

Беседа 41

«Сила Кориолиса»

Вначале – общее представление с точки зрения какого-то популяризатора науки:

Представьте, что кто-то, находясь на Северном полюсе, бросил мяч кому-то, кто находится на экваторе. Пока мяч летел, Земля немного повернулась вокруг своей оси, и ловящий успел сместиться к востоку. Если бросающий, целясь мячом, не учел этого движения Земли, мяч упал западнее (или левее) ловящего. С точки зрения человека на экваторе получается, что мяч летел левее, чем надо, с самого начала — как только его выпустил из рук бросающий, — и до тех пор, пока не приземлился.

Согласно [законам механики Ньютона](#), чтобы движущееся прямолинейно тело отклонилось от изначально заданной траектории, на него должна действовать какая-то внешняя сила. Значит, ловящий на экваторе должен сделать вывод, что брошенный мяч отклонился от прямолинейной траектории под действием некоей силы. Если бы мы смогли посмотреть на летящий мяч из космоса, мы бы увидели, что на самом деле никакая сила на мяч не действовала. Отклонение же траектории было вызвано тем, что Земля успела повернуться под мячом, пока он летел по прямой. Таким образом, действует в подобной ситуации какая-то сила или нет, — это целиком зависит от системы отсчета, в которой находится наблюдатель.

И подобное явление неизбежно возникает, когда есть какая-нибудь вращающаяся система координат — например, Земля. Для описания этого явления физики часто используют выражение фиктивная сила, имея в виду, что сила «реально» отсутствует, просто наблюдателю во вращающейся системе отсчета кажется, что она действует (другой пример фиктивной силы — это [центробежная сила](#)). И противоречий здесь нет никаких, поскольку оба наблюдателя единоклюны относительно реальной траектории полета мяча и уравнений, ее описывающих. Расходятся они лишь в терминах, которые они используют для описания этого движение.

Фиктивная сила, которая действует в приведенном выше примере, называется силой Кориолиса — в честь французского физика Гаспара Кориолиса, впервые описавшего этот эффект. Интересно, что именно сила Кориолиса определяет направление вращения вихрей циклонов, которые мы наблюдаем на снимках, полученных с метеоспутников. Изначально воздушные массы начинают прямолинейно устремляться из областей высокого атмосферного давления в области пониженного атмосферного давления, однако сила Кориолиса заставляет их закручиваться по спирали. (С тем же успехом можно утверждать, что воздушные потоки продолжают двигаться прямолинейно, но, поскольку Земля под ними поворачивается, нам, находящимся на поверхности планеты, кажется, что они движутся по спирали.) Вернемся к примеру с бросанием мяча с полюса к экватору. Нетрудно понять, что в Северном и Южном полушариях сила Кориолиса действует на движущееся тело в прямо противоположных направлениях. Именно поэтому в Северном полушарии вихри циклонов кажутся закрученными против часовой стрелки, а в Южном — по часовой стрелке.

Отсюда происходит бытующее в народе убеждение, что вода в канализационных отверстиях ванн и раковин в двух полушариях вращается в противоположных направлениях, — якобы это обусловлено эффектом Кориолиса. (Помню, когда я сам был студентом, мы всей группой, включая одного аргентинца, не один час провели в мужском туалете физического факультета Стэнфордского университета, наблюдая за потоками воды в раковине, в надежде подтвердить или опровергнуть эту гипотезу.) На самом же деле, хотя и верно, что сила Кориолиса действует противоположно в двух полушариях, направление закручивания воды в сливной воронке лишь отчасти определяется этим эффектом. Дело в том, что вода долгое время течет по водопроводным трубам, при этом в потоке воды образуются течения, которые, хоть их и трудно увидеть простым глазом, продолжают закручивать струю воды и тогда, когда она льется в раковину. Кроме того, когда вода уходит в сливное отверстие, могут создаваться похожие течения. Именно они определяют

направление движения воды в воронке, поскольку силы Кориолиса оказываются гораздо слабее этих течений. В обычной жизни направление закручивания воды в сливной воронке в северном и южном полушариях больше зависит от конфигурации канализационной системы, чем от действия природных сил.

Однако все-таки нашлась группа экспериментаторов, которой хватило терпения повторить этот опыт в «чистых» условиях. Они взяли идеально симметричную раковину сферической формы, устранили канализационные трубы, позволив воде проходить сквозь сливное отверстие свободно, оборудовали сливное отверстие автоматической заслонкой, которая открывалась лишь после того, как в воде успокаивались любые остаточные токи, — и увидели-таки эффект Кориолиса в действии! Несколько раз им даже удалось увидеть, как вода сначала под слабым внешним воздействием закручивалась в одну сторону, а затем силы Кориолиса брали верх, и направление спирали менялось на противоположное!

[Эффект Кориолиса • Джеймс Трефил, энциклопедия «Двести законов мироздания» \(elementy.ru\)](#)

Комментариев там 30 страниц, и они отражают нижайшую физическую подготовку большинства их авторов (за исключением одного-двух). Здесь они отмечены синим цветом и могут быть пропущены без вреда для психического здоровья.

Я же попробую указать на суть дела.

Метод «объяснения» явлений с помощью восприятия их наблюдателями, находящимися в разных «системах координат» кроме путаницы в головах слушателей ничего не «объясняет». Это видно и из некоторых комментариев:

«То у них сила закручивает циклоны, то это явление кажущееся...»

Эта «сила», конечно, существует, но вовсе не всегда, и не всегда в одинаковых условиях. Всякая сила есть следствие «воздействия» одного объекта на другой. Ньютоновская формула «силы» $F=ma$ может создать у слушателя впечатление, что эта «сила» существует в Природе реально. Реально же существуют совсем иные явления, но ВЫГЛЯДЕТЬ это может именно как у Ньютона. Ибо Ньютон хотел этим самым показать связь между ускорением тела определенной массы и неким внешним по отношению к телу «воздействием», которое он и назвал «силой». Это был первый шаг по пути математизации физики, введения в нее несуществующих в природе «воздействий».

Давайте рассмотрим другой пример. Вы стоите на берегу реки, а на другой ее стороне стоит ваш приятель, и собирается переплыть к вам на лодке. Он должен учитывать скорость течения, а также между прочим и форму лодки... Да-да, если это байдарка, то ему лучше поставить ее носом к течению, чтобы ее меньше сносило! И в конце концов ваш приятель подойдет к вашему берегу совсем не в том месте, где стоите вы. Это элементарно.

Но ведь никакой «вращающейся системы координат» тут нет?! Есть обычный случай сложения скоростей и сил.

Другой пример – вы хотите перебраться на другой берег на плоту, держась за трос, натянутый поперек реки. Сила со стороны течения, которая на середине реки будет оттягивать трос в сторону, совершенно не зависит от скорости, с которой вы доберетесь до этой середины. Никакой вращающейся системы координат тут нет, даже с точки зрения наблюдателей на берегу и на плоту.

Эти рассуждения о системах координат крайне затрудняют понимание подобных процессов у людей с «нетренированными мозгами». Особенно явно это проявляется, когда они начинают рассуждать о «силах», которые действуют на спутники и на вращающиеся грузы на веревках. (Именно в подобных случаях начинают привлекать идеи о разных «системах координат». Внешне процессы кажутся подобными, а по существу – ничего общего.) Интересно тут другое – математика для этих совершенно разных случаев получается одинаковая, ЕСЛИ вы вводите вот эту самую пресловутую «вращающуюся систему координат». Только некоторые «силы» вам приходится именовать «фиктивными» (а то и виртуальными!)

Попробую объяснить...

На спутник (и на все в нем находящееся) действует только одна сила – сила земного тяготения. Спутник со всем своим содержимым непрерывно падает на Землю; а вращение по кругу определяется сложением его линейной скорости (касательной, тангенциальной, как хотите называйте), и скорости вертикального падения. Для спутника на круговой орбите эти скорости при запуске «подобраны» так, чтобы при отклонении от движения по прямой (из-за линейной скорости) спутник переместился в направлении Земли ровно на определенную величину, и снова оказался на окружности орбиты. Никакие «центробежные и центростремительные» силы на спутник не действуют, им там неоткуда взяться!!!

В случае же камня на веревке такие силы действительно возникают, но уже из-за «сил инерции» (как бы мне ни было неприятно теперь эти слова произносить). Инерция (!), направленная в любой момент времени по направлению мгновенной скорости камня, вызывает натяжение веревки, которая препятствует этой силе двигаться «в интересующем ее направлении», по касательной к траектории вращения камня. И **эта сила называется центростремительной**, так как она вызывает «стремление» (тьфу!) тела к центру вращения.

Центростремительная сила — это название той составляющей действующих на тело сил, которая заставляет тело поворачивать. Это составляющая, направленная перпендикулярно мгновенному вектору скорости тела. Центробежной силы, приложенной к вращающемуся телу, не существует. ...центростремительная сила приложена к вращающемуся телу, а центробежная сила – к связи... к концу веревки вблизи центра вращения (*и растягивает эту веревку с другого конца*).

А если говорить правду, то эта сила никакая не центробежная, а одна-единственная (!) сила гравитации, сила притяжения (приталкивания) тела к Земле.

В качестве отрицательного примера для подражания стоит указать на статью «Некоторые особенности и парадоксы классической механики»

<http://www.ivchenkov.iri-as.org/MECHANICS.pdf> Геннадий Ивченков, к.т.н kashey@kwic.com

Автор «на голубом глазу» и даже с помощью математики пытается внушить читателю бредовую идею, что невесомость на спутнике возникает из взаимного уничтожения центробежной и центростремительной сил! И это происходит на сайте «ИИИ» (Институт интегративных исследований), претендующем на «развитие физики на основе «энергодинамики»»!

Как тут не вспомнить с детства любимую сказку:

Папа Карло ответил ему (Карабасу) сурово:

*— Эх, ты! С кем на старости лет связался, — с известными всему свету жуликами....!
Стыдно, доктор!*

*

То, что Г.Кориолис в конце 18 века (!) мог по-своему толковать и описывать физические процессы, так кто ж ему мог запретить, как говорится. Но в начале 21 века не понимать элементарную физику, да еще претендовать при этом на ее развитие, по меньшей мере смешно.

Так существует оно, «кориолисово ускорение» или нет?

Согласно Ньютону, ускорение есть изменение скорости движения тела... свидетельствующее о наличии некоторой «силы», приложенной к телу и вызывающей это движение. При движении тела по инерции (без приложения к нему явно выраженной силы) мы (в земных условиях) иногда можем наблюдать явное отклонение траектории тела от прямой линии (по которой оно обычно движется без приложения какой-то силы, по инерции). Из этого физик 18 века делает вывод, что на тело все же действует какая-то сила, только мы ее, может быть, не замечаем?

Внимательное рассмотрение задачи позволяет нам понять, что во время движения тела на него действует сила со стороны непосредственного контакта с вращающимся Земным шаром. Это тем более так, что на самолет, летящий с северного полюса на южный, никакая сила не действует. Это тем более так, потому что камень (ракета) брошенная с Северного полюса в южном направлении никакой такой силы на себе не испытывает. И только если он брошен с более южной широты, это явление будет проявляться тем сильнее, чем ближе точка броска к экватору.

А от скорости движения поезда в южном направлении эта сила зависит лишь постольку, поскольку сам поезд переходит из одного района в другой (ближе к экватору), где боковая сила сноса становится все больше и больше.

Вывод. «Ускорение Кориолиса» есть результат движения тела (проявление инерционности тела) в двух системах координат – неподвижной и вращающейся с переменной скоростью. А, в этой постановке задачи на движущееся тело (связанное !!! с двумя системами координат одновременно) действует сила в точке связи, зависящая по существу не от скорости его движения, (как это нам пытаются внушить авторы учебников), а от положения этой точки в поле скоростей в движущейся системе координат.

А написать какие-то математические «уравнения» для этого случая – это чисто математическая задача...