в предыдущем разделе.

Примем в качестве координаты состояния товарной формы движения количество товара *Gd* с единицей штука, а в качестве координаты состояния денежной формы движения деньги *Mn* с единицей у.е. Тогда мы получим две разные таблицы для рынка: для товарной и денежной форм движения. В качестве основной экономической величины, аналогичной энергетическому воздействию d*W* будем считать энергоэкономический эквивалент *Ee*, рассмотренный вразделе, посвященном экономическим величинам .

Величины товарной формы движения на рынке

Величина	**Обозначение**	**Размерность**	**Единица**
Энергоэкономическое воздействие	d(*Ee*)	$N	у.е.·шт
Изменение количества товара в системе	d(*Gd*)	N	шт

Интервал времени	dt	T	сутки
Денежное воздействие	Mn	\$	у.е.
Товарный поток	$\Phi_{Gd} = \mathrm{d}(Gd)/\mathrm{d}t$	NT^{-1}	шт/сутки
Товарная ёмкость системы	C_{Gd}	$\$^{-1}N$	шт/у.е.
Товарное сопротивление системы	R_{Gd}	$\$N^{-1}T$	у.е.·сутки/шт
Товарная инертность системы	I_{Gd}	$\$N^{-1}T^2$	у.е.·сутки^2/шт

Величины денежной формы движения на рынке

Величина	**Обозначение**	**Размерность**	**Единица**
Энергоэкономическое воздействие	d(Ee)	\$N	у.е.·шт
Изменение количества денег в системе	d(Mn)	\$	у.е
Интервал времени	dt	T	сутки
Товарное воздействие (Спрос)	(Gd)	N	шт
Денежный поток	$\Phi_{Mn} = \mathrm{d}(Mn)/\mathrm{d}t$	$\$T^{-1}$	у.е./сутки
Денежная ёмкость системы	C_{Mn}	$\$N^{-1}$	у.е./шт
Денежное сопротивление системы	R_{Mn}	$\$^{-1}NT$	шт·сутки^2/у.е.
Денежная инертность системы	I_{Mn}	$\$^{-1}NT^2$	шт·сутки^2/у.е.

Общие свойства систем и такой экономической системы как рынок, так же, как и различия между ними, подробно поясняются в разделе, посвященном формам движения на рынке.

14.7. Движение товара и денег на рынке

Аналогия между электрической и товарной формами движения

Главное, что надо различать в товарной форме движения, − это отличие изменения общего количества товара на рынке *d(Gd)* от количества перемещаемого через рынок товара (потока товара) Φ_{Gd} . Согласно классификации систем по их динамическим свойствам первое относится к непроточной части комплексной системы "рынок", а второе – к ее проточной части. Четкого понимания этого различия можно достигнуть, разобрашись с примером электрической формы движения в виде участка электрической цепи (электрического проводника).

В непроточной части электрического проводника, характеризуемой количеством электронов проводимости внутри проводника, изначально имеется какое-то количество свободных электронов q (электрический заряд системы). Точно так же и на рынке, как экономической системе, изначально имеется какое-то количество товара Gd.

В проточной части электрической системы рассматривается только процесс перемещения заряда, характеризуемый не количеством электронов проводимости внутри проводника, а количеством электронов, проходящих через сечение проводника в единицу времени, то есть электрическим током. В каждый момент времени какое-то количество электронов входит в проводник, перемещается по нему и выходит из него, не изменяя при этом изначального количества электронов в проводнике q. На рынке существует аналогичная ситуация. Если производитель предложит новое количество товара, а покупатель такое же количество товара купит, то изначальное количество товара Gd на рынке не изменится.

Два вида потока товаров на рынке

В комплексной электрической системе различают два вида потока электронов проводимости. Первый – это ток зарядки (разрядки), изменяющий общее количество свободных электронов в проводнике на величину $\mathrm{d}q/\mathrm{d}t$, этот ток имеет место только при переходном процессе изменения разности потенциалов на клеммах проводника. Второй – это постоянно текущий по проводнику электрический ток проводимости I.

Точно так же на рынке следует различать два вида потока товара. Первый – это временно появляющееся изменение товарного потока $\mathrm{d}(Gd)/\mathrm{d}t$, имеющее место только при скачках спроса и предложения, когда общее количество товара на рынке Gd то пополняется, то убывает. Второй – это постоянно текущий товарный поток Φ_{Gd}, имеющий место при равенстве спроса и предложения и существующий независимо от того, каково изначальное количество товара Gd на рынке. Просто чем больше товара на рынке, тем легче справляется рынок с колебаниями спроса и предложения. Но на это уже влияют другие параметры рынка, такие как товарная ёмкость C_{Gd} и товарная инертность I_{Gd}, аналогичные ёмкости и индуктивности электрического проводника.

Таким образом, **речь, как видим, идет не об одной, а о двух изменяющихся величинах: о количестве товара Gd, измеряемом в штуках, и товарном потоке Φ_{Gd} , измеряемом в шт/сутки. То есть, о товаре, наличествующем на рынке, и о товаре, перемещающемся от производителя к покупателю. Эти два вида товара разные и по количеству, и по поведению, и по единице измерений.**

При значении критерия товарного потока, то есть отношения спроса к предложению, $(Dm/Sp) = 1$, общее количество товара на рынке Gd не меняется, сколько поступает нового товара, столько его и продается, и поэтому $Gd = \text{const}$, а $d(Gd) = 0$. Но товар в любом случае перемещается от производителя к покупателю, то есть товарный поток $\Phi_{Gd} \neq 0$.

Общее количество товара Gd может измениться по двум причинам: появлению разницы между спросом и предложением ($Dm/Sp \neq 1$) и стороннему влиянию на рынок в виде вброса товара со стороны или утечки товара на сторону. Вот тогда и $Gd \neq \text{const}$, и $d(Gd) \neq 0$. При этом следует помнить, что проточная часть системы "рынок" функционирует всегда. В противном случае необходимости в рынке не было бы.

Денежный поток на рынке

Всё, что сказано о товарном потоке, относится и к денежному потоку, только денежный поток течет в обратном направлении. Точно так же следует различать отличие изменения количества денег $d(Mn)$, присутствующих на рынке, от перемещаемых через рынок денег Φ_{Mn}. Первое относится к непроточной части комплексной системы "рынок", второе − к ее проточной части.

При значении критерия товарного потока $(Dm/Sp) = 1$ общее количество денег, относящихся к какому-нибудь товару, на рынке не меняется. Сколько денег платит покупатель, столько же получает производитель, то есть общее количество денег $Mn = \text{const}$, а его изменение $d(Mn) = 0$. Но следует учесть, что речь идет не о наличных деньгах, а о деньгах, соответствующих цене товара, ведь расчет не обязательно должен производиться наличными.

Общее количество денег, относящихся к какому-нибудь товару, может также измениться по двум причинам: появлению разницы между спросом и предложением ($Dm/Sp \neq 1$) и стороннему вливанию денег на рынок в виде неожиданного изменения цены товара или изменения покупательной способности денег. Однако общее количество денежных средств на рынке не может быть равно нулю.

14.8. Колебания рыночной цены

Сравнение колебаний рыночной цены и физических колебаний

Приведем в качестве примера уравнение, опредедляющее колебания рыночной цены товара, предложенное В.Лебедевым и К.Лебедевым (2002), которое выглядит в авторской символике так:

$(1/k)\mathrm{d}^2P/\mathrm{d}t^2 + r\mathrm{d}P/\mathrm{d}t + (f + d_0)P = F(t)$, (1)

где P – отклонение рыночной цены одной штуки товара от ее равновесного значения; $F(t)$ – экономическое воздействие на фирму, продающую товар; k, r, f, d_0 – экономические константы; t – время.

Сравним уравнение (1) с уравнением динамики физической системы:

$I\,\mathrm{d}^2q/\mathrm{d}t^2 + R\,\mathrm{d}q/\mathrm{d}t + D\,\Delta q = \Delta P$, (2)

где q – координата состояния физической системы; Δq – отклонение координаты состояния формы движения системы от ее равновесного значения; ΔP – разность потенциалов между системой и окружающей ее средой; I, R, D – конструктивные параметры системы (I – инертность, R – сопротивление, D – жесткость); t – время.

Как видим, принципиального различия между уравнением (1), определяющем колебания цены товара на такой экономической системе, как **рынок**, и уравнением (2), определяющем колебания координаты состояния какой-либо формы движения в физической системе, нет. Из этого следует вывод: рыночная цена товара является координатой состояния денежной формы движения на рынке.

Метрологический анализ рыночной цены товара

Так как цена товара Pr (см. принятые обозначения экономических величин)

$Pr = Mn /Gd$, (3)

где Mn – количество денег, а Gd – количество товара, то размерность цены товара (см. обозначения размерностей и единиц) равна

$\dim Pr = \$N^{-1}$, (4)

а единица цены товара – у.е./шт.

Размерность разности потенциалов ΔP из уравнения (2) определяется в системе физико-экономических величин формулой EK^{-1}, где Е – символ размерности энергии, а К – символ размерности обобщенной координаты состояния. В общем случае разность потенциалов ΔP из уравнения (2), соответствующая экономическому воздействию $F(t)$ из уравнения (1), определяется по главному определяющему уравнению

$\Delta P = \mathrm{d}W/\mathrm{d}q$, (5)

где $\mathrm{d}W$ – изменение энергии системы (энергетическое воздействие на систему), в применении к рынку оно соответствует изменению энергоэкономического эквивалента $\mathrm{d}(Ee)$; $\mathrm{d}q$ – изменение координаты состояния, соответствующее в такой экономической системе, как рынок, изменению цены товара $\mathrm{d}(Pr)$.

Экономическое воздействие на рыночную цену товара

Не существует прямой аналогии между зависимостью экономического воздействия $F(t)$ на рынок из уравнения (1) от энергоэкономического эквивалента Ee и зависимостью разности потенциалов ΔP от энергетического воздействия $\mathrm{d}W$, подобной уравнению (5), так как на рынке следует учитывать значение критерия товарного потока, равного отношению спроса к предложению (Dm/Sp). Поэтому уравнению (5) соответствует несколько иное уравнение

$F(t) = (Dm /Sp)\, \mathrm{d}(Ee)/\mathrm{d}(Pr)$. (6)

в котором критерий товарного потока (Dm /Sp), может быть как большим, так и меньшим единицы. Сопоставив уравнения (5) и (6), можно сделать вывод, что размерность экономического воздействия $F(t)$ такая же, как у разности потенциалов ΔP, так как критерий (Dm /Sp) безразмерен. Подставив в уравнение (6) уравнение (3), получаем

$F(t) = (Dm\,/Sp)\,\mathrm{d}(Ee)/\mathrm{d}(Mn/Gd)$, (7)

Уравнение (7) позволяет установить взаимосвязь между экономическим воздействием $F(t)$, изменением энергоэкономического эквивалента $\mathrm{d}(Ee)$ и количеством денег Mn, а также вывести формулу размерности для экономического воздействия. Она оказывается равной

$\dim F(t) = \mathrm{C}^2$, (8)

то есть <u>единица экономического воздействия</u> $F(t)$ равна шт^2. Заметим, что в роли разности потенциалов ΔP в <u>денежной форме движения</u> выступает спрос на товар с единицей штука в первой степени. Это означает, что на рыночную цену товара воздействие количества товара гораздо более сильное (на порядок), чем воздействие спроса на товар в денежной форме движения.

В.Лебедев и К.Лебедев (2002) применили вместо обобщенного уравнения колебаний (2) его частный случай - уравнение электрических колебаний, то есть они применили **электроэкономическую аналогию**, введя, как они назвали, масштабные коэффициенты связи между параметрами участка электрической цепи I, R, D и экономическими константами k, r, f, d_0 рынка. Но последние, по сути дела, являются всего лишь размерными коэффициентами.

Н.Рыжкова (2005) привела в этой связи также **механоэкономическую** и **акустикоэкономическую** аналогии, хотя большой необходимости в этом нет, так как все аналогии имеют под собой одной и то же обоснование: **уравнение динамики физической системы**.

Основным выводом данного раздела является следующий: метод физических аналогий имеет полное право применяться для анализа колебаний рыночной цены товара.

Литература

1. Лебедев В.В., Лебедев К.В., 2002, Математическое и и компьютерное моделирование экономики. – М.: НВТ-Дизайн, с.с. 114-115.
2. Рыжкова Н.А., 2005, Об электроэкономической, электромеханической и других аналогиях. (рукопись)

14.9. Кругооборот денег как экономической величины

Если считать **народное хозяйство** обобщенной экономической системой, то цена общего количества денежной массы, равная произведению цены дензнаков на их количество, остается постоянной, независимо от работы печатного станка. Неграмотная финансовая политика государства может лишь привести к инфляции, автоматически устанавливающей реальную цену дензнаков.

Деньги – специфическая экономическая величина, не подчиняющаяся физическим законам, как это можно было заметить при анализе таких экономических систем, как производство и сфера услуг. Деньги присутствуют в стоимости затрат и в цене товара при входе и на выходе из любой системы, но количество денег на единицу товара в системе растет несмотря на потери энергии в системе, накладные расходы и потери с отходами.

На схеме показан кругооборот денег между народным хозяйством, **банками** и **населением** (социумом).

Часть денег, не участвующая в этом кругообороте, сконцентрирована внутри народного хозяйства в виде **оборотных средств** и **основного капитала** (здания, сооружения, оборудование). Движение денег осуществляется в виде поступления денег из банка (финансовой системы), скрытых в стоимости товаров на входе в народное хозяйство, и возврате денег в банк после реализации товаров. При этом согласно закону Подолинского количество денег на выходе должно быть выше количества денег на входе за счет получения **прибыли**.

Часть денег на выходе народного хозяйства в виде заработной платы и пенсионных накоплений поступает населению и затем через рынок возвращается в банк. Банк тоже имеет свои накладные расходы. Часть прибыли, зарабатываемая народным хозяйством, оседает в банке под видом **комиссионных расходов** и является прибылью банка.

Капитал, оседающий в банке, пускается в оборот в виде инвестиций и кредитных ссуд с целью получения добавочной прибыли. Часть прибыли финансовой системы отбирается государством в виде **налогов**.

Поскольку цена общего количества денежной массы остается постоянной, то прибыль, оседающая в банках, независимо от того, кому она принадлежит (банку или кампаниям, хранящим деньги в банке), может возникнуть только вследствие убыли в другом месте. Этой убылью является оплата труда, не эквивалентная его ценности.

Чтобы такая ситуация не приводила к социальной напряженности в обществе, государство вмешивается в нее и возвращает населению часть прибыли в виде социальных выплат, расходов на образование, медицинские услуги, культуру, спорт и т.п.

У государства при этом существуют две цели противоположного характера: не снижать социальную напряженность ниже той черты, за которой может возникнуть кризисная ситуация, и стремиться обеспечить финансовую, в том числе и военную, мощь государства. История показывает, что далеко не всем руководителям государств удавалось и удается сочетать в приемлемом балансе эти две цели.

⨪ ⨪

⨪