Некоторые особенности и парадоксы классической механики

Геннадий Ивченков, к.т.н
kashey@kwic.com

Казалось бы, классическая механика – это полностью сформировавшееся дисциплина и все ее проблемы давно решены. В данной статье автор не собирается ревизовать положения классической механики или вводить новые теории, но только пытается обратить внимание на некоторые парадоксы, “выплывающие” при решениях конкретных задач классической механики. В частности, это связано с попытками получить безопорное движение посредством механических устройств – инерциоидов, в конструкции которых их авторы попытались использовать некоторые из этих парадоксов (2).

1. Ускорение вращательного движения

Нужно отметить, что понятие ускорения и силы во вращательном движении весьма странное, полностью запутывающее студентов. Ускорение, которое заставляет объект менять направление движения и двигаться по кривой (окружности), называется центростремительным и направлено к центру кривизны. Оно элементарно выводится и является, вроде бы, физически правильным: $a = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R$ (1, 10, 11). Это ускоренное движение к центру вызывает силу инерции и соответствующее ускорение, называемое центробежным, которое направлено от центра кривизны. Разные источники считают фиктивным то центростремительное ускорение, то центробежное, а то и оба сразу. В то же время, именно центробежное ускорение является реальным (не центростремительное). Для спутника оно направлено противоположно ускорению свободного падения, противодействует земной гравитации, сохраняя спутник на орбите. Оно создает перегрузку на центрифугах и очень широко используется на практике. На шарик, привязанный к веревке при вращении действует как раз центробежное ускорение (центробежная сила), а не центростремительное. Центробежная сила и растягивает веревку и вызывает реакцию опоры, к которой привязана веревка. Тогда причем же здесь центростремительное ускорение? Получается, что без центростремительного ускорения можно обойтись и оно-то, по видимому, и является фиктивным.

Но, получается, что в центрифуге все тела испытывают перегрузку, в то время, как на орбите спутника ко всем телам (их элементам и к каждой материальной точке) приложена сила гравитации, которая полностью скомпенсирована центробежной силой, на спутнике действует невесомость и (в отличии от центрифуги) отсутствует деформация тел там находящихся.

Все это, вроде бы, черезвычайно просто (центростремительное ускорение выводится “в два действия”), но в результате все это получается весьма запутанным.

2. Переход из поступательного движения во вращательное

Переход поступательного движения во вращательное и наоборот вызывает много непониманий и вопросов (парадоксов). Можно попробывать в них разобраться.

Предположим, что некий шарик (частица, материальное тело) массой m летит со скоростью V и попадает в незакрепленную “улитку” – короткий цилиндр со входом. Схема представлена на рис. 1. Считаем, что масса цилиндра m_1 пренебрежимо мала по сравнению с массой шарика m и трение отсутствует. Шарик, попадая в цилиндр, закручивается, создавая давление на стенки цилиндра.

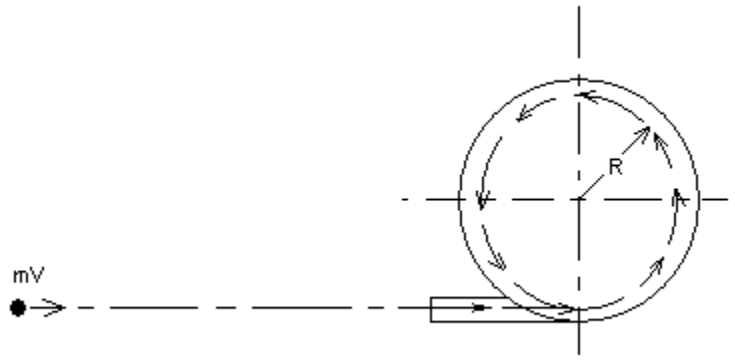

Рис. 1

Импульс силы, действующий на участок стенки цилиндра за время движения по нему шарика определяется по формуле:

$$Fdt = ma_c \frac{1}{\omega}\sin\varphi d\varphi = m\frac{R}{V}\frac{V^2}{R}\sin\varphi d\varphi = mV\sin\varphi d\varphi \qquad [2.1],$$

где $a_c = \frac{V^2}{R}$ - центробежное ускорение

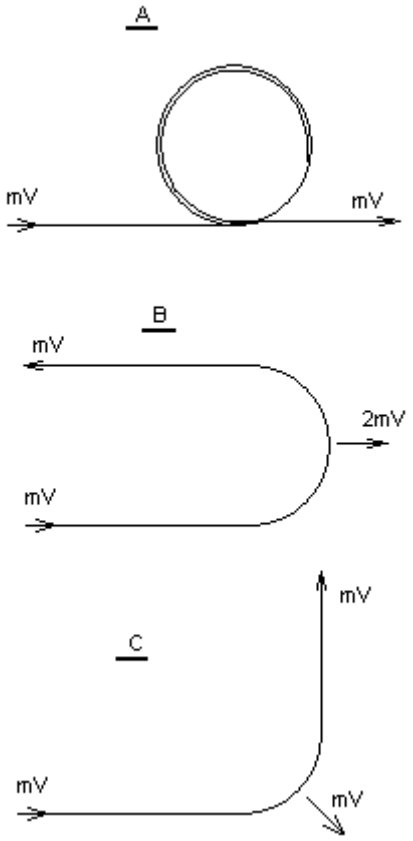

Рис. 2

Если шарик не остается в улитке, то, в случае прохождения шариком полной окружности (рис.2.А), импульс, передаваемый “улитке”, очевидно равен нулю так как импульсы от одной половины окружности и другой половины окружности взаимно компенсируются.

В случае прохождения шариком половины окружности (рис. 2 В), после чего он вылитает из улитки, импульс силы, приложенной к цилиндру (“улитке”) будет равен:

$Ft = mV\int_0^{\pi} \sin\varphi d\varphi = -mV\left[\cos\varphi\right]_0^{\pi} = 2mV$, при этом импульс силы будет приложен в том же направлении, что и исходная скорость шарика (как при упругом ударе).

При прохождении шариком четверти окружности (рис. 2 С), соответственно, импульс силы, переданный “улитке” будет равен:,

$Ft = mV\int_0^{\pi/2} \sin\varphi d\varphi = -mV\left[\cos\varphi\right]_0^{\pi/2} = mV$, при этом импульс силы будет приложен под углом 45 град относительно исходной скорости шарика (упругий удар под углом, как в бильярде).

Таким образом получается, что импульс силы, приложенный к “улитке”, зависит от углового расстояния φ, пойденного шариком. Если шарик проходит целое число

оборотов, то импульс силы, приложенный к “улитке”, равен нулю. А если число оборотов не целое, то импульс силы и его направление зависит от избыточного углового расстояния Δφ, пройденного шариком (см. Рис. 2):

$Ft = mV\int_0^{\Delta\varphi}\sin\varphi d\varphi$, где $\Delta\varphi = \varphi - 2n\pi$, а n – число оборотов.

Этот вопрос остается открытым в случае, когда шарик остается в “улитке” и его угловое расстояние φ, пройденное в “улитке”, равно бесконечности.

Нужно отметить, что случаи, приведенные на рис.2, когда шарик после некоторого пройденного в “улитке” углового расстояния φ вылетает из нее, выглядят как варианты упругого удара твердых материальных тел..

Теперь вернемся к случаю, приведенному на рис. 1. В данном случае шарик никуда не вылетает и остается в “улитке”. Вообще-то, этот случай можно представить как неупругий удар, как будто шарик влетает в “черный ящик” и там остается (проверено экспериментально). Соответственно, количество движения “улитки” с шариком должно быть равно исходному количеству движения влетающего шарика. Это значит, что “улитка” при влете шарика получает импульс силы и движется вместе с шариком, находящимся внутри “улитки”, вдоль вектора **V**. В то же время, поступательная кинетическая энергия шарика тождественно переходит в его вращательную энергию и на движение “улитки” ничего не остается. Если же шарик остается вращаться в улитке без сопротивления, то улитка как бы запасает кинетическую энергию и, если ее открыть, то эта энергия переходит в кинетическую энергию движения. Кстати, непонимание этого приводит многих авторов инерциоидов к ошибочным заключениям (2).

Задачу можно упростить. Предположим, что шарик попадает в короткую трубу с заглушкой. Он ударяется о заглушку и отлетает назад. В это время вход в трубу закрывается другой заглушкой. Шарик ударяется о нее и летит в другую сторону и так до бесконечности. Потерями на трение и деформацию цилиндра и шарика пренебрегаем. Теперь вопрос, куда двинется труба или она будет только двигаться взад – вперед, оставаясь на месте? Очевидно, что если шарик застрянет в трубе (неупругий удар), то трубе с шариком передается исходный момент шарика mV.

Из механики известно, что при вращательном движении существует аналогия поступательному движению (1, 8). При этом, аналогом поступательной скорости $\vec{V}$ является угловая скорость $\vec{\omega}$, аналогом массы является момент инерции $J = \sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2$ или $J = mR^2$ для одной материальной точки, аналогом количества движения $\vec{p}$ является момент количества движения $\vec{L} = J\vec{\omega}$, а аналогом силы является момент силы M $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = J\frac{d\vec{\omega}}{dt} = mR\frac{1}{R}\left[\vec{R}\times\frac{d\vec{V}}{dt}\right] = m\left[\vec{R}\times\vec{a}\right] = \vec{R}\times\vec{F}$.

А также работа: $A = \int_0^{\varphi}\left[\vec{M}\right]d\varphi$ [2.2].

В то же время, **центробежное ускорение в моменте силы и в работе не участвует.**

Следовательно, можно использовать формулы для поступательного движения, но подставив туда соответствующие величины для вращательного движения.

Но здесь необходимо отметить, что момент количества движения шарика **L** при его движении по окружности – вращательном движении, который выполняет функцию количества движения **p** при поступательном движении, **не тождественно равен исходному количеству движения шарика p при входе в "улитку".**
При попадании шарика в "улитку" количество движения $\vec{p} = m\vec{v}$ переходит в момент количества движения $\vec{L} = J\vec{\omega}$ (причем, сразу появляется момент с плечом R). Таким образом, вообще-то, должно быть тождественное равенство $\vec{p} \equiv \vec{L}$ (?). В то же время

$$\vec{L} = J\vec{\omega} = mR\frac{\left[\vec{V}\times\vec{R}\right]}{R} = m\left[\vec{V}\times\vec{R}\right] \qquad [2.3].$$

Или в скалярном виде $L = mVR$.
В это выражение входит дополнительная размерность (расстояния до центра R) и, соответственно, **размерности количества движения и момента количества движения не совпадают.** Не совпадают и вектора (вектор **ω** ортогонален вектору **V**), в то время, как скорость и масса шарика при движении в "улитке" не меняется. Таким образом, говорить о переходе исходного поступательного количества движения шарика **p** в момент количества вращательного движения **L** шарика в "улитке" не приходится, так как **количество движения и момент количества движения – это разные физические величины:** $mV \neq J\omega$.
В то же время кинетическая энергия влетающего шарика равна кинетической энергии вращения шарика в "улитке". В этом случае момент количества движения **L** полностью выполняет функцию количества движения **p** при поступательном движении перед попаданием в "улитку":

$$E_{kin} = \frac{L^2}{2J} = \frac{\left(mRV\right)^2}{2mR^2} = \frac{mV^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

и, соответственно, $E_{kin} = \frac{p^2}{2m} = \frac{L^2}{2J}$ [2.4].

Таким образом, получается парадокс, связанный с тем, что **центробежное ускорение a_c никак не участвует ни в работе вращательного движения (формула [2.2]), ни в его кинетической энергии (формула [2.4]). В то же время оно создает силу, действующую на стенки "улитки" (формула [2.1]).**
Получается, что эти два ускорения : окружное ускорение - следствие разгона тела при вращении (возникающая при этом тангенциальная сила выполняет работу) $a_{okp} = \frac{1}{R}\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{R^2}\frac{dV_{okp}}{dt}$ и центробежное ускорение (возникающая при этом центробежная сила работу не выполняет) $a_c = \frac{V_{okp}^2}{R}$ непосредственно не связаны?

В то же время из пращи вылетает камень (спортивный молот) со скоростью V_{okp}, а метатель получает импульс mV_{okp} в противоположную сторону. Причем, он

получает его сразу, без разгона, в момент открытия пращи (или отпускания троса). Формально это выглядит как реактивное движение $m_{ball}V_{okp} = m_{man}V$, но скорость V_{okp} он получает сразу, то есть ускорение должно было бы быть $a \to \infty$, чего не бывает. Этот парадокс решается, если принять во внимание то, что и метатель и камень (спортивный молот) вращаются вокруг одного центра с одинаковой угловой скоростью $\omega_{ball} = \omega_{man}$, но с разными окружными скоростями $V = \frac{m_{ball}V_{okp}}{m_{man}}$.

Соответственно, при открытии пращи они оба разлетаются в разные стороны со своими скоростями, которые были уже заранее получены при вращении. **Это является одним из вариантов перехода вращательного движения в поступательное. Таким образом, этот случай не является реактивным движением,** хотя формула 3-го закона совпадает с полученной для данного случая. **Кроме того, эти две массы – метатель и камень – вылетают из разных точек, разнесенных на расстояние (плечо)** $r_\Sigma = r_{1`} + r_1\frac{m_{ball}}{m_{man}} = r_1\left(1+\frac{m_{ball}}{m_{man}}\right)$, где r_1 - радиус бросания камня. Данный случай проиллюстрирован на рис. 3.

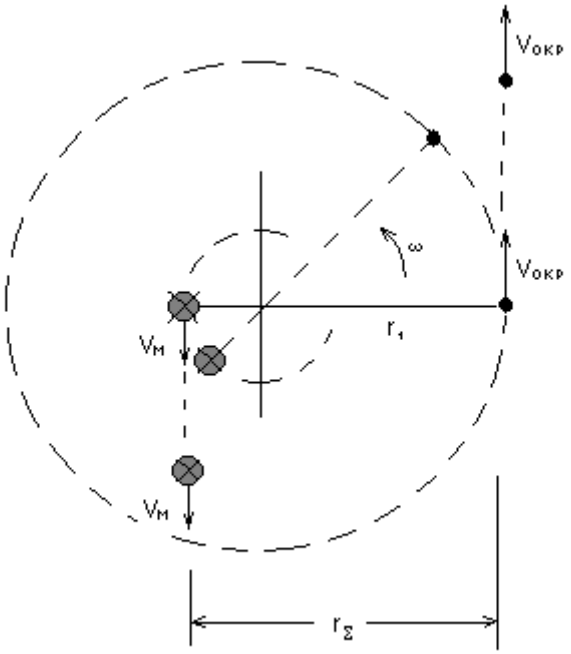

Рис. 3

Но, вообще-то, в таком случае момент должен оставаться (?), так как любое движение является суммой поступательного и вращательного движений (1). **Странный вариант 3-го закона, однако.**

Также можно дополнительно показать (вообще-то, это известно из механики (1, 6)), что координаты центра масс (центра инерции) системы материальных тел не изменяются при изменении конфигурации материальных тел, произошедшей под действием внутренних сил.

Например, в случае, когда система материальных тел разлетается в разные стороны по 3-му закону, то получается, что **центр масс остается на прежнем месте.**

Рассмотрим одномерный случай, когда две материальные точки движутся вдоль координатной оси x. При этом исходная координата центра масс материальных точек будет равна $\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}=x_0$. При "разбегании" материальных точек под действием внутренних сил их координаты меняются за время Δt (вектора скорости V_1 и V_2 направлены в противоположные стороны):

$\frac{\left(x_1+\Delta tV_1\right)m_1+\left(x_2-\Delta tV_2\right)m_2}{m_1+m_2}=x_{\Delta t}$. Так как по 3-му закону $m_1V_1=m_2V_2$, то

$$x_{\Delta t}=\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}+\Delta t\frac{V_1m_1-V_2m_2}{m_1+m_2}=x_0+\Delta t\frac{0}{m_1+m_2}=x_0.$$

Или $\frac{\Sigma m_ix_i}{\Sigma m_i}=\frac{\Sigma m_i\left(x_i+L_i\right)}{\Sigma m_i}=x_0$, где $L_i=\Delta tV_i$ для координаты x и то же для других координат.

Это значит, что координата центра масс не меняется, если движение происходит под действием внутренних сил (по 3-му закону Ньютона).
Получается, что если "Большой взрыв" имел место, что, впрочем, сомнительно, то центр масс Вселенной остался на месте возникновения "Большого взрыва".
В вышеприведенном же случае с "улиткой" если "пистолет с шариком" является элементом системы и выстреливается внутренними силами, то и здесь центр масс остается на месте, а платформа, на которой закреплен "пистолет" начинает двигаться туда-сюда **относительно неподвижного центра масс.** Движение останавливается, когда шарик в "улитке" остановится. Таким образом, **внутренние силы могут изменить положение материальных тел, входящих в замкнутую систему, но не могут изменить положение центра масс такой системы.** В случае реактивных сил, например, ракетного двигателя, центр масс ракеты и продуктов сгорания остается на месте, хотя эти объекты удаляются друг от друга.

3. Тангециальное ускорение при вращении тел в перпендикулярных направлениях

Продолжим рассмотрение случаев взаимоперехода поступательного движения во вращательное. Вернемся к случаю, аналогичному представленному на рис. 1. Теперь рассмотрим случай, когда "улитка" с шариком (см. рис. 1) вращается вокруг оси, проходящей по ее диаметру.

Предположим, что есть некая трубка в форме кольца, которая не вращается вокруг своей оси и в которой без сопротивления с постоянной скоростью V движется некое материальное тело, например, катится шарик.(или течет вода). И это кольцо вращается вокруг оси, проходящей по ее диаметру (схема приведена на рис. 4). Тогда получается, что шарик движется по кольцу и одновременно вращается вместе с ним. При этом вектора угловых скоростей шарика и кольца взаимно перпендикулярны $\vec{\omega}_1\perp\vec{\omega}_2$, где $\vec{\omega}_1$ - угловая скорость вращения шарика в трубке, а $\vec{\omega}_2$ - угловая скорость вращения кольца. В таком случае получается, что

тангенциальное ускорение шарика, направленное вдоль трубки, должно отсутствовать, так как все ускорения являются результатом вращательного движения и направлены перпендикулярно стенкам трубки и их тангенциальные проекции отсутствуют. В то же время, можно показать, что такие ускорения имеют место.

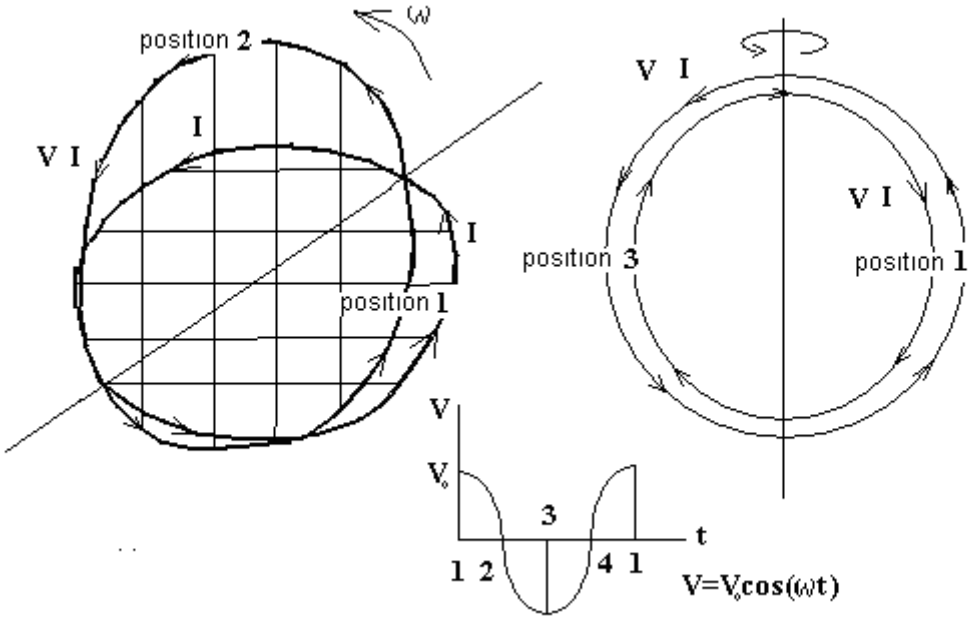

Рис. 4

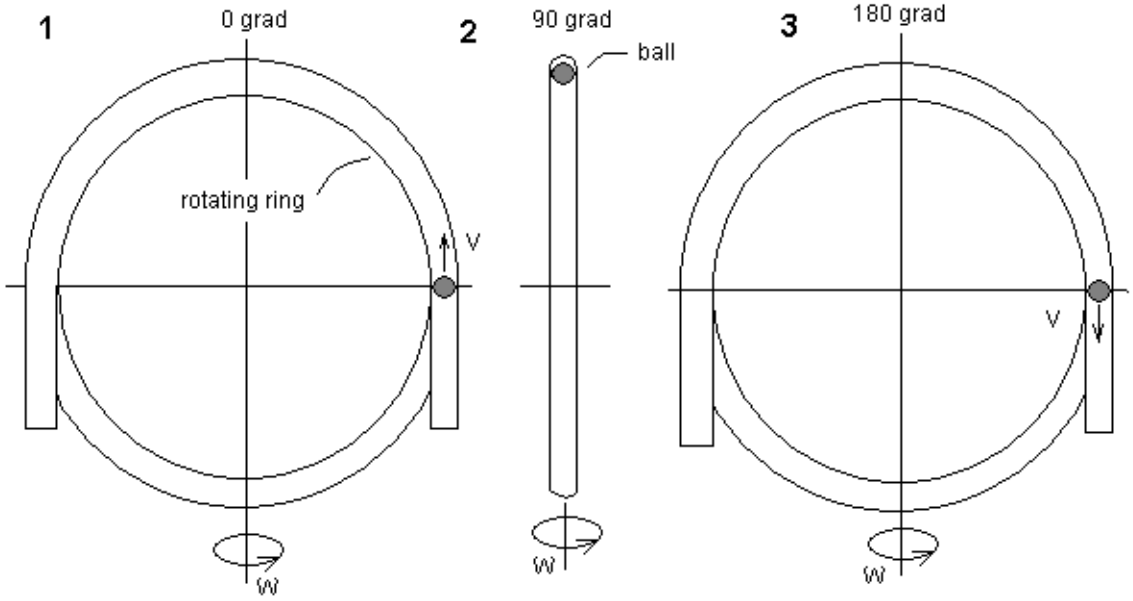

Рис. 5

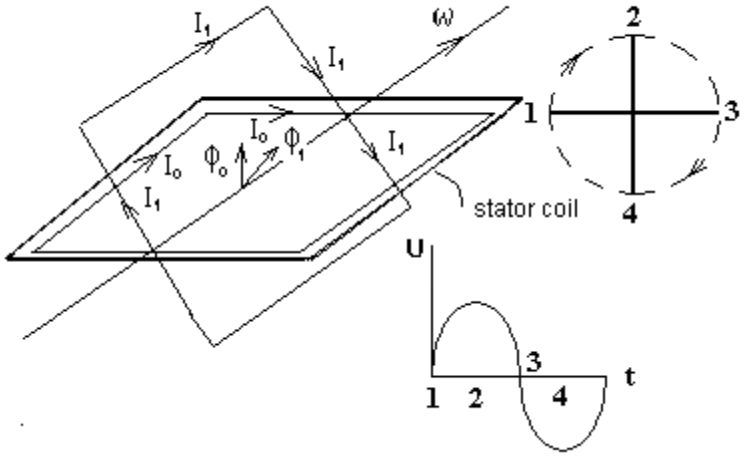

Рис. 6

Далее предположим, что это трубчатое кольцо, которое, опять же, не вращается вокруг своей оси, изначально расположено в горизонтальной плоскости (положение 1 на рисунке 4, 5). В нее встреливается шарик со скоростью V. Начинаем вращать кольцо вокруг оси, расположенной по диаметру, таким образом, что шарик совершает полный оборот за время, за которое кольцо повернется на 360 градусов. Продолжаем вращать кольцо вокруг оси (переворачивать его) до тех пор, пока оно не повернется на 180 градусов (положение 3 на рисунке 4, 5) и не вернется опять в горизонтальную плоскость. При этом вектор угловой скорости шарика (воды) **ω** повернется на 180 градусов. Нетрудно видеть, что теперь скорость шарика (воды) осталась прежней V, но оказалась направленной в противоположную сторону.

Это же относится и к рамке с текущем в ней постоянным током (рис.6). В этом случае (рис. 6) при повороте на 180 градусов ток течет в противоположную сторону (хотя сила тока в рамке не изменилась) и магнитный поток (и магнитный момент) меняет направление на противоположное. Если в горизонтальной плоскости рядом с вращающейся рамкой расположить проводящий контур (рис.6), то в нем будет наводиться ЭДС из за изменения магнитного потока через этот контур, что очень широко используется на практике.

Но получается, что изменение скорости шарика на противоположное может произойти только если шарик (элемент жидкости или электроны проводимости в рамке с током) во время поворота испытывал(и) **ускорение, направленное вдоль контура.** С точки зрения механики это выглядит достаточно странно, так как скорость движения шарика (и сила тока в рамке) в плоскости контура не меняется, а меняется только проекция скорости на горизонтальную плоскость. В то же время, можно сделать эксперимент, когда шарик физически переносится из положение 1 (см. рис.5) в положение 3, изменяя при этом скорость движения на противоположную. **То есть, это физическая реальность**. В принципе, при вращении такого контура из положение 1 в положение 3, вектор **ω,** опять же,

поворачивается на 180 градусов и возникает гироскопический момент (1, 9), но, при этом, сила (момент) приложена к оси, перпендикулярной плоскости контура (препятствует повороту), а не к элементу на ободе (и не направлена вдоль обода). При движении шарика во вращающемся кольце возникает кориолисово ускорение $\vec{a}_k = 2\vec{\omega}\times\vec{V}$ (1, 9). Как видно из формулы, это ускорение всегда направлено перпендикулярно вектору скорости шарика **V**. Оно приложено к кольцу перпендикулярно его элементу и тормозит его поворот. Но, при этом, его проекция на направление движения шарика **V** равна нулю и никак не сказывается на движении шарика внутри кольца – не тормозит и не разгоняет его.

Но, так или иначе, получается, что выражение для скорости шарика (жидкости) будет следующим:

$$V = V_0 \cos(\omega t) \qquad [3.1],$$

где ω – угловая скорость вращения рамки.

Тогда выражение для ускорение шарика (жидкости) будет:

$$\frac{dV}{dt} = a = -V_0 \omega \sin(\omega t) \qquad [3.2]$$

Опять же, формально V являются проекцией тангенциальной скорости шарика **V** на горизонтальную плоскость. Соответственно, проекция вектора скорости **V** на горизонтальную плоскость проходит через нуль когда кольцо расположено под 90 градусов к горизонтальной плоскости (положение 2 на рис. 4, 5). А при повороте на 180 градусов кольцо **физически** располагается в горизонтальной плоскости (положение 3 на рис. 4, 5), но скорость шарика (жидкости) **направлена в противоположную сторону**. **Опять же, получается, что шарик затормозился до нуля и снова разогнался, но в противоположную сторону (?).** Кольцо можно затормозить в этом положении и из него вылетит шарик со скоростью V (рис. 5) из той же точки где он влетел, но в направлении, противоположном начальному.

С точки зрения сохранения импульса это выглядит как упругий удар, при котором шарик влетает в некий черный ящик, отталкивается от его стенки и отлетает обратно с тем же количеством движения (см. рис. 2В в параграфе 2). В этом случае шарик в момент соударения со стенкой тормозится до нуля и снова разгоняется за счет ее упругости. Но вот в случае, описанном в данном параграфе, шарик не соударяется ни с какой стенкой и, в отличии от случая описанного в параграфе 2, опять же, вылетает из той же точки где он влетел в кольцо.

То есть получается, что при повороте кольца (кольцевой трубки) вокруг оси вращения из положение 1 в положение 3, движущиеся в нем элементы (шарик, вода) **как бы тормозятся и далее снова разгоняются** (?). Это же относится к элементам любого вращающегося в двух плоскостях тела, например, к диску гироскопа.

4. Качели

Одним из парадоксов классической механики являются качели, особенно те, у которых качающийся связан с перекладиной веревкой или цепью. Очевидно, что сила, связывающая качающегося с перекладиной может быть направлена только вдоль веревки и не может быть никаких сил, направленных по касательной к траектории качания. Также очевидно, что эта сила не производит момента сил (он

равен нулю) и не может увеличить амплитуду качания. Единственным вариантом является тангенциальная сила, приложенная непосредственно к качающемуся. Вообще-то, качели являются **классическим маятником, находящимся в потенциальном поле и не являющимся замкнутой системой.** В литературе раскачивание качелей объясняется параметрическим резонансом (7, 9), когда, например, к грузу маятника прикреплен другой маятник. В частности, размахивание руками в такт движению ускоряет и облегчает движение, что очень легко проверить (опять же, параметрический резонанс).

5. "Нулевая" (невозмущенная) траектория

Процитируем 1-й закон Ньютона: "*Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения"*.

Но во Вселенной не существует тел, к которым не приложены никакие силы. Но если силы, приложенные к телу, скомпенсированы (взаимно уравновешены), то оно движется по некой невозмущенной (далее проходит под названием "нулевой") траектории и на всей траектории движения отсутствует ускорение, приложенное к телу. При этом отсутствует и силы, механически действующие на части данного тела – растягивающие или сжимающие его, то есть, меняющие его конфигурацию (на тело и его элементы действует невесомость). Но это **не является "равномерным прямолинейным движением".** Идеальными (не реализующимися никогда) случаями такого движения являются равномерное прямолинейное движение и **вращение по круговой траектории вокруг гравитирующего тела**. В реальности же **движение тела всегда является комбинацией этих двух случаев и тело движется по некой криволинейной траектории, имеющей радиус кривизны.** И в каждой точке "нулевой" траектории соблюдается равенство $\sum \vec{F}_i = 0$, то есть **векторная сумма всех приложенных сил равна нулю. Это равенство однозначно формирует траекторию тела и оно не может ее покинуть без приложения дополнительной силы**. Тело, движущееся по "нулевой" траектории, может при движении менять направление и скорость $m\vec{V} \neq const$; силы, действующие на тело могут быть переменными во времени, но, опять же, в каждый момент времени они должны быть скомпенсированы и, соответственно, **по всей "нулевой" траектории должно соблюдаться условие** $\sum \vec{F}_i = 0$ и, кроме того, **полная энергия тела (гамильтониан) при движении тела по "нулевой" траектории постоянна** $H = U + T = const$ **(** $\delta H = 0$**,** (1)). А, так как любое тело во Вселенной всегда движется в потенциальном поле, то при движении постоянно происходит перераспределение кинетической и потенциальной энергии, но, опять же, суммарная энергия остается постоянной. Примером является эллиптическая траектория тела, вращающегося вокруг центра гравитации. **Тело же меняет траекторию только тогда, когда появляется нескомпенсированная сила, приложенная к телу** $\sum \vec{F}_i + \vec{F}_{ncomp} \neq 0$. Тогда на тело действует ускорение

$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i + \vec{F}_{ncomp}}{m}$. После прекращения действия этой силы тело переходит на другую "нулевую" траекторию, где, опять же, соблюдается условия $\sum \vec{F}_i = 0$ и $H_1 = U_1 + T_1 = const$, но с другими значениями кинетической и потенциальной энергии U_1 и T_1.

Так как все во Вселенной совершает вращательное движение на всех уровнях (от галактик до элементарных частиц), как вокруг гравитирующего тела, так и вокруг своей оси, то в природе не существует "инерциальных систем отсчета" и эти "инерциальные системы отсчета"является очень существенным упрощением и приближением к реальному закону движения тел.

Тогда формулировку 1-го закона следует уточнить: *Материалные точки (тела) , когда на них не действуют нескомпенесированные силы, находятся в движения по криволинейной траектории на которой соблюдаются условия: векторная сумма всех приложенных сил равна нулю* $\sum \vec{F}_i = 0$ *и полная энергия тела постоянна* $\delta H = 0$.

Далее можно было бы предположить, что прнципиально не существует ни равномерного и прямолинейного движения, ни вращения по идеальной круговой траектории и что все движение, так или иначе, является вращательным вокруг неких близких или удаленных центров кривизны и, таким образом, например, траектория тела от точки А до Б всегда является отрезком некой траектории со своим радиусом кривизны. Аналогом является контур с постоянным током, который обязан быть где-нибудь замкнут (иначе ток не потечет).

Одно замечание: В то же время, существует так называемый гравитационный маневр, когда космический аппарат (или некое космическое тело) использует притяжение движущейся планеты для поворота и изменения скорости движения по траектории (планета как бы тянет его за собой). При этом возрастает полная энергия тела (по закону сохранения полная энергия планеты уменьшается на ту же величину). Все это можно было бы представить, как действие сторонней силы. Но возникает вопрос, а действует ли в этом случае на тело нескомпенсированная сила? Если действует, то действует ли на элементы тела перегрузка (отсутствует ли там невесомость), так как $\sum \vec{F}_i \neq 0$?

6. К вопросу о введении "ложных" (лишних) сущностей

Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora

"Если какое-то явление может быть объяснено двумя способами, например, первым — через привлечение сущностей (терминов, факторов, преобразований и т. п.) A, B и C, а вторым — через A, B, C и D, и при этом оба способа дают одинаковый результат, при прочих равных условиях следует считать верным первое объяснение, то есть сущность D — лишняя, и её привлечение избыточно". (13)

Из термеха известно, что траектория тела может быть описана (определена) при помощи функции Лагража L (1, 3) (здесь $L = T - U$ - равна разности кинетической и потенциальной энергии движущегося тела) по принципу

минимизации **действия S** при δS = 0 (1, 3), где $\delta S = S_{(t+\delta t)} - S_t = 0$ (то есть δS фактически является дифференциалом S при $\delta t \to 0$), где $S = \int_{t_1}^{t_2} L_{(t)} dt = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{mV^2}{2} - mgh \right) dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{mV_{(t)}^2}{2} dt - \int_{t_1}^{t_2} mgh_{(t)} dt$ в гравитационном поле Земли. И при отсутствии потенциального поля $S = \int_{t_1}^{t_2} \frac{mV_{(t)}^2}{2} dt = \frac{m}{2} \int_{t_1}^{t_2} V_{(t)}^2 dt$ и в этом случае $\delta S = S' \delta t = \frac{m}{2} \left(V_{t_2}^2 - V_{t_1}^2 \right) = 0$ при $\left(t_2 - t_1 \right) \to 0$, тогда V не меняется за время $\left(t_2 - t_1 \right)$ и $V = const$. Вывод получается очевидным и тривиальным, так как теоретически при отсутствии потенциального поля и внешней силы тело движется равномерно и прямолинейно и, соответственно, кинетическая энергия и, скорость тела не меняется.

Нужно отметить, что **действие S** в формализме Лагранжа есть функция интегральная и весьма странная – интеграл кинетической энергии за время $t_2 - t_1$, **который не имеет и не может иметь физического смысла.** Вообще-то, производная кинетической энергии по времени есть мощность (ватт = дж/сек), произведение (интеграл) мощности по времени – есть энергия тела (дж), а вот что такое **действие S**, не знает никто (наверное, не знал и сам Лагранж). Другого интеграла – **произведения энергии на время действия быть не может** и он (S) - это математическая химера, которая не может иметь физического смысла. В то же время, при некоторых преобразованиях лагранжева механика превращается в ньютонову и позволяет упростить запись и облегчить решения. Кстати, в лагранжевой механике отсутствует сила как физическая величина.

Вообще-то, лагранжева механика подпадает под определение "лишней сущности", так как является ньютоновой механикой, но только в другой записи, не дающей ничего нового, кроме упрощения записи.

Далее (исторически) последовала **гамильтонова механика** (1, 4), где гамильтонианом является $H = pV - L_t = mV^2 - L_t = T + U$, что более логично, так как определяет полную энергию тела и ее изменение во времени. После некоторых преобразований гамильтонова механика тоже переходит в ньютонову: "*В целом, есть небольшой выигрыш в работе от решения проблемы в гамильтоновом, а не в лагранжевом формализме, хотя в конечном счёте это приводит к тем же решениям, что и лагранжева механика и законы движения Ньютона.*" (4)

Теперь уже прошло почти 200 лет и все с нетерпением ждут еще одной механики, ведь нельзя же останавливаться.

Но идея, заложенная в лагранжевой механике, оказалась заразительной. Воспользовавшись таким же принципом – интегрированием интегральной величины, Гельмгольц ввел в физику так называемый "векторный потенциал" (5, 13), который затем попал в электродинамику и прочно в ней обосновался. Этот "потенциал" $\vec{A}$ является интегралом интегральной величины: $\vec{B} = rot\vec{A}$ (в одномерном случае $[A] = \int B_x dx$) и определяется с точностью до некой функции, как любой интеграл. При этом "векторный потенциал" будто бы претендует на

нахождение ЭДС в разомкнутом элементе проводника ($\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$), что не соответствует действительности. Решения же на основе “векторного потенциала” совпадают с решениями на основе классической первой формулы из уравнений Максвелла $rot\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$ и работают только для замкнутого контура ($r_0 - r$). Это можно проиллюстрировать на примере простой задачи – нужно найти ЭДС, наведенную в отрезке провода, помещенного на расстоянии r от провода с переменным током. В решении появляется логарифм расстояния r (12), но так как логарифм не имеет размерности, то интеграл превращается в определенный и решение для ЭДС, соответственно, имеет вид $U = \frac{\mu_0 l}{2\pi}\frac{dI}{dt}\ln\frac{r_0}{r}$, где r_0 и r - расстояние между проводом с током и проводами контура. Но так как $r_0 \neq 0$, то ЭДС определяется только в контуре с двумя проводниками, отстоящими от проводника с током на расстояния r_0 и r. **Таким образом, “векторный потенциал” не дает ничего нового по сравнению с классическим формулами Фарадея и Максвелла,** а только “упрощает запись”, и, следовательно, **является “лишней сущностью”**. Аналогия с лагранжевым **действием S** напрашивается.

Для любителей интегрировать интегральную величину автор может предложить дальнейшее развитие данной идеи:

Известно, что ускорение это $a = \frac{dV}{dt}$. В то же время $V = \frac{dl}{dt}$. А если предположить, что есть некая величина ξ, производная по времени от которой является длиной l: $l = \frac{d\xi}{dt}$? Длина l, соответственно, является интегральной величиной ξ. Тогда дифференциал ξ определяет длину элемента l и (в трехмерном виде) - размерность пространства ($\delta\vec{\xi} = 0$). Чем этот “подход” хуже векторного потенциала или лагранжева **действия S**? Идея-то какая! Это же связь пространства и времени! ОТО тут “лопнет от зависти”. Перспектива огромная!
Это к вопросу о введении ложных (лишних) сущностей.

7. Заключение

Казалось бы, классическая механика – это полностью сформировавшееся дисциплина и все ее проблемы давно решены. Но иногда при решении конкретных задач возникают проблемы с пониманием поставленной задачи и с ее решением. Это связано с парадоксами, “выплывающими” при решениях некоторых конкретных задач механики. В данной статье автор не собирается ревизовать положения классической механики, но только пытается обратить внимание на ряд парадоксов классической механики, некоторые из которых освещены в данной статье.

8. Литература

1. Б. Яворский, А. Детлаф, Справочник по физике, Москва, 1964
2. М. Г. Иванов, “Безопорные двигатели космических аппаратов”, М.: , Издательство ЛКИ., 2008
3. “Лагражиан”, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B6%D0%B8%D0%B0%D0%BD
4. Гамильтонова механика, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0
5. Векторный потанциал, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB
6. Центр масс, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81
7. А. И. Слободянюк, Физика, Параметрические колебания, http://www.physbook.ru/index.php/%D0%A1%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D1%8F%D0%BD%D1%8E%D0%BA_%D0%90.%D0%98._%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10/17.8
8. Ю. Петрук, Вращательное движение тела, https://www.syl.ru/article/189925/new_vraschatelnoe-dvijenie-tela-zakon-vraschatelnogo-dvijeniya
9. Гироскоп, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF
10. Центростремительное ускорение, Википедия, https://wiki2.org/ru/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5
11. Центробежная сила, Википедия, https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/75204
12. Андре Анго, «Математика для электро-и радиоинженеров», Наука, 1965
13. Принцип “Бритва Оккама”, http://neponyatnoe.ru/princip-britva-okkama/