

Описание вращения

Выявлено логическое противоречие описаний вращательного и колебательного движений. Предложено непротиворечивое их описание.

Постановка вопроса

Угловые колебания являются частью вращения по незамкнутой круговой траектории. С необходимостью они являются неравномерными и реверсивными.

При замыкании круговой траектории угловые колебания переходят во вращение. Оно не требует реверсивности и может быть равномерным.

Таким образом, оба вида движения в зависимости от покрываемой ими круговой траектории переходят друг в друга и могут рассматриваться (соотноситься между собой) как целое и часть.

Однако применяемые описания этих движений различаются на уровне разрыва логики.

Сопоставим эти физические описания.

Колебания маятника в вертикальной плоскости

Ему дается следующее описание.

Отклонение маятника из вертикального положения на угол α соответствует векторному разложению действующей на тело силы тяжести P на две составляющие: $F_1 = P \cos \alpha$, направленную вдоль связи, и $F_2 = P \sin \alpha$, направленную перпендикулярно связи.

Составляющая F_2 возвращает маятник в положение равновесия, обеспечивая его угловые колебания. Эти колебания являются реверсивным неравномерным вращением маятника по части окружности.

Составляющая F_1 уравнивается силой противодействия F_1' связи $F_1' = -F_1$.

Сумма сил, действующих на тело маятника вдоль связи, постоянно равна нулю.

Горизонтальное вращение тела

Здесь описание неожиданно радикально меняется.

Считается, что на *равномерно* вращающееся тело вдоль связи с центром вращения действует уже не две, как в первом случае, а всего одна сила. Она именуется *центростремительной* и направлена к центру вращения.

Во всех учебниках физики всегда дается изображение этой единственной, ничем не уравновешенной силы. Она, как считается, и вызывает само вращение, являющееся криволинейным и *равноускоренным*.

По действию она аналогична возвращающей силе F_2 вертикального маятника, колеблющегося перпендикулярно связи.

Круговое вращение неожиданно оказывается одновременно *равномерным и равноускоренным*.

Еще раз сопоставим для полной ясности: *колебания вызваны силой, перпендикулярной связи, вращение - силой, направленной вдоль связи*.

Иначе говоря: *в колебательном движении сила действует по или против движения, а во вращательном – перпендикулярно движению*.

Каким это образом действующая сила может вызвать движение, перпендикулярное ее направлению, - такой вопрос даже не поднимается.

Упоминается также другая сила вращения – *центробежная*. Она возникает на основании *третьего закона Ньютона*, равна по величине и противоположна по направлению центростремительной силе.

Но она считается приложенной уже не к телу, а только лишь *к его связи*.

Это утверждается в учебнике для физико-математических и физико-технических факультетов университетов. Что означает наивысшую возможную постановку вопроса.

Используемые цитаты

Рассмотрим соответствующие цитаты. Вот описание вращательного движения:

“При равномерном движении по кривой (скорость постоянна по величине, тангенциальная составляющая ускорения равна нулю) тангенциальная составляющая силы равна нулю, и вся сила есть сила центростремительная. Эта сила, действуя по нормали к траектории, заставляет тело непрерывно заворачивать, не изменяя его скорости по величине; если бы эта сила отсутствовала, то тело двигалось бы прямолинейно... По третьему закону Ньютона, наряду с центростремительной силой, приложенной к движущемуся по кривой телу, существует вторая сила, равная ей по величине, направленная в обратную сторону и приложенная к тому телу (к тем “связям”), которое заставляет движущееся тело заворачивать. Эта сила называется центробежной. Таким образом, центростремительная и центробежная силы – это те две силы, существование которых обусловлено третьим законом Ньютона; приложены они к разным телам. Например, в случае вращения камня, привязанного к веревке, центростремительная сила приложена к камню, а центробежная – к веревке; в случае трамвая, идущего по закруглению, центростремительная сила приложена к трамваю, а центробежная – к рельсам; в случае Луны, обращающейся вокруг Земли, центростремительная сила приложена к Луне, центробежная – к Земле” [1], с. 65, 66.

Жирным курсивом выделены места, требующие комментария.

А вот другая цитата, описывающая колебательное движение:

“Другим примером колебательного движения может служить движение плоского маятника (рис.240). Если нить маятника вертикальна, то сила тяжести P , приложенная к грузу маятника, уравновешивается натяжением нити. Однако, если маятник отклонить из положения равновесия на некоторый угол φ , то только часть силы тяжести P уравновесится реакцией нити, именно, составляющая силы тяжести P_n , параллельная нити. Составляющая P_t , перпендикулярная к нити, численно равная $P \sin \varphi$ и направленная к положению равновесия маятника, остается неуравновешенной. Если угол φ мал, то синус можно заменить самим углом, тогда P_t приближенно равна $P \varphi$. Здесь смещение груза маятника из положения равновесия определяется углом φ . Сила, возвращающая груз маятника в положение равновесия, при малом угле φ пропорциональна углу φ .

Под влиянием этой силы маятник придет в колебательное движение около положения равновесия. В этом случае движение определяется не упругой силой, а составляющей силы тяжести P_t , которая направлена к положению равновесия и пропорциональна (при малых углах φ) отклонению маятника из положения равновесия. Таким образом, эта сила по своему характеру аналогична упругой силе. Колебания, вызываемые этой силой, при малых углах φ совпадают по характеру движения с колебаниями, вызываемыми упругой силой.

Силы, не упругие по своей природе, но аналогичные им по виду зависимости от смещения, называются квазиупругими.

Приведенные примеры показывают, что действие упругой или квазиупругой силы вызывают колебательное движение” (там же, с. 373, 374).

Конечно, учебники в обычном понимании не читают. Их просто заучивают. Принимая на веру то, что после считается уже знанием.

Еще цитата:

“Необходимо, однако, отметить, что ядерная модель атома не согласуется с требованиями классической электродинамики. Дело в том, что электрон, вращающийся вокруг ядра, испытывает ускорение, а следовательно (ссылка), он должен излучать электромагнитные волны и вследствие этого терять энергию. В результате его движение будет неустойчивым, и он должен упасть на ядро. Так как в действительности атомы являются весьма устойчивыми образованиями, то отсюда следует, что для внутриатомных процессов неприменимы законы классической электродинамики, установленные на основании наблюдений макроскопических процессов” [2], с. 534.

Другая цитата:

“Предположение, что атом может находиться в ряде устойчивых (стационарных) состояний, характеризуемых определенными значениями энергии W_i , как мы видели, подтверждается прямыми опытами. Вместе с тем, такие состояния невозможны с точки зрения классической электродинамики... Находясь в одном из

стационарных состояний движения, электрон, вопреки требованиям классической электродинамики, не излучает... Оправданием этих гипотез служит то, что они приводят к численным значениям частот ν_{ik} , в точности совпадающим с их значениями, найденными из опыта” (там же, с. 550).

Возможно, кто-то из физиков имеет понимание, отличное от процитированного. Но остается фактом, что это изложение не вызвало возражений или каких либо уточняющих вопросов. Пример, наглядно демонстрирующий наличие логической проблемы.

Итак, в существующем описании дается следующее понимание:

1. При равномерном движении по окружности, на тело действует *центростремительная сила, направленная к центру окружности*. Под действием этой силы тело движется *равноускоренно* по круговой траектории.

2. На связь тела, обеспечивающую его вращение, *действует центробежная сила, направленная от центра окружности*.

3. По третьему закону Ньютона эти силы равны по величине и противоположны по направлению.

4. Они считаются *приложенными к разным телам*.

5. К вращающемуся телу приложена только центростремительная сила, действующая со стороны связи, к связи – только центробежная сила, действующая со стороны тела, но *не приложенная* к нему.

При этом, хотя колебательное движение и является частью вращательного, в его описании отсутствует упоминание обеих сил, образующих вращение, – центростремительной и центробежной. Это можно было бы отнести всего лишь к адаптации изложения, но все же это скорее свидетельство неполноты понимания.

Что и не удивительно, поскольку оба применяемых описания даны чуть ли не во времена Галилея, еще в самом начале становления физики. Его неполнота, естественная для своего времени, ныне выглядит неприемлемой.

Предлагаемое описание

Предлагается следующее понимание:

1. При вращении тела возникает *центробежная сила, направленная от оси вращения*. Ее наличие легко устанавливается экспериментально, помещением между телом и связью пружинного динамометра. В точности так же, как действие силы тяжести на тело маятника. По действию на тело она полностью аналогична составляющей силы тяжести, направленной вдоль связи маятника.

2. Центробежная сила уравнивается *центростремительной силой*, образуемой связью.

3. Обе действующие на тело силы равны по величине и противоположны по направлению.

4. Сумма сил, действующих на вращающееся тело вдоль связи, *постоянно равна нулю*.

5. Тело движется равномерно, т.е. *без ускорения* по круговой траектории. Чем полностью объясняется “загадка” устойчивости атома, считающаяся не разрешимой. Для круговой траектории это *инерционное галилеевское* движение [3].

Что полностью аналогично сумме сил, действующих на тело маятника вдоль связи. Здесь нет более никакого разрыва логики. Тело не имеет никакого перемещения вдоль связи и перемещается только лишь в перпендикулярном ей направлении.

При *равномерном* вращении тела сила, действующая перпендикулярно связи, тоже равна нулю. В этом и только в этом заключается отличие *равномерного* вращения и колебательного движения. Последнее является не равномерным, т.к. оно происходит *под действием силы*, направленной вдоль движения. Оно также не является равноускоренным, т.к. эта сила *не постоянна* по направлению и величине.

Таково уточнение, относящееся к вращательному движению.

Что же до угловых колебаний маятника, то оно по-прежнему происходит под действием упругой силы $F_2 = P \sin \alpha$, направленной перпендикулярно связи.

Однако вдоль связи действуют уже не одна сила F_1 - проекция силы тяжести P на направление связи ($F_1 = P \cos \alpha$), а сумма сил $F_1 + F_3$, направленная от оси угловых поворотов, где F_3 - центробежная сила, определяемая по формуле $F_3 = \frac{mV^2}{R}$, где R - радиус колебаний, определяемый длиной связи.

Эти силы, действующие на тело маятника, уравновешены реакцией связи: $F_1 + F_3 = -(F_1' + F_3')$, вследствие чего сумма сил, направленная вдоль связи, постоянно равна нулю.

Таково уточнение, относящееся к описанию угловых колебаний маятника.

Вращательно-колебательное движение

Кроме кругового движения имеется замкнутое движение по эллиптической траектории. Оно образуется двумя независимыми движениями – равномерным вращением по окружности с радиусом R , равным малой полуоси эллипса, и линейными гармоническими колебаниями относительно этой окружности вдоль большой оси эллипса.

Математически равномерное вращение по окружности представимо как сумма двух линейных гармонических колебаний, с разностью фаз $\frac{\pi}{2}$:

$$x = R \sin \omega t,$$

$$y = R \cos \omega t,$$

где x, y – декартовские координаты вращательного движения с центром вращения в начале координат,

R – амплитуда колебательного движения, равная радиусу вращения,

ω – угловая скорость вращения, равная $\frac{V}{R}$, где V – скорость кругового движения.

Оба гармонических колебания совершают колебательный энергообмен. Однако их сумма дает все время энергию, остающуюся постоянной величиной.

Поэтому равномерное вращение физически является инерционным, не сопровождаемым энергообменом.

Движение по эллиптической траектории выражается формулами:

$$x = (R + \Delta R) \sin \omega t = R \sin \omega t + \Delta R \sin \omega t$$

$$y = R \cos \omega t$$

где ΔR – разность большой и малой полуосей эллипса.

Оно является вращательно-колебательным, образуемым двумя движениями. Равномерным инерционным вращением по круговой траектории с радиусом R , равным малой полуоси эллипса. И линейными гармоническими колебаниями с амплитудой ΔR относительно круговой траектории вдоль большой оси эллипса.

Это колебательное движение является неравномерным и реверсивным. С силой и ускорением, переменными по величине и по реверсивным направлению. С внутренним колебательным энергообменом и переходом потенциальной энергии в кинетическую и обратно

Литература:

1. С.Э. Фриш и А.В. Тиморева “Курс общей физики”, том I, Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., 1955. Допущено Главным управлением университетов, экономических и юридических вузов Министерства высшего образования СССР в качества учебника для физико-математических и физико-технических факультетов государственных университетов, издание 6-е, исправленное, с.с. 65 – 66, 373 – 374. Тираж 50000.
2. С.Э. Фриш и А.В. Тиморева “Курс общей физики” том III, Госуд. изд. технико-теоретич. лит-ры, 1951, с. 534, 550. Тираж 75000 экз
3. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8444.html>