

Виды движения и формы движения в механике

СОДЕРЖАНИЕ.

1. Современная классификация видов движения и ее недостатки.
2. Уточненная классификация форм механического движения.
3. Угол поворота и угловое перемещение – различные физические величины.
4. Выражение: "Земля вращается вокруг Солнца" неверно.
5. Сравнительный анализ понятий "перемещение" и "путь".
6. Являются ли конечные угол поворота и угловое перемещение векторами?
7. Уточненные определения координат состояния форм движения.
8. Определяющие уравнения для пути, пройденного по орбите.
9. Объединенная таблица единиц.

1. Современная классификация видов движения и ее недостатки.

В современной механике движение тела подразделяется на виды, и существует следующая классификация **видов движения** тела:

1. **Поступательное движение**, при котором любая прямая линия, связанная с телом, остается при движении параллельной самой себе.
2. **Вращательное движение** или вращение тела вокруг своей оси, считающейся неподвижной.
3. **Сложное движение** тела, состоящее из поступательного и вращательного движений.

Таким образом, в современной механике в основу классификации видов движения тела положено наличие или отсутствие вращения тела вокруг своей оси. Координатой состояния поступательно движущегося тела в механике считается вектор его **перемещения** dr , а координатой состояния вращающегося тела – вектор бесконечно малого **углового перемещения** $d\varphi$, модуль которого $d\varphi$ называют **углом поворота** (см. А.Чертов, 1990). При этом конечное угловое перемещение φ в современной механике считается скалярной безразмерной величиной. Покажем, что эта классификация видов механического движения нуждается в пересмотре.

Такая классификация не дает возможности систематизировать физические величины в механике хотя бы потому, что поступательное движение тела на самом деле не является простейшим видом движения. Оно присутствует при движении тела по криволинейной траектории.

Например, предположим, что Луна движется вокруг Земли поступательно по круговой орбите. Чтобы сохранить параллельность любой своей прямой линии самой себе при движении по орбите, Луна должна поворачиваться вокруг своей собственной оси с угловой скоростью, равной угловой скорости поворота радиуса орбиты Луны. То есть, имеют место два разных вращательных движения. А при движении Луны по эллиптической орбите к ним присоединяется одно прямолинейное движение вследствие того, что Луна то удаляется, то приближается к Земле.

Следовательно, простейшим видом движения является движение по прямолинейной траектории.

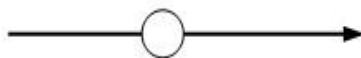
2. Уточненная классификация форм механического движения.

При рассмотрении механического движения в основу классификации видов движений должны быть положены свойства выбранных координат состояния форм движения. Форм механического движения тоже три, но они другие (см. рисунок):

При рассмотрении механического движения в основу классификации видов движений должны быть положены свойства выбранных координат состояния форм движения. Форм

1. Прямолинейная форма движения

Прямолинейное (линейное) перемещение $d\mathbf{l}$



Модуль линейного перемещения $d\mathbf{l}$



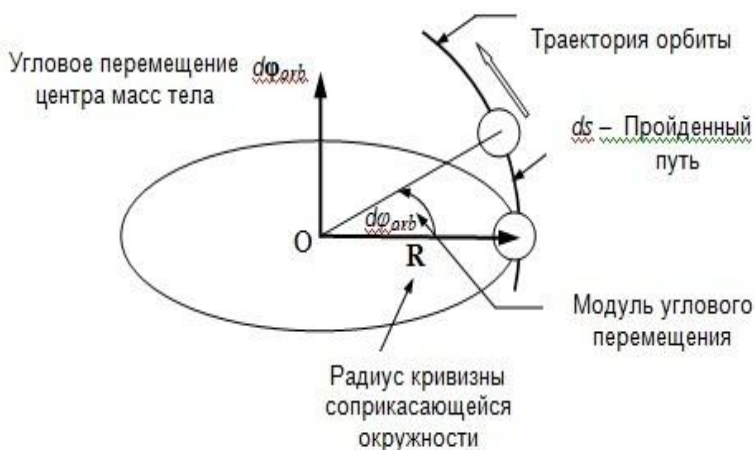
2. Вращательная форма движения

Угол поворота тела $d\varphi_{rot}$



Модуль угла поворота тела

3. Орбитальная форма движения



механического движения должно быть тоже три, но они другие:

1. Прямолинейная форма движения тела, координатой состояния которой является **линейное перемещение** центра масс тела $d\mathbf{l}$. Прямолинейная форма движения тела – это предельный случай вращательной формы движения при кривизне траектории, стремящейся к нулю.

2. Вращательная форма движения тела, координатой состояния которой является аксиальный вектор **угла поворота** $d\varphi_{rot}$. Эта форма движения относится только к вращению тела в целом. При рассмотрении этой формы движения не рассматривается самостоятельное движение отдельных частей тела, и ось вращения считается проходящей через неподвижный относительно системы отсчета центр масс. По этой причине и следует говорить только об угле поворота тела.

3. Орбитальная форма движения тела по криволинейной траектории, каждая из точек которой имеет свой **радиус кривизны R** , равный радиусу окружности, соприкасающейся с этой точкой. Эта форма движения даже в простейшем случае, когда центр соприкасающейся окружности O совмещается с центром системы отсчета, состоит из сочетания 4-х форм движения: двух прямолинейных (движения вдоль радиуса кривизны и перпендикулярно к нему) и двух вращательных (вращения движущегося тела вокруг собственного центра вращения и вращения

радиуса кривизны вокруг центра кривизны O). Соответственно, имеются и 4 координаты состояния.

При движении тела по орбите линия действия аксиального вектора угла поворота тела $d\phi_{rot}$ проходит через центр вращения движущегося тела. А через центр кривизны траектории проходит аксиальный вектор **углового перемещения** $d\phi_{orb}$ радиуса кривизны траектории. **Перемещение** центра масс движущегося тела $d\mathbf{r}$ становится векторной суммой элементарных перемещений различных прямолинейных форм движения, составляющих орбитальное движение тела. В более сложном случае следует учитывать, что сам центр кривизны O может двигаться по собственной криволинейной траектории.

Различие между орбитальной и вращательной формами движения заключается еще и в том, что радиус любой точки тела при собственном вращении вокруг своей оси измеряется в метрах, а **радиус кривизны** траектории R при орбитальном движении измеряется в м об^{-1} .

3. Угол поворота и угловое перемещение – различные физические величины.

Сам термин “перемещение” ничего не говорит ни о форме движения, ни о характере траектории. По определению **перемещение** – это вектор, соединяющий точку траектории, в которой находится центр масс тела в начальный момент времени, с другой точкой, в которой этот центр будет находиться через какой-то временной интервал. Этот термин не содержит в себе полной разъясняющей информации.

Для описания движения, при котором тело вращается вокруг условно неподвижной оси термин «перемещение» неприемлем. Ведь слово «перемещение» указывает на смену места. А при вращении тело не меняет место относительно собственной оси вращения, меняют место частицы тела, которые движутся по круговым орбитам. Угловое перемещение относится к частицам вращающегося тела, а не к нему самому. К тому же, при движении периферийных частиц вращающегося тела нас обычно интересует не их перемещение, а путь, пройденный этими частицами. От размера этого пути зависят диссипативные потери энергии при вращении тела во вязкой среде. Так что вращение тела как целого вокруг своей оси должно быть охарактеризовано только углом поворота.

Главный вывод из вышесказанного: угол поворота и угловое перемещение характеризуют разные формы движения – вращение тела в целом и движение тела по криволинейной орбите, при котором само тело может не вращаться вокруг собственной оси. Поэтому угол поворота является самостоятельной физической величиной, а не модулем углового перемещения. Угол поворота и угловое перемещение – разные физические величины одной природы. Общее между ними лишь то, что они обе измеряются в единицах плоского угла. Сопутствующим выводом является необходимость различного обозначения этих величин. Например, обозначать угол поворота как $d\phi_{rot}$, а угловое перемещение – как $d\phi_{orb}$.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано также: “Из определения углового перемещения следует, что это безразмерная величина, выражаемая в радианах“. Однако этот вывод отнюдь не следует из определения углового перемещения из того же справочника. Он следует из того, что угловое перемещение измеряется в СИ в единицах плоского угла. Это единица плоского угла “безразмерна“, потому что плоский угол - это математическая, а не физическая величина. А угол поворота должен являться размерной величиной, мало того, основной величиной.

Конечно, это обстоятельство не изменяет ни одного практического результата, но оно приводит к необходимости пересмотра ряда фундаментальных положений методологии и метрологии современной механики.

4. Выражение: "Земля вращается вокруг Солнца" неверно.

Это выражение следует заменить на "Земля движется вокруг Солнца", а точнее "Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите и вращается вокруг собственной оси".

Запишем угловую скорость собственного вращения Земли $\omega_{rot} = d\phi_{rot}/dt$ и угловую скорость вращения радиуса земной орбиты $\omega_{orb} = d\phi_{orb}/dt$. Угловая скорость собственного вращения Земли ω_{rot} существенно отличается от угловой скорости движения вращения радиуса орбиты вокруг Солнца ω_{orb} . Более того, угловая скорость Земли ω_{rot} постоянна, а угловая скорость ω_{orb} радиуса эллиптической орбиты переменна в пределах каждого орбитального цикла.

5. Сравнительный анализ понятий "перемещение" и "путь".

Понятие "путь" определяют, как длину траектории, пройденную центром масс тела по криволинейной траектории или длину круговой траектории, пройденную частицей вращающегося тела. С точки зрения динамики движения понятие "путь" более важно, чем понятие "перемещение", так как путь позволяет рассчитать диссипативные потери энергии при движении тела. При орбитальном движении по замкнутой орбите интерес представляет именно путь, а не перемещение. Ведь по завершению одного орбитального цикла перемещение центра масс тела становится равным нулю, а значение пути только наращивается с каждым циклом.

Проанализировано 6 авторитетных первоисточников, и во всех шести текстах определения понятия "перемещение" отличаются друг от друга. В словаре Глоссарий.ру: "Перемещение – векторная величина, равная радиусу-вектору, проведенному от начальной точки траектории к ее конечной точке". В Википедии: "Перемещение (в кинематике) – изменение местоположения физического тела в пространстве относительно выбранной системы отсчёта. Также перемещением называют вектор, характеризующий это изменение". В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) для определения вектора перемещения \mathbf{r}_{12} приводится уравнение $\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t_2) - \mathbf{r}(t_1)$ (1). В справочнике А.Чертова (1990) речь идет только об элементарном перемещении $d\mathbf{r}$, для которого определяющее уравнение не приводится. В учебнике по физике И.Савельева (2005): "Перемещение – это прямолинейный отрезок, проведенный из одной точки траектории в другую". Подобное смешение понятий оказалось возможным потому, что орбитальное движение в современной механике не выделено в качестве самостоятельной формы движения.

Мы полагаем, что для элементарного перемещения $d\mathbf{r}$ уравнение, связывающее его с угловым перемещением $d\phi_{orb}$, существует в таком виде:

$$d\mathbf{r} = [d\phi_{orb} \mathbf{R}] . \quad (2)$$

Пройденный по криволинейной траектории элементарный **путь** ds приближенно является произведением модулей элементарного углового перемещения радиуса кривизны траектории и самого радиуса кривизны (несколько больше модуля перемещения). Перемещение $d\mathbf{r}$ совпадает с пройденным путем ds только при прямолинейном движении.

Как видим, **виды механического движения** в современной механике и предложенные в данной статье **формы механического движения** – это категории двух разных классификаций. Современная классификация по видам движения не позволяет систематизировать физические величины. Предложенная классификация по формам движения позволяет это сделать.

Именно новая классификация форм движения выявила необходимость считать угол поворота основной физической величиной, имеющей свою размерность. А это влечет за собой необходимость рассмотрения ряда особенностей вращательной формы движения и орбитальной формы движения, не рассматриваемых в современной механике и в современной метрологии.

6. Являются ли конечные угол поворота и угловое перемещение векторами?

В дополнение к определению из справочника А.Чертова (1990) в учебнике И.Савельева (2005) поясняется, почему можно считать вектором только бесконечно малое угловое перемещение. Потому что "путь, проходимый любой точкой тела при очень малом повороте, можно считать прямолинейным". По этой причине конечное угловое перемещение вектором в современной механике не считается.

Но прямолинейным отрезком в геометрии является кратчайшее расстояние между двумя точками. А траектория движения – это понятие физическое, а не геометрическое, и прямолинейное движение в определении углового перемещения является математической абстракцией.

В словарной статье в англоязычной Википедии по поводу углового перемещения сказано так: *“Несмотря на наличие направления и числового значения, угловое перемещение не является вектором, потому что оно не подчиняется закону коммутативности”*. В учебнике И.Савельева (2005) сказано то же самое. Но угловое перемещение является не истинным, а аксиальным вектором, **псевдовектором**, а псевдовектор не обязан подчиняться закону коммутативности.

Надо указать на справедливость выдержки из той же статьи Википедии: *“В современном применении почти вся научная реальность строится на понятии углового перемещения. Можно сказать, что все измерения физических свойств состояются 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”*. Отсюда понятно, насколько важно, чтобы всё, что касается углового перемещения, было определено четко и обоснованно.

7. Уточненные определения координат состояния механического движения

На основании изложенного предлагаем такие определения линейного перемещения тела, угла поворота тела, углового перемещения точки тела, углового перемещения центра масс тела, орбитального перемещения центра масс тела.

Линейное перемещение тела – это *“вектор, оцениваемый расстоянием между положением центра масс тела в начальный момент времени и положением центра масс тела через какой-то промежуток времени при движении по прямолинейной траектории”*. Размерность линейного перемещения равна размерности длины.

Угол поворота тела – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса любой точки тела в процессе вращения тела вокруг центра его вращения. Значение модуля угла поворота тела изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*. Угол поворота тела является основной физической величиной, имеющей свою размерность.

Угловое перемещение точки вращающегося тела, – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса, проведенного из центра вращения тела к данной точке. Значение модуля углового перемещения изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*. Размерность углового перемещения точки равна размерности угла поворота тела.

Угловое перемещение центра вращения тела, движущегося по криволинейной орбите, – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса кривизны траектории, проведенного из центра соприкасающейся с орбитой окружности до центра вращения движущегося по орбите тела. Значение модуля углового перемещения изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*. Размерность углового перемещения равна размерности угла поворота тела.

Орбитальное перемещение центра вращения тела, движущегося по криволинейной орбите, – это *“путь, пройденный центром вращения тела по этой орбите”*. Размерность пути равна размерности длины.

Единицы всех величин разных форм движения в механике в СИ и в системе величин ЭСВП приведены ниже в таблице.

8. Определяющие уравнения для пути, пройденного по орбите

Начало координат в современной механике располагают в произвольной точке О (см. рисунок) и вводят понятие радиус-вектора движущегося центра масс тела

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 + \mathbf{R}, \quad (2)$$

9. Таблица единиц.

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

Название величины	в СИ		в ЭСВП	
	Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
Линейное перемещение	l	метр	l	метр
Угол поворота тела	φ	радиан	Φ_{rot}	оборот
Радиус вращения точки тела	R	метр	R	метр
Угловое перемещение тела по орбите	φ	радиан	Φ_{orb}	оборот
Радиус орбиты (Радиус кривизны)	R	метр	\mathbf{R}	м об ⁻¹
Кривизна орбиты	k	м ⁻¹	k	м ⁻¹ об

Различий между СИ и ЭСВП только два:

1. В СИ единицей угла считается **радиан**, не являющийся основной единицей. А в ЭСВП единицей угла считается **оборот**, являющийся основной единицей.

2. Радиус кривизны орбиты в СИ является скалярной величиной имеет единицу м⁻¹, а в ЭСВП – единицу м об⁻¹ и является векторной величиной. Соответственно, изменились единицы кривизны орбиты.

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.