Астахов Александр Алексеевич

Физика вращения

Ставрополь 2006 г.

СОДЕРЖАНИЕ.

Введение……..…….....2

1. Физика вращательного движения……3
1.1. Примеры классической модели вращательного движения……3
1.2. Инерция и силы инерции……8
1.2.1 Двойственность сил инерции в современной физике……8
1.2.2. Формирование сил взаимодействия.....……..28
1.3. Противоречия вращательного движения……57
1.4. Механизм преобразования движения по направлению…… 82
2. Вращение тел в небесной механике……97
3. Явление Кориолиса……100
3.1. Первый вариант проявления ускорения Кориолиса.
Скорость относительного движения направлена вдоль радиуса вращающейся системы …….100
3.2. Второй вариант проявления ускорения Кориолиса.
Тело движется вдоль окружности, перпендикулярно радиусу вращающейся системы ……124
3.3. Общий случай проявления ускорения Кориолиса……136
4. Классики теоретической механики о явлении Кориолиса……..137
4.1. Геометрический вывод ускорения Кориолиса Н. Е. Жуковского……....138
4.2. Геометрический вывод ускорения Кориолиса С. М. Тарга……..146
4.3 Аналитический вывод ускорения Кориолиса И. М. Воронкова……..150
4.4. Аналитический вывод ускорения Кориолиса Н. Е. Жуковского и П. Аппеля…….……151
4.5. Аналитический вывод ускорения Кориолиса Р. Фейнмана……152
5. Методологические ошибки дифференцирования криволинейного движения ……158
6. Критерий истинности определения ускорения Кориолиса……162
7. Ускорение Кориолиса при переходе через центр вращения……...181
8. Отклонение свободно падающих тел в условиях Земли……..183
9. Краткий анализ взглядов современных авторов на явление Кориолиса……....185
10. Безопорное поступательное движение……194
10.1. Общие вопросы безопорного движения……...194
10.2. Силы, действующие в инерцоиде без учета инерции движения грузов по окружности…….....197
10.3. Теоретическое обоснование безопорного движения……..200
10.4. Обзор конструкций инерцоидов……...217
10.5. Законы природы и законы физики……...226

ВВЕДЕНИЕ.

Настоящая работа посвящена анализу физической сущности вращательного движения.

Работая над проблемой частых сбоев счетчиков газа кориолисового типа, нам пришлось вспомнить теорию вращательного движения, с которым в основном, и связано проявление силы Кориолиса.

Мы вдруг с удивлением для себя поняли, что знакомая из школьного курса физики теория вращения не дает ответов на основные вопросы вращательного движения.

Что вообще такое и как образуется центростремительное ускорение в отсутствии движения к центру? Что такое и как образуется центробежная сила? Как происходит поворот вектора линейной скорости?... и многие другие.

Ни в учебной литературе, ни в научной литературе, ни в публикациях современных авторов мы не нашли удовлетворительных ответов на интересующие нас вопросы. Работ, посвященных вращению достаточно много, но все они не выходят за рамки математического описания вращательного движения на уровне его кинематики и не отражают его физическую сущность. В работе отмечены многочисленные противоречия существующей математической модели вращательного движения во всех его проявлениях. Мы попытались разобраться в физической сущности вращательного движения на уровне физического механизма преобразования движения по направлению.

Работа написана в форме заочного диалога с читателями, которые являются потенциальными оппонентами. Все вопросы, связанные с вращением рассматриваются многократно с разных сторон, по возможности упреждая вопросы и возражения читателей. В каждой новой главе мы, так или иначе, вновь возвращаемся к уже рассмотренным вопросам на новом уровне, что позволяет провести всесторонний анализ сделанных выводов. Читатель может не согласиться с предложенными физическими механизмами, позволяющими разрешить существующие противоречия классической модели преобразования движения по направлению. Однако мы не претендуем на истину в последней инстанции и предлагаем обсудить проблему совместно с заинтересованными специалистами.

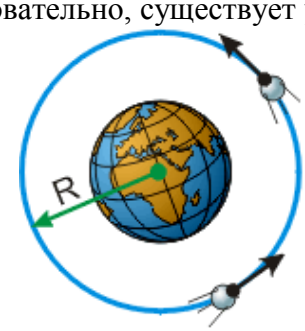
1. ФИЗИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.

1.1. ПРИМЕРЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.

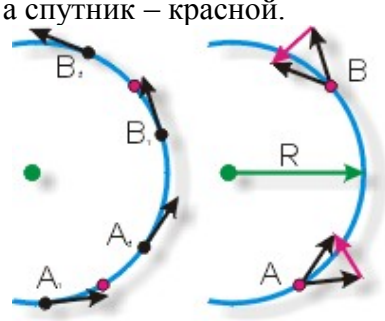
(Учебник "Физика-9" Тема 13. Введение в кинематику)

§ 13-л. Центростремительное ускорение

Рассмотрим спутник, летящий по круговой орбите вокруг Земли. Так как спутник летит равномерно, значит, его скорость не изменяется по величине. Но так как спутник летит по окружности, то вектор его скорости непрерывно меняет направление. Итак, несмотря на постоянство скорости по величине, вектор скорости изменяется. Следовательно, существует ускорение.



Найдем, куда направлен вектор ускорения спутника в точках А и В. Для этого сделаем схематичный чертеж, обозначив Землю зеленой точкой, а спутник – красной.



Чтобы найти вектор ускорения, выберем вблизи положений спутника А и В пары точек A_1, A_2 и B_1, B_2. Изобразим в каждой из них вектор скорости спутника (левый чертеж). Пользуясь правилом треугольника, совместим начала векторов и проведем красным цветом вектор разности (правый чертеж).

Как видите, вектор разности скоростей, а, значит, и сонаправленный с ним вектор ускорения спутника направлен к центру окружности, где расположена Земля. Именно поэтому ускорение и называется центростремительным. Итак, тело, равномерно движущееся по окружности, имеет ускорение, вектор которого направлен к центру этой окружности.

Центростремительное ускорение можно вычислять по формуле

$$a = \Delta V/\Delta t$$

однако при равномерном движении по окружности проще воспользоваться формулой

$$a = V^2_л/R$$

Она выводится из геометрических построений. Они достаточно громоздки, и мы не будем их рассматривать.

(О. Ф. Кабардин «ФИЗИКА» МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991)

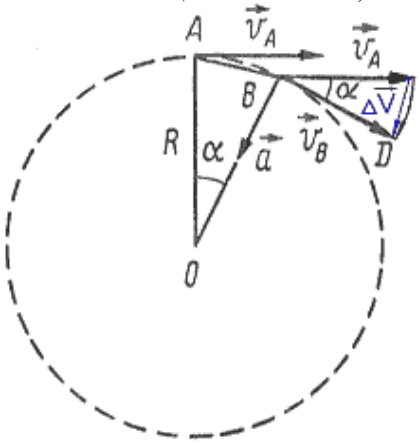


Рис. 17

Определим ускорение тела, движущегося равномерно по окружности радиусом R. За интервал времени Δt тело проходит путь $\Delta s = v * \Delta t$.

Для нахождения вектора ускорения a нужно найти разность векторов скорости $\Delta v = v_B - v_A$ и определить отношение изменения скорости к малому интервалу времени Δt, за который произошло это изменение:

$a = \Delta v / \Delta t$

из подобия треугольников OAB и BCД следует:

$OA / AB = BC / СД$ (3.1)

Если интервал времени мал, то мал и угол α. При малых значениях угла α длина хорды AB примерно равна длине дуги AB, т.е. $AB \approx v * \Delta t$ и $СД = \Delta v$. То из выражения (3.1) получаем:

$R / v * \Delta t \approx v / \Delta v$ (3.2)

$\Delta v = v^2 * \Delta t / R$ (3.3)

Поскольку

$a = \Delta v / \Delta t$ (3.4)

из выражений (3.3) и (3.4) получаем:

$$\boldsymbol{a = v^2 / R}$$

Классическая физика утверждает, что чем меньше угол альфа, тем ближе направление вектора (ΔV) к направлению на центр окружности (O), следовательно, *«центростремительное ускорение равное отношению вектора (ΔV) к интервалу времени (Δt) при условии, что интервал времени очень мал, направлено на центр (O)»*. Однако из рисунка 17 видно, что вектор (Δv) приближается к направлению на центр окружности только потому, что вектор (v_A) при стремлении (Δt) к нулю приближается к направлению вектора (v_B) и соответственно к направлению касательной.

(нумерация формул и рисунков оригинальная)

(Mechanicshistori.ru Классическая механика)

Вращательное движение. Равномерное движение точки по окружности. Вектор угловой скорости. Угловое ускорение

При равноускоренном движении частица движется все время в одной плоскости, образуемой начальным вектором скорости **v**(0) и постоянным ускорением **a** (докажите это). Однако очевидно, что далеко не всякое плоское движение является равноускоренным.

Пример плоского неравноускоренного движения, известный вам из школьного курса физики, — это **равномерное движение по окружности**. Давайте рассмотрим его здесь. Поскольку это движение плоское, выберем в качестве этой плоскости, плоскость XY. Начало координат выберем в центре окружности (рис. 1).

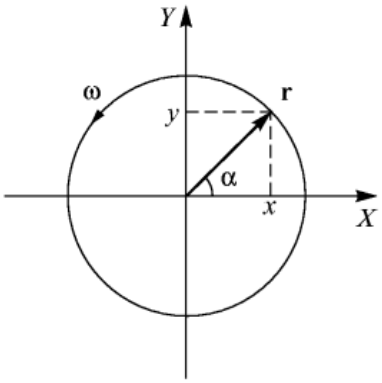


Рис. 1. Равномерное движение по окружности

Координаты частицы выразим через величину радиуса окружности r и угол α:

$x = r*\cos\alpha$

$y = r*\sin\alpha$ (1)

Поскольку движение происходит по окружности, r от времени не зависит. Функцией времени является только угол α(t). Производная от угла по времени называется угловой скоростью вращения ω:

$\omega = d\alpha(t)/dt$ (2)

При равномерном вращении по окружности ω=const и можно проинтегрировать это уравнение. В результате

$\alpha = \omega*t + const$ (3)

Константа интегрирования выбирается из условия α(0)=0. Таким образом,

$x(t) = r*\cos(\omega*t)$

$y(t) = r*\sin(\omega*t)$ (4)

Это **полностью** определяет движение. Так, скорость материальной точки определяется производными по времени от координат:

$V_x = dx/dt = -\omega * r * \sin(\omega*t)$

$Vy = dy/dt = \omega * r * \cos(\omega*t)$ (5)

Скалярное произведение равно :

$\mathbf{r} * \mathbf{v} = \mathbf{x}* \mathbf{Vx} + \mathbf{y} * \mathbf{V_y} = r * \cos(\omega*t) * (-\omega * r * \sin(\omega*t) + r * \sin(\omega*t) * (\omega * r * \cos(\omega*t)$ (6)

что означает перпендикулярность векторов **r** и **v**, то есть скорость действительно направлена по касательной к окружности. Абсолютная величина скорости равна:

$$|V| = \sqrt{V_x + V_y} = \sqrt{\omega^2 * r^2 * \sin^2(\omega*t) + \omega^2 * r^2 * \cos^2(\omega*t)} = \omega * r = \text{const} \quad (7)$$

она не зависит от времени, движение действительно равномерное (но по окружности).

Дифференцируя по времени скорость, мы можем определить ускорение:

$a_x = dV_x/dt = -\omega^2 * r * \cos(\omega*t)$

$a_y = dV_y/dt = \omega^2 * r * \sin(\omega*t)$ (8)

откуда следует, что ускорение зависит от времени, то есть движение не является равноускоренным. Абсолютная величина ускорения (модуль), тем не менее, остается постоянной:

$$a = |a| = \sqrt{a_x + a_y} = \omega^2 * r \quad (9)$$

или, так как $\omega*r=V$, то мы получаем:

$|a| = V^2/r$ (10)

- известную из школьного курса физики формулу для центростремительного ускорения. Почему центростремительного? Да потому, что вектор **a** направлен к центру. В этом нетрудно убедиться, подсчитав скалярное произведение:

$\mathbf{a}*\mathbf{r} = \mathbf{a_x} * \mathbf{x} + a_y * y = -(\omega^2 * r * \cos(\omega*t)) * r * \cos(\omega*t) + (-\omega^2 * r * \sin(\omega*t)) * r * \sin(\omega*t) =$

$=-\omega^2 * r^2$ (11)

С другой стороны,

$\mathbf{a}*\mathbf{r} = |\mathbf{a}|*|\mathbf{r}| * \cos(\mathbf{a}\hat{}\mathbf{r}) = \omega^2 * r^2 * \cos(\mathbf{a}\hat{}\mathbf{r})$ (12)

Из сравнения двух этих выражений получаем, что $\cos(\mathbf{a}\hat{}\mathbf{r})= -1$. Таким образом, вектор ускорения антипараллелен вектору **r**, то есть направлен к центру. В результате картина направлений векторов выглядит, как показано на рис. 2.

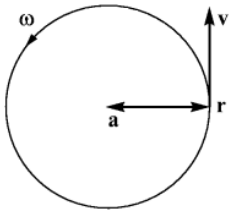


Рис. 2. Радиус-вектор, скорость и ускорение материальной точки при равномерном движении по окружности.

До сих пор при рассмотрении вращательного движения мы оперировали проекциями векторов на оси координат. Между тем, часто бывает полезно иметь соотношения, не зависящие от выбора системы координат, или, как говорят, записанные в **векторной форме**. Примером таких соотношений является выражение для координаты и скорости частицы при равноускоренном угловую скорость вращения (ω) как производную по времени от угла поворота α: $\omega=d\alpha/dt$. Давайте движении (см. лекцию 2).

При рассмотрении вращательного движения мы ввели теперь зададимся вопросом, какой величиной, скалярной или векторной, является угол поворота. Ведь когда говорят о повороте, нужно указывать не только величину угла поворота, но и то, вокруг какой оси происходит вращение (поворот) и в какую сторону (по часовой стрелке или против). В разобранном выше примере осью вращения была ось z и, поскольку мы использовали правую систему координат, вращение происходило по часовой стрелке (если смотреть в положительном направлении вдоль оси z) (рис. 3).

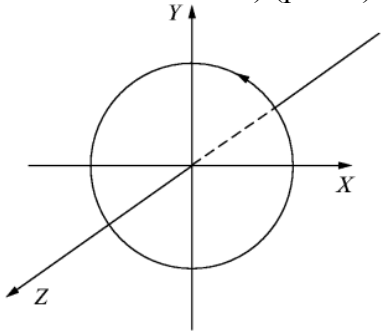


Рис. 3. Направление вращения

С этой точки зрения угол поворота должен быть величиной векторной. Однако, как мы убедимся на следующей лекции, произвольный угол поворота вектором, вообще говоря, не является. Понятие вектора применимо лишь по отношению к бесконечно малым углам поворота.

Поэтому, говоря о повороте на какой-то малый угол Δα, можно приближенно говорить о векторе Δα, величина которого равна углу поворота, а направление показывает направление оси вращения так, чтобы поворот происходил по часовой стрелке, или в соответствии с правилом буравчика. В нашем конкретном случае вектор Δα коллинеарен с направлением оси z. Зададимся вопросом, как связано перемещение материальной точки Δr при повороте ее радиус-вектора **r** на малый угол Δα (рис. 4).

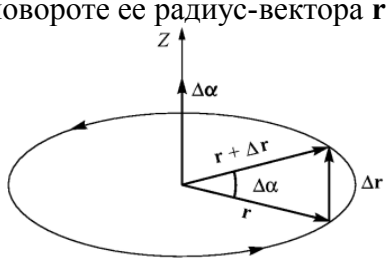


Рис. 4. Связь вектора перемещения с углом поворота

На этот вопрос легко ответить, если речь идет о бесконечно малых поворотах Δα. Тогда бесконечно малым является и перемещение d**r**. Его величина (равная длине хорды) совпадает теперь с длиной дуги, то есть

$$dr = r * d\alpha \qquad (13)$$

а по направлению вектор d**r** совпадает с касательной, то есть перпендикулярен **r**. В результате мы имеем три взаимно перпендикулярные вектора **r**, d**r** и dα, образующие правую тройку (рис. 5),

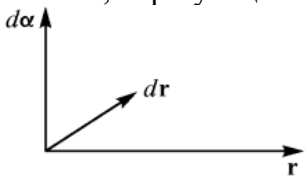


Рис. 5. Взаимная ориентация трех векторов.

причем |dr| = |r| * |dα|. Те, кто помнят из школьного курса о **векторном произведении** векторов, без труда сообразят, что искомое соотношение можно записать в виде векторного равенства:

$$dr = [r \times d\alpha] \qquad (14)$$

Действительно, по определению, векторным произведением двух векторов A×B называется вектор:

$$C = [A \times B] \qquad (15)$$

который направлен перпендикулярно плоскости, в которой лежат (или которую образуют) два вектора **A** и **B**, в сторону от этой плоскости, соответствующую правилу буравчика (см. рис. 6).

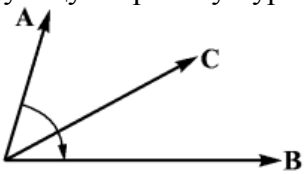


Рис. 6. Ориентация трех векторов в векторном произведении

Величина же вектора **C** равна произведению модулей векторов на синус угла между ними:

$$|C| = |A| \times |B| * \sin(A\hat{}B) \qquad (16)$$

В нашем случае угол между векторами dα и **r** равен 90°, так что синус равен единице. А поскольку, как мы уже писали, |dr| = r * dα, то мы убеждаемся в справедливости векторного соотношения dr = [r × dα].

Разделив обе стороны этого равенства на бесконечно малый временной интервал dt, в течение которого произошло изменение вектора **r** на d**r**, мы получим

$$dr/dt = [d\alpha/dt \times r] \qquad (17)$$

Но величина, стоящая в левой части равенства, есть не что иное, как скорость частицы **v**, а производная

$$d\alpha/dt = \omega \qquad (18)$$

называется **вектором угловой скорости**. Ее мы вначале ввели по абсолютной величине, а теперь показали, что имеет смысл говорить об угловой скорости вращения как о векторе. Ее величина определяет величину угловой скорости (скорость вращения, или скорость изменения угла), а направление параллельно оси вращения, причем так, что имеет место правило буравчика. Итак, мы получили, что

$$V = [\omega \times r] \qquad (19)$$

Ориентация этих трех векторов показана на рис. 7.

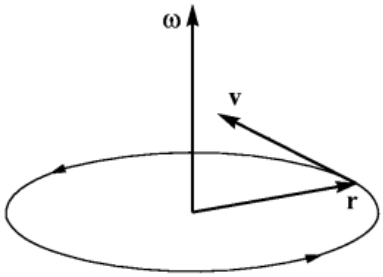


Рис. 7. Ориентация радиус-вектора, вектора скорости и угловой скорости.

Чтобы получить ускорение **a**, надо от обеих частей взять производную по времени. Если ω постоянно (как по величине, так и по направлению), то

$$A = dV/dt = [\omega \times dr/dt] = [\omega \times V] \quad (20)$$

то есть ускорение оказывается перпендикулярным угловой скорости вращения ω и скорости движения **v**. А поскольку последняя направлена по касательной, то, значит, ускорение направлено либо параллельно **r**, либо антипараллельно. Как именно, можно выяснить, подставив в вышеприведенную формулу значение **v**:

$$a = [\omega \times V] = \omega \times [\omega \times r] = \omega*(\omega*r) - r * (\omega * \omega) = \omega*(\omega*r) - \omega^2 * r \quad (21)$$

Поскольку в рассматриваемом нами примере начало координат выбрано в центре окружности, то угловая скорость ω и радиус-вектор **r** перпендикулярны друг другу а, следовательно, их скалярное произведение равно нулю (вообще говоря, как мы сейчас увидим, далеко не всегда $\omega \perp r$) и мы получаем

$$a = -\omega^2 * r \quad (22)$$

то есть антипараллельность векторов **a** и **r** (вспомните термин «центростремительное ускорение»). По величине они таковы: $|a|=\omega^2*|r|$, то есть, имеем уже знакомый результат.

Вы можете спросить, зачем нам понадобилось иметь дело с векторным и с двойным векторным произведением, если мы уже разобрали движение по окружности, дифференцируя по времени проекции материальной точки на оси координат (причем получили результаты, известные со школьной скамьи). Стоит ли игра свеч? Да, стоит, во-первых, потому, что мы записали законы движения в **инвариантной**, как говорят, форме, не зависящей от выбора конкретной системы координат. Во-вторых, записанные нами соотношения справедливы и в более общем случае, когда мы рассматриваем вращение системы материальных точек или твердого тела как целого (рис. 8).

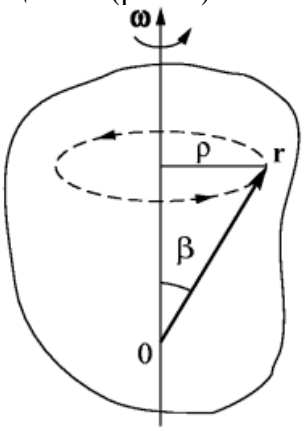


Рис. 8. Вращение твердого тела.

Имея в виду эту картину, нетрудно показать, что здесь, хотя ω и **r** не перпендикулярны друг другу, тем не менее, выполняется прежнее соотношение для скорости движения некоторой выбранной нами точки с радиус-вектором **r**:

$$V = [\omega \times r] \quad (23)$$

Действительно, как следует из рис. 8, точка движется по окружности радиуса $p=r*\sin\beta$ со скоростью $v=\omega*r= \omega*r *\sin\beta$. Но поскольку β — это угол между векторами ω и **r**, мы убеждаемся в справедливости этой формулы.

Теперь нам понятно происхождение дополнительного слагаемого в центростремительном ускорении (см. рис. 9):

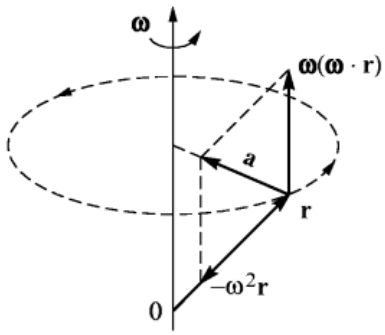


Рис. 9. Центростремительное ускорение.

$$a = \omega*(\omega*r) - \omega^2 * r \qquad (24)$$

Таким образом, ускорение **a** на самом деле направлено не к центру, а к оси вращения, поэтому его можно было бы называть **осестремительным**. Но, разумеется, дело не в названиях.

В пользу соотношения $V = [\omega \times r]$ говорит и то, что оно справедливо в более общем случае, когда вектор угловой скорости ω не является постоянным и зависит от времени: ω(t). Тогда формула для ускорения изменится — в ней появится дополнительное слагаемое:

$$a = dV/dt = [(d\omega/dt) \times r] + [\omega \times dr/dt] = [\beta \times r] + [\omega \times v] \qquad (25)$$

Величина $\beta = d\omega/dt$ называется **угловым ускорением**. Оно появляется, если меняется по величине угловая скорость (замедляется, например, вращение вокруг фиксированной оси) либо поворачивается с течением времени сама ось вращения (либо и то и другое).

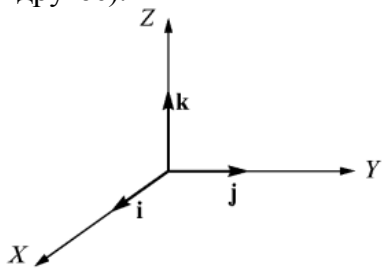


Рис. 10. Взаимное расположение единичных ортов.

В заключение для справок приведем выражение для декартовых компонент векторного произведения $C = [A \times B]$:

$$C_x = [A \times B]_x = A_y B_z - A_z B_y, \quad \{xyz\}$$
$$C_y = [A \times B]_y = A_z B_x - A_x B_z, \quad \{yzx\}$$
$$C_z = [A \times B]_z = A_x B_y - A_y B_x, \quad \{zxy\} \qquad (26)$$

Здесь для запоминания следует использовать указанные выше циклические перестановки. Эти соотношения легко доказываются, если записать каждый вектор в виде

$$A = A_x i + A_y j + A_z k \qquad (27)$$

и, аналогично, вектор **B**. Затем следует учесть, что векторные произведения единичных ортов **i**, **j** и **k** между собой равны соответственно (см. рис. 10)

$$[i \times j] = k, \quad [k \times i] = j, \quad [j \times k] = i \qquad (28)$$

и что при изменении порядка сомножителей изменяется знак векторного произведения:

$$[i \times j] = -\ [j \times i] \text{ и т. д.} \qquad (29)$$

Далее нужно произвести векторное умножение

$$[A \times B] = [(A_x i + A_y j + A_z k) \times (B_x i + B_y j + B_z k)] \qquad (30)$$

воспользовавшись приведенными выше правилами.

(нумерация формул и рисунков оригинальная)

ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ.

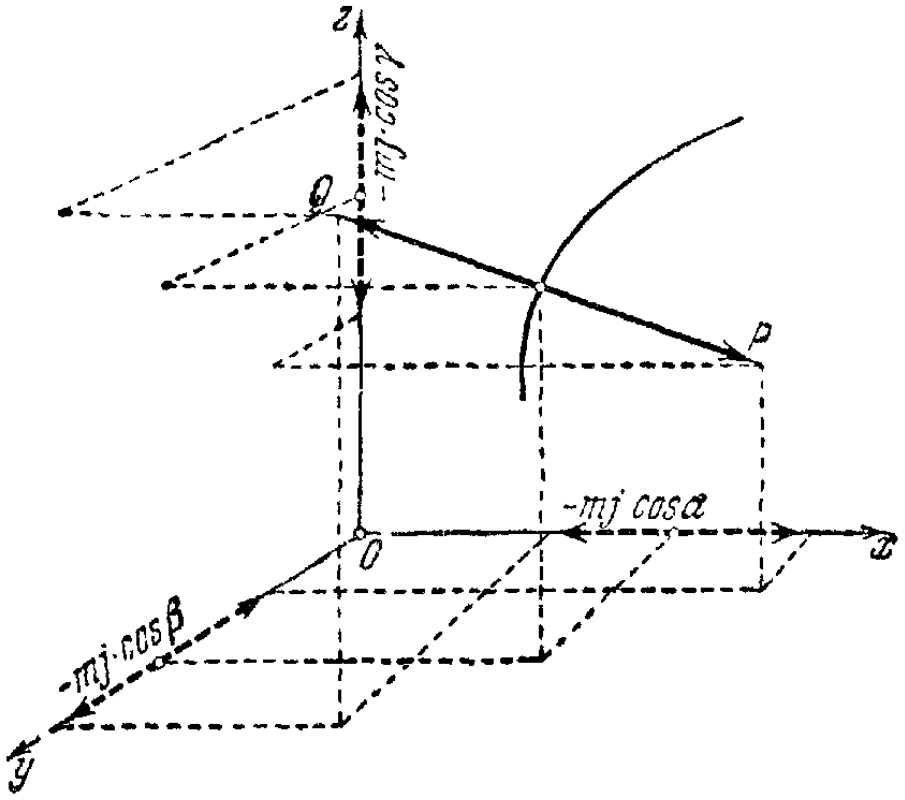
1.2.1. ДВОЙСТВЕННОСТЬ СИЛ ИНЕРЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ.

Выше приведен краткий обзор учебной и научной литературы, в которой изложен взгляд современной классической физики на вращательное движение. Однако прежде чем приступить к рассмотрению вопросов вращательного движения необходимо насколько это возможно на современном уровне прояснить физическую сущность явления инерции, поскольку силы инерции принимают непосредственное участие в образовании вращательного движения. Один из самых известных видов инерции это центробежная сила. Жуковский Н. Е. «Теоретическая механика» издание второе. ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА-ЛЕНИНГРАД 1952 г. определяет силу инерции следующим образом:

§ 2. Сила инерции. Если дифференциальные уравнения движения свободной материальной точки напишем в таком виде:

$$X - m\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \qquad Y - m\frac{d^2y}{dt^2} = 0, \qquad Z - m\frac{d^2z}{dt^2} = 0, \qquad (2)$$

то на эти уравнения можно смотреть как на уравнения равновесия, причем сила, компоненты которой по осям координат суть X, Y, Z,



Фиг. 230.

уравновешивается силой, компоненты которой по тем же осям суть:

$$-m\frac{d^2x}{dt^2}, \qquad -m\frac{d^2y}{dt^2}, \qquad -m\frac{d^2z}{dt^2}.$$

Первая сила есть сила P (фиг. 230), а вторая — сила $Q = -mj$. Эта сила Q и называется *силой инерции*.

Итак, силой инерции называется сила, которая по величине равна произведению массы на полное ускорение, а направлена в сторону, противоположную полному ускорению.

Введение понятия о такой фиктивной силе облегчает формулировку многих теорем динамики, особенно в вопросе об относительном движении и о движении несвободной материальной точки.

Обратив снова внимание на уравнения (2), мы можем их выразить так: если остановить материальную точку в какой-нибудь момент времени и прибавить силу инерции, кроме имеющейся движущей силы, то получится равновесие.

Инерция является неотъемлемым свойством физических тел, которое заключается в их способности противодействовать любому изменению состояния движения или состояния покоя тел, которое является частным случаем движения. По определению Жуковского Н. Е. ***«Силой инерции называется сила, которая по величине равна произведению массы на полное ускорение, а направлена в сторону, противоположную полному ускорению».*** (см. фотокопию выше, «Теоретическая механика», издание второе, ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА-ЛЕНИНГРАД 1952 г., §2 Сила инерции). Таким образом, определение силы инерции у Жуковского по своему смыслу в точности соответствует определению силы противодействия, которая возникает при всяком силовом воздействии на материальное тело в соответствии с третьим законом Ньютона. Далее Жуковский Н. Е. пишет: ***«Введение понятия о такой фиктивной силе облегчает формулировку многих теорем динамики, особенно в вопросе об относительном движении и о движении несвободной материальной точки».*** То есть Жуковский относит силы инерции, вводимые в математическую модель ускоренного движения тел к фиктивным силам, которые не оказывают реального влияния на ускоренное движение материальных тел и вводятся в неинерциальных системах отсчета как математический прием только для облегчения формулировок теорем динамики.

В современной физике принято различать «обычные» силы, действующие на тело со стороны других тел в инерциальных системах отсчета и фиктивные силы инерции, возникающие в неинерциальных системах отсчета. А.Н. Матвеев в работе «Механика и теория относительности», 3-е издание, Москва, «ОНИКС 21 век», «Мир и образование», 2003 г. дает следующее определение «обычных» сил:

«В инерциальных системах отсчёта единственной причиной ускоренного движения тела являются ***силы, действующие на него со стороны других тел. Сила всегда есть результат взаимодействия материальных тел».***

Силы, действующие на материальные тела со стороны других тел, Матвеев называет **«обычными»** силами. Однако в неинерциальных системах отсчета наблюдаются ускорения, которые не являются результатом действия на тела каких-либо сил со стороны других тел:

«В неинерциальных системах можно ускорить тело простым изменением состояния движения системы отсчета. Рассмотрим, например, неинерциальную систему отсчета, связанную с автомобилем. При изменении скорости его относительно поверхности Земли в этой системе отсчета все небесные тела испытывают соответствующие ускорения. Ясно, что эти ускорения не являются результатом действия на небесные тела каких-либо сил со стороны других тел. Таким образом, в неинерциальных системах отсчета существуют ускорения, которые не связаны с силами такого же характера, какие известны в инерциальных системах отсчета. Благодаря этому первый закон Ньютона ***в них не имеет смысла****.* ***Третий закон Ньютона*** *в отношении взаимодействия материальных тел, вообще говоря,* ***выполняется****. Однако, поскольку в неинерциальных системах отсчета ускорения тел вызываются не только* ***«обычными» силами взаимодействия между материальными телами****,* ***проявления третьего закона Ньютона настолько искажаются, что он также утрачивает ясное физическое содержание****».*

Силы, которые проявляются в неинерциальной системе отсчета, в отличие от «обычных» сил Матвеев определяет как силы **«особой природы».** При этом Матвеев отмечает, что этот путь был выбран не им, а сложился исторически и предлагает свой альтернативный вариант:

«При построении теории движения в неинерциальных системах ***в принципе можно было бы идти по пути коренного изменения представлений, выработанных в инерциальных системах, а именно можно было бы принять, что ускорения тел вызываются не только силами, но и некоторыми другими факторами, которые ничего общего с силами не имеют.*** *Однако исторически был выбран иной путь — эти другие факторы были признаны силами, которые находятся с ускорениями в таких же соотношениях, как и обычные силы. При этом предполагается, что в неинерциальных системах, так же как и инерциальных, ускорения вызываются только силами, но* ***наряду с «обычными» силами взаимодействия существуют еще силы особой природы, называемые силами инерции».***

Таким образом, в современной физике в неинерциальных системах отсчёта наряду с «обычными» силами взаимодействия необходимо учитывать силы инерции, которые Матвеев увязывает с ускоренным движением неинерциальной системы отсчета относительно инерциальной.

«*Существование сил инерции обусловливается ускорением движения неинерциальной системы отсчета относительно инерциальной. Силы инерции берутся такими, чтобы обеспечить в неинерциальной системе отсчета те ускорения, которые фактически имеются, но обычными силами взаимодействия объясняются лишь частично».*

При этом Матвеев, так же как и Жуковский отмечает, что силы инерции, вводимые в неинерциальных системах отсчета в математической модели теории движения, являются фиктивными силами, т.е. реально несуществующими:

«Введение этих сил в уравнения движения, использование их при объяснении физических явлений и т. д. в неинерциальных системах координат является правильным и необходимым. Однако ***использование понятия сил инерции при анализе движений в инерциальных системах координат является ошибочным, поскольку в них эти силы отсутствуют»***.

С точки зрения современной физики, связав неинерциальную систему отсчёта с ускоренно движущимся телом можно, прибавив к нему силу инерции, получить условие равновесия для тела в неинерциальной системе отсчёта. В этом случае ускорение движения тела определяется, как ускорение неинерциальной системы отсчёта относительно инерциальной системы без учета сил инерции. Если же тело движется ещё и относительно неинерциальной системы отсчета, то задача значительно усложняется. В этом случае абсолютное ускорение будет определяться как сумма относительного ускорения, полученного телом в неинерциальной системе в результате «обычных» взаимодействий и ускорения самой неинерциальной системы отсчёта относительно инерциальной системы отсчета. Силы инерции обуславливают разность между относительным и абсолютным ускорением. При этом сила инерции (Fин) определяется выражением:

Fин = m*(*$a_{отн}$* - *$a_{абсол}$*)

Несмотря на то, что в современной физике существует четкое математическое выражение для сил инерции, их четкое физическое определение в современной физике отсутствует, что связано, по всей видимости, с явно завышенной ролью математического аппарата теории движения в качественной оценке физического механизма образования сил взаимодействия вообще и силы инерции в частности. В результате сила инерции определяется в современной физике как минимум двойственно. С одной стороны в математической модели ускоренного движения тел силы инерции считаются фиктивными, т.е. реально не существующими. С другой стороны существование сил инерции признается многими классиками и современными авторами, как объективная реальность. Вот что говорит Н. Е. Жуковский в упомянутой выше работе (стр. 281) о реальности сил инерции:

«Являясь компонентом предполагаемой силы инерции, центробежная сила есть сила фиктивная; она должна быть присоединена к ***материальной*** *точке, если мы хотим рассматривать вопрос о ее движении, как об относительном равновесии точки. Но в некоторых вопросах центробежная сила является и как некоторая* ***действительная сила****, — например, в вопросах об определении давления движущегося тела на препятствия, стесняющие его движение. Но в этом случае центробежная сила приложена* ***не к материальной точке****, а к тем телам, которые задерживают материальную точку на ее траектории»*

Жуковский признает физическую реальность действия оказываемого силой инерции, однако в этом случае сила инерции превращается в «обычную» силу, которая приложена к телам, задерживающим движущееся тело на его траектории. Такое представление, на наш взгляд крайне противоречиво с физической точки зрения, т.к. вполне реальная «**обычная**» сила в этом случае является как бы прямым продолжением несуществующей **фиктивной** силы инерции.

А. Н. Матвеев также высказывается за то, что с физической точки зрения силы инерции являются вполне реальными силами (стр. 393):

«О реальности существования сил инерции. *Являются ли силы инерции реальными силами? Они реальны в том же смысле, в каком являются реальными ускорения в неинерциальных системах координат, для описания которых они введены.* ***Они реальны также и в более глубоком смысле:*** *при рассмотрении физических явлений в неинерциальных системах можно указать конкретные физические последствия действия сил инерции. Например, в вагоне поезда силы инерции могут привести к увечьям пассажиров, т. е. к весьма реальному и осязаемому результату. Поэтому силы инерции столь же реальны, как реален факт равномерного и прямолинейного движения тел в инерциальных системах координат, если отсутствуют «обычные» силы взаимодействия, как это формулируется в первом законе Ньютона».*

Итак, для удобства математического описания ускоренного движения тел в современной физике в неинерциальных системах отсчета вводятся условные фиктивные силы инерции, которые в инерциальных системах отсчета отсутствуют. Однако системы отсчета это только инструменты для математического описания реальной действительности. Фиктивные силы инерции, вводимые в неинерциальных системах отсчета это по сути дела математическая модель **реальных** сил, порождаемых инерцией в инерциальных системах отсчета. При переходе в инерциальную систему отсчета фиктивные силы инерции превращаются в «обычные» силы, приложенные к телам, препятствующим движению тел, связанных с неинерциальной системой отсчета. Поэтому большинство авторов наряду с фиктивностью сил инерции, как математической модели фиктивного движения тел в неинерциальной системе отсчета, отмечают

физическую реальность действий, оказываемых этими силами при переходе в инерциальную систему отсчета.

Таким образом, в разных системах отсчета одни и те же силы могут быть как фиктивными, так и вполне реальными силами, что само по себе является довольно парадоксальным и свидетельствует о двойственном отношении к силам инерции в современной физике. Происходит по сути дела постоянная подмена понятий вполне реальной «обычной» силы, проявляющейся в инерциальной системе отсчета ее математической моделью – фиктивной силой инерции в неинерциальной системе отсчета и наоборот, что приводит к парадоксальному заключению о фиктивности сил инерции, существующему в современной физике. Вполне реальное сопротивление изменению установившегося состояния движения или покоя физических тел, которое приводит к реальным физическим последствиям, обеспечивается в современной физике фиктивными, т.е. несуществующими силами инерции! Такая подмена понятий, наблюдающаяся практически у всех авторов, описывающих ускоренное движение материальных тел с позиции существующей теории движения. Приведем дословно цитаты некоторых авторов, касающиеся силы инерции.

Н. Е. Жуковский («Теоретическая механика», издание второе, ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА-ЛЕНИНГРАД 1952 г., стр. 281):

«Являясь компонентом предполагаемой силы инерции, центробежная сила есть сила фиктивная; она должна быть присоединена к ***материальной*** *точке, если мы хотим рассматривать вопрос о ее движении, как об относительном равновесии точки. Но в некоторых вопросах центробежная сила является и как некоторая* ***действительная сила****, — например, в вопросах об определении давления движущегося тела на препятствия, стесняющие его движение. Но в этом случае центробежная сила приложена* ***не к материальной точке****, а к тем телам, которые задерживают материальную точку на ее траектории».*

Эту цитату Жуковского мы уже приводили выше как подтверждение его мнения о том, что силы инерции являются реальными силами. Однако выражение *«в некоторых вопросах»*, которое Жуковский употребляет в отношении центробежной силы, уже само по себе не предполагает никакой определенности в отношении силы инерции. Цитата Жуковского одновременно может свидетельствовать как о реальности, так и о фиктивности силы инерции, т.е. налицо двойственное толкование силы инерции Жуковским.

Приведем еще одну цитату Жуковского из указанного выше первоисточника (стр. 281), которая является непосредственным продолжением предыдущей цитаты:

«Если, например, некоторый шар M (фиг. 232) движется по цилиндрическому своду, описывая круг, то на него действует сила P давления свода, которая ***для шара*** *есть центростремительная. Но по третьему закону динамики шар M сам давит на свод с такой же силой N, равной P. Эта сила N* ***для шара*** *будет центробежной* ***силой инерции****, и можно сказать,* ***что свод находится под действием этой силы****».*

В этой цитате также прослеживается смешение математического и физического понятия о силе инерции. Выражение *«…сила N* ***для шара*** *будет центробежной* ***силой инерции****…»* точно так же как и выражение «*…сила P давления свода, которая* ***для шара*** *есть центростремительная.»* даже чисто лингвистически может означать только одно, а именно - сила N и P действуют именно на шар. С другой стороны из приведенной цитаты следует, что центробежная сила инерции N посредством шара воздействует еще и на свод *«… и можно сказать,* ***что свод находится под действием этой силы****»,* т.е. сила инерции у Жуковского ассоциируется с силой противодействия в соответствии с третьим законом Ньютона. Таким образом, в инерциальной системе отсчета фиктивная сила инерции у Жуковского превращается в реальную «обычную» силу по отношению к опорному телу, что противоречит понятию фиктивности сил инерции данному самим Жуковским и понятию сил «особой природы», данному Матвеевым.

Во-первых, силы «особой природы» по определению никак не связаны с обычными взаимодействиями, которые описываются третьим законом динамики.

А во-вторых, фиктивные силы вообще не могут иметь под собой никакой природы, пусть даже «особой», поскольку это понятие абстрактно-математическое.

Таким образом, из работ Жуковского ни в коем случае нельзя делать однозначных выводов о фиктивности силы инерции. Попутно заметим, что **с точки зрения классической физики** при равномерном вращательном движении материальную точку именно на круговой траектории движения ничто не должно задерживать, т.к. по круговой траектории тело движется равномерно с постоянной линейной скоростью. Кроме того, тело, движущееся по окружности, также не должно оказывать и силовое

давление в радиальном направлении, т.е. на свод, т.к. в существующей модели вращательного движения радиальное движение отсутствует. В отсутствие же радиального движения не может быть и никакой «обычной» силы, противодействующей изменению отсутствующего движения, а, следовательно, не может быть и математической модели этой противодействующей силы в виде фиктивной силы инерции в неинерциальной системе координат. Это противоречие классической модели вращательного движения, связанное с отсутствием радиального движения также не добавляет ясности в современное понимание физической природы силы инерции.

«Обычная» центростремительная сила не может уравновешиваться фиктивной силой инерции в неинерциальной системе координат, равно как реальная сила не может быть фиктивной ни в одной из систем координат. Такое возможно только в абстрактной математической модели. Однако на основании абстрактных математических построений нельзя судить о физической природе явления инерции. Если силу, приложенную к опорному телу в соответствии с третьим законом Ньютона, действительно можно отнести к силам инерции, как это часто делают классики теоретической механики (см. выше), то это вне всяких сомнений реальная сила. Фиктивной является лишь ее математическая модель в неинерциальной системе отсчета, в которой опорное тело отсутствует, а ускоряемое тело движется под действием абстрактной академической силы. В этом случае фиктивная или несуществующая сила инерции формально может быть приложена к ускоряемому телу только для записи условия равновесия ускоряемого тела в неинерциальной системе отсчета.

Таким образом, в современной теории движения применяется математическая модель физически реальных сил инерции, что облегчает формулировку теорем динамики, но вносит путаницу в понимание физической природы формирования сил взаимодействия вообще и сил инерции в частности. Инерция не может быть реальной только *«в некоторых вопросах»*, если инерция реальна, то она реальна во всех ее проявлениях в физическом мире, а математические абстракции, сформулированные Даламбером, хотя и облегчают написание некоторых уравнений движения, не имеют никакого отношения к физической природе силы инерции. Принцип Даламбера это только математический прием, который нельзя рассматривать как свидетельство фиктивности реальной силы, которая возникает вследствие инерционного сопротивления физических тел изменению состояния их движения (покоя). Фиктивной является математическая модель силы инерции в неинерциальной системе отсчета, но не сама сила инерции.

Приведем высказывания Зоммерфельда по вопросам явления инерции. А. Зоммерфельд. Механика. Москва. Ижевск. 2001, стр. 82.:

«Мы вводим ее (силу инерции – авт.) *для того, чтобы свести вопросы движения к вопросам равновесия, что часто оказывается очень удобным. Силы инерции хорошо известны нам из повседневной жизни.* ***Приводя в движение тяжелую вертящуюся дверь, мы преодолеваем не силу тяжести или трение, а инерцию двери.*** *Самой известной формой силы инерции является центробежная сила, проявляющаяся при всяком криволинейном движении.* ***Она также является фиктивной силой****. ... Впрочем, «фиктивная» центробежная сила проявляется* ***весьма реально****, например, в железнодорожном движении. Превышение наружного рельса над внутренним на криволинейном участке пути подбирается всегда так, чтобы при средней скорости поезда равнодействующая силы тяжести и центробежной силы проходила как раз посредине между обоими рельсами. Этим устраняется не только опасность опрокидывания, но также и вредная односторонняя нагрузка одного из рельсов».*

В этой цитате из работы Зоммерфельда опять же прослеживается двойственность понятия силы инерции. С одной стороны сила инерции, которая в неинерциальной системе действует непосредственно на поезд, является фиктивной силой. Однако с другой стороны в инерциальной системе отсчета, т.е. в реальном физическом мире эта же сила, которая в неинерциальной системе отсчета вовсе и не существует, приводит к реальному износу рельсов. Причем смешение понятий идет на совершенно недопустимом с физической точки зрения уровне: *«фиктивная» центробежная сила проявляется, весьма реально…»*. Как может «фиктивная» сила проявляться реально?! Мало кто обратит внимание на кавычки, в которых заключено прилагательное фиктивная, тем более что несколько раньше в этой же цитате прилагательное фиктивная по отношению к центробежной силе употребляется без кавычек. Наверное, ученым следует выражаться яснее, в науке ребусов хватает и без словесной неразберихи, если, конечно же, у них у самих такая ясность присутствует, в чем, по крайней мере, в отношении силы инерции иногда приходится сомневаться.

Интересна полемика Зоммерфельда на страницах его «Механики» с Генрихом Герцем (стр. 82, 83):

«Удивительно, что Генрих Герц в прекрасном введении к своей «Механике» возражает против пользования понятием центробежной силы: «Мы вращаем по кругу камень на веревке; при этом мы ощутимо воздействуем на камень с некоторой силой. Эта сила непрерывно отклоняет камень от

прямого пути; если мы изменяем эту силу, массу камня и длину веревки, то обнаруживаем, что движение камня действительно происходит в согласии со вторым законом Ньютона. Однако третий закон требует наличия силы, противодействующей той силе, которая передается нашей рукой камню. Ответ на вопрос об этой силе противодействия общеизвестен: говорят, что ***камень производит обратное действие на руку вследствие центробежной силы и что эта центробежная сила действительно точно равна, но противоположна по направлению силе нашего воздействия.*** *Допустим ли этот способ выражения? Будет ли то, что мы теперь называем центробежной силой, чем-либо иным, чем инерция камня?».* Зоммерфельд: ***«На этот вопрос мы должны категорически ответить «нет»: согласно нашему определению (10.3), центробежная сила действительно есть то же самое, что и инерция камня. Но силой, противодействующей силе, с которой мы действуем на камень, или, точнее говоря, на веревку, является тянущее усилие, которое оказывает веревка на нашу руку».***

Далее Герц пишет: «Нам не остается ничего иного, как заявить: центробежная сила не является силой в собственном смысле этого слова; этот термин так же, как термин «живая сила», имеет историческое происхождение, и сохранение его можно ***скорее извинить соображениями полезности, чем оправдать»****.* Зоммерфельд: *«По поводу этого замечания Герца мы хотели бы сказать, что термин «центробежная сила» не нуждается ни в каком оправдании, так как он так же, как и более общий* ***термин «сила инерции», основан на ясном определении****. Впрочем, как раз эта мнимая неясность понятия силы побудила Герца построить его «Механику», освобожденную от этого понятия, которая хотя и очень интересна, но мало плодотворна».*

В этой полемике Зоммерфельд противоречит сам себе. Реально руке противодействует вовсе не веревка, а камень, о чем говорит сам Зоммерфельд - «центробежная сила есть **инерция камня».** Источник силы, воздействующий на руку, неразрывно связан именно с камнем, а не с веревкой. Веревка только передает взаимодействие от камня к руке, т.е. является по сути дела лишь передаточным звеном - пассивной механической связью руки с камнем, которую теоретически можно рассматривать только как некое абстрактное устройство передачи усилия не имеющее собственной массы. Действительно, масса веревки не только теоретически, но и в реальности может быть бесконечно мала по сравнению с массой камня, поэтому совершенно необъяснимо, как она может воздействовать на руку с тянущим усилием, не имея, ни массы, ни соответственно инерции. Без массы не может быть и силы инерции независимо от того фиктивная она или реальная. Однако если невесомая веревка все-таки воздействует с тянущим усилием на руку, значит, она сама испытывает воздействие со стороны камня, следовательно, на камень в соответствии с третьим законом Ньютона тоже должна воздействовать вовсе не фиктивная сила. Как эту силу называть, и какова ее природа это уже другой вопрос. Физически это вполне реальная сила, но в классической физике она считается фиктивной центробежной силой инерции.

Утверждая, что на руку воздействует невесомая веревка, Зоммерфельд фактически продляет геометрию камня до руки, т.е. заменяет систему тел камень-веревка на единое эквивалентное тело, непосредственно соприкасающееся с рукой. С таким же успехом можно «продлить» геометрию руки до камня, присовокупив веревку к руке или просто взяв камень непосредственно в руку, и таким образом вовсе исключив промежуточное звено – веревку. Если в отсутствии веревки исключить камень, как силу, противодействующую руке, то рука вместо веревки должна воздействовать с тянущим усилием на саму себя, противодействуя собственному же центростремительному воздействию на камень. Однако если нет противодействия камня центростремительной силе руки, - значит, в соответствии с третьим законом Ньютона противодействовать нечему, т.е. нет и воздействующей силы руки на камень. Но тогда камень должен двигаться по окружности по «щучьему велению». Если центробежная и центростремительная силы компенсируют друг друга внутри руки, то камень не должен вообще испытывать никакого воздействия, что соответствует равномерному и прямолинейному, а вовсе не вращательному движению.

При отсутствии веревки с классической точки зрения можно конечно утверждать, что тянущее усилие осуществляет рука, опять же исключая камень. Но тогда в цепочку взаимодействия необходимо вводить дополнительное тело, осуществляющее центростремительное усилие. Это может быть, например плечо или туловище. И так, казалось бы, можно сдвигать цепочку взаимодействия в сторону источника силы до бесконечности, каждый раз, исключая промежуточное передаточное звено: веревку, руку, плечо, туловище и принимая за источник центростремительного усилия следующее в цепочке взаимодействия тело. Однако цепочка взаимодействия не может быть бесконечной. После исключения туловища больше физически не остается источника центростремительной силы. Следовательно, помимо силы инерции камня фиктивной, в конце концов, становится и сама центростремительная сила. Действительно, если, следуя классической логике обе противодействующие силы, в конечном итоге, так или иначе, придется сосредоточить в одном конечном в цепочке взаимодействия физическом теле – источнике центростремительной силы, например, в руке, плече или туловище, то эти силы будут являться внутренними силами замкнутой системы. Такие

силы будут фиктивными по отношению к окружающим системам, в том числе и к камню, о чем мы говорили выше.

Все эти алогизмы, на наш взгляд, происходят только из-за того, что в современной физике нет полной определенности в отношении физической реальности силы инерции. Причиной инерционного воздействия на руку, безусловно, является камень. С этим соглашаются все классики теоретической механики. Однако с точки зрения современной физики по не совсем понятным причинам сила инерции для камня является фиктивной. Такая логика по сути дела означает, что если кусок масла соприкасается с хлебом, то на куске хлеба масло вне всяких сомнений является маслом, но в самом куске масла это же самое масло, в соответствии с логикой, применяемой в отношении силы инерции, является фиктивным, т.е. не существующим! В соответствии с этой логикой сила инерции камня, минуя сам камень, может воздействовать только сразу на веревку или непосредственно на руку, что вообще противоречит всякой логике и третьему закону Ньютона. Таким образом, ни о какой ясности в определении явления инерции в классической физике, в том числе и в определении самого Зоммерфельда говорить не приходится.

Далее видимо для «лучшего» уяснения четкого представления о силе инерции, основанного на *«ясном определении»* Зоммерфельд предлагает в своей «Механике» следующую задачу (Задача 3 к главе II):

«II.3. Центробежная сила при увеличенной скорости вращения Земли.

С какой скоростью должна вращаться Земля (тело на уровне её поверхности) для того, чтобы на экваторе ***сила тяжести и центробежная сила взаимно уничтожались****? Какова была бы при этом продолжительность суток?»*

Известно, что сила тяжести это сила, с которой Земля притягивает к себе тела, находящиеся в сфере действия ее поля тяготения. Совершенно очевидно, что сила тяжести действует на само тело, лежащее на поверхности Земли. Если тело лежит на опоре, то оно не будет двигаться радиально к центру Земли под действием силы тяготения, т.к. она компенсируется силой противодействия опоры. Для того чтобы тело не двигалось к центру Земли и не оказывало давление на поверхность Земли вследствие соответствующего вращения Земли, оно должно вместо реакции опоры испытывать воздействие какой-то другой силы, которая в данном случае должна заменить силу реакции опоры. Но никакой другой силы, действующей на тело, в отсутствии опоры, кроме центробежной силы инерции в рассматриваемом случае нет. Следовательно, сила инерции тела должна реально воздействовать на само тело, т.е. должна быть приложена непосредственно к самому телу вместо реальной силы реакции опоры, что непосредственно следует и из вопроса, поставленного в задаче (выделено жирным шрифтом). «Обычная» сила тяготения не может взаимно уничтожиться во взаимодействии с «фиктивной» центробежной силой инерции.

Г. С. Ландсберг. «Элементарный учебник физики», Том 1, ФИЗМАТЛИТ. 2003, 200, стр. 267:

«Вследствие вращения Земли на ней также должна наблюдаться центробежная сила инерции (которой мы до сих пор пренебрегали). В § 133 мы нашли, что центростремительное ускорение на экваторе равно 0,034 м/с^2. Это составляет примерно 1/300 часть ускорения свободного падения g. Значит, ***на тело*** *массы m****,*** *находящееся на экваторе,* ***действует центробежная сила инерции****, равная mg/ЗОО и направленная от центра, т. е. по вертикали вверх. Эта сила уменьшает вес тела по сравнению с силой притяжения Земли на 1/300 часть».*

Как и в задаче Зоммерфельда, приведенной выше для уменьшения силы тяготения, действующей на тело центробежная сила инерции должна действовать именно на то же самое тело, на которое действует и сила тяготения. Однако если у Зоммерфельда об этом открыто не говорится, хотя однозначно вытекает из логики физических взаимодействий, то у Ландсберга об этом сказано открытым текстом: *«Значит,* ***на тело*** *массы m****,*** *находящееся на экваторе,* ***действует центробежная сила инерции****…»*. Можно конечно сослаться на то, что речь идет о неинерциальной системе отсчета и центробежная сила в данном случае является фиктивной. Но как фиктивная сила может реально уменьшить вес тела?! Видимо только реально компенсируя силу тяготения, которая приложена непосредственно к телу, т.е. опять же в этом случае реальная сила инерции должна быть реально приложена именно к телу! Причем выше в § 119, стр. 230 Ландсберг утверждает:

«Следовательно, шарик действует на нить с силой, также равной mV^2/r, но направленной от центра. Эта сила приложена ***к нити (а не к шарику),*** *и поэтому мы не принимали ее во внимание, когда рассматривали движение шарика».*

Но нить-то рассматривается именно в связи с тем, что она имеет непосредственную связь с шариком, т.е. воздействие на нить одновременно является и воздействием на шарик. Иначе нам не было бы никакого дела до абстрактной практически невесомой нити. Хорошо когда есть явная механическая связь между взаимодействующими телами в виде нити или любого другого физического тела. А как быть, когда вместо нити движение тела по окружности происходит под действием силы тяготения? Неужели же в этом случае следуя логике классической физики, мы должны считать, что сила инерции в инерциальной

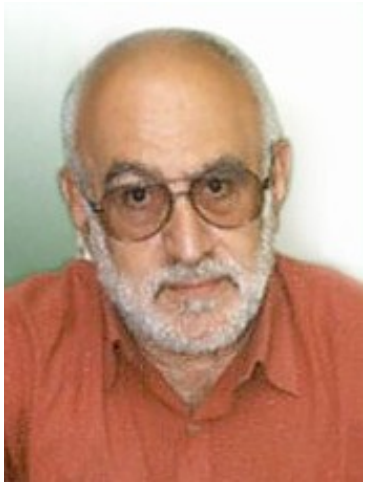
системе координат приложена непосредственно к силе тяготения, как к связующему физическому телу при механически связанном вращении. Однако для этого современная физика как минимум должна признать мировую материальную среду, т.к. тяготение не может осуществляться через вакуум (поле может быть только материальным). Кроме того, если допустить, что тяготение осуществляется через материальную среду, то для его нейтрализации сила инерции опять же должна реально воздействовать на элементы материальной среды, посредством которых осуществляется тяготение и в конечном итоге на само движущееся по окружности тело.

Механическая связь это, только канал, по которому осуществляется взаимодействие пространственно разделенных между собой тел. Суть взаимодействия, надо полагать, состоит именно в обмене энергии между самими взаимодействующими материальными телами. При этом не столь важно происходит ли это взаимодействие через какое-либо промежуточное звено в виде физического тела или при непосредственном контакте взаимодействующих тел. Промежуточное звено одинаково принадлежит каждому из взаимодействующих тел, являясь по сути дела частью общей области упругой деформации распределенной в пространстве между взаимодействующими телами. Взаимодействие между материальными телами может также осуществляться и через какую-либо материальную среду, как, например, в рассматриваемом случае, т.к. поле тяготения не может передаваться в отсутствие материальной среды. Но если материальная среда заставляет двигаться взаимодействующие тела навстречу друг другу, следовательно, она реально воздействует на каждое тело, противодействуя реальным факторам, препятствующим этому воздействию. Таким реальным фактором и является центробежная сила инерции, реально воздействующая на вращающееся тело, противодействуя реальной силе тяготения Земли или реальной силе упругости связующего физического тела при механически связанном вращении.

Р. Фейман, Р.Лейтон, М.Сэндс, ФЕЙНМАНОВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ, 2. ПРОСТРАНСТВО. ВРЕМЯ. ДВИЖЕНИЕ, стр. 78,79

«Когда мы держим гантели горизонтально, то никакой работы не производим. Выпрямляя руки в стороны и сгибая их, мы тоже не можем произвести никакой работы. Это, однако, верно только, пока нет никакого вращения! При вращении же ***на гантели*** *действует центробежная сила. Они стремятся вырваться из наших рук, так что, сгибая во время вращения руки, мы преодолеваем противодействие центробежной силы. Работа, которая на это затрачивается, и составляет разницу в кинетических энергиях вращения. Вот откуда берется этот добавок».*

С позиции современной физики в неинерциальной системе отсчета сила инерции действует на само тело, но в то же время в неинерциальной системе отсчета сила инерции является фиктивной, т.е. несуществующей силой. Однако как может фиктивная несуществующая сила стремиться вырвать из наших рук гантели, и какая работа может совершаться при преодолении несуществующей фиктивной силы?! Таким образом, опять налицо смешение физического и математического понятия силы инерции, что свидетельствует, на наш взгляд, скорее об отсутствии ясного определения силы инерции в современной физике, чем о его наличии, а значит, наверное, и об отсутствии ясного понимания явления инерции. Все встанет на свои места естественным образом, если фиктивную силу инерции в неинерциальной систем отсчета считать лишь абстрактной математической моделью реальной силы, действующей на физические тела в инерциальной системе координат. Однако в этом случае все «обычные» силы, так или иначе, следует связывать с силами инерции, которые по этой причине не могут быть фиктивными.



Можно привести еще множество примеров двойственного подхода к понятию силы инерции и до бесконечности спорить, о какой системе отсчета идет речь и является ли сила инерции фиктивной или реальной в каждом конкретном случае. Однако однозначный ответ о природе сил инерции у классиков теоретической механики найти вряд ли удастся. Среди современных авторов также нет четкого представления о природе силы инерции, впрочем, к слову, как и о природе «обычных» сил. Например, Н. В. Гулиа, являющийся ярым сторонником фиктивности сил инерции независимо от систем отсчета, в которых они рассматриваются в своей книге «Удивительная физика» в главе «Инерция: сила или бессилие?» противореча самому себе, так же дает двойственную оценку силе инерции. С одной стороны он категорически отрицает существование силы инерции, причем, похоже, не только, как математической абстракции, но и как физической реальности. С другой стороны он вынужден, противореча самому себе признавать физическую реальность сил инерции тех случаях, в которых ее действие невозможно объяснить математической абстракцией. В «Удивительной физике» Гулиа пишет:

«Начиная с 1936—1937 гг. возникла даже общесоюзная дискуссия о силах инерции, где участвовали многие известные инженеры и ученые, и не последнее место в этих дискуссиях занимал журнал «Под знаменем марксизма». В последней такой публичной дискуссии в актовом зале МВТУ в 1985 г., где присутствовали ведущие профессора-механики Москвы, довелось участвовать и автору, более того, он был основным докладчиком на этой дискуссии. ***Результат дискуссии был однозначен – сил инерции нет, не было и не может быть, потому что в существующей механике им места нет.*** *Дискуссия велась в основном вокруг книги автора [11], и автор был этими результатами доволен, потому что и в докладе, и в книге говорилось одно* ***и то же – «нет» силам инерции****».*

Примечательна логика Гулиа: «…***Сил инерции нет***, ***не было и не может быть, потому что в существующей механике им места нет».*** Это логика типа: этого не может быть, потому что не может быть никогда. Правда Гулиа ведет речь об отсутствии сил инерции в существующей механике. Может быть, профессор имел в виду не действительную реальность, а ее математическое описание? В современной науке, как ни странно, физические представления о реальной действительности формируются именно на основе ее математического описания. Однако вряд ли столько лет дискуссия велась бы только в рамках абстрактного математического аппарата теоретической механики, не имеющего отношения к реальности! Поэтому приведенное высказывание Гулиа, скорее всего, следует понимать, как полное отрицание сил инерции в реальной природе. Далее в этой же главе Гулиа не оставляет никаких сомнений в фиктивности, по его мнению, силы инерции не только в математике, но и в реальной действительности:

«Он (Даламбер - авт.) *излагает свой принцип в седьмом томе французской «Энциклопедии наук, искусств и ремесел», причем излагает очень длинно, запутанно, но это, видимо, специально, чтобы не упомянуть термин «сила». Как предчувствовал Даламбер, что может приключиться, попади его принцип в руки не очень грамотных людей. А далее получилось именно то, чего боялся Даламбер. Французский математик и механик Ж.-Л. Лагранж (1736—1813), рафинированный теоретик, не подозревал, что в научном мире еще имеются люди не очень образованные, и все-таки привлек термин «сила» в формулировку их общего принципа Даламбера-Лагранжа.*

И вот одна из современных формулировок принципа Даламбера в обработке Лагранжа, которая и вызвала путаницу: «Если в любой момент времени к каждой из точек системы, кроме фактически действующих сил, приложить силы инерции, то система сил будет находиться в равновесии». Иначе говоря, тело «замрет», а стало быть, задачу можно будет решать методами статики, равновесия – легкими и простыми, гораздо более простыми, чем методы динамики. Что мы и делаем, ***почти никогда не упоминая о том, что прикладываем-то мы несуществующие силы инерции. Потом мы забыли, что силы эти несуществующие, и стали их считать реальными. Настолько реальными, что они вроде могут сломать что-то или двигать машину (инерцоид, например)****. Вот тут-то пошла целая масса ошибок, приведших даже к авариям машин. Особенно много казусов возникает при вращательном движении тела и возникновении пресловутой «центробежной силы»* ***(которой реально нет!),*** *но об этом после».*

В этой же книге в главе «Реальны ли центробежные силы?» Гулиа однозначно отрицает реальное существование силы инерции:

«Мы уже знаем, что ***так называемые силы инерции****, которые мы добавляем к реально действующим силам якобы для облегчения решения задач,* ***на самом деле не существуют. Слово «якобы» автор употребил потому, что иногда это «облегчение» оборачивается такой ошибкой, что лучше бы и не***

использовать этих сил инерции вообще. *Тем более, сейчас, когда всю счетную работу выполняют компьютеры, а им почти все равно, облегчили мы расчеты или нет».*

Мы полагаем, что если бы понятия силы инерции на самом деле не существовало, то никому бы не пришло в голову вводить его только для облегчения решения задач, т.к. вместо облегчения в этом случае получилось бы только усложнение. Именно так и получилось в современной физике, что признает и сам Гулиа. В приведенных выше цитатах классиков есть практически единодушное признание реального проявления сил инерции, а их математическая модель, в соответствии с которой сила инерции является фиктивной, не определяет физической сущности явления инерции. Как уже отмечалось выше, фиктивные силы инерции вводятся только для облегчения написания уравнений динамики. Гулиа же в приведенных цитатах отрицает именно физическое существование сил инерции. Далее Гулиа приводит убийственный, по его мнению, пример, подтверждающий физическое отсутствие сил инерции в природе:

«Приведем простейший, но, тем не менее, ***убийственный*** *для этих сил пример. Известно, что Луна вращается вокруг Земли. Спрашивается, действуют ли на нее центробежные силы? Спросите, пожалуйста, об этом своих товарищей, родителей, знакомых. Большинство ответит: «Действуют!»* ***Тогда вы поспорьте с ними, на что хотите и начинайте доказывать, что этого не может быть.***

Основных довода – два. Первый: *если бы на Луну действовала центробежная сила (то есть сила, направленная от центра вращения наружу),* ***то она могла бы действовать только со стороны Земли, так как других тел поблизости нет****. Думаю, что напоминать о том, что силы действуют на тела только со стороны других тел, а не «просто так», уже не надо. А если все так, то, значит, Земля не притягивает, а отталкивает Луну – от себя наружу. Между тем, как мы знаем, существует закон всемирного тяготения, а не отталкивания. Поэтому на Луну может действовать со стороны Земли только* ***одна-единствен-ная сила – притяжения Р****, направленная точно наоборот – от Луны к Земле. Такая сила называется центростремительной, и она реально есть, она-то и сворачивает Луну с прямолинейного инерционного пути и заставляет вращаться вокруг Земли. А центробежной силы, извините, нет (рис. 54).*

Второй довод. *Он для тех, кто не знает о существовании закона всемирного тяготения или забыл его. Тогда если бы на Луну действовала центробежная сила* ***(естественно, со стороны Земли, так как других тел, как мы уже знаем, поблизости нет),*** *то Луна не стала бы вращаться вокруг Земли, а улетела бы прочь. Если на Луну не действовало бы вообще никаких сил, то она спокойно пролетела бы мимо Земли по инерции, то есть по прямой (мы же забыли о всемирном тяготении!). А если бы со стороны Земли на Луну действовала центробежная сила, то Луна, подлетая к Земле, свернула бы в сторону и под действием этой силы улетела бы навсегда в космическое пространство. Только бы мы ее и видели! Но раз этого не происходит, стало быть, центробежной силы нет.* ***Вы выиграли спор, причем в любом случае.*** *А появилась эта центробежная сила оттуда же, откуда и силы инерции в прямолинейном движении – из принципа Даламбера. Здесь, во вращательном движении, этот принцип еще более облегчает решение задач, чем в прямолинейном. Еще бы, прикладываем к существующей центростремительной силе несуществующую центробежную – и Луна как бы зависает на месте! Делайте с ней, что хотите, определяйте ускорения, скорости, радиусы орбиты, периоды обращения и все остальное. Хотя все это можно определить и без использования принципа Даламбера».*

Наш взгляд, доводы Гулиа не только абсолютно некорректны с точки зрения физики, они просто наивны. Гулиа пытается судить о физической сущности силы инерции даже не на основе существующей математической модели движения, а на уровне логики, предназначенной для детей дошкольного возраста. При этом Гулиа оказывается еще и непоследовательным, т.к. ниже он вступает в противоречие со своей собственной позицией относительно реальности силы инерции:

«Но ради справедливости заметим все-таки, ***что центробежные или просто направленные от центра силы все-таки бывают,*** *но действуют они вовсе не на то тело, которое вращается, а на связь, удерживающую это тело (рис. 57). То есть не на автомобиль, а на дорогу, не на Луну, а на Землю, не на камень в праще, а на веревку и руку человека и т. д.»*

Не будем пока заострять внимание, на что именно действуют силы инерции – на связь между телами или на сами тела. Об этом мы уже говорили выше. Просто зададим профессору в связи с его словами, принципиальный вопрос, так бывают ли силы инерции, хотя бы ради справедливости или их все-таки нет в реальной действительности? Единственное отличие реально признаваемых профессором Гулиа сил от центробежных сил инерции состоит в том, что реальные силы, порожденные инерцией прямолинейного движения, Гулиа стыдливо называет просто направленными от центра силами, хотя физическая сущность центробежных сил инерции не меняется от того, как их называть. Скорее всего, что-то все-таки не так в современной физике. Тем не менее, несмотря на недвусмысленное признание сил инерции в приведенной

цитате, Гулиа продолжает настаивать на отсутствии сил инерции в реальной действительности. В статье «Алфизики XX века» Н. Гулиа пишет:

*«**Силы инерции – это всего лишь математический прием**, но тогда я верил, что **они существуют реально и даже могут совершать работу**. И предложил «центробежный» инерцоид».*

В этой цитате Гулиа недвусмысленно отрицает реальность сил инерции и соответственно возможность совершения ими какой-либо работы. Сначала Н. В. Гулиа был ярым сторонником инерцоидов, т.е. устройств, движущихся без опоры на окружающую материальную среду. После изучения классической механики, Гулиа стал таким же ярым их противником, считая, что силы инерции нереальны и, следовательно, не способны производить реальные действия:

«Сейчас мне стыдно, что, уже окончив институт, я думал, что центробежные силы реальны и могут действовать на грузы, совершая работу. Но, увы, именно так думает множество людей, имеющих дело с техникой, даже инженеры и некоторые ученые, ничуть не задумываясь над тем, что их представления в принципе неверны. Как заметил Т. Эдисон, к сожалению, большинство людей предпочитают безмерно трудиться, вместо того чтобы немного подумать».

Изучив теоретическую механику Гулиа, полагает, что приобрел верные представления о явлении инерции, хотя, как известно природа инерции на сегодняшний день не установлена и поэтому исчерпывающих сведений об инерции в современной теоретической механике Гулиа при всем его желании почерпнуть никак не мог. Тем более что из приведенного выше обзора работ различных авторов по теоретической механике следует, что его мнение о силах инерции расходится даже с мнением классиков теоретической механики, которые говоря о фиктивности сил инерции в современной теории движения, признают их реальность с физической точки зрения. Тем не менее, Гулиа считает («Алфизики XX века»), что теперь он свободно ориентируется в лабиринтах теоретической механики, читай в вопросах инерции:

*«Теперь, став профессором механики**, я довольно свободно ориентируюсь в тех лабиринтах, куда попадают по своей воле создатели инерцоидов**. Мне особенно близки и понятны эти ситуации, ибо я не забыл еще, как сам в них оказывался. И я хочу рассказать читателям правду об инерцоидах, почему они движутся по реальным поверхностям и не могут двигаться без опоры и как самому посредством несложного опыта убедиться в этом».*

Еще раз адресуем уже «немного подумавшему» Гулиа тот же вопрос, так, в чем же все-таки заключается реальная справедливость, в том, что силы инерции есть, хотя бы ради справедливости или их все-таки нет? Свободно ориентироваться в лабиринтах существующей теоретической механики вовсе не означает свободно ориентироваться в реальной действительности, это несколько разные вещи. В книге «Удивительная физика» в главе «Кто стоял на плечах гигантов?» Гулиа отмечает, что суть понятия инерции отражена в первом законе Ньютона:

«К сожалению, многие из нас часто неправильно толкуют термин «по инерции». По инерции крутится маховик, по инерции я ударился лбом о стекло, когда автомобиль затормозил… Все это бытовые понятия инерции. Строгое же только то, которое определяется первым законом Ньютона. Который до него, может, не так точно, но сформулировал… нет, не Галилей – Декарт!»

Причем Гулиа считает определение великого Ньютона неточным, т.к. по его мнению, не то движение считается движением по инерции, в котором отсутствуют «обычные» силы взаимодействия, т.е. отсутствуют какие-либо взаимодействия с другими телами, а то в котором все силы, действующие на тело, скомпенсированы:

*«Возьмем первый закон Ньютона (это тот, который иногда несправедливо приписывают Галилею). Сам Ньютон сформулировал его очень уж мудрено, как, кстати, и во многих школьных учебниках. Автор полагает, что более кратко и проще всего говорить так: «Тело пребывает в покое или движется равномерно и прямолинейно, если равнодействующая внешних сил, приложенных к нему, равна нулю». Вроде бы и придраться тут не к чему. **А то пишут в некоторых учебниках: «…если на тело не действуют силы или другие тела…». Неточно это, …»***

С точки зрения физики никаких неточностей в классической формулировке первого закона Ньютона нет, и быть не может. Если на покоящееся или движущееся равномерно и прямолинейно тело не действуют другие тела, т.е. отсутствуют какие-либо внешние взаимодействия, то на тело просто не могут действовать никакие силы в принципе, о чем и говорится в классической формулировке. Таким образом, ни о какой равнодействующей не может быть и речи. Уточнение Н. В. Гулиа скорее относится к чисто формальной математической записи первого закона Ньютона и для физики равномерного и прямолинейного движения вряд ли является существенным. С точки зрения физики для тела, как замкнутой системы движущейся равномерно и прямолинейно все взаимно скомпенсированные внешние силы являются фиктивными, т.е. не существующими. Если замкнутая система испытывает реальные внешние воздействия и при этом продолжает двигаться равномерно и прямолинейно, то это означает, что

другие тела, вызывающие эти воздействия движутся синхронно вместе с этой системой, т.е. являются частью этой же системы. Следовательно, это внутренние взаимодействия замкнутой системы. А равнодействующая всех внутренних взаимодействий, как известно равна нулю. Так что уточнение Гулиа по сути дела не стоит выеденного яйца, поскольку является лишь следствием классической формулировки. Стыдно профессору механического раздела физики этого не понимать.

Физическая сущность первого закона Ньютона, на наш взгляд, сводится к тому, что если отсутствуют силы, то отсутствуют и ускорения. Но только причем здесь сила инерции? При отсутствии внешних воздействий или если их равнодействующая сила равна нулю, как предлагает считать Гулиа, ни фиктивная, ни реальная сила инерции как раз не проявляется, противодействовать то нечему! Первый закон Ньютона определяет состояние материи, в котором с ней, как с замкнутой системой тел ничего не происходит при ее механическом перемещения в пространстве, т.е. общее количество движения системы не изменяется. В состоянии полного отсутствия всякого действия никакие силы по отношению к системе в целом не могут проявляться в принципе. Сила же инерции, как и любые другие силы, проявляется только при переходе от бездействия к действию. Даже если предположить, что сила инерции не существует, то, если уж быть до конца последовательным, отсутствие каких-либо сил вообще не может свидетельствовать исключительно только о фиктивности силы инерции. Отсутствие чего-либо не может ничего доказывать в принципе, кроме того, что нет того чего нет в конкретной рассматриваемой ситуации и не более того.

В этой связи не совсем понятно, на чем основывается Гулиа, утверждая, что строгое понятие инерции «*определяется первым законом Ньютона».* В формулировке первого закона Ньютона, данной классиком, ни слова не говорится об инерции. Не встречается определение инерции и в формулировке первого закона динамики, данной самим Гулиа. Понятие «движение по инерции», как правильно считает сам Гулиа это бытовое понятие, которое в быту означает движение без видимых причин. Силы инерции никак себя не проявляют только при отсутствии воздействия других тел, но оказывают противодействие любым внешним силам, нарушающим состояние движения (покоя) материальных тел, удовлетворяющее первому закону Ньютона. Поэтому с физической точки зрения «движение по инерции» правильнее, на наш взгляд понимать, как движение материальных тел под непосредственным действием сил инерции или применительно к первому закону Ньютона, хотя и в отсутствие каких-либо сил, но **под «защитой» сил инерции.** Такая логика хоть как-то увязывает первый закон Ньютона с понятием инерции. Однако движение в отсутствии каких-либо сил это академическое понятие. С учетом мировой материальной среды такое движение невозможно, т.к. силы взаимодействия со средой, т.е. силы инерции должны присутствовать всегда при любом движении. О движении под действием сил инерции мы поговорим ниже.

Гулиа же считает, что движение по инерции это состояние движения (покоя) материальных тел, удовлетворяющее первому закону Ньютона само по себе, которое никак не связано с возможным противодействием силы инерции внешним силам, если таковые возникнут, т.к. взаимодействия материальных тел не определяются первым законом Ньютона. Более того, Гулиа считает, что силы инерции в природе физически не существуют. В подтверждение своего мнения в «Удивительной физике» в главе «Инерция: сила или бессилие?» Гулиа приводит слова Ньютона, которые, по его мнению, определяют смысл сил инерции, как несуществующих сил:

«Врожденная сила материи – есть присущая ей способность сопротивления, по которому всякое отдельно взятое тело удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения».

Гулиа утверждает, что термин «сила» в приведенном высказывании Ньютона употреблен ошибочно, и эту ошибку впоследствии исправил сам Ньютон, а раз так, то сил инерции по Ньютону не существует:

«Что же это такое ***– врожденная сила материи****, которую сам Ньютон позже назвал* ***«силой инерции»****? Да это же просто инерция, не «сила», а фундаментальное свойство материи. Раньше, во времена Ньютона, все, что угодно, любили называть «силой»: «сила движения», «сила убеждения», «сила любви», наконец. Тем более сам Ньютон потом поясняет, что термин «сила» может быть растолкован как «свойство».* ***Итак, «силы инерции» по Ньютону – совсем не силы».***

Оказывается, силу инерции, по мнению Гулиа, назвали силой только потому, что во времена Ньютона ***«все, что угодно, любили называть «силой»!*** Из этого Гулиа делает «логический» вывод, что ***«силы инерции» по Ньютону – совсем не силы»,*** а значит, сил инерции в природе не существует! Однако, на наш взгляд, в этом заключении логика начисто отсутствует. Более того это заключение просто противоречит всем законам логики.

Во-первых, термин «сила» действительно может быть растолкован как «свойство», однако из этого вовсе не следует вывод, что силы инерции не существуют. Ведь свойство материи оказывать сопротивление ее выходу из состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения вряд ли

можно реализовать в отсутствие силы. Сопротивление и сила это практически синонимы, по крайней мере, на физическом уровне. Вот если бы Ньютон, кроме замены «сила» на «свойство» заменил бы чем-нибудь «сопротивления», например на «движения», то из высказывания Ньютона исчезли бы даже намеки на силу. Однако Ньютон этого не сделал, т.к. при этом изменился бы и весь смысл его определения, приведенного выше. А вот после замены «сила» на «свойство» смысл слов Ньютона абсолютно не меняется, вопреки притянутой «за уши» логике Гулиа. Разве чему-нибудь противоречит объяснение понятия силы, как свойства тел сообщать ускорение другим телам при взаимодействии с ними?! Может быть, как раз именно это имел в виду Ньютон, поясняя впоследствии, как говорит Гулиа, *«что термин «сила» может быть растолкован как «свойство»*?

Во-вторых, Гулиа или не понимает, или умышленно искажает смысл высказывания Ньютона. Вопрос ведь не в том «сила» или «свойство» оказывают сопротивление выходу материальных тел из состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения, а в том, что такое сопротивление по Ньютону все-таки существует. Следовательно, в своем высказывании Ньютон не ставит под сомнение явление инерции. Ньютон по сути дела дает ему четкое определение, как сопротивления материи, с помощью которого эта самая материя реализует свое свойство удерживать состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения независимо от того, как назвать нечто, оказывающее сопротивление изменению состояния движения физических тел: «сила» или «свойство».

В «Удивительной физике» Гулиа жестко критикует Галилея и уличает в неточности Ньютона, однако логика самого профессора, мягко говоря, не всегда понятна, а порою просто отсутствует. В статье «Алфизики XX века» Гулиа с пафосом пишет:

«Мне хочется посоветовать молодым изобретателям, рационализаторам, конструкторам не поддаваться авантюрным увлечениям «сумасшедших» идей, противоречащих науке. Ведь сама наука предлагает нам столько нового, столько интересного... Не пасть жертвой алфизики, не сделать свою жизнь бесплодной и полной разочарований и неудач – одна из задач занимающихся научно-техническим творчеством. Путь к ее решению – через науку, через непрерывное систематическое учение. И я желаю вам удачи в этом!»

Никто не против систематического учения, только не совсем понятно, что подразумевает Н. В. Гулиа под словом «наука». Складывается впечатление, что наука это только то, что соответствует его личным нынешним взглядам на природу вещей. В связи с этим не совсем понятно, кому Гулиа желает удачи в науке? Всем кто хочет установить истинную природу вещей или только тем, чьи взгляды соответствует нынешним взглядам бывшего алфизика и нынешнего профессора Гулиа. Вспомните, ведь когда-то по его же словам он видимо с не меньшим энтузиазмом, чем тот с которым он сегодня отрицает существование силы инерции, ругал тех, кто как раз не признавал инерцию, как реальную силу (см. «Алфизики XX века»):

*«Как и следовало ожидать, я обругал (про себя) экспертов**, назвал их неучами, ограниченными людьми и пожаловался на них, куда следует** за то, что они из-за узости мысли не могут разглядеть проблему века».*

Конечно же, очень хорошо, когда человек признает свои ошибки, тем более публично. Однако не рановато ли Гулиа переметнулся в лагерь своих идеологических противников, ведь относительно физической сущности явления инерции никто еще ничего никому твердо не доказал вопреки мнению самого Гулиа, что он все всем доказал. Так что неплохо напомнить слова самого Гулиа, приведенные в «Удивительной физике» в главе «Аристотель был прав?»:

*«**Так что не стоит слепо верить мнениям, даже авторитетным**. Правильно говорил Козьма Прутков, что если на клетке слона прочтешь «буйвол», не верь глазам своим!»*

На каком основании можно верить Гулиа? Все примеры Гулиа с тележками, безусловно, правильны, но никакого отношения к принципам безопорного движения не имеют. Как можно утверждать, что он Гулиа все и всем доказал, если с другой стороны можно на сто процентов сказать, что сам Гулиа ничего толком не знает о природе инерции. И это не голословное утверждение. На сегодняшний день природа инерции официальной наукой, приверженцем которой является Гулиа, не установлена. Не известны и революционные работы самого Гулиа о природе инерции. Все его нынешние доводы не выходят за рамки средней школы. Сейчас Гулиа стыдно за свои прошлые взгляды. Но как бы ему не было стыдно позднее за то, что он отрекся от этих взглядов, не имея на то никаких объективных оснований. Молодой Гулиа и нынешний профессор Гулиа одинаково знают о природе инерции, т.е. ничего толком о ней не знают. Скорее всего, Гулиа просто сумел рассмотреть на клетке современной физики «табличку» ***«нет» силам инерции»*** и слепо поверил этому, да еще и других теперь пытается учить тому, чего сам толком не понимает**.**

А что касается его ложного стыда, если, конечно же, он не красуется, то ничего стыдного в том, что человек ошибается, нет. Профессорами не рождаются. Великий Циолковский тоже изобретал инерцоиды. А вот отказаться от своих взглядов, не убедившись на сто процентов в их ошибочности стыдно. Скорее всего, Гулиа просто расписался в своем бессилии решить проблему и переметнулся в лагерь своих бывших идеологических противников. По крайне мере на сегодняшний день Гулиа не представил никаких объективных доказательств своего личного глубокого понимания явления инерции, кроме своих нынешних взглядов более или мене соответствующих официальной науке. Единственное его доказательство определяется известным выражением «этого не может быть, потому что не может быть никогда»!

В статье «Алфизики XX века» Гулиа пишет:

«Есть люди, которые лихорадочно работают в этом направлении, тратя впустую свое, а также ***чужое время и материальные ресурсы****, не без успеха привлекают в свои ряды все новых алфизиков. Таким образом, проблема «безопорного движения»* ***не так уж невинна****, и внимание ей нужно уделить такое же пристальное и серьезное, как когда-то «вечным» двигателям».*

«Жажда быстрой и шумной славы, престижные публикации, мишура, а не серьезная и вдумчивая работа – вот их маяк».

И это пишет человек, который сам когда-то изобретал подобные вещи, если верить его словам, в чем мы почему-то глубоко сомневаемся. Во всяком случае, он запомнился нам еще из давних телевизионных передач, только как человек громче всех других оппонировавший Толчину опять же по принципу «этого не может быть потому, что не может быть никогда» и по принципу «не верь глазам своим». Неужели молодой Гулиа, если он действительно изобретал инерцоиды, мечтал обо всем том, о чем он пишет (выделено жирным шрифтом в последней цитате). Иначе откуда ему известно такое про других? Гулиа говорит, что образ алфизиков у него сложился из писем и многочисленных бесед с ними:

«По их письмам (а у меня сотни таких писем, адресованных как мне, так и а редакции различных журналов), а также по весьма частым беседам с ними я составил достаточно полный образ современного алфизика».

Но неужели молодые в основном, как мы полагаем, и некоторые немолодые изобретатели сами говорили Гулиа, что хотят только славы, почестей и денег! Мы в этом глубоко сомневаемся, скорее всего, Гулиа лукавит. В большинстве случаев люди особенно в молодом возрасте или молодые по духу, да и большинство просто нормальных людей стремятся к «чуду» и к познанию чуда. Это стремление всегда и двигало науку, за которую так ратует Гулиа. Конечно же, нормальные люди хотят и признания общества, в том числе, и в большинстве случаев пытаются его честно заслужить, и в этом ничего плохого нет. Это тоже один из двигателей прогресса. Нельзя же во всем видеть только плохое и корыстное, если это не соответствует пусть даже общепризнанным на сегодняшний день взглядам в науке. Кстати на сегодняшний день изобретатели инерцоидов не имеют абсолютно никаких дивидендов от своих изобретений, кроме критики официальной науки.

Ничего такого, что Гулиа приписывает изобретателям инерцоидов в статье «Алфизики XX века», скорее всего, нет на самом деле. Нарисованный Гулиа собирательный образ алфизика он, по всей видимости, списал с себя, ведь он сам в прошлом алфизик, поэтому точно знать какие корыстные мысли обуревают истинными алфизиками, он мог только на своем собственном примере. А вообще все эти околонаучные рассуждения Гулиа о нравственности и личности «алфизиков» никакого отношения к существу вопроса не имеют. Доказывать свою правоту в науке нужно научными аргументами, но никак не с помощью разбора личности пусть даже собирательной. Что же касается научных аргументов, то ничего существенного, чего не знали бы «алфизики», среди которых, по словам самого же Гулиа есть и ученые, он в подтверждение своей позиции не привел.

Те аргументы, которые он приводит сегодня, хорошо известны каждому школьнику и скорее всего, были известны и молодому Гулиа, а не только профессору Гулиа. Ведь никаких новых научных открытий в области инерции за эти годы сделано не было. Природа инерции за период кардинального изменения взглядов Гулиа не стала в представлении официальной науки не только до конца раскрытой, но даже хотя бы более понятной и непротиворечивой. Сам Гулиа в этом вопросе также науку ни сколько не продвинул, лишь только стал более *«свободно ориентироваться»* в том, во что сам раньше не верил. Таким образом, профессор просто сменил идеологию, может быть как раз для достижения тех целей, которые он приписывает всем «алфизикам» и теперь банально пытается просто обратить в свою веру других. Но наука это не религия, чтобы в нее поверить, нужны четкие научные аргументы. Расплывчатость и двойственность понятий в науке этому не способствует.

Создается впечатление, что шельмование, которое зачастую происходит как раз именно в религии это характерная черта Гулиа. Его негативное отношение к «алфизикам» приведено выше. Более подробно об

этом можно прочитать в его статье «Алфизики XX века». В «Удивительной физике» он критикует практически всех классиков, причем не только в научном плане, что само по себе не вызывает никаких возражений, т.к. профессор XX века, какой бы он ни был, знает естественно намного больше, чем его предшественники, жившие более 400 лет назад. Негативную реакцию вызывает тот факт, что Гулиа пытается затрагивать нравственные и личностные вопросы в отношении своих предшественников. Особенно достается Галилею, что прослеживается на протяжении почти всей книги. В главе «Аристотель был прав?» его негативное отношение к Галилею просто граничит с неприличностью:

«Все, наверное, еще из школьных учебников помнят, что великий ученый древности Аристотель утверждал: легкие тела падают медленнее тяжелых. Кстати, в этом может легко убедиться каждый из нас, даже не выходя из комнаты. Но Галилей будто бы доказал, что и легкие, и тяжелые тела падают совершенно одинаково. Раз уж речь снова пошла о Галилее, не мешало бы нам познакомиться кратко с его биографией. Ведь о Галилее думают и пишут, кто что хочет. Вот результаты опроса автором своих студентов о том, кто такой Галилей:

– это тот ученый, которого инквизиция сожгла на костре за проповедование учения Коперника;

– это тот мученик, который сидел в каземате в инквизиционной тюрьме, а на суде, топнув ногой, крикнул: «И все-таки Земля движется!», за что ему накинули срок;

– это ученый, придумавший подзорную трубу, называемую с тех пор «трубой Галилея»;

– это тот ученый, который первым сформулировал закон инерции, который почему-то называется «законом Ньютона».

Были и такие ответы, где Галилей представлялся монахом-отшельником; ученым, обнаружившим, что Земля круглая; тем, кто впервые доказал вращение Земли вокруг Солнца; был даже такой респондент, который утверждал, что Галилей – воспитатель Иисуса Христа, которого из-за этого называли «галилеянином». Более того, широко известны картины «Галилей в темнице» художника Пилоти, а особенно картина «А все же движется!» художника Гаусмана, где изображен суд инквизиции над героическим ученым.

Откуда все это? Почему именно Галилей оказался объектом столь разноречивых мнений, причем совершенно неверных. Ни одно из приведенных выше мнений не верно. ***Не сжигали Галилея на костре, не сидел он в каземате, не применялись к нему пытки, не топал он ногой, восклицая: «А все-таки Земля движется!» – это все мифы и легенды. Да, были у него столкновения с инквизицией, но общий язык был быстро найден. Из протокола заседания инквизиционной комиссии следует, что Галилея только «увещевали», и он быстро согласился с этими «увещеваниями».*** *Когда же Галилей высказал папе Павлу V свое опасение, что его будут беспокоить и впредь, то папа утешил его, сказав, что он может жить спокойно, потому что он пользуется таким весом в глазах папы, что пока он, папа, жив, Галилею не грозит никакая опасность.*

Нужно лишь отметить, что правда взаимоотношений Галилея и инквизиции была определена лишь путем анализа оставшихся документов с помощью новейших средств – рентгена, ультрафиолетового излучения, даже графологического исследования в 1933 г. Дело в том, что документы, относящиеся к процессу Галилея, были неоднократно подчищены, фальсифицированы самым хитрым способом, причем часть строк оказалась подлинной, а часть – вписанной уже после. ***Но правда была восстановлена, и она не в пользу принципиальности и героизма Галилея.*** *Так что картины о Галилее могут иметь только художественную ценность.*

В 1589 г. 25-летний Галилей был назначен профессором университета в Пизе. В этом же университете Галилей и получил свое образование; ***правда, 3 года проучившись на медика, он потом передумал и занялся математикой и астрономией. Автор не зря это отмечает: сомнения и «передумывания» очень уж характерны для Галилея.*** *В 1597 г. при переписке с Кеплером Галилей получает в подарок от великого астронома только что вышедшую его книгу «Космографическая тайна», где Кеплер развивал учение Коперника, и предложил ему, Галилею, делать то же. Но Галилей даже не ответил на последнее письмо Кеплера, испугавшись того, что переписка с протестантом Кеплером могла набросить на него тень в глазах церкви. Очень уж осторожен был «герой-мученик».*

К тому же периоду пребывания Галилея в Пизе относится миф о том, что ученый делал опыты по бросанию тяжелых тел с наклонной Пизанской башни (рис. 34). Невероятность этого мифа, как подчеркивают исследователи Галилея, состоит в том, что ученый, ведший очень скрупулезные записи своих наблюдений и опытов, ни словом об этом не упоминает. Он просто катал тяжелые шары по желобу, это было.

В Пизанском университете Галилей получает жалованье в 60 флоринов в год, но ему этого показалось мало и он, бросив «альма-матер», переезжает в Падую, где ему предложили втрое больший оклад. ***И вдруг ему назначают оклад аж в 1 тысячу флоринов и пожизненно закрепляют за ним***

кафедру в университете за то, что он «изобрел» подзорную трубу и предоставил ее в распоряжение венецианского правительства. Это произошло в 1609 г., а за год до этого подзорную трубу изобрел (но уже без кавычек) голландец Иоганн Липпершей (1570—1619) и запатентовал ее в Нидерландах, о чем Галилею было известно, а венецианскому правительству – нет *(рис. 35). Это что касается мифа о подзорной «Галилеевой» трубе».*

Просто полное развенчание и ниспровержение Галилея. Откуда такое мягко сказать явно не дружеское отношение к Галилею? Неужели лавры жившего более 400 лет назад Галилея не дают покоя, не отмеченному таким вниманием современников профессору Гулиа? Н. В. Гулиа делает все возможное, чтобы развенчать Галилея, хотя его придирки не только не всегда корректны по форме, но и порой не оправданы с точки зрения научной целесообразности. Даже по поводу одинаковой скорости падения на Землю различных по массе тел под действием притяжения Земли Гулиа счел нужным внести свои не совсем уместные в данном случае поправки только для того, чтобы подчеркнуть некомпетентность Галилея:

«Об ошибках Галилея в определении «инерционного» движения уже говорилось выше. Да и доказательство того, что тяжелые и легкие тела падают ***одинаково быстро****, сформулированное Галилеем, также оказалось неверным.* ***Тяжелые тела падают быстрее, чем легкие, – эта совершенно правильная мысль Аристотеля уже почти 500 лет, со времени Галилея, считается ошибочной. Не верьте на слово даже Галилею, проверьте сами.*** *Что, пушинка и гиря, выброшенные из окна, приземлятся за одно и то же время? Ах, сопротивление воздуха мешает? Тогда проведите этот же опыт хоть на Луне, где почти нет атмосферы, да только время падения измеряйте поточнее. И увидите, что даже в вакууме* ***тяжелые тела падают быстрее легких, а детям в школах уже сотни лет морочат голову, что гиря и пушинка падают за одно и то же время».***

Что же такое «время падения тела?» Это время, прошедшее между моментом освобождения тела (отпусканием груза) и его приземлением (прилунением и т. д.). Определим его. По закону всемирного тяготения на груз и на саму планету (Землю, Луну, астероид, и т. д.) действуют одинаковые по величине и направленные друг к другу силы:

$F = \gamma Mm/ r 2,$

где γ – гравитационная постоянная; M, m – массы планеты и груза;

r – расстояние между центрами масс этих тел.

Ускорение груза: агр =F/m, ускорение планеты: апл = F/M (ускорения m и M для простоты считаем постоянными). Скорости груза и планеты:

$V гр = a гр t; V пл = a пл t,$

где t – время.

Скорость сближения этих тел (скорость падения): Vпад=(агр+апл)t, при этом средняя скорость падения:

$V пад. ср = V пад. к. / 2$

где Vпад. к – скорость приземления тела. Время падения (оба тела приближенно считаем точками): t = 2r / Vпад. к. Подставляя Vпад. к., получим:

$$t=\sqrt{2r^3/(G(M+m)}$$

Запомните эту формулу – вот истинное время падения одного тела на другое. Так как в знаменателе под корнем сумма масс тел, то при постоянной массе планеты M чем больше масса груза m, тем меньше время падения, т. е. тем быстрее тело падает. Уж если мы хотим быть корректными, то надо говорить, что ускорение одновременно падающих в пустоте тел одинаковое, но при падении порознь тяжелое тело даже в пустоте шлепнется с высоты быстрее, чем легкое, согласно Аристотелю. Потому что сама планета, или пусть даже астероид, на который падает тело, будет тем быстрее двигаться навстречу, чем тяжелее (массивнее) падающее тело.

Так что не стоит слепо верить мнениям, даже авторитетным. Правильно говорил Козьма Прутков, что если на клетке слона прочтешь «буйвол», не верь глазам своим!

Но позвольте, если Галилей не проводил опытов по бросанию шаров с наклонной Пизанской башни, то откуда его доказательство, что быстрота падения тел не зависит от их тяжести?

Доказательство это построено на формальной логике, и, на взгляд автора, это чистой воды софистика. Посудите сами, вот цитата из Галилея: «Уважаемые сеньоры, представьте, что вы взошли на башню, имея две монеты в 5 и 3 скудо. Первая должна падать быстрее, вторая – медленнее. Если вы свяжете монеты бечевкой, вес возрастет, и они должны падать быстрее, но, с другой стороны, монета в 3 скудо, как более легкая, должна тормозить 5 скудо. Получаемое противоречие снимается одним утверждением – вес предмета не влияет ***на скорость*** *свободного падения».*

Давайте задумаемся, какое падение Галилей имел в виду: в воздухе или пустоте? Конечно, в воздухе, потому что пустота, или вакуум, был открыт только его учеником Торричелли, причем гораздо позже; да и никому в голову еще долго после этого не могла прийти мысль бросать тела в пустоте – об аэродинамике тогда не имели понятия, а пустота существовала только в крохотном верхнем конце трубочки ртутного барометра Торричелли. Но тогда быстрее всего будет падать монета в 5 скудо, медленнее – связка из двух монет, а наиболее медленно – монета в 3 скудо, причем в связке эта последняя аэродинамическим сопротивлением будет именно тормозить монету в 5 скудо. Таким образом, рассуждение Галилея неверно, можно сказать, «скудно».

А теперь послушайте предложенное автором доказательство того, что тяжелые тела падают быстрее легких, и опровергните, если можете: «Представьте себе, что вы взошли на башню, имея две матрешки: большую тяжелую, и маленькую полегче. При этом большая падает быстрее меньшей – так выбраны массы и аэродинамика этих матрешек. Если мы вложим меньшую в большую, то полученное тело будет падать быстрее всего, так как большая матрешка „берет на себя“ все аэродинамические сопротивления, в этом можно убедиться экспериментально. Значит, тяжелые тела падают быстрее легких».

Что же произойдет в пустоте или вакууме? И в первом (Галилеевом), и во втором (автора) случаях связка монет или две матрешки упадут на Землю быстрее, чем эти тела порознь, причем более тяжелое тело упадет быстрее. Почему – уже было сказано выше.

Что же касается падения тел в так называемой трубке Ньютона, то тут, простите, все правильно (рис. 36). И дробинка, и пушинка приземлятся в вакууме одновременно, потому что летят вместе, притягивая к себе Землю совместно, общей массой. А вот попробуйте сбросьте на Землю легкий астероид с высоты Луны, а потом и саму Луну (предварительно остановив ее, конечно, и убрав с земли астероид, для точности!) И измерьте разницу во времени падения, которую, кстати, несложно вычислить. А потом и говорите, кто прав: Аритотель или Галилей!

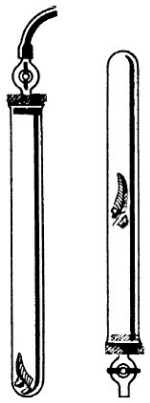


Рис. 36. Трубка Ньютона».

Совершенно очевидно, что Аристотель имел в виду падение тел в условиях земной атмосферы. С этим согласен и сам профессор Гулиа, т.к. он пишет, что *в «…этом может легко убедиться каждый из нас, даже не выходя из комнаты».* А раз так, значит, Аристотель был абсолютно прав, что *«…легкие тела падают медленнее тяжелых»,* но только в атмосфере. Гулиа же ссылаясь на Аристотеля, считает, что тяжелые тела и в атмосфере и в вакууме падают быстрее легких, если их бросать порознь. Современный нам профессор физики, абсолютно необоснованно считает, что слова Галилея *«…легкие, и тяжелые тела падают совершенно одинаково»* следует расценивать именно как одинаковое время падения легких и тяжелых тел, выброшенных из окна порознь. Поэтому Гулиа решил поправить древнего мыслителя. Он же теперь ничего не сможет возразить «светилу» современной науки, который считает себя вправе без всяких на то оснований поправлять даже самого Ньютона. Нам же кажется более очевидной версия, в соответствии с которой Галилей имел в виду ускорение падения легких и тяжелых тел, которое не зависит от их массы, как при синхронном падении, так и при раздельном падении, если масса ответного тяготеющего тела остается при этом неизменной.

Галилей нисколько не виноват в том, что «***детям в школах уже сотни лет морочат голову»***. Да собственно никто детям голову и не морочит, по крайней мере, в этом вопросе. На наш взгляд, именно Гулиа пытается заморочить голову не только детям, но и всем остальным.

Во-первых, действительно Земля в поле тяготения пробных тел движется навстречу им, также как и они движутся навстречу Земле в ее поле тяготения. Поэтому точка встречи каждого из этих тел с поверхностью Земли при бросании их по отдельности будет изменять свое положение в пространстве в зависимости от массы пробных тел. Следовательно, время встречи пробных тел разной массы с

поверхностью Земли при раздельном падении естественно будет изменяться, на что пытается обратить внимание Гулиа. Однако в соответствии с законом всемирного тяготения скорость падения и у гири и у перышка в поле тяготения Земли будет одинаковая при любой последовательности бросания этих тел к Земле с одинаковой высоты, конечно же, при условии прохождения ими одинакового расстояния по высоте. То есть тела с разной массой в поле тяготения Земли будут ускоряться совершенно одинаково. Таким образом, обоснованием (подтверждением) закона всемирного тяготения, соответствующим его физическому смыслу явилось бы не одинаковое время встречи пробных тел разной массы с Землей, а одинаковое время прохождения ими одинаковых расстояний в поле тяготения Земли относительно независимой абсолютной системы отсчета, т.е. их одинаковая скорость и ускорение в поле тяготения Земли.

Земля естественно не является абсолютной системой отсчета, т.к. в соответствии с законом всемирного тяготения сама ускоряется в поле тяготения пробных тел. Однако при существующем соотношении масс перышка и гири с массой Земли разница во времени встречи пробных тел с Землей при их раздельном бросании будет исчезающе мала. К тому же на погрешность определения времени движения пробных тел влияет точность измерения расстояния до точки встречи, разность которого для гири и перышка также будет исчезающе мала. Поэтому в некотором приближении в пределах существующей во времена Галилея погрешности измерений поверхность Земли можно принять за абсолютную систему отсчета. В этом случае одновременность падения пробных тел разной массы в некотором приближении, как раз и свидетельствует об одновременности прохождения ими одинакового расстояния, а, следовательно, и об одинаковом ускорении их падения. По-видимому, именно такой вывод и сделал Галилей, который естественно мог не знать формулы закона всемирного тяготения Ньютона.

Как мы уже говорили, под словами Галилея *«совершенно одинаково»*, раз уж ему отводят такую историческую роль, следует понимать одинаковую скорость падения пробных тел в поле тяготения Земли. Галилей полагал, что определяет скорость падения на одинаковом по высоте отрезке для каждого из бросаемых тел. Именно поэтому по одинаковому времени падения пробных тел на Землю Галилей вправе был сделать вывод и об их одинаковой скорости падения. Другого способа определения скорости просто не существует. Причем совершенно очевидно, что Галилей имел в виду именно скорость падения пробных тел. Доказательства Галилея Гулиа называет *«чистейшей воды софистикой»* (см. выше). Тем не менее, из этого доказательства однозначно следует, что Галилей имел в виду одинаковую **скорость** падения предметов разной массы: *«…Получаемое противоречие снимается одним утверждением – вес предмета не влияет **на скорость** свободного падения»*. Скорость и время, хотя и взаимосвязанные понятия, тем не менее, их нельзя отождествлять друг с другом!

Во-вторых, Гулиа, безусловно, известно, что кроме закона всемирного тяготения детям в школе еще «морочат» голову законом сохранения импульса, в соответствии с которым дети, которые хорошо учатся в школе, легко разберутся со временем встречи тел любых масс при любых силах, проявляющихся при их взаимодействии, по крайней мере, теоретически. Это общий вопрос, который относится к любым взаимодействиям вообще, в том числе и через силу тяготения. Правда в некоторых научных кругах вызывает недоумение применение третьего закона Ньютона к гравитационному взаимодействию. Дело в том, что взаимодействие тяготеющих тел происходит в отсутствии их прямого контакта, что не соответствует условиям применения третьего закона Ньютона и соответственно закона сохранения импульса. Теоретическое обоснование равного действия сил тяготения на взаимодействующие тела через поле тяготения в современной физике отсутствует. Однако никаких данных, позволяющих усомниться в том, что закон всемирного тяготения, как частный случай взаимодействия осуществляется в соответствии с законом сохранения импульса, на сегодняшний день нет. Поэтому время падения разных тел в поле тяготения Земли можно определить в соответствии с законом сохранения импульса безотносительно к особенностям закона всемирного тяготения.

Специфика закона всемирного тяготения в рассматриваемом контексте состоит лишь в том, что все пробные тела в поле тяготения одного и того же ответного тела имеют одинаковое ускорение свободного падения. При увеличении массы одного из взаимодействующих тел его ускорение в поле тяготения другого тела не изменяется, т.к. сила тяготения, действующая на первое тело, изменяется пропорционально его же массе при неизменной массе ответного тела. Разное время встречи вытекает из закона сохранения импульса и, конечно же, не противоречит закону всемирного тяготения. Однако акцентирование внимания на теоретической разнице времени встречи пробных тел разной массы с Землей при рассмотрении специфики закона всемирного тяготения очень напоминает разговор «про Фому» и «про Ерему», уводящий читателей в сторону от главного вывода, сделанного Галилеем из своих пусть несовершенных в метрологическом отношении опытов. По общепринятому мнению Галилей правильно

истолковал результаты своих опытов. С исторической ролью Галилея не согласен, пожалуй, один только Гулиа. Однако совершенно неизвестно какие выводы сделал бы сам Гулиа, не зная закона всемирного тяготения, получи он на месте Галилея разное время падения пробных тел разной массы. Возможно, такие результаты отодвинули бы появление закона всемирного тяготения на неопределенный срок, будь Гулиа на месте Галилея.

Трудно определить, чем руководствовался Гулиа в этом заочном споре с Галилеем. Его желание показать современникам свою ученость по сравнению с людьми, жившими более 400 лет назад, прикрываясь благородной целью защиты Аристотеля, выглядит, по меньшей мере, смешным и наивным. Кстати, Аристотель не учитывал сопротивления воздуха атмосферы и поэтому изначально был неправ, но дело вовсе не в этом. Скорее всего, Аристотель нужен Гулиа как «союзник» против Галилея и как повод для проявления собственной учености. Неужели Гулиа считает, что про разницу во времени падения знает только он, и никто кроме него за 400 с лишним лет об этом не догадывался? Может быть, Гулиа хочет показать свою принципиальность и бескомпромиссность по сравнению с беспринципностью Галилея? Однако его «принципиальность» сегодня полностью противоречит его же «принципиальности» в молодости, когда он изобретал инерцоиды. Понятно, что взгляды ученых со временем могут меняться, и в этом нет ничего предосудительного. Но тогда почему Гулиа так несправедлив к Галилею, забывая собственную историю становления, которая не отличается особой бескомпромиссностью?

Лучше бы Гулиа проявил свою принципиальность и ученость в разгадке природы инерции, а не повторял сведения давно известные до него. Популяризировать науку означает не только пересказывать ее достижения. Популяризатор должен уметь находить новые аргументы в подтверждение известных фактов и теорий, раскрывая их физическую сущность. Однако Гулиа не привел ни одного нового аргумента в подтверждение его сегодняшней позиции. Среди «алфизиков», как говорит Гулиа, есть инженеры и даже ученые, которым не нужно пересказывать учебники, чем в основном и занимается Гулиа. Они высказывают свой особый взгляд на явление инерции не, потому что не читали учебников, а потому что не согласны с официальной физикой. Гулиа же, видимо не знавший взглядов современной физики на явление инерции в молодости, теперь согласен с ней во всех вопросах, только это никому ничего не доказывает. Ни одного вопроса и ни одного противоречия в области современных представлений об инерции Гулиа на сегодняшний день не снял и не разрешил.

Это не предвзятое отношение лично к Н. В. Гулиа, хотя иногда на некоторые не корректные высказывания Гулиа по отношению к личности других ученых мы пытаемся возражать. Однако мы не случайно так много полемизируем именно с Н. В. Гулиа, Во-первых, Гулиа в основном за некоторыми исключениями практически точно воспроизводит официальную точку зрения на вопросы, связанные с явлением инерции. Во-вторых, Гулиа вызвался популяризировать науку, т.е. дать качественное описание физическим явлениям, которые в научной литературе излагаются в основном на языке математических формул. Поэтому, опираясь на разъяснения Гулиа, мы можем, проанализировав их составить более точное представление о позиции современной физики по тем или иным явлениям, если конечно Гулиа достоин представлять современную физику. Имеется в виду не общие сведения о физических явлениях, для этого есть многочисленные справочники, а их физический смысл.

Профессор абсолютно прав, заявляя, что неточно употребленные термины иногда приводят к путанице в науке, причем не только среди инженеров, но и среди ученых (см. «Удивительная физика»). Такая путаница по признанию самого же Гулиа существует и в отношении явления инерции. Он отмечает, что мы используем принцип Даламбера, *«…почти **никогда не упоминая** о том, что прикладываем-то мы **несуществующие силы инерции**. **Потом мы забыли**, **что силы эти несуществующие, и стали их считать реальными.** Настолько **реальными**, что они **вроде могут сломать что-то** или двигать машину (инерцоид, например)»*.

Конечно, желательно, чтобы ученые, не сочтя за труд, всегда четко указывали, какие силы и куда они прикладывают. Путаницы действительно было бы меньше. Однако Гулиа своими пояснениями, опущенными в математическом описании явлений природы, на наш взгляд эту путаницу не только не прояснил, но было бы хорошо, если бы он ее, хотя бы, не усугубил. Принцип Даламбера-Лагранжа это математический прием, который в особых пояснениях не нуждается. В нем сила инерции действительно является математической абстракцией, которая действительно «*…сломать что-то или двигать машину (инерцоид, например)»* не может. Однако вовсе не эти силы *«стали считать реальными»*, как разъясняет Гулиа. Кроме математической абстракции, введенной в теорию движения, в виде фиктивных сил инерции существуют реальные физические проявления сил инерции, которые зачастую приводят к серьезным последствиям, если их не учитывать. Тем не менее, Гулиа никак не хочет этого признать (см. цитату). Конечно, любые последствия можно при желании объяснить с помощью «обычных» сил, действующих со

стороны опорных тел, однако при этом нельзя забывать, что причиной их возникновения все-таки является явление инерции.

Поэтому хочет того Гулиа или не хочет, он сам, наверное слегка запутался. Он также как и многие другие представители официальной науки, фактически выказывает двойственное отношение к силе инерции, хотя, как сам Гулиа, наверное, считает, его позиция в соответствии с которой сила инерции является математической абстракцией, т.е. фиктивной силой, - бескомпромиссна. На самом деле это далеко не так. Он твердо и, казалось бы, бескомпромиссно отрицает, что силы инерции *«могут сломать что-то или двигать машину».* При желании можно было бы даже поверить в бескомпромиссность Гулиа, если бы после долгих заверений, что силы инерции не существует ни при каких обстоятельствах, Гулиа исключительно ***«ради справедливости»*** не признал бы, что *«…центробежные или просто направленные от центра силы* ***все-таки бывают…****»*.

В «Удивительной физике» в главе «Что мешает двигаться по инерции» при рассмотрении сопротивления качению Гулиа видимо исходя и своего предвзятого отношения к силам инерции или по какой-либо другой причине, упустил один важный момент, касающийся реальности сил инерции. Гулиа объясняет сопротивление качению следующим образом:

«Что же происходит с «мягким» колесом при его движении? В контакте с дорогой его немного расплющивает, и из-за гистерезиса (неупругих потерь, которые всегда есть в любом упругом теле при его деформациях, мы о них еще поговорим) сила давления дороги N чуть смещается вперед по движению (рис. 48). Вот и появилось плечо силы a, которое надо преодолевать, а значит, и трение качения! Чем больше диаметр колеса и чем тверже оно (при твердой дороге), тем меньше оно сопротивляется качению».

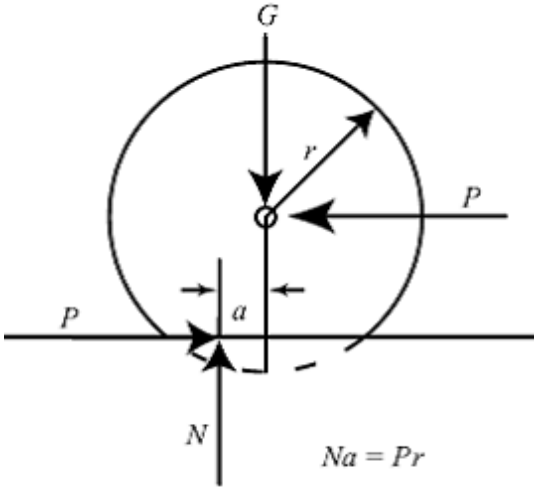


Рис. 48 (нумерация оригинала)

Гулиа утверждает, что в отсутствие деформации («расплющивания») сопротивление качению отсутствует. Однако в классической механике известен эффект зависимости линейного импульса тел вращения с одинаковой массой и геометрическими размерами от пространственного распределения их массы относительно центра вращения под действием одинаковой по величине силы. Например, при качении без проскальзывания сплошной цилиндр скатывается с наклонной плоскости быстрее полого. Это прямое подтверждение реальности сил инерции и центробежной силы в частности, на которую расходуется часть энергии передаваемой телам вращения при линейном взаимодействии. Гулиа считает, что сила инерции фиктивно противодействует внешней силе, однако в приведенном выше примере такое «фиктивное» противодействие прямолинейному движению за счет инерции вращения вполне реально влияет на линейный импульс тел вращения с разным пространственным распределением массы относительно центра вращения. Это ли не ключ к разгадке движения инерцоидов, который не нашел в свое время Гулиа и по этой причине легко отказался от «своей» идеи, порочащей сегодня его ученое звание?

Таким образом, позиция Гулиа еще более запутана, чем в научной литературе, в которой путаница вполне возможно является только лингвистической. Гулиа же открытым текстом противоречит сам себе. Он твердо безо всяких недомолвок говорит, что сила инерции не существует, и она ничего не может *«сломать»,* однако ***«ради справедливости»*** он все же допускает ее существование! Это опять же не предвзятое отношение к Гулиа. Профессор же сам сетует, что Лагранж опрометчиво, на его взгляд, *«все-таки привлек термин «сила» в формулировку их общего принципа Даламбера-Лагранжа»*, что, по мнению Гулиа, способствовало появлению путаницы в отношении силы инерции. Так что популяризатору науки со своей стороны следует выражаться яснее. Не бывает такого, когда чего-то не бывает, но ради справедливости все-таки бывает. Таким образом, в позиции ученого наблюдается, просто полная

беспринципность! Перефразируя известную пословицу позицию ученого можно выразить словами «если силы инерции нет, но очень хочется, то она все-таки есть».

1.2.2. ФОРМИРОВАНИЕ СИЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.

В современной физике силы инерции в инерциальных системах отсчета не рассматриваются не, потому что они не существуют в природе, а потому что на этом построена математическая модель теории движения, опирающаяся на кинематику движения физической точки. В действующей математической модели теории движения опорное тело, по сути дела, подменяется нематериальным математическим понятием - неинерциальной системой отсчета, которая не может получить движение за счет инерционного сопротивления какого-либо опорного тела во взаимодействии с ним. Таким образом, неинерциальная система отсчета вопреки всем законам физики гипотетическим образом совершает самостоятельное ускоренное движение в абсолютной системе координат синхронно с телом безо всяких взаимодействий с реальными материальными телами. При этом в действующей математической модели неинерциальная система отсчета фактически является источником неуравновешенной силы, которая воздействует на ускоряемое тело, не получая с его стороны ответного импульса движения, который обусловлен силой инерции.

Однако поскольку ускоряемое тело в отличие от системы отсчета является реальным материальным образованием, то абстрактная система отсчета фактически представляет собой абстрактное материальное тело с бесконечно большой инерционной массой. Естественно, что сила инерции в неинерциальной системе координат с бесконечно большой массой превращается в фиктивную силу только для формального соблюдения условия равновесия тела. Для математики это вполне нормальное абстрактное допущение, при котором абстрактная «обычная» сила со стороны абстрактного материального тела с бесконечно большой инерционной массой (неинерциальная система координат) приложена к реальному телу, масса которого получает реальное ускорение. Однако такая математическая модель не отражает реальный физический механизм свободного ускоренного движения материальных тел, имеющих сложное строение, и является противоречивой с физической точки зрения.

С одной стороны абстрактная система отсчета является нематериальным математическим понятием. С другой стороны она же условно является источником абстрактной неуравновешенной силы для ускоряемого тела, которая формируется без учета ответного импульса движения с его стороны, что предполагает бесконечно большую инерционную массу нематериальной математической системы отсчета. Существующая математическая модель с ее условностями позволяет математически правильно описать ускоренное движение свободного тела исходя из современных классических представлений о таком движении. Однако такая математическая модель противоречива с физической точки зрения:

Во-первых, поскольку неинерциальная система отсчета оказывает бесконечное инерционное сопротивление ускоряемому телу, то вся энергия взаимодействия направлена только на движение ускоряемого тела, что с точки зрения современной физики должно видимо соответствовать свободному ускоренному движению тела вне замкнутой системы. При этом затрат энергии взаимодействия на движение ответных тел замкнутой системы, которые в естественных условиях должны обеспечивать ускоренное движение рассматриваемого тела и формирование реальной неуравновешенной силы, действующей на ускоряемое тело не происходит, т.к. бесконечная инерция опорного тела (условно математически это неинерциальная система отсчета) исключает возможность ее преодоления.

Таким образом, полностью исключается влияние силы реакции, т.е. силы инерции ускоряемого тела на его свободное ускоренное движение вне замкнутой системы. Сила инерции в инерциальной системе координат превращается в фиктивную силу, которая, однако, используется для объяснения относительного равновесия ускоряемого тела в неинерциальной системе координат и для оправдания ее условной в соответствии с существующей математической моделью неподвижности по отношению к реально ускоряемому телу.

Во-вторых, в неинерциальной системе отсчета с точки зрения классической физики первый закон Ньютона не выполняется, т.к. несмотря на относительное равновесие сил, действующих на тело в неинерциальной системе отсчета оно, тем не менее, может двигаться с ускорением (см. выше Матвеев). Однако в материальном мире фундаментальные законы физики не могут не выполняться тем более в условиях, для которых они и были сформулированы. Первый закон Ньютона выполняется всегда, если отсутствует неуравновешенная сила, действующая на свободное тело. Не выполнение первого закона Ньютона в неинерциальной системе отсчета обусловлено только несовершенством существующей математической модели, в соответствии с которой ускоряемое под действием неуравновешенной силы тело может оставаться неподвижным относительно абстрактно-математической неинерциальной системы

отсчета или ускоренно двигаться в неинерциальной системе отсчета, оставаясь неподвижным в инерциальной системе отсчета.

Таким образом, в существующей математической модели не выполнение законов механического движения является абстрактно-субъективным. Однако в связи с этим мы же не говорим, например, что определенные законы движения Ньютона в неинерциальной системе координат являются «фиктивными» по аналогии с абстрактно-субъективными фиктивными силами инерции в неинерциальной системе координат. Иначе надо полагать, что с законами Ньютона в современной физике была бы такая же путаница, как и с силами инерции.

Таковы математические условности в существующей модели свободного ускоренного движения. В реальной действительности силы инерции оказывают непосредственное влияние на формирование «обычных» сил независимо от выбранной системы отсчета, т.к. силы инерции существуют, прежде всего, в реальном материальном мире, а не в абстрактных системах отсчета. Воздействие «обычных» сил на материальное тело невозможно без инерционного сопротивления тел изменению состояния их движения. Инерционное сопротивление играет роль своеобразной точки опоры, за счет которой при взаимодействии тел формируются «обычные» силы, действующие на каждое из взаимодействующих тел. При отсутствии инерционного сопротивления обмен импульсами движения взаимодействующих тел невозможен. Отсутствие инерционного сопротивления означает отсутствие инерционных масс взаимодействующих тел, что приводит к невозможности выполнения закона сохранения импульса и образования каких-либо сил взаимодействия в принципе. Поэтому не о каком категорическом отнесении сил инерции в реальной действительности к «фиктивным» несуществующим силам не может быть и речи.

Сила инерции в инерциальной системе отсчета считается для рассматриваемого тела «фиктивной» силой или по Матвееву ***«силой особой природы»*** только потому, что она с классической точки зрения в соответствии с третьим законом Ньютона приложена к опорному телу. Однако силы инерции, которые по отношению к ускоряемым телам считаются фиктивными силами, по отношению к опорным телам являются вполне реальными «обычными» силами. Таким образом, в современной физике одни и те же силы в зависимости от материальных тел, по отношению к которым они рассматриваются и в зависимости от системы отсчета, в которой они рассматриваются, могут быть либо «обычными» силами, либо силами инерции. Следовательно, никакой особой природы в происхождении сил инерции нет. На наш взгляд, силы инерции можно считать фиктивными только с позиций существующей математической модели, которая ничего другого на данном этапе предложить не может. Причем в классической физике фактически **существуют силы инерции двух типов**. Это силы, приложенные к опорным телам, которые по отношению к ним являются вполне реальными и силы инерции, которые приписываются неподвижным в инерциальной системе отсчета телам, если они рассматриваются в неинерциальной системе отсчета.

Последние силы инерции вне всяких сомнений являются фиктивными. Если при изменении состояния движения неинерциальной системы отсчета неподвижное до этого материальное тело вдруг начало двигаться с ускорением, то это не значит, что на него действует «фиктивная» сила «особой природы». Такое движение вообще не связано с какими-либо силами, действующими на тело, т.к. в этом случае изменение движения получает не тело, а система отсчета. Следовательно, в движущейся неинерциальной системе отсчета можно определить только абстрактное геометрическое ускорение неподвижного в инерциальной системе отсчета тела. Сила же рассчитанная в соответствии со вторым законом Ньютона через геометрическое ускорение покоящегося в действительности тела и через его реальную массу действительно является фиктивной или мнимой. Однако эта мнимая сила не имеет никакого отношения к силе инерции, т.к. тело осталось неподвижным в абсолютной системе координат не потому, что его удерживают от движения силы инерции, а в результате полного отсутствия какого-либо ускоренного движения тела в принципе. То есть мнимым или фиктивным в этом случае является само ускоренное движение тела, а вовсе не силы инерции.

Сила, являющаяся причиной кажущегося геометрического ускорения тела в абсолютной системе координат, при реальном движении должна быть приложена к материальному телу, с которым связана неинерциальная система отсчета, т.е. непосредственно к самому телу. Однако в этом случае это уже будет самая «обычная» сила, возникающая при обычных взаимодействиях. Тем не менее, сформирована эта сила будет только с учетом реальной силы инерции, которая возникает при взаимодействии, в котором к телу приложена «обычная» сила. Если же неинерциальная система отсчета является не материальным образованием, а математической абстракцией, то ни о каких качественных параллелях с реальной действительностью, т.е. с физикой не может быть и речи. Реальное ускоренное движение тел, как в инерциальной системе отсчета, так и в неинерциальной системе отсчета может быть получено только под

воздействием реальных динамически неуравновешенных сил, которые могут быть сформированы только с участием сил инерционного сопротивления изменению состояния движения или покоя материальных тел.

В официальной же физике приходится пока довольствоваться абстрактными математическими условностями типа «фиктивных» сил инерции и мириться с противоречиями их двойственного толкования. С одной стороны кажущееся движение приходится объяснять воздействием кажущихся или «фиктивных», т.е. действительно несуществующих сил. С другой стороны в отдельных случаях или *«в некоторых вопросах»,* как говорит, например, Жуковский приходится признавать, что сила инерции это вполне реальная сила, которая воздействует на опорное тело в соответствии с третьим законом Ньютона. Это же признают и многие другие классики теоретической механики (см. выше). Эта двойственность вносит путаницу не только в понимание физической сущности силы инерции, но и в применимость законов Ньютона в той или иной ситуации. С точки зрения Матвеева, например, первый закон Ньютона в неинерциальной системе отсчета не выполняется, в то время как третий закон Ньютона, хотя и с некоторыми оговорками выполняется (см. выше). О. Ф. Кабардин, также выступающий с позиций классической физики, считает, что третий закон Ньютона в неинерциальных системах отсчета не выполняется без всяких оговорок: *«Третий закон Ньютона выполняется* ***только*** *в инерциальных системах отсчета».* («ФИЗИКА», МОСКВА, «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991, 8 ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА, стр. 21.)

В классической физике вообще нет четкой определенности, что понимать под тем, что происходит в той или иной системе отсчета, - то ли только то, что видит наблюдатель именно в этой системе, то ли наблюдатель должен учитывать, что он вообще знает о реальном движении. Если говорить о том, что видит наблюдатель в неинерционной системе отсчета, то при наличии неподвижного тела можно заключить, что первый закон Ньютона выполняется. Например, тело, движущееся по окружности в системе отсчета, связанной с телом находится в относительном равновесии в неинерциальной системе отсчета. Зная же, что реально в инерциальной системе отсчета тело вместе с неинерциальной системой отсчета движется с центростремительным ускорением, можно заключить, что первый закон Ньютона не выполняется. С такой «логикой» можно договориться до чего угодно, в то время как физика в принципе не должна зависеть от сложившейся субъективной системы взглядов, основанной исключительно на математических понятиях. Вести речь о физической сущности явления, опираясь на абстрактные математические условности, по меньшей мере, не корректно.

Конечно, с учетом «фиктивности» силы инерции никаких физических запретов на ускоренное движение тела в условиях относительного равновесия в неинерциальной системе отсчета, в существующей математической модели нет. Однако такая модель не соответствует физической сущности взаимодействия тел, т.к. в ней ускоряемое тело фактически рассматривается вне всякой связи с остальным материальным миром. Хотя в математической модели подобные допущения ничему не противоречат, т.к. это только абстрактная математическая модель, в реальной действительности движение в отсутствие сил инерции невозможно, т.к. отсутствие инерции означает и отсутствие «обычных» сил, т.е. отсутствие взаимодействия с внешними материальными телами. Тело, изолированное от внешнего мира представляет собой замкнутую систему. Замкнутая система, как известно в соответствии с законом сохранения импульса (законом сохранения энергии) не может самостоятельно без внешнего импульса изменять состояние своего движения. Весь материальный мир, как замкнутая система в воображаемой абсолютной системе отсчета находится в состоянии покоя.

Космический корабль на реактивной тяге, долетевший до другой галактики фактически никуда не улетал, т.к. центр тяжести такого корабля с учетом выброшенного из его двигателей топлива при условии, что запасы топлива нигде не пополнялись, фактически остался в точке старта корабля. Свободное ускоренное движение внутри замкнутой системы возможно только с некоторой степенью условности, которую и обеспечивает по сути дела современная математическая модель движения, в которой условно отсутствует опорное тело и сила инерции, а на ускоряемое тело действует абстрактная неуравновешенная сила. В реальной замкнутой системе, в которой в отличие от существующей математической модели движения силы инерции реально существуют, ускоренное движение осуществляется под действием «обычной» силы, формирующейся с учетом реальной силы инерции. Причем «обычная» сила является неуравновешенной по отношению к ускоряемому телу вовсе не потому, что сила инерции приложена к опорному телу. Сила инерции приложена, в том числе и к ускоряемому телу, но она не уравновешена с «обычной» силой во времени, т.е. по фазе (см. ниже).

Явление инерции, на наш взгляд, не может определяться исключительно академическим первым законом Ньютона. По существующему официальному определению инерция является свойством материальных тел сохранять состояние равномерного и прямолинейного движения или покоя. Необходимость сохранять текущее состояние механического движения тела может возникнуть только при

наличии сил направленных на изменение этого состояния, т.е. только при взаимодействии с другими телами. Взаимодействие же материальных тел, как известно не определяется первым законом Ньютона, который характеризует по сути дела только исходное состояние равномерного и прямолинейного движения или покоя перед взаимодействием материальных тел. Таким образом, инерция может проявляться только при выходе материальных тел из условий, определяемых первым законом Ньютона. Только в этом смысле первый закон Ньютона, который сформулирован без учета мировой материальной среды, заполняющей все пространство между физическими телами, имеет отношение к явлению инерции. Академический первый закон Ньютона определяет условия, при которых силы инерции не проявляются.

Поскольку противодействующие силы возникают при любых взаимодействиях материальных тел, инерция проявляется не только при изменении равномерного движения, но в том числе и при изменении ускоренного движения. Поэтому с нашей точки зрения инерция это свойство материи противодействовать изменению любого текущего состояния ее механического движения. Ускоренное движение – это движение с ускорением инерции, которое может быть переменным в случае изменения ускоренного движения. Для того чтобы сохранить текущее состояние движения при взаимодействии с другими телами, необходимы силы, которые могут оказать реальное противодействие силам, дестабилизирующим текущее состояние движения. Естественно, что такие силы не могут быть фиктивными иначе фиктивными следует считать и дестабилизирующие силы. Перефразируя Ньютона можно сказать, что при отсутствии противодействия не может быть и действия. Если **нечего** преодолевать, то преодолевать это так же можно **ничем**.

Силы, вызывающие изменения состояния движения материальных тел, а также силы противодействия этим изменениям могут возникать только при наличии разницы кинетических энергий взаимодействующих тел. Следовательно, инерция, как собственно и все физические процессы, прежде всего, обусловлена избыточной энергией движения одного тела по отношению к другому. При любых механических взаимодействиях разница кинетических энергий взаимодействующих тел сначала преобразуется в потенциальную энергию, а затем посредством силы распределяется между взаимодействующими телами, т.к. сила это и есть энергия, которая необходима для перемещения единичной массы с единичным ускорением на единичное расстояние. Причем энергия взаимодействия распространяется во всех направлениях с одной и той же силой, что и определяется третьим законом Ньютона. При этом энергия распределяется между взаимодействующими телами в соответствии с законом сохранения импульса.

По определению Жуковского Н. Е. ***«Силой инерции называется сила, которая по величине равна произведению массы на полное ускорение, а направлена в сторону, противоположную полному ускорению»*** (см. выше)**.** Если учесть, что в направлении полного ускорения действует «обычная» сила, равная по величине силе инерции, то определение силы инерции у Жуковского в точности соответствует определению сил, возникающих при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона. Подобные аналогии силы инерции, в которых она отождествляется с силой противодействия, возникающей в ответ на воздействие «обычной» силы в соответствии с третьим законом Ньютона можно встретить у многих авторов, в том числе и классиков теоретической механики (см. цитаты классиков, приведенные выше). Таким образом, инерция обусловлена разностью энергий взаимодействующих тел, а соотношение величины и направления всех сил, возникающих при высвобождении энергии взаимодействии, в том числе и силы инерции фактически устанавливает третий закон Ньютона.

Понятие силы, в том числе и силы инерции неразрывно связано с понятием массы материальных тел. Поэтому все силовые взаимодействия между материальными телами, в том числе и с участием силы инерции совершаются, по-видимому, на уровне взаимодействия элементарных носителей массы, из которых и состоят материальные тела. Скорость распространения избыточной энергии взаимодействия на взаимодействующие тела определяет ускорение, которое приобретают элементарные носители массы под действием силы, приходящейся на каждую элементарную массу. Чем больше элементарных носителей массы содержит тело, тем меньшая сила воздействует на каждую элементарную массу при неизменной общей силе распространения энергии, выделяющейся при взаимодействии, тем меньшее ускорение приобретает каждая элементарная масса и тело в целом и наоборот. Поэтому сила, действующая на тело прямо пропорциональна массе и ускорению материальных тел, что определяется вторым законом Ньютона. Таким образом, если сила инерции реально существует, то ее величина, как и величина любых сил, определяется вторым законом Ньютона.

Третий закон Ньютона непосредственно вытекает из закона сохранения импульса (закона сохранения энергии) и второго закона Ньютона. Следовательно, инерция определяется, в том числе и законом сохранения энергии. Хотя академический первый закон Ньютона определяет состояние материи, в котором отсутствуют какие-либо взаимодействия с внешней материей, понятие инерции связано, в том числе, и с первым законом Ньютона, т.к. первый закон Ньютона характеризует академические условия,

при которых сила инерции внешне не проявляется. Все законы физики, так или иначе, связаны между собой, т.к. они описывают одну и ту же природу, частью которой является и инерция. Инерция является фундаментальным свойством природы, которое не противоречит ни одному фундаментальному закону физики, а не фиктивной силой из абстрактной математической модели движения. На инерции базируются все законы механического движения, как впрочем, в равной степени и сама инерция определяется законами механического движения и законом сохранения энергии.

Силы инерции не только не являются фиктивными, но и принимают непосредственное участие в формировании «обычных» сил, поскольку силы **инерции являются той точкой опоры**, за счет которой вообще возможно какое-либо силовое воздействие со стороны одного тела на другое. Причиной возникновения всех сил, на наш взгляд, является сопротивление мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия между взаимодействующими телами. Таким образом, все силы, которые возникают при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона, обязаны своим существованием силам инерции. Сила, действующая на опорное тело со стороны ускоряемого тела, и есть сила инерции ускоряемого тела, хотя для опорного тела она является вполне «обычной» силой и наоборот. Строго говоря, с физической точки зрения сила, которая воздействует на опорное тело в соответствии с третьим законом Ньютона, не является непосредственно силой инерции, хотя это довольно распространенное мнение в теоретической механике (см. выше). Однако сила противодействия возникает за счет реальной силы инерции и является эквивалентом силы инерции, поэтому, забегая вперед, отметим, что такое допущение в принципе не лишено физических оснований.

Рассмотрим физический механизм формирования сил, возникающих при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона. В физике различают два типа взаимодействия. Это абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары. В обоих случаях механизм перераспределения энергии взаимодействия осуществляется в соответствии с законом сохранения полной энергии и законом сохранения импульса. Абсолютно неупругий удар является частным случаем механизма перераспределения энергии взаимодействия. Поэтому рассмотрение механизма формирования сил взаимодействия начнем с абсолютно-упругого удара.

Ударное взаимодействие осуществляется при наличии относительной скорости между взаимодействующими телами. При этом каждое из взаимодействующих тел может иметь разную собственную скорость в неподвижной системе отсчета. Однако относительная скорость может так же образовываться и в самом процессе ударного взаимодействия изначально неподвижных друг относительно друга взаимодействующих тел в связанной с ними неподвижной системе координат. В первом случае взаимодействие осуществляется за счет разностной кинетической энергии взаимодействующих тел, которую каждое из них могло получить во внешних независимых взаимодействиях. А во втором случае к покоящимся друг относительно друга телам формально подводится внешняя энергия. Однако с началом взаимодействия энергия, подводимая в систему извне, эквивалентна внутренней энергии замкнутой системы для этого взаимодействия, т.к. энергия, аккумулированная в системе, высвобождается уже внутри системы, осуществляя ударное воздействие на взаимодействующие тела изнутри системы.

С точки зрения абстрактно математического аппарата закона сохранения энергии и закона сохранения импульса эти два варианта не имеют принципиальной разницы. Однако энергия взаимодействия в каждом из этих вариантов перераспределяется между взаимодействующими телами по-разному, поскольку силы инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия в направлении каждого из взаимодействующих тел зависят от собственной скорости движения взаимодействующих тел относительно неподвижной системы координат. Вначале рассмотрим упругое взаимодействие неподвижных относительно друг друга взаимодействующих тел в связанной с ними неподвижной системе координат, а затем перейдем к рассмотрению более общего случая взаимодействия, в котором каждое из взаимодействующих тел имеет собственную скорость движения относительно неподвижной системы координат.

Пусть неподвижные друг относительно друга тела Т1 и Т2 с одинаковыми для простоты массами взаимодействуют между собой за счет потенциальной энергии взаимодействия, введенной между ними в замкнутую систему (Рис. 1.2.2.1). Потенциальная энергия взаимодействия может быть сосредоточена в некоторой области упругой деформации, расположенной в зоне контакта взаимодействующих тел. Для наглядности условно заменим эту область идеально упругой абстрактной невесомой пружиной или областью с избыточным давлением идеального газа. Очевидно, что сила, с которой пружина действует на взаимодействующие тела, независимо от масс взаимодействующих тел абсолютно одинакова, поскольку сила, действующая на каждый из концов пружины, с какой бы стороны ее не сжимали, это по сути дела одна и та же сила упругости одной и той же пружины. Если пружину заменить областью избыточного давления, то в любой ее точке сила избыточного давления также одинакова. Причем, как мы уже

неоднократно отмечали, в современной физике «обычные» силы (Fт1) и (Fт2) часто отождествляются с силами инерции (Fит2) и (Fит1) по отношению к ответным телам.

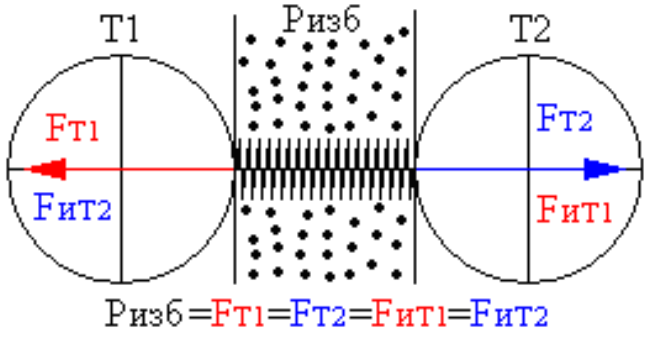


Рис. 1.2.2.1

С началом разрядки упругой деформации потенциальная энергия взаимодействия начинает распространяться на взаимодействующие тела в виде силы взаимодействия, которая для каждого из взаимодействующих тел имеет одну и ту же величину на протяжении всего времени взаимодействия. Однако абсолютная величина силы взаимодействия в течение времени взаимодействия уменьшается от максимального значения в момент завершения формирования области упругой деформации до нуля после ее полной разрядки. При этом средняя во времени сила, действующая на каждое тело, будет вдвое меньше академической силы, которая не связана с взаимодействием и, следовательно, с разрядкой деформации и по этой причине постоянна по величине в течение всего времени взаимодействия.

В существующей математической модели ускоренного движения свободного тела (Рис.1.2.2.2) опорное тело отсутствует. Его заменяет абстрактная неуравновешенная сила, которая действует на тело со стороны такой же математической абстракции - неинерциальной системы отсчета (НСО). Неинерциальная система отсчета как мы уже отмечали, представляет собой по сути дела математическую модель материального тела с бесконечно большой массой. Сила инерции тела с бесконечно большой массой исключает возможность ее преодоления. Поэтому в существующей математической модели влияние силы инерции ускоряемого тела любой массы на формирование неуравновешенной силы, действующей на ускоряемое тело можно не учитывать. В такой модели взаимодействия силу инерции с полным основанием можно условно математически считать фиктивной.

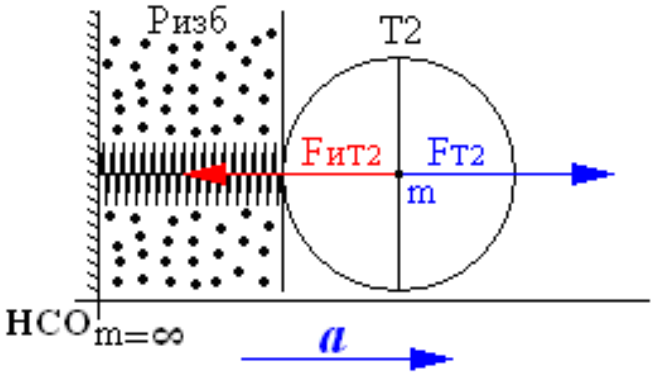


Рис. 1.2.2.2

В отсутствие силы инерции вся энергия взаимодействия будет направлена только на ускоряемое тело, т.к. отпадает необходимость в преодолении силы инерции опорного тела. Однако даже в этом случае академическая сила ($F_{т_2}$) будет постоянной по величине, если неинерциальная системы отсчета с бесконечно большой массой, заменяющая ответное тело взаимодействия (Т1) будет двигаться синхронно с ускоряемым телом, т.е. с одинаковым с ним ускорением, что и реализовано в существующей абстрактной математической модели движения. При синхронном движении НСО с ускоряемым телом пружина, имитирующая академическую силу, постоянно находится в сжатом состоянии. Естественно, что в этих условиях сила, действующая на ускоряемое тело (Т2) постоянна по абсолютной величине в течение всего времени равноускоренного движения тела (Т2) в составе неинерциальной системы отсчета. Поскольку условная масса неинерциальной системы отсчета бесконечно большая, сила инерции ($F_{ит_2}$) является для тела (Т2) фиктивной, т.к. никакого реального влияния на ускоренное движение тела (Т2) под действием академической силы ($F_{т_2}$) сила инерции ($F_{ит_2}$) в данном случае не оказывает.

В реальной действительности силы инерционного сопротивления непосредственно влияют на формирование «обычных» сил через перераспределение энергии взаимодействия между взаимодействующими телами. Сила это способ распространения и передачи энергии. При передаче энергии физическому телу сила распространения энергии взаимодействия стремится равномерно

распределиться между элементарными носителями массы физического тела. Поэтому на начальном этапе взаимодействующие тела оказывают силе распространения энергии взаимодействия инерционное сопротивление прямо пропорциональное их массам. При этом сила, действующая на каждый элементарный носитель массы, а, следовательно, и скорость приращения движения физических тел обратно пропорциональны их массам. Однако инерционное сопротивление прямо пропорционально не только массам физических тел, но и приращению скорости их движения. Поэтому в конечном итоге в процессе перераспределения энергии взаимодействия все взаимодействующие тела независимо от массы действуют друг на друга с одинаковой по абсолютной величине силой. Однако, поскольку равенство инерционного сопротивления взаимодействующих тел обеспечивается при разных скоростях преобразования потенциальной энергии взаимодействия в кинетическую энергию движения, то энергия взаимодействия по второму варианту распределяется в конечном итоге обратно пропорционально массам взаимодействующих тел.

Силам распространения энергии взаимодействия противодействует силы инерции. Однако силы инерционного сопротивления устанавливаются с некоторой задержкой по фазе по отношению силам распространения энергии взаимодействия, т.к. они возникают как ответная реакция на распространение энергии взаимодействия. Поэтому до установления равновесия сил в направлении каждого из взаимодействующих тел формируются энергетические потоки, во время формирования которых взаимодействующие тела получают начальное ускорение. При этом остановленная за счет сил инерционного сопротивления энергия взаимодействия частично переотражается в направлении других взаимодействующих тел, а тело, от которого произошел отток энергии, в отсутствии каких-либо сил продолжает двигаться с постоянной скоростью синхронно с временно установившимся энергетическим потоком. Через некоторое время к равномерно движущемуся в постоянном энергетическом потоке телу возвращается переотраженная энергия, которая сообщает телу дополнительное ускорение и вновь частично переотражается, а тело движется равномерно уже в новом, временно установившемся энергетическом потоке с новой линейной скоростью. Так происходит до тех пор, пока вся энергия взаимодействия по второму варианту не перераспределится между всеми взаимодействующими телами обратно пропорционально их массам.

В процессе перераспределения энергии взаимодействия между всеми взаимодействующими телами по второму варианту средняя во времени сила, действующая на каждое из взаимодействующих тел, уменьшается в соответствии с общим количеством взаимодействующих тел, т.е. как минимум в два раза. Кроме того, уменьшение средней во времени силы за счет переотражения энергии, определяется длительностью и количеством циклов оттока энергии, а также степенью уменьшения воздействующей силы в каждом переотражении. В итоге средняя во времени «обычная» сила определяется общей величиной энергии взаимодействия и общей массой взаимодействующих тел. Таким образом, силы инерции препятствуют движению тел не напрямую, как, например, академическая сила трения, которая с классической точки зрения отбирает кинетическую энергию безвозвратно. Силы инерции лишь регулируют во времени поступление энергии ко всем взаимодействующим телам через общую силу взаимодействия.

Средняя во времени сила это и есть «обычная» абстрактно академическая сила, которая сформирована уже с учетом регулирующего влияния силы инерции, поэтому силу инерции в математической модели теории движения под действием академической «обычной» силы можно не учитывать. Однако это вовсе не означает, что сил инерции в природе не существует. За счет инерционного сопротивления также происходит отбор энергии у каждого из взаимодействующих тел, как и за счет сил трения или прямого внешнего сопротивления движению с той лишь разницей, что энергия не изымается из механического движения безвозвратно, а лишь растягивается во времени ее поступление к взаимодействующим телам. Хотя мало кто, склонен рассматривать силы трения, например, при движении автомобиля по дороге как силу, связанную с силой инерции Земли, на которой расположена эта дорога, т.к. масса Земли практически является бесконечно большой по отношению к автомобилю. Естественно, что при этом силу инерции самого автомобиля также можно считать практически фиктивной, а силу трения – внешним препятствием со стороны третьего тела. Тем не менее, сила трения оказывает сопротивление движению автомобиля именно за счет сил инерции Земли, в то время как само трение только обеспечивает сцепление ускоряемого тела с опорным телом.

Рассмотрим первый вариант упругого удара, при котором взаимодействующие тела имеют самостоятельные скорости движения относительно неподвижной системы координат и объединяются в общую систему только на время осуществления взаимодействия. Здесь также возможны два случая. В первом случае одно тело находится в состоянии покоя в неподвижной инерциальной системе координат, а другое движется с некоторой постоянной скоростью (V). Во втором случае оба тела движутся в

неподвижной системе координат с разными скоростями таким образом, что их относительная скорость не равна нулю. Однако и с математической, и с физической точки зрения эти варианты не имеют принципиальной разницы, т.к. решение задачи всегда можно свести к первому варианту, связав систему координат с одним из движущихся тел, а затем вновь перейти в неподвижную систему координат. Поэтому остановимся на более простом случае, в котором одно из взаимодействующих тел до самого момента наступления взаимодействия остается неподвижным в абсолютной системе координат. Именно в этом случае и проявляется так называемый «парадокс упругого удара», заключающийся в том, что после взаимодействия ударное тело прекращает движение, а неподвижное тело начинает двигаться со скоростью ударного тела. Таким образом, ударное тело полностью передает свое движение телу-мишени.

Некоторые авторы, как, например, Спурре А. Ф. в статье «Парадоксы физики», размещенной в SciTecLibrary связывают этот парадокс с тем, что взаимодействующие тела не разлетаются после взаимодействия, как он пишет, в разные стороны вопреки третьему закону Ньютона. Однако в этом как раз никакого парадокса и нет. В соответствии с третьим законом Ньютона взаимодействующие тела вовсе не обязаны разлетаться в разные стороны, т.к. это не суть, а только следствие третьего закона Ньютона. Физическая сущность третьего закона Ньютона состоит только в том, что взаимодействующие тела должны испытывать одинаковые, но разнонаправленные силы, что обеспечивается перераспределением энергии взаимодействия под влиянием сил инерционного сопротивления. При этом если движению одного из тел что-то препятствует, то оно естественно никуда не улетит. Поэтому парадокс для современной физики, скорее всего, состоит в том, что официальная физика, оперируя только формально математическими зависимостями, выведенными на основе кинематических схем движения не в состоянии физически объяснить силы, препятствующие движению ударного тела в обратном направлении от точки, с которой связана неподвижная система координат. В официальной физике таких сил просто не существует. Однако с учетом реальности сил инерционного сопротивления в физическом механизме упругого взаимодействия так же нет никакого парадокса.

Силы инерционного сопротивления не только препятствуют движению тел с положительным ускорением, но и поддерживают уже имеющееся движение физических тел. Взаимодействующие тела имеют равные массы и, казалось бы, должны оказывать равное сопротивление распространению энергии взаимодействия. Однако неподвижное тело оказывает сопротивление движению только пропорциональное его массе, в то время как со стороны ударного тела распространению энергии взаимодействия навстречу ударного тела препятствуют еще и поддерживающие его движение силы инерции, что эквивалентно дополнительной инерционной массе движущегося тела. Недостаточное массовое инерционное сопротивление тела-мишени по сравнению с эквивалентным инерционным сопротивлением ударного тела с учетом поддерживающих сил инерции компенсируется большей скоростью преобразования поступающей к телу-мишени потенциальной энергии взаимодействия в его кинетическую энергию. Следовательно, тело-мишень ускоряется опережающими темпами по сравнению с торможением ударного тела, что приводит к ускорению центра масс вновь образованной системы. Большая эквивалентная масса ударного тела при одинаковой силе взаимодействия как бы отодвигает от себя тело-мишень с меньшей эквивалентной массой.

За счет большего ускорения тело-мишень периодически отдаляется от ударного тела, несколько разряжая область упругой деформации. В результате тело-мишень замедляется, а ударное тело за счет оставшейся кинетической энергии вновь настигает тело мишень в новой точке по ходу общего движения взаимодействующих тел, не давая телу-мишени окончательно оторваться от ударного тела, после чего повторяется новый цикл взаимодействия, но уже на меньшем энергетическом уровне. Таким образом, на первом этапе взаимодействия область упругой деформации, с которой неразрывно связан и центр масс объединенной системы формируется и поддерживается каждый раз в новой точке по ходу движения объединенной системы, что эквивалентно ее ускоренному движению. В результате непрерывно повторяющихся взаимодействий и уменьшения в каждом последующем взаимодействии расхода энергии на выравнивание скоростей энергия взаимодействия продолжает аккумулироваться в области упругой деформации ускоряющейся системы вплоть до полного выравнивания скоростей. Очевидно, что после того как скорости взаимодействующих тел сравняются по величине, скорость объединенной системы будет равна половине скорости ударного тела. Следовательно, на выравнивание скоростей в соответствии с известной формулой ($E=mV^2/2$) расходуется только половина всей энергии взаимодействия, вторая половина которой расходуется уже после выравнивания скоростей.

С выравниванием скоростей процесс перераспределения энергии взаимодействия преимущественно в одном направлении, выражающийся в ускоренном движении области упругой деформации и соответственно центра масс вновь образованной системы заканчивается. При этом энергия перестает поступать в область упругой деформации, что приводит к ее разрядке, но уже между относительно

неподвижными телами в составе движущейся объединенной системы. Следовательно, оставшаяся в области упругой деформации после выравнивания скоростей энергия взаимодействия перераспределяется между взаимодействующими телами уже в условиях равного инерционного сопротивления, оказываемого взаимодействующими телами перераспределению энергии взаимодействия. Поскольку на упругое взаимодействие после выравнивания скоростей расходуется такая же по абсолютной величине энергия, как и на выравнивание скоростей, то на этапе разрядки деформации каждое из взаимодействующих тел получает в своем направлении такие же по абсолютной величине приращения скоростей, как и на этапе формирования ускоряющейся объединенной системы. В результате после полной разрядки области упругой деформации, без каких бы то не было парадоксов, ударное тело полностью остановится, получив отрицательный импульс движения, равный по величине оставшемуся положительному импульсу ударного тела, а тело мишень приобретет скорость ударного тела, получив дополнительный к ранее приобретенному и равный ему по величине положительный импульс.

Спурре А. Ф. в статье «Парадоксы физики», размещенной в SciTecLibrary предлагает рассматривать движение взаимодействующих тел в системе отсчета, связанной по сути дела с центром масс сжимающейся системы, т.к. относительная скорость сближения тел в замкнутой системе является, прежде всего, признаком именно сжимающейся системы. Центр масс сжимающейся системы действительно движется равномерно и прямолинейно относительно ее границ, которыми в данном случае являются ударное тело и тело-мишень со скоростью, равной половине относительной скорости. Однако эта скорость является виртуальной для объединенной системы тел в период их взаимодействия, т.к. во-первых, сам факт наличия относительной скорости между телами сжимающейся или расширяющейся системы вовсе не свидетельствует о реальном движении центра масс реальной объединенной системы. А во-вторых, центр масс объединенной системы формируется в пределах области упругой деформации, которая приобретает свою скорость именно в процессе взаимодействия, а вовсе не движется изначально равномерно и прямолинейно, как центр масс сжимающейся системы. В виртуальных системах до и после взаимодействия область упругой деформации вообще отсутствует.

Надо полагать, что в первоначальный момент столкновения и формирования области упругой деформации, в пределах которой находится и центр масс вновь образованной системы элементарные носители масс, вступающие во взаимодействие первыми, могут быть не только полностью остановлены, но и отброшены в обратном направлении. Таким образом, нулевая неподвижная точка отсчета, с которой начинается ускоренное движение объединенной системы в неподвижной системе координат, реально существует. Поэтому до момента выравнивания скоростей объединенная система движется с положительным ускорением, а после выравнивания скоростей начинается виртуальное движение центра масс расширяющейся системы. Спурре же предлагает считать виртуальную скорость центра масс сжимающейся системы реальной скоростью объединенной системы безо всякого на то физического обоснования и подтверждает свои выводы такой же виртуальной скоростью центра масс расширяющейся системы после взаимодействия. Однако равенство импульса сжатия и импульса расширения до и после взаимодействия так же удовлетворяет закону сохранения импульса и закону сохранения энергии, как и сохранение импульса виртуальных движущихся поступательно систем Спурре, поэтому его выводы, основанные на сохранении импульса центра масс виртуальных замкнутых систем, сами по себе являются парадоксальными.

Спурре по сути дела пытается объяснить физическую сущность упругого удара на примере решения абстрактной математической задачи в граничных условиях, которые определяются формально математическими выражениями закона сохранения импульса и закона сохранения энергии. С математической точки зрения геометрические построения Спурре с учетом граничных условий вполне логичны. Движение математической точки, рассчитанное с учетом формально математических выражений закона сохранения импульса и закона сохранения энергии, определяет пространственно геометрическое расположение любых независимых тел во времени и математически действительно может отражать движение всей совокупности любого количества независимых тел, как единого физического тела. Однако с физической точки зрения реализация математической схемы Спурре связана со сплошными парадоксами. Надо полагать, что неподвижная система отсчета, которая связана с неподвижным телом-мишенью, является абсолютной системой координат, иначе задача действительно имеет только математическое решение. В абсолютной же системе координат физически кинетическую энергию имеет только одно ударное тело, т.к. тело-мишень неподвижно в абсолютной системе координат. Поэтому с физической точки зрения никакого движения системы независимых тел нет, - есть только движение одного ударного тела. Таким образом, движение центра масс независимых тел в абсолютной системе отсчета, связанной с одним из независимых тел является математической абстракцией, которой соответствует такая же абстрактная кинетическая энергия.

О реальном движении замкнутой системы, как перемещении единого физического тела в пространстве имеет смысл говорить только в том случае, если все его точки перемещаются в одном и том же направлении, хотя бы с учетом их усредненного движения. Это кстати соответствует классическому определению поступательного движения, которому в схеме Спурре удовлетворяет только объединенная система в период взаимодействия. Кроме того, абстрактная кинетическая энергия математической точки, обозначающей центр масс виртуальной системы независимых тел, как и кинетическая энергия реальной объединенной системы вдвое меньше реальной кинетической энергии ударного тела. В отношении объединенной системы это легко объяснимо, т.к. при взаимодействии часть кинетической энергии ударного тела переходит в потенциальную энергию упругой деформации. А вот энергия виртуальной системы существует только в виде кинетической энергии ударного тела, которая не соответствует кинетической энергии, необходимой для движения центра масс виртуальной системы, что необъяснимо с физической точки зрения. По сути дела это означает, что движение с одинаковой скоростью двух - реальной и виртуальной систем, имеющих одинаковую массу, обеспечивается разной кинетической энергией, что противоречит закону сохранения энергии. Таким образом, разрешение парадокса у Спурре не менее парадоксально, чем исходный парадокс, который требуется разрешить.

Объединение в единую замкнутую систему тел, ни разу не взаимодействовавших между собой перед ударом и взаимодействовавших между собой только один раз во время удара само по себе является довольно парадоксальным. На таких же основаниях можно считать замкнутой системой все окружающие тела в масштабах вселенной, как до, так и после взаимодействия. Но тогда реальный центр масс замкнутой системы в масштабе вселенной естественно не совпадет с виртуальным центром масс рассматриваемых тел, что сводит на нет все логически-математические построения Спурре, в которых не хватает одного очень важного звена. Для обоснования своей чисто математической логики Спурре должен был хотя бы академически допустить, что во всей вселенной есть только два физических тела, результат взаимодействия которых он пытается физически объяснить. Однако даже в этом случае без парадоксов не обойтись. Движение единственной во вселенной замкнутой системы невозможно, т.к. она в свою очередь должна получить движение во взаимодействии с другими замкнутыми системами или физическими телами, которых в связи с принятым допущением просто не существует! Кроме того, не существует такой системы отсчета, относительно которой может двигаться замкнутая система, представляющая собой всю вселенную.

Замкнутая система либо предполагает дальнейшее взаимодействие всех составляющих ее тел, через какой бы промежуток времени и на каком бы расстоянии от первоначального взаимодействия оно бы не произошло, либо новых взаимодействий вообще не должно быть. В отсутствие последующих взаимодействий, как отмечалось выше, некорректно утверждать, что наличие относительной скорости свидетельствует о движении самой замкнутой системы, т.к. это означает, что существует только единственная замкнутая система, которая не может двигаться относительно самой себя. Таким образом, объединение в единую замкнутую систему конкретных взаимодействующих тел после их столкновения в окружении множества других физических тел или систем предполагает механическую связь между взаимодействующими телами, даже если объединение осуществлять через относительно длинные упругие связи, обеспечивающие относительную свободу телам объединенной системы. Только в этом случае на общем фоне совокупного множества других систем, представляющих собой абсолютную систему координат можно зафиксировать движение объединенной системы взаимодействующих тел, как единого физического тела. Однако кинематика движения реальной системы механически объединенных после взаимодействия тел, тем более не вписывается в кинематику Спурре, т.к. соответствует кинематике неупругих взаимодействий.

Вторая половина кинетической энергии ударного тела, остающаяся после выравнивания скоростей при неупругих взаимодействиях, сохраняется внутри системы до тех пор, пока не будет выведена из нее в виде излучения, теплового рассеивания или каким-либо иным способом. Поэтому неупругое взаимодействие можно смоделировать и при абсолютно-упругом ударе, если после выравнивания скоростей механически объединить взаимодействующие тела в единую систему принудительно. Только в этом случае система приобретет скорость равномерного движения, равную половине скорости сближения тел, а вторая половина энергии перейдет во внутренние упругие колебания системы. Если через некоторое время разорвать механическую связь, пока внутренняя энергия еще не успеет заметно рассеяться, то можно в некотором приближении получить кинематику упругого взаимодействия, предложенную Спурре. Однако такая модель упругого взаимодействия дает только приблизительное схематическое представление о механизме его осуществления, т.к. в этой модели задействована дополнительная энергия, необходимая для временного блокирования механизма упругого взаимодействии, которая в реальном упругом взаимодействии отсутствует. В схеме Спурре, как и в реальном упругом взаимодействии, принудительное

механическое блокирование механизма упругого взаимодействия отсутствует. Поэтому его схема, предполагающая равномерное движение объединенной системы со скоростью сжимающейся системы, просто не может быть физически реализована. В упругих взаимодействиях равномерное движение реальной объединенной системы без временного блокирования в единое физическое тело взаимодействующих тел после их столкновения не возможно.

Таким образом, объяснение кажущегося парадокса у Спурре сводится лишь замене одного кажущегося парадокса несколькими реальными парадоксами, которые вполне безобидны с абстрактно математической точки зрения, но вряд ли могут быть оправданы физически. И так происходит во всех случаях, когда физику пытаются изучать абстрактно математическими методами, бесконечно манипулируя различными системами отсчета, и забывая при этом о самой физике. Но, даже используя абстрактно математические методы можно обойтись без дополнительных парадоксов, вытекающих из чисто математической модели Спурре. Достаточно рассмотреть систему из трех взаимодействующих тел: тела, сообщившего движение ударному телу, ударного тела и тела-мишени. Для сохранения импульса системы из трех тел после взаимодействия ударного тела с мишенью последняя должна получить скорость равную по абсолютной величине и противоположную по направлению скорости тела, сообщившего движение ударному телу или скорости ударного тела, в то время как само ударное тело должно остановиться. При этом совместное движение ударного тела и тела-мишени с одинаковой скоростью, равной половине скорости ударного тела при отсутствии механического объединения ударного тела с мишенью, исключается законом сохранения энергии. Поэтому равномерного и прямолинейного движения объединенной системы с виртуальной скоростью центра масс сжимающейся системы в упругом взаимодействии не существует.

И наконец, вызывает недоумение следующее высказывание Спурре: *«Моменту максимальной деформации соответствует полное изменение импульсов шаров в системе координат ЦМ. Именно это изменение импульсов есть реальная кинетическая энергия движения, перешедшая в энергию упругой деформации шаров».* Совершенно очевидно, что к моменту полного изменения импульсов шаров в системе координат виртуального ЦМ в энергию упругой деформации переходит не вся реальная кинетическая энергия движения, а только ее половина, т.к. первая половина к этому моменту уже реализована при выравнивании скоростей. По этой же причине полному изменению импульсов шаров в системе ЦМ соответствует не максимально возможная деформация, а только часть максимальной деформации, соответствующая половине кинетической энергии ударного шара. К тому же изменение импульсов не тождественно кинетической энергии, хотя энергия и распределяется в соответствии с законом сохранения импульса.

Выше для простоты рассмотрено упругое взаимодействие равных по массе физических тел, в котором энергия взаимодействия в конечном итоге поровну распределяется между взаимодействующими телами. В общем случае, когда массы взаимодействующих тел не равны между собой, энергия взаимодействия распределяется следующим образом. На первом этапе на выравнивание скоростей расходуется часть энергии взаимодействия равная отношению массы ударного тела к суммарной массе взаимодействующих тел, которая распределяется прямо пропорционально их массам. На втором этапе оставшаяся энергия взаимодействия распределяется обратно пропорционально массам взаимодействующих тел. Однако в любом случае перераспределение энергии взаимодействия осуществляется только благодаря наличию сил инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия, которые и определяют окончательное соотношение энергетических потоков между взаимодействующими телами при любом виде взаимодействия.

Таким образом, сила инерции является такой же реальной силой, какими являются сила трения или сила внешнего сопротивления. Отличие состоит только в том, что сила инерции перераспределяет энергию между взаимодействующими телами и регулирует процесс преобразования потенциальной энергии взаимодействия в кинетическую энергию каждого из взаимодействующих тел и тем самым осуществляет отбор энергии у каждого из них, а сила трения только осуществляет связь между взаимодействующими телами. Кроме того за счет силы трения может происходить частичное рассеивание энергии взаимодействия через преобразование кинетической энергии в тепловую. Поэтому в существующей математической модели сила трения является по сути дела сопротивлением движению свободного тела со стороны каких-либо третьих тел безотносительно к процессу реального взаимодействия с реальным опорным телом, частью инерционного сопротивления которого, и является в действительности сила трения. Таким образом, в классической математической модели сопротивление академическому движению под действием академической неуравновешенной силы оказывается академическими же силами, которые являются абстрактными моделями сил трения или внешнего сопротивления. Например, Гулиа Н.В. в «Удивительной физике», в главе «Кто стоял на плечах гигантов?» пишет:

*«По прекрасному ровному шоссе едет автомобиль с выключенным двигателем (как говорят, «накатом»), медленно сбавляя скорость**. И ревя двигателем от натуги**, бульдозер тащит перед собой целую гору песка, но движется равномерно и по прямой, хотя и медленно (рис. 26). Которое из этих движений можно назвать движением по инерции? Да конечно, второе, хотя так и хочется указать на первое. Самое главное, что тело движется равномерно и прямолинейно. Все, этого уже достаточно, больше ничего и не нужно. Автомобиль в первом примере хоть и медленно, но замедляется. Следовательно, силы, действующие на него, не скомпенсированы: сопротивление есть, а силы тяги – нет.* ***А на бульдозер действуют много тел, каждое со своей силой, но все силы скомпенсированы, их равнодействующая равна нулю. Вот почему он и продолжает двигаться равномерно и прямолинейно, то есть по инерции.*** Именно этот пример привел Гулиа, делая свое уточнение к классической формулировке первого закона Ньютона (см. выше).

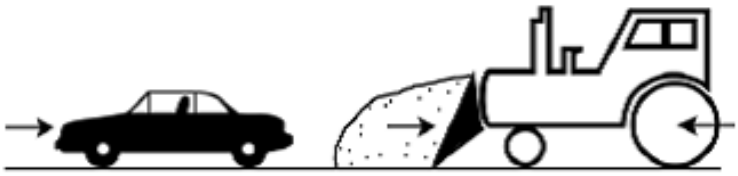


Рис. 26. Движение автомобиля накатом и загруженного бульдозера»

Во-первых, не бульдозер движется равномерно и прямолинейно, а система тел «бульдозер – гора песка», поэтому заострять внимание на множестве сил, действующих на бульдозер при равномерном движении всей системы физически не корректно, т.к. внутри системы все силы скомпенсированы, что равносильно их отсутствию или фиктивности для системы в целом. А во-вторых, о причастности первого закона Ньютона к движению по инерции в отсутствие мировой материальной среды мы уже говорили выше. «Ничто» не может являться смыслом или основой «чего-то». Движение при полном отсутствии сил не может быть физически отнесено к движению по инерции, т.к. инерция в таком случае так же является ничем, т.е. никак себя не проявляет. Такое движение, как мы отмечали выше, в лучшем случае происходит под «охраной» сил инерции.

С точки зрения существующей теории движения бульдозер движется под действием академической силы тяги, поэтому формирование силы тяги бульдозера за счет его взаимодействия с Землей в существующей математической модели движения не рассматривается. Для современной теории достаточно того, что сила тяги просто есть. То же самое можно сказать и о силе сопротивления движению со стороны горы песка. В существующей математической модели движения она также никак не связана с инерцией Земли. Это просто абстрактная сила сопротивления горы песка за счет сил трения с абстрактной дорогой, никак не связанная с инерцией Земли. Вот и получается, что в классической физике академической силе тяги противодействует такая же академическая сила трения. Однако когда две академические абстрактные силы уравновешивают друг друга, как, например сила тяги и сила трения внутри системы «бульдозер - гора песка», то собственно нет никакого смысла их и вводить.

Сила сопротивления горы песка бульдозеру вообще не играет никакой роли для движения системы тел «бульдозер-гора песка», т.к. это внутренняя сила системы, уравновешенная силой тяги бульдозера. Равномерное движение подсистемы «бульдозер-гора песка» происходит как движение единого тела во взаимодействии с другим телом – с Землей. Поэтому для подсистемы «бульдозер-гора песка» имеет значение не сила сопротивления горы песка бульдозеру, а сила сопротивления Земли всей подсистеме «бульдозер-гора песка» в целом. Трение горы песка только обеспечивает дополнительное сцепление подсистемы «бульдозер – гора песка» с Землей, если пренебречь массой песка ввиду ее малости по сравнению с периодически «подключаемой» к взаимодействию массы Земли через силу трения подсистемы «бульдозер - гора песка».

В результате наличия тяги происходит регулирование взаимодействия всей подсистемы «бульдозер – гора песка» с Землей таким образом, что каждая из сторон взаимодействия движется относительно друг друга равномерно и прямолинейно. За счет силы тяги бульдозера, взаимодействующие стороны - подсистема «бульдозер - гора песка» и Земля периодически разгоняются, а за счет дополнительного сцепления, возрастающего при ускорении, и подключения дополнительной инерционной массы Земли вновь тормозятся. Таким образом, за счет циклической смены направленности взаимодействия, по-видимому, и происходит равномерное в среднем движение взаимодействующих тел. Так что Гулиа напрасно подчеркивает мощь двигателя бульдозера внутри подсистемы «бульдозер – гора песка». В подсистеме «бульдозер – гора песка» все силы скомпенсированы, что соответствует полному отсутствию в

ней внешних сил в соответствии с формулировкой равномерного движения тела, как замкнутой системы, предложенной Ньютоном.

Сила тяги бульдозера в конечном итоге приложена не к бульдозеру, а к подсистеме «бульдозер – гора песка». Причем сила тяги подсистемы «бульдозер – гора песка» также динамически скомпенсирована периодически подключаемой к взаимодействию инерцией Земли, которая и уравновешивает в среднем силу тяги. Таким образом, академическая внешняя сила трения горы песка это не что иное как «фиктивная» с точки зрения Гулиа и современной физики сила инерции Земли. В целом же система тел «бульдозер с горой песка - Земля» остается неподвижной, даже если сила тяги бульдозера будет превышать силу сопротивления горы песка, т.к. и силы инерции, и «обычные» силы одинаково реальны и всегда уравновешивают друг друга внутри системы взаимодействующих тел. Академических внешних сил в природе не существует.

Вопрос же о том, которое из движений в приведенном примере является движением по инерции, не так прост, как это предлагает считать профессор Гулиа, который утверждает, что для этого достаточно только факта равномерного и прямолинейного движения: *«…Самое главное, что тело движется равномерно и прямолинейно. Все, этого уже достаточно, больше ничего и не нужно…»*. Как мы отмечали выше, равномерное и прямолинейное движение в отсутствие мировой материальной среды происходит **под «защитой» сил инерции**, но в их отсутствие. Если под движением по инерции понимать движение под воздействием сил инерции, которые, как показано выше, вполне реальны, то в первую очередь это, конечно же, движение автомобиля накатом, которое происходит не только под воздействием сил трения, но и под воздействием «обычных» поддерживающих сил инерции. Силы трения, конечно же, замедляют движение автомобиля, но это замедление происходит с непосредственным участием поддерживающих сил инерции, которые противодействуют силам трения, которые так же в конечном итоге являются силами инерции. Так что движение автомобиля накатом в приведенном примере по праву можно считать движением по инерции.

Движение подсистемы «бульдозер – гора песка» соответствует классическому определению движения по инерции. Причем в рассматриваемом конкретном случае это движение действительно происходит не только под «**защитой**» сил инерции, как в вакууме, а с непосредственным участием сил инерции Земли, которые периодически противодействуют силе тяги и силе инерции подсистемы «бульдозер – гора песка». Движение автомобиля *«с выключенным двигателем»* отличается от движения подсистемы «бульдозер – гора песка» с работающим двигателем только неизменным сцеплением и соответственно отсутствием реверса взаимодействия с Землей за счет подключения ее дополнительной массы. Однако в каждом из этих случаев движение, так или иначе, происходит благодаря инерции, т.е. сопротивлению распространению энергии взаимодействия. Благодаря инерции возможна сила тяги бульдозера, обеспечивающая равномерное движение в условиях «подключения» дополнительной инерции Земли и благодаря инерции автомобиль с выключенным двигателем не может остановиться мгновенно. Таким образом, в каждом из этих случаев происходит движение по инерции, причем не условно математически, как движение в соответствии с первым законом Ньютона, а за счет физически реальных сил инерции в соответствии с третьим законом Ньютона.

Первый закон Ньютона, как мы отмечали выше, достаточно академичен. Он сформулирован для условий, в которых мировая материальная среда отсутствует. В реальной действительности любое движение всегда происходит в мировой материальной среде, которая, по всей видимости, оказывает, возможно, незначительное, неподдающееся измерению на современном уровне сопротивление движению. Поэтому в бытовом понятии движения по инерции, скорее всего, заключена народная мудрость, которая предполагает реальное преодоление сил сопротивления движению за счет «обычных» поддерживающих сил инерции накопленного движения. А движение без видимых причин осуществляется только для того, кто не прислушивается к народной мудрости и не признает физическое существование сил инерции и мировой материальной среды и судит о явлениях природы только по академическим законам и математическим формулам.

Природа сил инерции в современной физике не установлена, поэтому реальность силы инерции не может противоречить современной физике в принципе. Единственным критерием реальности силы инерции может служить только ее соответствие фундаментальным законам природы, которым явление инерции, как мы полагаем, полностью соответствует. Более того инерция непосредственно обусловлена фундаментальными законами природы, как собственно и законы природы в отношении механического движения в частности обусловлены инерцией. Современная физика утверждает, что сила инерции со стороны ускоряемого тела всегда приложена только к опорному телу (см. выше). Однако ситуация, в которой инерция, как свойство тела оказывать энергетическое сопротивление изменению состояния его движения никак не связана с движением энергии через его собственные элементарные носители массы,

выглядит довольно абсурдной. Это все равно, что сопротивление изменению состояния движения ускоряемого тела напрямую оказывается опорному телу со стороны гипотетического третьего тела или некой среды, минуя само ускоряемое тело, т.е. ускоряется одно тело, а сопротивление ускорению первого тела оказывается совсем другому телу!

Такое толкование природы взаимодействий противоречит общепризнанным на сегодняшний день законам физики. Ни одно физическое тело не может воздействовать на другое тело, не испытывая такого же силового воздействия на себе, например, со стороны третьего тела. Поэтому даже если источник противодействия изменению состояния движения физических тел на сегодняшний день наукой не установлен, это противодействие в соответствии с той же самой наукой в первую очередь должно оказываться именно ускоряемому телу, а уже через него противодействие может быть передано опорному телу. Академические силы безотносительно источника их возникновения возможны только в математической модели, в которой сила инерции является фиктивной только по отношению к ускоряемому телу и только при наличии абстрактной ускоряющей силы, но не более того. В отсутствии третьего тела источник силы, противодействующей внешнему силовому воздействию нужно искать не только, а может быть не столько внутри ускоряемого тела, сколько во взаимодействии материи физического тела с мировой материальной средой.

По определению **инерция - это свойство материальных тел сохранять состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока какая-либо внешняя сила не изменит этого состояния.** Поскольку материальное тело это сложная субстанция, то надо полагать, что инерция связана не столько со свойством единых и неделимых материальных точек, которыми в современной теории движения заменяются реальные материальные тела, сколько со свойством материи, из которой реально состоят материальные тела и мировая материальная среда. Может быть, именно в этом смысле следует понимать слова Ньютона о том, что инерция это «***врожденная сила материи»,*** а не отдельных материальных тел. Этому не противоречит даже формулировка Гулиа, в которой он предлагает заменить «силу» в словах Ньютона на «свойство».

По мнению В. А. Ацюковского («Общая эфиродинамика», МОСКВА, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1990) все мировое пространство и промежутки между элементарными частицами любого вещества заполняет мировая материальная среда – эфир, которая представляет собой сильно разреженный реальный газ. Мельчайшие частицы этого газа – амеры и являются первокирпичиками материи, т.е., по-видимому, и элементарными носителями массы. При взаимодействии физических тел происходит направленное перераспределение избыточной кинетической энергии одного из тел, которая возможно выделяется сначала в мировую материальную среду, а затем за счет термодиффузионного процесса в эфире распределяется в материи физических тел в соответствии с типом взаимодействия. Конечно же, это только предположение. Механизм распределения энергии в материи может быть уточнен по мере накопления соответствующих знаний в науке. Однако совершенно очевидно, что без инерционного сопротивления никакие силы взаимодействия не смогут распространяться на материальные тела.

Таким образом, инерция это вовсе не фиктивная сила. Возможно, инерция обусловлена инерционным сопротивлением мировой материальной среды обмену энергией между элементарными носителями масс через мировое материальное пространство. Возникающие же при этом силы являются только следствием этого процесса. Мировая материальная среда, условно говоря, является точкой опоры, за счет которой ускоряемое тело при внешнем силовом воздействии удерживается по отношению к прежнему состоянию с силой сопротивления распространению энергии взаимодействия на ускоряемое тело. Такой же точкой опоры мировая материальная среда является и для внешней силы, воздействующей на ускоряемое тело. Причем в соответствии с третьим законом Ньютона силы инерционного сопротивления обеспечивают распространение энергии взаимодействия в обратном направлении на опорное взаимодействующее тело точно с такой же силой, с которой и оказывается это сопротивление.

Таким образом, при взаимодействии двух тел образуются два канала распространения энергии взаимодействия в двух взаимно противоположных направлениях с одинаковой по абсолютной величине силой. Именно это мы имели в виду, когда говорили, что сила, действующая на опорное тело в соответствии с третьим законом Ньютона, не является силой инерции в прямом смысле этого слова (см. выше). Однако отождествление силы инерции с силой противодействия, возникающей в ответ на воздействие «обычной» силы в соответствии с третьим законом Ньютона не случайно. Сила инерционного сопротивления мировой материальной среды непосредственно воздействует на ускоряемое тело, а уже через него на опорное тело, т.е. сила, действующая на опорное тело, в конечном итоге является продолжением силы инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия. Это именно то сопротивление, которое обеспечивает поступление энергии взаимодействия к взаимодействующим телам с одинаковой по абсолютной величине силой, что и отражает третий закон Ньютона.

Равенство силы инерции в ее классическом понимании и силы тяги означает лишь равенство «обычных» сил, воздействующих на взаимодействующие тела в противоположных направлениях. Сила же инерции, как сила сопротивления мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия, хотя и оказывает регулирующее влияние на формирование «обычных» сил, приложенных к взаимодействующим телам в разных направлениях, но не закрывает доступ энергии взаимодействия к взаимодействующим телам. Не смотря на противодействие силы инерции, тело продолжает двигаться с ускорением, хотя и непрерывно затухающим. Для движения с незатухающим ускорением необходимо непрерывное подведение энергии, что достигается, например, в реактивном движении за счет непрерывного взаимодействия с рабочим телом. При этом в любом случае равенство силы тяги и силы инерции в ее классическом понимании неизменно сохраняется. Реактивное движение создает иллюзию движения под воздействием академической неуравновешенной силы, однако, это только иллюзия.

Профессор Гулиа в «Удивительной физике» в главе «Инерция: сила или бессилие?», негодуя, по поводу довольно часто встречающегося даже в науке мнения о том, что сила инерции является реальной силой, сетует на множественные казусы, случающиеся в связи с этим, и приводит пример одного из этих казусов:

«Но и при обычном прямолинейном движении таких казусов сколько угодно, и свидетелем одного из них был автор. Дело происходило на защите кандидатской диссертации по теории автомобиля. Молодой диссертант делал доклад по работе, пользуясь формулами, написанными на плакатах. Естественно, диссертант воспользовался принципом Даламбера, по-видимому, даже не подозревая об этом. И уравнение тягового баланса ускоряющегося автомобиля он записал в том виде, как это делается и в большинстве учебников:

Pk (сила тяги) = Pf (сила сопротивления качению) + PV (сила сопротивления воздуха) + Pj (сила инерции).

Шутник – член Ученого Совета – спрашивает диссертанта:

– Вот у вас сила тяги равна сумме всех сопротивлений. Стало быть, автомобиль находится в равновесии, он неподвижен. Почему же вы говорите, что машина разгоняется?

Диссертант долго думал, а потом не нашел ничего лучшего, как сказать:

– Это только теоретически – в равновесии. А на самом деле сила тяги чуть-чуть больше сопротивления, вот он и движется!

Хохот был такой, что проснулись даже обычно спящие члены Совета. ***А правильный ответ должен быть таким:***

– Сила инерции фиктивная, несуществующая. *Она добавлена согласно принципу Даламбера для облегчения решения задачи (рис. 44).* ***И вся разница между силой тяги и силами сопротивлений идет на разгон автомобиля, вот он и ускоряется! Но разве виноват диссертант, что он учился по учебникам, где все те же ошибки. Не понимают многие инженеры принцип Даламбера, вот и «оживают» несуществующие силы инерции!»***

Хорошо хоть Гулиа сам признал, что силу инерции считают физически реальной не только неграмотные изобретатели инерцоидов и другие неграмотные люди, которые не читали учебников. Оказывается ***«все те же ошибки»*** можно почерпнуть и из самих учебников, как говорит сам Гулиа. Надеемся, что после этого нас не будут обвинять в голословности, по поводу нашего мнения о том, что в современной физике существует-таки двойственное понятие силы инерции и в том, что мы, заявляя об этом, просто не правильно истолковываем работы классиков теоретической механики. По крайней мере, современный нам профессор механики тоже признает, что в учебниках по этому поводу нет исчерпывающей ясности. Правда сам Гулиа двойственность понятия инерции категорически отрицает и никак не хочет признать, что в реальной действительности все-таки ***«оживают» несуществующие силы инерции»***.

К сожалению, физический механизм перераспределения энергии между взаимодействующими физическими телами современной наукой на сегодняшний день не установлен. Возможно, обмен энергией происходит в виде переотражений энергии с одновременным преобразованием потенциальной энергии взаимодействия в кинетическую энергию взаимодействующих тел на уровне мировой материальной среды. При этом средняя во времени результирующая сила взаимодействия, как отмечалось выше, уменьшается за счет растягивания силового воздействия во времени. Для каждого отдельно взятого тела растягивание силового воздействия во времени создает эффект потери энергии как от прямого лобового противодействия движущей силе. Однако средняя сила, в которой все перераспределения энергии уже учтены, это в конечном итоге и есть превышение силы распространения энергии взаимодействия над силой инерции, которое можно объяснить сдвигом фаз воздействующей и ответной силы. Так что ответ диссертанта это не такой уж и казус. А вот ответ Гулиа, заключающийся в том, что сил инерции в природе

физически не существует, является абсолютным казусом. Так что, скорее всего, уважаемые члены Совета смеялись и смеются в конечном итоге над самими собой.

Силы инерции проявляются как силы инерционного сопротивления мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия и действуют на уровне мировой материальной среды. При переходе на уровень физических тел силы инерции проявляются как «обычные» силы. Таким образом, «обычные» силы по сути дела зарождаются в мировой материальной среде и являются продолжением сил инерции на уровне физических тел. Поэтому разделять силы распространения энергии на «обычные» силы и силы инерции физически некорректно. По этой же причине силы инерции в их классическом понимании не могут оказывать никакого сопротивления «обычным» силам, т.к. на уровень физических тел выходит уже результирующая сила инерции, которую в современной физике принято считать «обычной» силой. Привычное в современной физике понятие противодействия движению или изменение движения связано с математическим (геометрическим) сложением готовых абстрактных академических сил. Силы же инерции участвуют в самом физическом процессе образования «обычных» академических сил. Однако перераспределение энергии взаимодействия, препятствующее ее распространению произвольным образом, осуществляющееся за счет сил инерции приводит к точно такому же изменению результирующего движения, как и при математическом сложении академических сил. Это и вносит путаницу в отношении «обычных» сил и сил инерции в современной физике.

Если отвлечься от математической модели, на которой все так зациклились, то нет никаких сомнений в физической реальности сил инерции. Ведь сила тяги, как впрочем, и сила сопротивления просто обязаны своим существованием силам инерции, которые оказывают не прямое сопротивление ускоренному движению, а регулирующее влияние на поступление энергии взаимодействия к ускоряемому телу. Иллюзию нереальности силам инерции придает только существующая на сегодняшний день математическая модель, которая, кстати, призвана облегчить решение задач динамики, а не усложнять понимание физической сущности реальных взаимодействий, хотя сегодня получается почему-то все наоборот. Некоторые физики от математики склонны принимать существующую математическую модель теории движения «за чистую монету» и распространяют абстрактные математические допущения на реальную действительность. Причем Даламбер в этом нисколько не виноват. Виноваты, наверное, *«неграмотные люди»*, как говорит Гулиа в своей «Удивительной физике». По поводу вводимого в физику для облегчения решения задач движения принципа Даламбера, Гулиа пишет: *«он же* (Даламбер – авт.) ***не подозревал****, что в научном мире еще имеются люди* ***не очень образованные…***» (см. выше).

Гулиа считает, что инерция связана только с принципом Даламбера и не имеет под собой никакой физической основы. Интересно как грамотный человек Гулиа вообще представляет себе силу тяги в отсутствие силы инерции. Тот же самый автомобиль с двигателем любой мощности никуда не уедет на скользком льду вовсе не, потому что отсутствуют силы трения. Это только второстепенная причина, т.к. силы трения играют лишь роль посредника между взаимодействующими телами. У спортсмена, бегущего на тренажере «Беговая дорожка» с силой трения ног по отношению к полотну дорожки все в полном порядке. Однако все усилия спортсмена не приводят к его сколько-нибудь заметному перемещению относительно спортивного снаряда. Силы трения это только промежуточное звено во взаимодействии автомобиля с Землей и спортсмена со спортивным снарядом «Беговая дорожка». В первую очередь для создания силы тяги необходимо инерционное сопротивление опорного тела, которого из-за отсутствия сцепления со скользкой дорогой лишается автомобиль и из-за свободного перемещения полотна дорожки на барабанах спортивного снаряда лишается спортсмен.

Силы инерционного сопротивления эфира, возникающие по отношению к обмену энергией между элементарными носителями массы через мировую материальную среду, достаточно хорошо согласуются с современными представлениями об инерционной массе, определяющей инерционное сопротивление, а также с известным фактом равенства инерционной и гравитационной массы. По Ацюковскому силы гравитации определяются термодиффузионными процессами в эфире, основанном на теплообмене массы вещества с окружающим эфиром. Эфир в составе вещества является более холодным по сравнению со свободным эфиром. Он охлаждает свободный эфир между тяготеющими телами, в то время как с внешней стороны тел свободный эфир охлаждается значительно меньше. Материальные тела под действием внешнего давления устремляются в область пониженного давления между телами. Причем градиент давления мировой материальной среды тем больше, чем больше количество вещества в теле. Явление инерции также, по-видимому, основано на обмене энергией между веществом и мировой материальной средой на основе термодиффузионного процесса, хотя возможны и другие варианты. То есть в конечном итоге сила гравитации точно также как и сила инерции зависит от массы взаимодействующих тел, как количества элементарных носителей массы.

Таким образом, и гравитационная и инерционная масса определяется, прежде всего, количеством вещества в материальном теле, хотя направленность обмена энергией между веществом и эфиром в механизме явления инерции и в механизме гравитации может быть и противоположной. По-видимому, при взаимодействии материальных тел в зоне деформации происходит нагрев окружающего эфира. Поэтому градиент давления тормозит опорное тело и ускоряет ответное ему ускоряемое тело, конечно же, с учетом существующего тока энергии взаимодействующих тел. Однако количество вещества, т.е. количество элементарных носителей массы и в том и в другом случае играет одинаковую роль. Обмен энергией в материи происходит по всему объему взаимодействующих тел, т.е. охватывает всю массу вещества взаимодействующих тел. Причем любое вещество имеет сложную структуру, которая в разных веществах значительно отличается друг от друга. Поэтому, скорее всего количество вещества и в том и в другом случае определяется не количеством молекул и даже атомов, а количеством элементарных носителей масс. Являются ли элементарными носителями массы амеры или их вихревые образования может быть прояснено только с дальнейшим развитием эфиродинамики. Очень жаль, что сам Ацюковский в своей работе не предложил никакого физического механизма явления инерции. Возможно, признанный авторитет в области эфиродинамики мог бы предложить приемлемый вариант механизма инерционного сопротивления, связанного с мировой материальной средой.

Если силы инерции действительно обусловлены инерционным сопротивлением эфира распространению энергии взаимодействия, то безинерционное движение вполне возможно. Для этого достаточно обеспечить отсутствие эфира по ходу предполагаемого движения тела. Тогда тело под действием давления свободного эфира с противоположной стороны будет двигаться с неограниченным ускорением без инерционного сопротивления. Хотя элементарные носители масс никуда не исчезнут, обмена энергией между материей ускоряемого тела и опорного тела не будет, т.к. для такого движения опорное тело не нужно, вернее, вместо опорного тела источником движения будет сам эфир. Вместо оказания сопротивления передаваемой ускоряемому телу энергии эфир сам будет отдавать свою энергию телу. Инерционная масса ускоряемого тела в отсутствие сопротивления эфира фактически будет равна нулю.

Возможно, что высокоразвитые цивилизации давно пользуются этим принципом «перекачивая» эфир из пространства перед их космическими кораблями за корму корабля или просто рассеивая его в пространстве. При этом, во-первых, на разгон кораблей любой массы с неограниченным ускорением не требуется по всей видимости огромных затрат энергии, т.к. при отсутствии инерции для их разгона достаточно исчезающе малого силового воздействия. Основные затраты будут при «рассеивании» эфира перед кораблем, но, по-видимому энергию для этого можно брать из самого эфира. А во-вторых, огромные ускорения в отсутствие инерционного сопротивления не приводят к разрушению корабля и биологических организмов в нем при любом силовом воздействии.

Что же является на сегодняшний день ***«ясным»*** определением силы инерции в современной физике, о котором говорит Зоммерфельд? Выше приведены мнения классиков теоретической механики, в которых ясно прослеживается лишь их двойственное отношение к явлению инерции, хотя никакого двойственного толкования силы инерции быть не должно. Если силу инерции считать фиктивной, то, как в таком случае объяснить само явление инерции, в существовании которого не может быть никаких сомнений. Как объяснить реальное сопротивление изменению состояния движения физических тел в отсутствии сил сопротивления? Конечно же, можно считать, что сила инерции реальна, а фиктивной является лишь математическая модель реальных сил инерции, которая применяется в математическом описании движения и тем самым поставить точку в вопросе о реальности силы инерции. Однако и такая «ясность» устраивает далеко не всех. Профессор Гулиа, например, с этим категорически не согласен и считает, что он убедительно доказал всем именно физическую фиктивность силы инерции (см. выше). Таким образом, вопрос о реальности силы инерции в современной физике фактически остается открытым, несмотря на то, что Гулиа и его сторонники пытаются убедить нас в обратном. Общего объединяющего определения явления инерции, в котором были бы ясно расставлены все точки над «i» на сегодняшний день в современной физике нет.

По нашему мнению, **явление инерции это реальный процесс перераспределения энергии взаимодействия между взаимодействующими телами за счет реальных сил инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия со стороны материи физических тел через мировую материальную среду.** Это определение не противоречит ни одному из фундаментальных законов физики. В соответствии с приведенным определением сила инерции может быть связана с двумя разнонаправленными силами. Одна из них должна препятствовать изменению движения с положительным ускорением, т.е. препятствовать разгону, другая должна препятствовать торможению, т.е. движению с отрицательным ускорением. Это соответствует также существующему официальному определению силы

инерции. Однако силы, поддерживающие движение при его торможении в классической физике относят к «обычным» силам. Считается, что фиктивные силы инерции не могут поддерживать движение, иначе силы инерции не могут быть фиктивными. Это еще один пример двойственного отношения к природе сил инерции в современной физике, которое противоречит даже официальному определению инерции.

Понятие инерции в механическом движении является полным аналогом явлению самоиндукции в электродинамике. Как известно явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока в этой цепи называется самоиндукцией, которая препятствует как возрастанию силы тока, так и ее убыванию. Точно такой же смысл заложен и в общепринятом официальном определении явления инерции в механическом движении. Самоиндукция это по сути дела инерция в области электродинамики или инерция это самоиндукция в механике. Конечно же, физический механизм этих явлений может несколько отличаться, хотя на наш взгляд и не принципиально, однако смысл инерции и самоиндукции, по крайней мере, в соответствии с существующими определениями один и тот же. Следовательно, инерция механического движения также должна обеспечиваться двумя разнонаправленными силами.

С точки зрения первого закона Ньютона состояние покоя и равномерного прямолинейного движения это абсолютно одинаковые состояния. Однако для поддержания (сохранения) этих состояний необходимы две разные по направлению силы. Инерционное сопротивление перераспределению энергии взаимодействия непосредственно объясняет только противодействие изменению текущего состояния движения (покоя) с положительным ускорением. Противодействие отрицательному ускорению, т.е. торможению, инерционным сопротивлением мировой материальной среды объяснить достаточно сложно, т.к. никакое пассивное сопротивление не в состоянии поддерживать движение. С точки зрения классической физики силы, поддерживающие движение могут быть объяснены только «обычными» активными силами, возникающими при взаимодействии тел в соответствии с третьим законом Ньютона. Однако в конечном итоге «обычные» силы также возникают за счет пассивного инерционного сопротивления перераспределению энергии взаимодействия, т.е. за счет сил инерции в соответствии с приведенным выше нашим определением. И активные «обычные» силы и «пассивные» силы инерции являются физическими параметрами одного итого же процесса перераспределения энергии, возникающего при взаимодействии материальных тел.

Поэтому с учетом существующего определения инерции и изложенного выше механизма формирования сил взаимодействия, обусловленных инерционным сопротивлением мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия **наиболее разумно силами инерции считать все силы, которые образуются при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона.** Среди этих сил есть и силы, препятствующие разгону, и силы, препятствующие торможению. Силами инерции, препятствующими разгону можно считать силы противодействия, которые приложены к активному телу (тело с наибольшей кинетической энергией). Эти силы можно объяснить инерционным сопротивлением мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия, которое лежит в основе любых взаимодействий и собственно третьего закона Ньютона. Поскольку силы инерционного сопротивления мировой материальной среды передаются опорному телу через ускоряемое тело, то силу противодействия, приложенную к опорному телу можно считать продолжением силы инерционного сопротивления среды, приложенной к ускоряемому телу. Силами инерции, препятствующими торможению можно считать силы, с которыми тело, обладающее избыточной энергией, воздействует на тело, препятствующее его движению. По существующей классификации это «обычные» силы взаимодействия.

«Обычные» силы, возникающие при взаимодействии материальных тел, не только передают движение ускоряемому телу, но и собственно поддерживают движение самого активного тела, т.к. энергия взаимодействия, как мы полагаем, распространяется между элементарными носителями массы последовательно. Вначале замедляются элементарные массы в зоне непосредственного контакта с ускоряемым телом. Они отдают свою избыточную энергию носителям массы ускоряемого тела, которые первыми вступают во взаимодействие. При этом следующие за ними элементарные массы с избыточной кинетической энергией отдают свою энергию уже не только ускоряемому телу, но и элементарным носителям массы собственного тела. Таким образом, по всему объему тела обладающего избыточной кинетической энергией прокатывается волна элементарных взаимодействий, на переднем фронте которой происходит потеря кинетической энергии элементарных масс активного тела, а на заднем фронте частичное восполнение этой энергии, что эквивалентно силе поддерживающей движение, приложенной к активному телу.

Конечно же, в конечном итоге активное тело все-таки теряет энергию. Это дает основание официальной физике считать, что результирующая сила всегда является тормозящей и направлена против

движения активного тела, т.е. никаких поддерживающих сил инерции просто не существует. Однако за счет поддерживающей силы инерции и происходит сам процесс передачи энергии от активного тела к задерживающему его движение пассивному телу. Как это ни парадоксально в абсолютно-упругом взаимодействии активное тело отдает ускоряемому телу всю свою кинетическую энергию именно за счет поддерживающей силы инерции. В противном случае вся кинетическая энергия активного тела или, по крайней мере, ее часть просто отразилась бы в обратном направлении. В неупругом взаимодействии поддерживающая сила инерции проявляется еще более наглядно, приводя в движение объединенную вновь образованную после столкновения замкнутую систему. «Обычная» сила активного тела, приложенная к задерживающему движение телу, является продолжением поддерживающей силы инерции, обусловленной движущимся вместе с активным телом энергетическим потоком.

Подобным образом можно объяснить и инерционное торможение пассивного ускоряемого тела. Результирующая сила в отношении ускоряемого тела всегда действует в направлении его ускоренного движения, создавая иллюзию отсутствия тормозящей силы инерции, что и утверждает современная физика. Однако в процессе взаимодействия элементарные массы ускоряемого тела теряют энергию на переднем фронте волны элементарных взаимодействий, которая вновь восстанавливается за счет силы взаимодействия. Тем не менее, без тормозящей силы инерции, действующей на ускоряемое тело, вся энергия активного тела может быть беспрепятственно передана пассивному телу с неограниченным ускорением, чего в реальной действительности никогда не наблюдается даже в абсолютно-упругих взаимодействиях. И, наоборот, без инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия никакая ее часть вообще не может быть передана активному телу.

Без явления инерции передача энергии взаимодействия невозможна. Сам процесс передачи энергии подразумевает наличие сопротивления ее распространению в сторону противоположную направлению, в котором она должна быть передана. Поскольку при взаимодействии материальных тел процесс передачи энергии все-таки происходит, в чем нет никаких сомнений, то опорная точка для передачи энергии существует. Однако если существует инерционное сопротивление в одном направлении, то оно должно быть и в любом другом направлении. Инерция, как и закон сохранения импульса это по сути дела одна из сторон проявления закона сохранения энергии, которая не может быть произвольным образом и в произвольных количествах передана от одного материального тела к другому.

При взаимодействии двух тел из состояния покоя мировая материальная среда оказывает одинаковое инерционное сопротивление распространению энергии взаимодействия в двух взаимно противоположных направлениях. Поэтому при одинаковых для простоты массах взаимодействующие тела получают одинаковое ускорение. При взаимодействии двух изначально движущихся тел необходимо принимать во внимание третьи тела, во взаимодействии с которым было получено изначальное движение, тогда все также естественно становится на свои места. Например, при взаимодействии изначально движущегося тела с покоящимся телом, в результате которого движущееся тело полностью передает свою энергию покоящемуся телу, необходимо помнить, что есть третье тело, во взаимодействии с которым изначально движущееся тело получило свой импульс движения. После взаимодействия ударного тела с покоящимся телом третье тело продолжает двигаться с неизменной скоростью в обратном направлении, не нарушая общий баланс движения из трех тел, что полностью объясняет парадоксальную и на первый взгляд беспрепятственную передачу энергии от ударного тела - телу мишени (см. выше).

В оценке сил, проявляющихся при взаимодействии, современная физика исходит из общей кинематики движения физических тел, исключая сам процесс формирования «обычных» сил взаимодействия. Это обстоятельство дает основание не учитывать силы инерции в математической модели ускоренного движения. Однако «обычные» силы формируются за счет сил инерционного сопротивления мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия в зависимости от масс взаимодействующих тел. По всей видимости, энергия взаимодействия выделяется в мировую материальную среду, где посредством сил инерции и происходит перераспределение ее потоков между взаимодействующими телами. Таким образом, силы инерции не противодействуют обычным силам, а формируют их, как по направлению, так и по абсолютной величине. «Обычные» силы являются продолжением сил инерции после каждого элементарного акта перераспределения энергии взаимодействия.

В связи с вышеизложенным, а также с учетом исторически сложившимся отождествлением силы инерции с силой противодействия, которая возникает в ответ на действие «обычной» силы в соответствии с третьим законом Ньютона к приведенному выше определению явления инерции можно добавить уточнение, касающееся сил инерции: **Явление инерции это реальный процесс перераспределения энергии взаимодействия между взаимодействующими телами за счет сил инерционного сопротивления распространению энергии взаимодействия со стороны материи физических тел через**

мировую материальную среду. СИЛАМИ ИНЕРЦИИ СЛЕДУЕТ СЧИТАТЬ ВСЕ СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЕЛ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕТЬИМ ЗАКОНОМ НЬЮТОНА по одинаковому признаку и происхождения.

В уточнении, касающемся сил инерции нет никакого противоречия. Силы, действующие на опорное тело, как мы отмечали выше, являются по сути дела продолжением сил инерционного сопротивления мировой материальной среды распространению энергии взаимодействия, которые передаются опорному телу через ускоряемое тело. А силы, поддерживающие движение активного тела должны считаться силами инерции по существующему в современной физике определению, в соответствии, с которым материальные тела должны противодействовать и отрицательному ускорению, в том числе. В принципе поддерживающие движение силы, которые в современной физике ассоциируются в первую очередь с «обычными» силами, приложенными к пассивному ускоряемому телу, и есть проявление инерционного движения активного тела в его энергетическом потоке. Поэтому для опорных тел силы инерции являются «обычными» силами, а «обычные» силы для ускоряемых тел являются силами инерции для опорных тел.

На двоякое проявление силы инерции указывал еще Ньютон. Он говорил, что сила инерции проявляется как сопротивление и как напор: *«Как сопротивление, - поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор, - поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия».* Таким образом, Ньютон по сути дела допускал, что силой инерции может быть «обычная» сила, с которой одно тело передает свое движение другому телу и одновременно поддерживает собственное движение. Ведь *«…стремится изменить состояние этого препятствия»* невозможно без стремления поддержать собственное состояние движения. **«Обычные» силы, которые фигурируют в математическом аппарате динамики Ньютона, просто обязаны своим происхождением явлению инерции и по праву могут считаться силами инерции по своему физическому происхождению.** А для того чтобы не было путаницы, которую так боится Гулиа и ему подобные, не желающие прислушиваться к здравому смыслу, необходимо избавиться от действительно фиктивных сил в физике, которая по определению должна отражать только реальную действительность.

Истинно фиктивные силы инерции - это так называемые силы инерции второго типа, которые действительно не имеют никакого отношения к реальному движению тел и применяются в неинерциальных системах отсчета для объяснения кажущегося ускоренного движения неподвижных в инерциальной системе отсчета тел в результате движения самой неинерциальной системы отсчета (см. выше). Такое мнимое движение без какого-либо ущерба для современной физики вполне можно было бы объяснить другими факторами, которые не имеют ничего общего, с какими бы то ни было силами вообще и таким образом, раз и навсегда покончить с фиктивными силами в физике. И это не только наше мнение. Так думают и некоторые сторонники физической фиктивности реальных сил инерционного сопротивления мировой материальной среды изменению состояния движения материальных тел. Как мы уже отмечали выше, Матвеев по этому поводу говорит следующее:

«При построении теории движения в неинерциальных системах ***в принципе можно было бы идти по пути коренного изменения представлений, выработанных в инерциальных системах, а именно можно было бы принять, что ускорения тел вызываются не только силами, но и некоторыми другими факторами, которые ничего общего с силами не имеют.*** *Однако исторически был выбран иной путь — эти другие факторы были признаны силами, которые находятся с ускорениями в таких же соотношениях, как и обычные силы. При этом предполагается, что в неинерциальных системах, так же как и инерциальных, ускорения вызываются только силами, но* ***наряду с «обычными» силами взаимодействия существуют еще силы особой природы, называемые силами инерции».***

Что же касается точек приложения физически реальных сил инерции, которыми мы предлагаем считать все силы, возникающие в соответствии с третьим законом Ньютона, то они, как мы уже отмечали, приложены, прежде всего, к элементарным носителям массы каждого из взаимодействующих тел, представляющих собой единое целое в фазе перераспределения потоков энергии взаимодействия. Поэтому в каждом конкретном случае точка приложения сил может меняться в зависимости от решаемой задачи взаимодействия. Сосредоточение сил в конкретной материальной точке это только частный случай всех возможных взаимодействий.

В этом отношении интересен пример равномерного вращения массивного цилиндрического стержня на оси, проходящей через центр цилиндра по его длине и по диаметру. В целом вращающийся стержень представляет собой единое физическое тело, которое растянуто за счет сил инерции, поддерживающих прямолинейное движение всех его элементарных носителей массы. Сила упругости возникает лишь как ответная реакция на реальное внешнее воздействие поддерживающих центробежных сил инерции. Реальная сила упругости не может противодействовать фиктивным несуществующим силам, как впрочем,

и сама упругая деформация не может возникнуть под действием фиктивных несуществующих сил. Прежде чем должна появиться сила упругости, стержень должен быть предварительно растянут вовсе не фиктивными силами. В реальности центробежных сил инерции легко убедиться, представив вращение цилиндра в виде упрощенной академической эквивалентной схемы:

На любом расстоянии по обе стороны от центра вращения стержня можно условно математически выделить элементарный объем, на который действуют следующие силы:

1. С внешней стороны на элементарный объем действует совершенно «обычная» даже с классической точки зрения сила внешней части стержня, которая с классической же точки зрения для самой внешней части стержня, как это не парадоксально является фиктивной, т.е. несуществующей силой!

2. С внутренней стороны на элементарный объем действует динамически уравновешивающая поддерживающую силу инерции «обычная» сила упругости внутренней части стержня, которая фактически является продолжением обычной поддерживающей силы инерции диаметрально противоположной внешней части стержня, соответствующей внешней части стержня по пункту 1.

Совершенно очевидно, что при равномерном вращении диаметрально противоположные части стержня вдоль соединяющей их линии находятся в состоянии равновесия относительно друг друга и относительно центра вращения, т.к. средняя длина стержня, несмотря на действие «обычной» силы упругости, остается неизменной. Следовательно, внутреннюю часть стержня можно теоретически условно заменить академическим невесомым упругим связующим телом, а внешние части стержня считать самостоятельными массивными физическими телами. Из полученной эквивалентной схемы следует, что, каждое из физических тел (внешние части стержня) воздействует друг на друга с обычной поддерживающей центробежной силой инерции. При этом относительно жестко закрепленного центра вращения, который фактически отсекает от вращающегося стержня его диаметрально противоположную часть, сила инерции каждого физического тела реально уравновешивается силой упругости связующего тела. Таким образом, «фиктивная» с классической точки зрения поддерживающая сила инерции реально уравновешивается «обычной» силой упругости связующего тела, что свидетельствует о том, что обе силы вполне реальны. Классическая же модель вращательного движения отрицает какое-либо равновесие центростремительной силы упругости и центробежной силы инерции, считая последнюю силу несуществующей.

Подобное равновесие сохраняется в любой произвольно взятой точке внутри единого физического тела стержня с той лишь разницей, что уравновешивающие силы на разных расстояниях от центра вращения естественно будут разными. Таким образом, во вращательном движении центробежная сила инерции обеспечивается фактически **«обычной»** поддерживающей силой инерции, как ни парадоксально это определение по отношению к фиктивной силе инерции с классической точки зрения. Сила упругости связующего тела противодействует вовсе не только силе инерции массы покоя вращающегося тела, которую в классической физике привычно считать фиктивной, но и его прямому «ударному», если можно так выразиться, воздействию на любой рассматриваемый участок связующего тела. Приложена «обычная» поддерживающая сила инерции к диаметрально противоположному вращающемуся телу или закрепленному центру вращения в зависимости от того, что считать в каждой конкретной задаче ответным телом взаимодействия. Однако не следует забывать, что она приложена также и к каждому элементарному носителю массы самого вращающегося тела. Поэтому вполне приемлемо с физической точки зрения считать, что сила инерции приложена, том числе и к связующему телу, как утверждает классическая физика.

Если связующее тело считать реальным физическим телом, а не академической упругой связкой, то в фазе перераспределения энергии взаимодействия поддерживающая сила инерции приложена, в том числе и к каждому элементарному носителю массы связующего тела, являющегося частью единого тела стержня. Однако совершенно очевидно, что поддерживающая сила инерции оказывает вполне реальное действие на связующее тело, как и вообще на любое ответное тело. Это как раз тот случай, в котором проявляется реальное действие силы инерции, признаваемое классической физикой (вспомним Жуковского: *«…но в некоторых случаях…»).* Следовательно, на некоторых этапах процесса преобразования движения по направлению центробежная сила инерции реально уравновешивает силу упругости связующего тела. Как будет показано ниже в законченном цикле преобразования движения по направлению, существуют две точки равновесия. Однако статического равновесия противодействующих сил во вращательном движении нет и быть не может. Равновесие соблюдается только в пределах каждого законченного чикла преобразования движения по направлению.

Таким образом, во вращательном движении устанавливается динамическое равновесие центробежной силы инерции и силы упругости связующего тела. При этом активная сила упругости всегда опережает по фазе силу инерции, поэтому, несмотря на общее в среднем за цикл преобразования прямолинейного

движения во вращательное движение равновесие силы упругости и силы инерции происходит реальное движение вращающегося тела в сторону центра вращения. Реальное, а не академическое (в соответствии с принципом Даламбера) среднее за цикл равновесие в радиальном направлении, не только позволяет рассматривать движение тела в условиях относительного равновесия и облегчает написание некоторых уравнений динамики в неинерциальной системе отсчета. Динамическое равновесие силы упругости и поддерживающей центробежной силы инерции обеспечивает формирование установившегося среднего значения радиуса вращения и всех остальных параметров вращательного движении, которые в классической физике считаются неизменными во времени по абсолютной величине.

Фиктивная в неинерциальной системе координат по отношению к движущемуся по окружности телу центробежная сила инерции превращается в «обычную» силу по отношению к связующему телу в инерциальной системе координат. Причем радиальное движение под действием неуравновешенной силы упругости или под действием неуравновешенной поддерживающей центробежной силы инерции происходит в разных фазах, в зависимости от преобладания в каждой текущей фазе либо силы упругости, либо силы инерции. Радиальное движение под действием силы упругости вполне законно с точки зрения классической физики. А вот такое же по существу радиальное движение в обратном направлении, которое поддерживается за счет инерции прямолинейного движения посредством по сути дела «обычной» силы классическая физика необоснованно отрицает, хотя в отсутствии центробежной силы инерции радиальное движение может происходить только в одном направлении к центру вращения, что делает невозможным вращательное движение.

Если радиус вращения в соответствии с классической моделью вращательного движения считать неизменным во времени, то не может быть не только фиктивной силы инерции, но и вполне реальной силы упругости, т.к. ничто не может препятствовать сохранению состояния движения (покоя) тела, если этот покой в радиальном направлении ничем не нарушается. Если же сила упругости реальна, в чем нет никаких сомнений, то должна быть реальной и центробежная сила инерции, которая ей противодействует. Мгновенно затормозить тело, удаляющееся от центра вращения в процессе преобразования прямолинейного движения во вращательное движение невозможно, т.к. существует сила инерции. Поэтому даже в условиях непрекращающегося воздействия силы упругости тело некоторое время непременно будет двигаться в направлении противоположном центру вращения. Таким образом, центробежная сила инерции является «обычной» силой, которая в процессе преобразования прямолинейного движения во вращательное периодически растягивает связующее тело в фазе, в которой она преобладает над силой упругости.

Силами инерции следует считать все силы, проявляющиеся при взаимодействии материальных тел еще и потому, что это - факт, практически уже свершившийся в классической физике, хотя мало кто из сторонников классических представлений о силе инерции, склонен это признавать. Тем, кто до сих пор не может этого осознать следует принять к сведению, что не только масса сопротивляется изменению состояния движения, но и движение сопротивляется другому движению или противодействующей ему силе. Совершенно очевидно, что при, увеличении скорости вращения, а значит и линейной скорости движения тела по окружности растет не «фиктивная» сила инерции неподвижного с классической точки зрения в радиальном направлении тела. Рост центробежной силы обусловлен, прежде всего «обычной» силой, с которой тело, стремясь в первоначальный момент преобразования прямолинейного движения во вращательное движение удалиться от центра вращения, воздействует на связующее тело. Именно кинетическая энергия прямолинейного движения тела при преобразовании его во вращательное движение энергетически обеспечивает центробежную силу инерции, т.е. «обычную» по сути дела силу, с которой движущееся прямолинейно тело, сопротивляется процессу преобразования движения по направлению.

Каждому увеличению линейной скорости прямолинейного движения, которое преобразуется во вращательное движение, неизменно сопутствует увеличение центростремительного ускорения. Причем сначала должна увеличиться именно скорость прямолинейного движения тела и, только потом в процессе дополнительного удлинения связующего тела и роста силы упругости, за счет дополнительного удаления вращающегося тела от центра вращения, возникает и новое центростремительное ускорение нового вращательного движения. Без дополнительного удлинения связующего тела, в результате которого в свою очередь и обеспечивается рост силы упругости невозможно физически обосновать рост центростремительного ускорения. Таким образом, именно кинетическая энергия прямолинейного движения тела, преобразуемого во вращательное движение, питает «фиктивную» с точки зрения классической физики и «обычную» по своей физической сущности центробежную силу инерции.

Во вращательном движении нет, и не может быть установившегося состояния покоя вращающегося тела относительно центра вращения в радиальном направлении, иначе ни о какой инерции, как показано выше, говорить вообще не приходится. Следовательно, если движение в радиальном направлении в

сторону от центра вращения все же происходит, то только не за счет пассивной силы инерции массы покоя вращающегося тела, а за счет активного противодействия движущихся элементарных масс вращающегося тела силе упругости связующего тела. Активное же противодействие подразумевает, прежде всего, противодействие, связанное с активным действием, на которое способна только «обычная» сила, которую в классической модели вращательного движения принимают за фиктивную центробежную силу инерции. При этом активное действие происходит внутри вращающегося тела (см. выше) и, конечно же, по отношению к связующему телу.

Ю. Н. Иванов (РИТМОДИНАМИКА, Издание 2-е переработанное, дополненное, издательство «ИАЦ Энергия», г. Москва 2007 г.) объясняет инерцию, как связь физического тела с упругой мировой материальной средой. Элементы физического тела по Иванову представляют собой когерентные осцилляторы, которые находятся в потенциальных ямах созданной ими стоячей волны. В момент начала движения активные элементы смещаются относительно потенциальных ям, т.е. потенциальные ямы отстают от элементов. В такой системе возникает деформации стоячей волны: она смещается влево от источников и появляется дополнительное волновое поле справа (Рис. 1.2.4). Со стороны пучности и возникшего справа волнового поля появляется действие на источники, препятствующее перемещению системы. Сопротивление действию (инерция) будет продолжаться до тех пор, пока не произойдёт подстройка фаз элементов под состояние движения.

На примере элементарной системы осцилляторов процесс формирования инерционности описывается Ивановым следующим образом. Подействуем на осциллятор с целью перемещения системы. Осциллятор сместится, но при этом изменится длина излучаемой им волны. Второй осциллятор системы продолжает оставаться на своём месте до тех пор, пока не получит сигнала, в виде изменившей параметры волны, от первого осциллятора. Дошедшая до второго осциллятора изменённая волна окажет действие, изменив положение его потенциальной ямы. Второй осциллятор сместится в пространстве в новую потенциальную яму, а излучаемые им, в этот период, волны будут другой длины. Но первый осциллятор продолжает сопротивляться оказанному на него действию. Когда волна от второго осциллятора к нему вернётся, то произойдёт смещение потенциальной ямы первого осциллятора под его текущее положение и сопротивление прекратится. При этом оба осциллятора разместятся в узлах изменившейся стоячей волны, которая сократится за счет эффекта сжатия стоячих волн в движущейся волновой среде. Поскольку сопротивление первому осциллятору оказывается более длительное, чем второму, то появится сдвиг фаз, который должен соответствовать образовавшемуся движению системы. На этом подстройка фаз завершается.

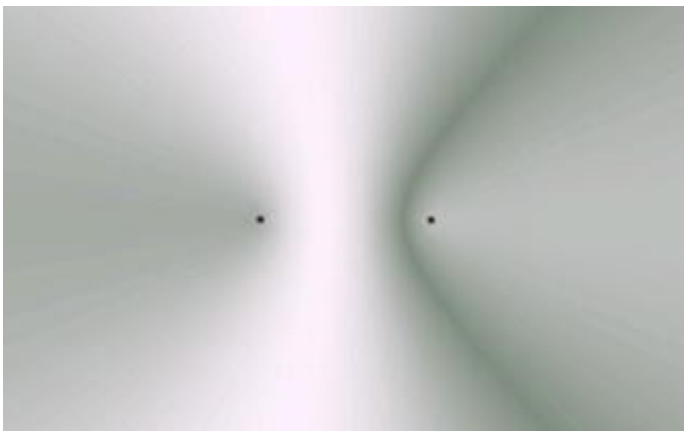


Рис. 1.2.4

Из ритмодинамики Иванова следует, что силы инерции это реальные силы волнового давления, которые воздействуют на физическое тело со стороны мировой материальной среды, следовательно, сила инерции не может быть фиктивной. Это соответствует перераспределению энергии взаимодействия между взаимодействующими телами через мировую материальную среду в нашей интерпретации (см. выше). Причем модель Иванова позволяет объяснить как тормозящую, так и поддерживающую силу инерции. Механизм действия тормозящей силы описан выше. А поддерживающая сила связана с взаимодействием материального тела с движущейся «живой стоячей волной». После подстройки фаз тело движется по инерции синхронно с «живой стоячей волной». При попытке затормозить движение материального тела, сместившиеся в направлении внешней силы осцилляторы, встретят волновое сопротивление со стороны движущейся синхронно с телом стоячей волны. В результате со стороны движущейся «живой стоячей

волны» на сместившееся против ее движения тело будет оказано волновое давление в направлении прежнего движения. Таким образом, движущаяся стоячая волна своим движением поддерживает движение физического тела.

Однако этот механизм не исключает механизм образования поддерживающей силы описанный выше. Движутся ли элементарные массы по инерции в отсутствие каких-либо сил в соответствии с классическим понятием инерции или их несет живая стоячая волна, в любом случае последующие элементарные массы поддерживают своим движением элементарные массы, вступившие во взаимодействие первыми. Эти два механизма могут осуществляться совместно. Таким образом, в обоих случаях сила инерции является внешней по отношению к физическому телу, т.к. в каждом из них энергия передается посредством мировой материальной среды, не говоря уже о силе инерции, препятствующей разгону (тормозящая сила инерции). В рамках классической механики, в основе, которой неявно лежит постулат об абсолютно пустом, ничем не заполненном пространстве, проблему инерционности вряд ли удастся когда-нибудь разрешить.

Мы также солидарны с Ивановым в вопросе определения физической сущности ускоренного движения. Иванов классифицирует ускоренное движение как третье состояние покоя:

«К третьему состоянию покоя мы относим ситуацию, когда сдвиг фаз между колебаниями источников изменяется во времени, что в совокупности заставляет систему перемещаться с увеличивающейся скоростью, т.е. с ускорением. Ситуация примечательна тем, что на увеличение собственной скорости система не выказывает никакой противореакции, т.е. находится в состоянии безразличия к ускорению, в состоянии внутреннего покоя. Третье состояние покоя может быть реализовано искусственно, а в реальности имеет место при свободном падении в гравитационном поле (поле, по аналогии описанному, изменяет фазовые и частотные параметры элементов тел)».

С классической точки зрения состояние покоя не отличается от состояния движения тел по инерции. Выше мы определили равномерное и прямолинейное движение, как движение под «охраной» сил инерции. А вот ускоренное движение можно по праву считать движением по инерции, т.к. оно происходит под непрерывным воздействием поддерживающей силы инерции, т.е. непосредственно по инерции. Если отбросить существующие условности, то движение по инерции по всем законам логики это не движение в состоянии равновесия, а движение под действием силы инерции. Движение же в состоянии равновесия следует так и называть - движение в состоянии равновесия. Наверное, это правильно, когда вещи называют своими именами.

У ритмодинамики есть масса достоинств по сравнению с существующими теориями мироустройства, и главное из них заключается в том, что ритмодинамика предлагает ясный физический механизм для наиболее важных физических явлений, таких как движение, инерционность, сила и сила тяготения. Однако это пока только красивая модель, которая нуждается в детальной проработке и уточнении. Для реализации механизма инерционности, предложенного Ю. Н. Ивановым первичный сдвиг активных элементов физического тела из потенциальных ям под воздействием внешней силы должен осуществляться в пределах не более половины длины стоячей волны. В противном случае при сдвиге, превышающем половину длины стоячей волны, сила сопротивления сменится поддерживающей силой. Теоретически такая возможность не исключена. В ритмодинамике при всех ее достоинствах есть и другие противоречия. Например, механизм равномерного и прямолинейного движения по инерции за счет синхронного движения с «живой стоячей волной» не исключает классического движения по инерции, о чем мы вскользь уже упоминали выше.

Иванов определяет равномерное движение по инерции следующим образом:

«Система находится в равномерном движении, источники и потенциальные ямы пространственно совмещены, но из-за наличия сдвига фаз в промежутке между ними имеет место живая стоячая волна. Нет также оснований говорить о наличии в системе внутренних деформаций, т.е. движущаяся система находится в состоянии внутреннего равновесия».

Однако синхронное параллельное движение физического тела и живой стоячей волны в состоянии внутреннего равновесия без внутренних деформаций означает отсутствие взаимодействия физического тела с мировой материальной средой. Стоячая волна перемещается с постоянной скоростью сама по себе, а физическое тело само по себе. Таким образом, тело движется по инерции в соответствии с классическим понятием инерции в отсутствие внешних сил, а живая стоячая волна ему в этом просто не мешает. Ни о какой постоянной поддержке равномерного движения по инерции, о которой говорит Иванов, в описанной схеме не может быть и речи. Волновое поле будет действовать на тело только, если синхронность движения тела и волны каким-либо образом нарушится, а также при движении с ускорением. Однако в первом случае запустится механизм волновой инерции, описанный выше, в результате действия которого изменится и первоначальное состояние движения тела, которое, однако, должно поддерживаться по

Иванову в неизменном виде за счет сдвига фаз. Для саморегулирующегося же колебательного процесса поддержания движения в неизменном виде, как, например, поддерживается равномерное вращательное движение и в отличие от вращательного движения необходим механизм непрерывного подведения энергии в систему. Во втором случае также запустится механизм поддерживающей силы инерции, но ускоренного движения.

Иванов приводит два примера фазовой интерпретации перемещения:

Пример 1. *«Два человека находятся в лодке и намереваются одновременно с силой бросить два одинаковых по массе камня в противоположные направления. Если они бросят их одновременно, то лодка останется на месте. Но что произойдёт, при условии отсутствия трения лодки с водой, если сначала бросить один камень, а по прошествии времени – второй? За промежуток времени между бросками лодка сместится, например, на 100 метров. Вернётся ли после второго броска лодка в исходное положение? Нет, не вернётся, но остановится. Если повторить процедуру, то лодка переместится ещё на 100 метров и это при том, что в обе стороны было отброшено одинаковое количество камней (вещества)! Ну а если этот процесс достаточно длительный и имеет волновую природу, а потому невидим и происходит без потери массы? Не будет ли тогда перемещение лодки казаться нам чудом?*

В приведённом примере перемещение лодки связано с конкретными процессами, имеющими фазочастотную составляющую. Именно эти процессы обеспечили перемещение, причём, без какого-либо действия извне».

Рис. 1.2.5

В этом примере (Рис. 1.2.5) в промежутке между бросками лодка движется по инерции или покоится, причем уже без взаимодействия с камнями («волной»). Камни нужны только для изменения этих состояний. Поэтому на наш взгляд этот пример не совсем удачный для волновой геометрии. Это скорее иллюстрация разгона и торможения реактивного движения. Естественно для того чтобы затормозить ракету ее нужно развернуть на 180^0. Или может быть, Иванов считает, что при движении стоячей волны и параллельным с ней движением системы осцилляторов физического тела первый из них, опережая волну, постоянно натыкается на задний фронт отстающей волны и таким образом тормозится, а затем передний фронт вновь восстанавливает нарушенное при этом движение? То есть совершается тот самый колебательный процесс преодоления внешнего сопротивления во взаимодействии с мировой материальной средой, о котором мы говорили выше? Однако в этом случае запустится механизм волновой инерции, при котором произойдет перераспределение энергии взаимодействия и состояние движения физического тела изменится, если энергия взаимодействия извне не подводится. То есть этот процесс не может обеспечивать равномерное и прямолинейное движение по инерции без затрат энергии. Тем не менее, приведенный Ивановым пример наглядно иллюстрирует возможность поступательного движения материального тела при равенстве «обычной» силы и силы инерции за счет фазового сдвига между ними.

Поддерживающей равномерное и прямолинейное движение силы в приведенном примере с лодкой не видно, если, к тому же учесть, что сопротивление воды (или мировой материальной среды в общем случае) отсутствует. Для поддержания равномерного движения, тем более при отсутствии сопротивления воды вовсе не обязательно регулярно искусственно тормозить лодку, чтобы потом вновь приводить ее в движение. Ведь нельзя же назвать поддерживанием движения периодический процесс разгона и последующего искусственного торможения реактивного движения с целью его нового разгона. Если же в отсутствие сопротивления воды лодку периодически не тормозить, то она должна беспрепятственно двигаться по инерции и без фазочастотного процесса бросания камней, как впрочем, и при движении осцилляторов параллельно со стоячей волной, о чем говорилось выше. В соответствии с классической физикой движение лодки по инерции в отсутствие внешнего сопротивления может обеспечить и один бросок камня, т.е. никакой фазовый сдвиг не нужен. Точно так же получив движение за счет движущейся стоячей волны, образовавшейся в результате фазового сдвига осцилляторов, физическое тело устраняет тем самым ее дальнейшее влияние и продолжает движение в отсутствие каких-либо сил, т.е. в соответствии с классическим понятием движения по инерции.

Рис. 1.2.6

Пример 2. В эксперименте Иванова-Дидина (Рис. 1.2.6) перемещение системы происходит в среде и обеспечивается сдвигом фаз между колебаниями источников. При этом преодоление сопротивления среды осуществляется за счет искусственного непрерывного подведения внешней энергии в систему. Однако Иванов, к сожалению, не объясняет, откуда для поддержания равномерного и прямолинейного движения по инерции, если оно не происходит в отсутствие всех сил, берется энергия в реальных телах. Формула Иванова для кинетической энергии ($Wк=(mc^2/2\pi^2)*\Delta\varphi^2$) отражает не *«градиентно-фазовую природу кинетической энергии, (т.е. внутрисистемные процессы, обеспечивающие наличие этой энергии)»*, как говорит Иванов, а возможную связь скорости движения живой стоячей волны со сдвигом фаз составляющих ее бегущих волн. Разность фаз в ритмодинамике может быть как причиной движения физического тела, так и его ответной реакцией на движение. Физическая сущность кинетической энергии заключается не в том, каким способом достигнута скорость его движения, а в том, какое количество энергии несет в себе движущееся с определенной скоростью тело. А разность фаз это физическая сущность движения живой стоячей волны, но не тела, на которое оно воздействует, тем боле после прекращения этого воздействия.

В ритмодинамике масса из меры количества вещества превращается в меру взаимодействия вещества с волновой средой. Иванов предлагает ввести «ритмодинамическую массу» $m_{RD}=mc/\pi$, где c/π является неким коэффициентом, который Иванов называет квантом массы. Не отрицая саму зависимость силы взаимодействия вещества с мировой материальной средой от количества вещества, необходимо, на наш взгляд, отличать главное от второстепенного. Количество вещества, как таковое нельзя подменять мерой его взаимодействия с внешней средой, т.к. это лишь косвенный метод оценки все того же количества вещества в физическом теле. Кроме того, Иванов полагает, что осцилляторами являются атомы. Однако атомы в разных веществах значительно отличаются друг от друга, как по массе, так и по строению. Следовательно, сила взаимодействия атомов разного вещества с волновой средой и между атомами разного вещества должна быть разной. Таким образом, квант массы, по всей видимости, должен быть связан не с колебанием атомов, а с осцилляторами, эквивалентными элементарному носителю массы.

В качестве модели мировой материальной среды Ю. Н. Иванов вводит понятие **аксиомы ОСНОВАНИЯ:** ***Существует основание в виде носителя для построения (отображения) точек, прямых линий, плоскостей, окружностей, плоских и объёмных фигур. Точки, прямые линии, окружности, плоскости, плоские и объёмные фигуры не могут быть отображены без носителя, даже если этот носитель воображаемый.*** Таким образом, Иванов считает, что все действия в материальном мире происходят в абсолютной системе координат, связанной с единым носителем построений в волновой геометрии, что исключает свойство инвариантности. Иванов говорит по этому поводу: «Если мы признаём *носитель*, то всё происходит в нём и относительно него; появляется определённость и одночтение. Если *носитель* отвергается, то в физике наступает произвол: каждый волен свободно изобретать основы». Однако даже с признанием мировой материальной среды надо полагать, что в ней, как и в любой реальной среде должны существовать течения в различных направлениях, с которыми можно связать локальные системы отсчета. Следовательно, свойства материальных тел все-таки могут быть инвариантны в различных системах отсчета даже при наличии носителя, т.к. сложно допустить, что носитель может быть однороден в масштабах всей вселенной.

Иванов предложил интересную теорию, в которой эмпирические формулы классической механики удалось наполнить физическим смыслом. Это на наш взгляд главное достоинство теории. Нет сомнений, что явления, подчиняющиеся волновой геометрии Иванова существуют в реальной действительности.

Однако, на наш взгляд, ритмодинамика не может быть универсальной базой для всех без исключения явлений природы. Волновая связь, безусловно, существует, но является ли она определяющей для всех явлений природы или она сама является следствием каких-либо процессов, видимо еще предстоит выяснить. Если причиной движущей силы является разность частот (или фаз) двух независимых, но связанных волновым образом, осцилляторов, то без ответа пока остаются вопросы, какая сила вызывает этот самый сдвиг фаз, что первично сдвиг фаз, который обеспечивает движение или движение, в результате которого возникает сдвиг фаз. Скорее всего, истина лежит где-то на стыке различных теорий, в том числе и откорректированной классической механики. Тем не менее, теория Иванова единственная современная теория, в которой сделана попытка объяснить природу силы инерции за счет реальных взаимодействий. Инерционное сопротивление, как при разгоне, так и при торможении не может осуществляться в отсутствие силы. Сопротивление это по сути дела и есть сила.

С признанием современной физикой мировой материальной среды многие противоречия, которые не решаются столетиями могут быть разрешены естественным образом. В том числе и противоречия, касающиеся сил инерции. Если силы инерции обусловлены сопротивлением мировой материальной среды, то ни о каких замкнутых системах с участием сил инерции вообще не может быть и речи, кроме замкнутой системы в масштабах вселенной. Поэтому в споре классической физики с изобретателями, которые создают, так называемые инерцоиды, т.е. устройства, демонстрирующие «безопорное» движение не может быть ни победителей, ни побежденных. И те и другие по-своему правы и по-своему ошибаются.

Профессора правы, что замкнутая система не может осуществлять движение в пространстве за счет внутренних сил. Причем не обязательно быть Ньютоном или профессором теоретической механики, чтобы понять это, т.е. для этого не обязательно всю жизнь учиться, как профессор Гулиа. Сегодня такие знания являются элементарными, которыми на уровне здравого смысла обладает каждый школьник. Однако в силу своего консерватизма профессора даже теоретически не могут допустить, что с учетом существования мировой материальной среды системы, которые они привыкли считать замкнутыми, вовсе таковыми не являются. **Если допустить, что силы инерции хоть в какой-то степени связаны с мировой материальной средой, то нужно очень постараться, чтобы отыскать замкнутую систему во вселенной.** За счет сил инерции может осуществляться связь любой локальной замкнутой системы с мировой материальной средой.

Изобретатели правы, что движение их устройств это очевидный факт, который нельзя объяснить только силами трения или сопротивления жидкой или газообразной среды. Беда изобретателей только в том, что они интуитивно чувствуя, что в их устройствах действуют какие-то внешние силы, никак не могут это объяснить и доказать профессорам. Но в этом нет их вины, у них просто нет соответствующих знаний. Именно ученые, к которым они обращаются за разъяснениями, должны научно обосновать движение инерцоидов. Правда соответствующих знаний на сегодняшний день нет и у современной науки, но неужели ученые, обогащенные всей суммой современных научных знаний, перестают мыслить? Тем более те из них, кто сам когда-то увлекался изобретением таких устройств и даже имел действующие модели, если им верить. Нельзя же после познания всех премудростей науки не замечать существующие в ней противоречия и только высокомерно упиваться своей ученостью.

Сейчас Гулиа стыдно, что он «думал, что центробежные силы реальны». Однако, что он будет говорить, когда реальность сил инерции, возможно, будет признана официально. Не стыдно ли ему будет за то, что став ученым, он стыдливо отказался от идей изобретателя-самоучки, каким он был раньше, вместо того, чтобы познав все премудрости науки все-таки найти им научное обоснование?! Для такого человека остается только одно всю оставшуюся жизнь кусать себе локти за свою беспринципность и нетерпимость ко всему новому и вновь и вновь приспосабливаться к новым официальным точкам зрения, вместо того, чтобы после многих лет унижений и забвения все-таки внести свой реальный вклад в науку. Правда, Гулиа, насколько нам известно, никогда не увлекался эфиром, что его нисколько не оправдывает как ученого, но снимает некоторые вопросы по поводу его консервативной позиции.

А вот основоположнику «Эфиродинамики» В. А. Ацюковскому, которого мы безмерно уважаем за его смелое и весьма обоснованное своевременное новаторство, сам бог велел разобраться в силах инерции и найти объяснение их природе. Однако в своей работе «Критический анализ основ теории относительности» (ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПЕТИТ», г. Жуковский, 1996 г.) В. А. Ацюковский отмечает различную природу гравитации и инерции, которая как он полагает, вытекает из эфиродинамической картины мира. В работе «Приключения инженера» он, к сожалению, опровергает возможность движения инерцоидов, т.е. Ацюковский, по-видимому, не связывает явление инерции с взаимодействием вещества физических тел с мировой материальной средой. Хотя предложенная им идея движения в космическом пространстве при помощи продувания космического аппарата эфирным потоком, возникающем при

аннигиляции эфирных вихрей, очень тесно перекликается с безинерционным движением за счет отсутствия взаимодействия вещества с мировой средой.

Сегодня люди научились управлять энергией, образующейся при взаимодействии материальных тел внутри одной отдельно взятой локальной замкнутой системы. Все перемещения в пространстве, освоенные сегодня осуществляются внутри локальных замкнутых систем. Причем для масштабных перемещений используется все более масштабные замкнутые системы. Однако это не может продолжаться до бесконечности, т.к. нельзя объять необъятное вне связи с этим необъятным. Инерция это явление, которое связывает локальные замкнутые системы между собой и со всем материальным миром в целом. И в этом нет никаких противоречий с открытыми на сегодняшний день законами природы, поскольку эта связь существовала всегда. Все сегодняшние противоречия искусственные и объясняются только тем, что в силу разных обстоятельств современная наука упрямо отвергает связь всех материальных образований через мировую материальную среду, как и саму материальную среду в целом.

Признание мировой материальной среды и изучение физического механизма связи материальных образований с мировой материальной средой позволит распространить известные на сегодняшний день законы природы на все без исключения физические взаимодействия, осуществляющиеся в едином материальном мире и вырваться, наконец, из плена локальных замкнутых систем не только теоретически, но и практически. При этом нет никакой необходимости кардинально пересматривать законы природы, т.к. в «безопорном» движении с учетом связи локальных замкнутых систем между собой через мировое материальное пространство ни один из фундаментальных законов природы не нарушается. С признанием мировой материальной среды появляется только новая концепция мироустройства, которая уже давно назрела и фактически является лишь модернизацией давно забытой старой.

Выше показано, как сила инерционного сопротивления влияет на формирование «обычных» сил. Точно также можно показать, как силы инерционной поддержки движения влияют на формирование результирующей силы, действующей на материальное тело в результате вмешательства в текущее движение третьих сил. При положительных ускорениях силы инерции направлены против движения. Это силы, которые, например, вдавливают пассажиров в кресла при разгоне поезда. Силы, действующие при отрицательных ускорениях тоже вполне реальны. Это события в тормозящем поезде, например, т.е. в реальности сил инерции поддерживающих текущее движение также не может быть никаких сомнений. Поскольку эти силы поддерживают движение, то их направление всегда совпадает с направлением движения при попытках оказания противодействия ему.

Рассмотрим формирование результирующей силы с участием сил инерции образующихся при взаимодействии с учетом изложенного выше механизма. Выше мы рассмотрели физический механизм формирования сил с участием сил инерции при взаимодействии тел вдоль одной прямой линии. При таких взаимодействиях силы инерции влияют на формирование величины сил, действующих на взаимодействующие тела. Для темы, рассматриваемой в настоящей работе важно определить формирование сил взаимодействия, при котором силы инерции, поддерживающие движение направлены под углом к «обычным» силам, действующим на тело. Такие взаимодействия происходят в частности во вращательном движении.

В современной физике считается, что во вращательном движении сила упругости тела, связывающего вращающееся тело с центром вращения, всегда неизменно направлена перпендикулярно к вектору постоянной по величине скорости кругового движения. Однако это далеко не так. Для поворота движущегося прямолинейно тела необходимо, чтобы внешняя для него сила была направлена не под прямым углом к прямолинейному движению. Сила, действующая под прямым углом к прямолинейному движению, приведет только к параллельному смещению вектора скорости, но не к его повороту, т.е. не к изменению его угловой ориентации в пространстве. В результате такого взаимодействия появится только дополнительная непрерывно возрастающая линейная скорость, направленная под прямым углом к первоначальной скорости, которая в свою очередь останется неизменной. Результирующая скорость такого движения также будет непрерывно изменяться, причем, не только по направлению, но и по величине. Естественно, что траектория такого движения будет далека от окружности.

Для того чтобы вектор линейной скорости изменялся по направлению, оставаясь неизменным по величине необходимо непрерывно уменьшать его значение в текущем направлении и увеличивать в новом направлении. Таким образом, внешняя сила, изменяющая скорость движения по направлению без изменения ее величины должна периодически иметь отрицательную проекцию на направление движения. На начальном этапе образования вращательного движения сила упругости чаще всего направлена не под прямым углом к вектору линейной скорости, тем не менее, вращательное движение при определенных условиях все-таки образуется. Но если есть механизм начального этапа образования вращательного движения, то должен быть и механизм поддержания вращательного движения. С классической точки

зрения вращательное движение не является движением по инерции, следовательно, должен существовать постоянный механизм его поддержания. Причем это механизм не может принципиально отличаться от механизма начального этапа образования вращательного движения.

Пусть тело Т1 (Рис. 1.2.7 *а*), движущееся со скоростью V1 захватывается резиновой нитью, которая действует на него с силой упругости резиновой нити Fр. С классической точки зрения тело испытывает только воздействие силы упругости резиновой нити Fр, направленной вдоль ее оси к центру вращения. Ответная сила инерции, равная силе упругости Fр по величине действует строго в противоположном направлении и считается фиктивной силой. На рисунке она для упрощения не показана. Однако в инерциальной системе отсчета эта же сила превращается в «обычную» силу, действующую на резиновую нить. Сила, действующая на тело в направлении противоположном силе упругости, формирует ее текущую величину, однако эти силы не влияют на угловое положение друг друга. Будем считать, что текущее значение сил, показанных на рисунке 1.2.76, по абсолютной величине уже учитывает влияние противоположных им сил реакции.

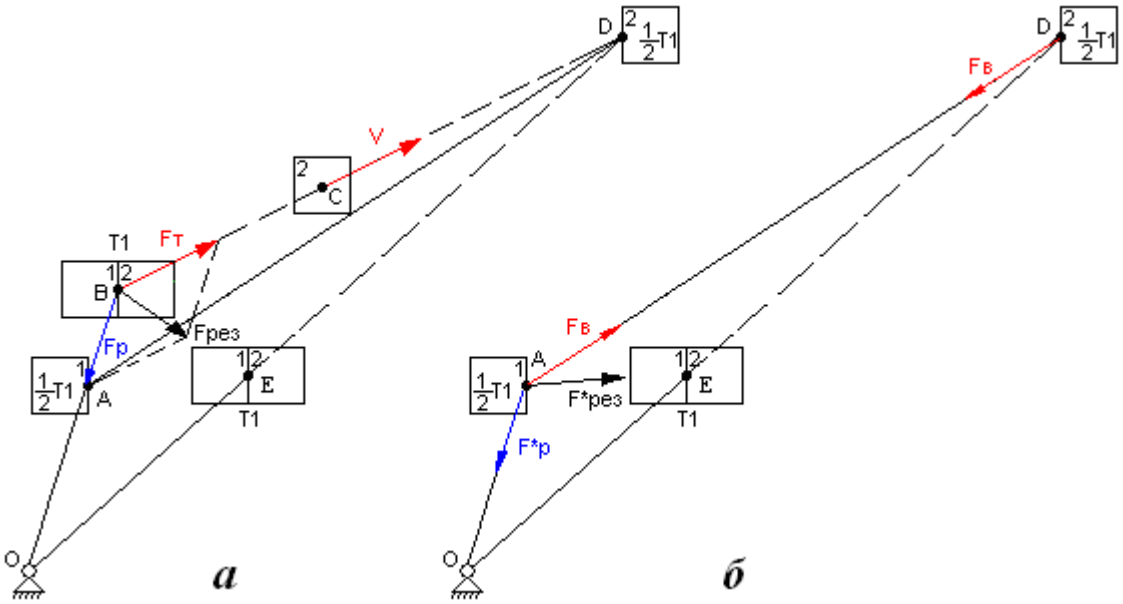


Рис. 1.2.7

Целью в данном случае является нахождение равнодействующей сил, показанных на рисунке 1.2.2.7. «Обычные» силы действуют на ответное тело в направлении вектора скорости задерживаемого активного тела. Поэтому сила Fт действует в направлении вектора скорости V. С классической точки зрения сила Fт действует на резиновую нить, а сила упругости Fр действует на тело Т1, т.е. эти силы приложены к разным телам и складывать их нельзя. В соответствии с предложенным выше механизмом эти силы все же влияют на результирующую силу, действующую на тело. Попробуем показать это частично исходя из классических представлений о взаимодействии материальных тел, но с учетом того, что материальные тела состоят из элементарных носителей массы, на которые взаимодействие распространяется последовательно с конечной скоростью. Пусть тело Т1 состоит для простоты всего лишь из двух элементарных масс 1 и 2.

С классической точки зрения на тело Т1 во вращательном движении действует только сила упругости резиновой нити Fр, под действием которой элементарная масса 1 через некоторое время окажется в положении А. Условно предположим, что за это время взаимодействие еще не распространилось на элементарную массу 2, которая продолжая двигаться со скоростью V, минуя точку С окажется в точке D, в которой ее и настигнет волна распространения элементарных взаимодействий. Теперь элементарные массы 1 и 2 за счет энергии взаимодействия, которая сосредоточена в области упругой деформации AD начинают взаимодействовать еще и между собой с силой взаимодействия Fв (см. Рис1.2.7 *б*). При этом сила упругости резиновой нити направлена против силы взаимодействия Fв, действующей на массу 1 и в одном направлении с силой Fв, действующей на массу 2. В результате массы 1 и 2 встретятся на линии, соединяющей обе массы значительно ближе к массе 1, чем к массе 2. Тем не менее, точка воссоединения тела Т1 окажется значительно дальше положения тела Т1 от центра вращения, в котором оно оказалось бы, двигаясь только под воздействием силы упругости, что равносильно движению тела Т1 под действием поддерживающей силы инерции тела Т1.

Одновременно с взаимодействием нити с каждой элементарной массой в отдельности на связку масс 1 и 2 в целом действует составляющая силы упругости нити, направленная к стороне OD треугольника AOD. Таким образом, очевидно, что массы 1 и 2 встретятся в некоторой точке Е, что эквивалентно движению тела Т1 на втором этапе взаимодействия под действием результирующей силы F*рез (Рис. 1.2.7

б) или общей результирующей силе Fрез (Рис.1.2.7 *а*). Таким образом, равнодействующая силы упругости резиновой нити F*р (Рис.1.2.7 *б*), действующей на связку элементарных масс 1 и 2 в целом на протяжении всего времени их взаимодействия между собой и поддерживающей силы инерции направлена не в радиальном направлении, как следует из классической теории движения, а в сторону реального движения тела Т1 с текущей линейной скоростью. Из предложенного механизма следует, что силы инерции не только определяют величину «обычных» сил, но и их направление.

Правомерно ли такое представление взаимодействия при вращательном движении, как показано выше? В предложенной схеме (Рис.1.2.7) все движения за исключением массы 2 в период распространения взаимодействия происходят под действием сил. Масса 2 некоторое время условно движется равномерно и прямолинейно, т.е. по инерции в отсутствие внешних сил. Однако эта условность допущена схематично для упрощения понимания предложенного механизма. В реальной действительности силовое взаимодействие между элементарными массами происходит, по всей видимости, непрерывно, хотя и с разной интенсивностью. А вот в классической модели движение в направлении вектора скорости первоначального движения теоретически не изменяется ни по величине, ни по направлению, т.е. составляющая результирующего движения в направлении касательной и по величине и по направлению должна оставаться неизменной непрерывно, что физически невозможно при реальных взаимодействиях.

С точки зрения классической физики под действием классического центростремительного ускорения должно изменяться направление линейной скорости. Однако физический механизм изменения линейной скорости без изменения ее величины в классической физике не представлен. Мы полагаем, что такого механизма просто не может быть, т.к. он противоречит всем физическим законам. Во всяком случае, существование такого механизма представляется нисколько не менее противоречивым, чем механизм описанный выше. В реальности под действием классического центростремительного ускорения должна изменяться только результирующая скорость, причем как по величине, так и по направлению и составляющая скорости в направлении действия центростремительного ускорения. Составляющая же результирующей скорости в направлении вектора скорости первоначального движения останется при этом постоянной, как по величине, так и по направлению. Об этом и о других противоречиях классической модели вращательного движения мы и поговорим ниже.

1.3. ПРОТИВОРЕЧИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.

С точки зрения классической физики основным условием вращательного движения является центростремительное ускорение, которое изменяет направление вектора линейной скорости движущегося по окружности тела без изменения его величины. Однако классическое центростремительное ускорение не может исчерпывающим образом объяснить образование вращательного движения. Ускорение, направленное перпендикулярно вектору линейной скорости свободного движения само по себе не приводит к преобразованию свободного движения во вращательное движение. Сила, постоянно действующая на свободно движущееся тело перпендикулярно вектору его линейной скорости, не может привести к равномерному движению тела по окружности, т.к. кроме изменения направления свободного движения под действием внешней силы неизбежно изменится и абсолютная величина скорости движения тела.

В равномерном вращательном движении величина вектора линейной скорости считается неизменной. Однако, по нашему мнению это не совсем так. Постоянным во вращательном движении остаётся только среднее значение абсолютной величины вектора линейной скорости. Изменение направления скорости физически невозможно без изменения её величины. Процесс изменения направления скорости можно рассматривать как преобразование величины скорости в новом направлении. При этом происходит уменьшение величины скорости в прежнем направлении движения и увеличение скорости в новом направлении движения. Таким образом, для преобразования движения по направлению без изменения абсолютной величины вектора линейной скорости наряду с механизмом изменения направления свободного движения необходим ещё и механизм регуляции абсолютной величины вектора линейной скорости изменяющейся по направлению.

Регуляция абсолютной величины вектора линейной скорости в свою очередь предполагает наличие линейного ускорения в текущем направлении движения. Следовательно, сила, приводящая к равномерному движению тела по окружности, проявляется не только в нормальном, но и в тангенциальном направлении, что означает наличие некой результирующей силы, которая имеет нормальную и тангенциальную составляющие. Причём результирующая сила, приводящая к равномерному движению тела по окружности должна непрерывно изменяться как по величине, так и по направлению. Физически процесс преобразования направления движения можно упрощенно проиллюстрировать на примере отражения движущегося прямолинейно тела от отражающей поверхности.

При встрече движущегося прямолинейно тела с отражающей поверхностью перпендикулярная к отражающей поверхности составляющая скорости движения тела полностью компенсируется за счет силы упругости, возникающей при взаимодействии тела с отражающей поверхностью. При этом абсолютная величина скорости движения тела в прежнем направлении уменьшается. В момент отражения перпендикулярная к отражающей поверхности составляющая скорости движения изменяет направление на противоположное и суммируется с неизменной продольной составляющей скорости движения. В результате абсолютная величина скорости движения восстанавливается до прежнего значения, но уже в новом направлении. Таким образом, абсолютная величина скорости движения при изменении её направления после отражения в конечном итоге не изменяется, но изменение направления скорости происходит через преобразование её абсолютной величины. Причём преобразование вектора скорости по абсолютной величине при изменении его направления происходит как с положительным, так и с отрицательным ускорением, направленным вдоль вектора линейной скорости.

Подобное преобразование величины линейной скорости с некоторыми специфическими особенностями происходит, по всей видимости, в любом криволинейном движении и во вращательном движении в частности. Процесс изменения направления линейной скорости в равномерном вращательном движении состоит из множества элементарных циклов отражения. После завершения каждого цикла преобразования линейной скорости по направлению абсолютная величина вектора линейной скорости независимо от угла изменения направления остаётся неизменной, в то время как угол изменения направления вектора линейной скорости в каждом цикле может изменяться в широких пределах в зависимости от параметров вращательного движения. Следовательно, **законченным элементарным циклом преобразования движения по направлению следует считать физический процесс преобразования движения по направлению, после завершения которого, абсолютная величина вектора линейной скорости независимо от угла изменения направления остаётся неизменной.**

В каждом цикле преобразования движения по направлению вектор линейной скорости последовательно занимает бесконечное множество направлений, каждому из которых соответствует своё значение абсолютной величины вектора линейной скорости и своё значение линейного ускорения, направленного вдоль вектора скорости. Циклы изменения направления во вращательном движении повторяются с большой частотой и имеют малую длительность. В реальном масштабе времени зафиксировать колебания абсолютной величины линейной скорости достаточно сложно. Поэтому абсолютная величина линейной скорости равномерного вращательного движения считается в современной физике величиной постоянной, а реальное ускорение вращательного движения, направленное вдоль текущего вектора линейной скорости ассоциируется с классическим центростремительным ускорением.

Фактически классическое центростремительное ускорение, как ускорение вращательного движения является понятием академическим. Это не физическое ускорение, в каком бы то ни было направлении. Это обобщенная академическая величина, равная среднему значению абсолютных величин всех мгновенных линейных ускорений, проявляющихся в процессе преобразования движения по направлению вдоль вектора линейной скорости за один элементарный цикл преобразования движения по направлению. Для того чтобы различать обобщенное академическое ускорение, как характеристику физического процесса преобразования движения по направлению и реальное физическое линейное ускорение, в каком бы то ни было направлении, среднее ускорение законченного цикла преобразования скорости движения по направлению правильнее, на наш взгляд, называть ускорением изменения направления или просто **ускорением направления ($a_н$)**.

В классической физике приято считать, что тело движется по окружности с центростремительным ускорением под действием силы упругости связующего тела, являющейся внешней силой для движущегося прямолинейно по инерции тела. Однако тело может испытывать ускорение вдоль линии действия активной внешней силы только в том случае, если направление действия внешней силы совпадает с линией, вдоль которой проявляется пассивная сила инерции движущегося прямолинейно тела. То есть внешнее воздействие должно либо совпадать с линией движения тела, либо должно осуществляться вдоль линии, проходящей через центр масс неподвижного тела. В противном случае тело будет испытывать ускорение в направлении действия результирующей силы, равной геометрической сумме силы инерции, проявляющейся в направлении прямолинейного движения тела и внешней силы, препятствующей прямолинейному инерционному движению.

Есть только одно условие, при котором при перпендикулярном воздействии внешней силы на свободно движущееся тело оно получит ускорение только в направлении действия внешней силы. Источник внешней силы должен двигаться в одном направлении и с одной скоростью с телом на всём протяжении такого воздействия (см. Рис. 1.3.1.*б*). Однако:

Во-первых, неподвижный центр равномерного вращательного движения, который воздействует на тело посредством связующего тела, далеко не является таким движущимся вместе с телом источником внешней силы.

Во-вторых, в неподвижной инерциальной системе отсчёта при воздействии на тело внешней силы со стороны движущегося синхронно с ним источника силы, тело будет двигаться равномерно и прямолинейно вдоль первоначального направления свободного движения и с возрастающей скоростью в направлении действия внешней силы.

На Рис. (1.3.1) показаны два возможных варианта внешнего силового воздействия на движущееся прямолинейно тело, которые могут возникнуть в соответствии с классической моделью образования вращательного движения. Однако в обоих этих вариантах образование вращательного движения физически не возможно.

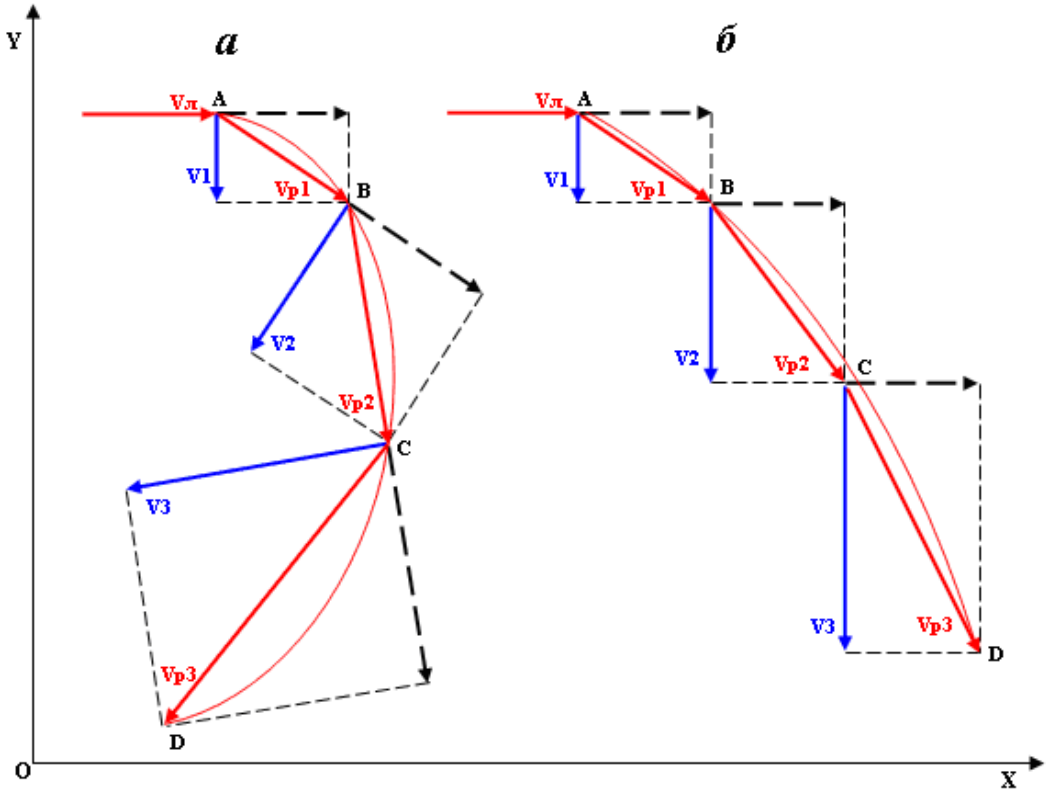


Рис. 1.3.1.

На рис.(1.3.1.*а*) показана кривая, по которой будет двигаться тело, если постоянное линейное ускорение в составе достигнутой за счет этого ускорения скорости (V1, V2, V3) в каждый текущий момент времени занимает перпендикулярное положение по отношению к результирующей скорости (Vp1, Vp2, Vp3). Однако такая схема сложения двух движений не обеспечивает неизменность результирующего вектора линейной скорости (Vp1, Vp2, Vp3) по абсолютной величине. Как мы отмечали выше, с изменением направления вектора скорости под воздействием внешней силы одновременно изменяется и его абсолютная величина. Траектория такого движения не только далека от окружности, но и даже не является замкнутой кривой. Таким образом, под воздействием внешней силы, направленной перпендикулярно к вектору результирующей линейной скорости тело будет двигаться по спиральной траектории, а не по окружности, т.е. классическое центростремительное ускорение не обеспечивает движения по окружности.

На рис. (1.3.1.*б*) показана кривая, по которой будет двигаться тело, если постоянное линейное ускорение в составе достигнутой за счет этого ускорения скорости (V1, V2, V3) в каждый текущий момент времени неизменно занимает перпендикулярное положение по отношению к неизменному по величине **исходному** вектору линейной скорости (Vл). Этот случай соответствует синхронному с телом движению внешнего источника силы в направлении исходной линейной скорости. При этом абсолютная величина линейной скорости (Vл), как и во вращательном движении остается неизменной. Однако в отличие от вращательного движения в этом случае остается неизменной не только величина, но и направление исходной линейной скорости. Это классический случай, который описан практически во всех учебниках физики как движение тела, брошенного горизонтально. Траектория такого движения представляет собой параболу, т.к. результирующая линейная скорость за счет вертикальной составляющей движения

изменяется как по величине, так и по направлению. Такая схема взаимодействия, с учетом классического центростремительного ускорения также как и в предыдущем случае не обеспечивает движения по окружности.

Таким образом, одного только центростремительного ускорения перпендикулярного вектору линейной скорости недостаточно для образования вращательного движения, т.к. при любом внешнем воздействии, осуществляющемся под любым углом к направлению линейного движения, изменяется не только направление скорости результирующего движения, но и ее величина. Для образования равномерного вращательного движения необходим не только механизм поворота результирующего вектора линейной скорости, но и механизм ее регуляции по абсолютной величине, что невозможно обеспечить при сложении скоростей под любым неизменном по величине углом, в том числе и под прямым углом. Для регуляции абсолютной величины вектора линейной скорости, изменяющегося по направлению угол внешнего воздействия по отношению к линейному движению должен изменяться по определенному закону, что, по всей видимости, и происходит в реальной действительности. По-видимому, через перпендикуляр к линейной скорости в равномерном вращательном движении проходит только ось симметрии угла взаимодействия линейного движения с неподвижным центром вращения. Кроме того без радиального движения, которое в классической модели вращательного движения отсутствует, вообще не может быть никакого поворота вектора линейной скорости, т.к. в реальной действительности поворот любых физических векторов, может быть осуществлен только в динамическом развитии взаимодействия линейных движений.

Приращение вектора линейной скорости (ΔV) по направлению в классической физике определяется в соответствии с векторной геометрией как длина отрезка прямой между двумя положениями вектора линейной скорости в начальный и в конечный момент бесконечно малого интервала времени. Именно так определяется приращение вращательного движения по О. Ф. Кабардину (Рис. 17 «ФИЗИКА» МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991, см. выше). При этом ускорение вращательного движения определяется путём дифференцирования классического разностного вектора (ΔV) по времени. В общем случае криволинейного движения или для неравномерного вращательного движения метод дифференцирования вполне оправдан и является единственным методом определения мгновенного значения ускорения направления, т.к. исключить случайные погрешности неравномерно изменяющихся физических величин можно только путём дифференцирования. Однако в равномерном вращательном движении случайные погрешности отсутствуют. Все параметры равномерного вращательного движения, в том числе и направление вектора линейной скорости, изменяются равномерно во времени, поэтому никакой минимизации интервала времени для их определения не требуется.

В любом равноускоренном физическом процессе, в котором ускорение является величиной постоянной, в том числе и в равномерном вращательном движении ускорение может и должно быть определено простым арифметическим делением приращения линейной скорости на интервал времени (Δt), за который произошло это приращение. При определении постоянных физических величин в любом интервале времени независимо от его величины случайные погрешности отсутствуют. Тем не менее, классическое центростремительное ускорение равномерного вращательного движения, которое является постоянной академической величиной, не может быть определено простым делением классического разностного вектора (ΔV) на интервал времени (Δt), т.к. вектор (ΔV) физически не соответствует реальному приращению линейной скорости равномерного вращательного движения. В классической физике из-за неправильно выбранного приращения вращательного движения центростремительное ускорение приходится определять через дифференцирование линейного разностного вектора (ΔV). Однако даже дифференцирование линейного вектора (ΔV)с физической точки зрения не может привести к правильному результату.

В классической модели равномерного вращательного движения случайная погрешность, которой в принципе не может быть при определении постоянной физической величины, искусственно подменяется методологической погрешностью определения приращения линейной скорости вращательного движения. Методологическая погрешность не может быть случайной и зависит от степени соответствия методики определения физической величины ее физической сущности. Следовательно, методологическая погрешность принципиально не может быть устранена дифференцированием. Для математики физический смысл не является определяющим, поэтому в математике методом дифференцирования можно минимизировать любую погрешность. Однако при дифференцировании разностного вектора (ΔV) полного физического соответствия центростремительного ускорения реальному значению академического ускорения направления не достигается. Более подробно методологические ошибки дифференцирования рассмотрены в разделе «5.МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ».

Выше мы отмечали, что изменение направления вектора скорости без изменения его абсолютной величины эквивалентно количественному преобразованию абсолютной величины вектора скорости в новом направлении. Мерой количественного преобразования вектора скорости при изменении его направления является абсолютная величина обобщённого среднего ускорения законченного цикла преобразования движения по направлению. Поскольку обобщенное академическое ускорение по изменению направления движения является хотя и академической, но постоянной физической величиной, то равномерное вращательное движение следует относить к равноускоренному движению. Для определения же ускорения равноускоренного движения дифференцирование не требуется, т.к. случайные погрешности в этом случае отсутствуют.

Кроме того, поскольку законченный цикл изменения движения по направлению имеет конечную длительность то, даже в общем случае неравномерного криволинейного движения, в котором вектор линейной скорости изменяется как по величине, так и по направлению, дифференцирование применимо только с некоторыми оговорками и ограничениями. Минимальный интервал времени при дифференцировании неравномерного криволинейного движения не может быть меньше периода следования циклов преобразования движения по направлению. В противном случае при помощи дифференцирования может быть с определённой точностью установлено не академическое ускорение криволинейного движения, а только мгновенное линейное ускорение внутри цикла преобразования движения по направлению, которое ни чего общего не имеет с обобщённым ускорением направления, физически определяющим криволинейное движение.

В прямолинейном движении подобной проблемы не возникает, т.к.:

Во-первых, в прямолинейном движении определяется именно мгновенная величина **физического линейного ускорения,** а не обобщенное среднее ускорение какого-либо физического процесса.

А во-вторых, в прямолинейном движении классический разностный вектор, который включает в себя только два крайних положения вектора скорости, соответствующих начальной и конечной точкам траектории движения учитывает **все положения вектора** линейной скорости, т.к. все они располагаются на одной прямой в пределах классического разностного вектора. Поэтому классический разностный вектор в прямолинейном движении, соответствует реальному приращению вектора скорости прямолинейного движения.

В криволинейном движении вектор линейной скорости имеет бесконечное множество мгновенных направлений на любом сколь угодно малом отрезке траектории. Поэтому ускорение, определённое методом дифференцирования прямолинейного разностного вектора (ΔV) в любом сколь угодно малом интервале времени, никогда не соответствует реальному ускорению криволинейного движения ни по величине, ни по направлению:

Во-первых, в интервале времени, стремящемся к нулю, может быть приблизительно определено, как мы уже отмечали, только мгновенное значение линейного ускорения внутри цикла преобразования движения по направлению, а не ускорение направления.

Во-вторых, в малом интервале времени, который сопоставим с периодом цикла преобразования движения по направлению, ускорение направления также может быть определено только приблизительно, т.к. разностный вектор между двумя произвольно выбранными векторами линейной скорости не учитывает всех мгновенных значений вектора линейной скорости, которые он может принимать в пределах цикла.

Таким образом, с физической точки зрения и в том и в другом случае результат получается неудовлетворительный, т.к. прямолинейный разностный вектор **физически** не соответствует реальному приращению криволинейного движения.

Для определения ускорения направления криволинейного движения, исходя из его физического смысла необходимо, прежде всего, установить физический смысл приращения движения по направлению. Легче всего это сделать на примере равномерного вращательного движения. Выше мы уже отмечали, что изменение и величины и направления скорости движения имеют одну и ту же природу. Любое механическое преобразование движения, связанное с изменением положения тела в пространстве в соответствии с любой траекторией его движения определяется одними и теми же физическими законами. С физической точки зрения механизм изменения вектора скорости прямолинейного движения без

изменения его направления принципиально ничем не отличается от механизма изменения вектора скорости по направлению без видимого изменения его абсолютной величины.

Изменение направления постоянного по абсолютной величине вектора линейной скорости это преобразование величины вектора линейной скорости в новом направлении, а изменение величины вектора линейной скорости в прямолинейном движении это такое же преобразование абсолютной величины вектора линейной скорости без изменения его направления, т.е. при нулевом изменении направления. Изменение направления вектора скорости **физически эквивалентно изменению во времени его величины.** Именно поэтому ускорение по изменению направления движения без видимого изменения величины вектора скорости измеряется в классических единицах измерения линейного ускорения, т.е. в единицах «длины», отнесенных к квадрату времени, а не в единицах «изменения направления». Таким образом, разрешается одно из многочисленных противоречий вращательного движения, заключающееся в том, что ускорением по изменению направления скорости движения тела, т.е. мерой изменения направления «постоянной по величине» скорости является обычное линейное ускорение.

Понятие вектора, определяющего направление физической величины достаточно условно, как собственно условно и само понятие «физическая величина». При этом абсолютное значение любой физической величины определяет параметры взаимодействия материальных физических тел, **прежде всего с энергетической точки зрения.** Любые количественные параметры взаимодействия материальных тел в пространстве, движении и времени зависят, прежде всего, от энергии взаимодействия, которая является величиной скалярной. Направление же физической величины это только вспомогательная геометрическая характеристика изменения физической величины в пространстве, движении и времени, связанная с направлением распространения энергии взаимодействия. О направлении физической величины имеет смысл говорить только в том случае, если физическая величина проявляется в каком-то одном фиксированном направлении достаточно продолжительное время, в то время как энергетический эквивалент переменной только по направлению физической величины может длительное время оставаться неизменным независимо от изменения направления распространения энергии.

В общем случае, когда физическая величина не имеет фиксированного направления во времени, имеет смысл говорить только о **мгновенном направлении** переменной физической величины. Однако мгновенное направление - это понятие скорее академическое, чем физическое. Каким бы малым не был рассматриваемый интервал времени, переменная по направлению физическая величина имеет в этом интервале времени бесконечное множество мгновенных направлений. С физической точки зрения вектор переменной по направлению физической величины не определен. В отношении изменения направления постоянной по абсолютному значению физической величины правильнее, на наш взгляд, говорить о среднем энергетическом эквиваленте процесса её преобразования по направлению, а не о каком-то конкретном линейном ускорении в конкретном направлении. Причем физическую величину, являющуюся компонентом энергетического процесса преобразования движения по направлению, на наш взгляд, правильнее считать скалярной.

Направление, как геометрическая характеристика, не является неотъемлемой частью физической величины и может только сопутствовать её изменению во времени. Любой академический эквивалент изменения физической величины должен, прежде всего, количественно отражать энергетическую сторону процесса изменения физической величины, как по абсолютному значению, так и по направлению. Направление физической величины в рассматриваемом интервале времени не всегда представляется возможным геометрически определить, однако, как мы отметили выше, изменение направления движения эквивалентно количественному преобразованию абсолютного значения физической величины. Таким образом, геометрический (графический) эквивалент изменения физической величины несёт только вспомогательную информацию об изменении физической величины по направлению. Полный же энергетический эквивалент изменения физической величины, в том числе и по направлению определяется изменением её абсолютной величины, которое, кстати, также имеет геометрический эквивалент.

Физические величины, определяющие изменение энергетической составляющей физического взаимодействия, эквивалентной преобразованию их абсолютной величины целиком и полностью характеризуются средним значением всех изменений физической величины первого порядка по абсолютному значению во всех направлениях, в которых происходят эти изменения. По своей физической сущности такие физические величины являются скалярными и могут быть условно векторными только в том случае, если их направление в рассматриваемом интервале времени остаётся относительно неизменным. Одну и ту же по абсолютному значению физическую величину, проявляющуюся в процессе взаимодействия материальных тел, в зависимости от геометрического характера её изменения в этом взаимодействии можно считать как векторной, так и скалярной, что нисколько не затрагивает её физической сущности, а только конкретизирует её математическое описание в каждом конкретном случае.

Бездумное отнесение той или иной физической величины к векторным величинам, когда направление считается неотъемлемой частью физической величины, приводит к серьезным физическим ошибкам. Особенно это касается обобщенных (усредненных) физических величин, таких как ускорение движения по направлению. Так, например, отнесение приращения вектора скорости криволинейного движения без изменения его величины к категории векторных величин приводит к неправильной с физической точки зрения оценке этого приращения. За приращение направления вектора линейной скорости криволинейного движения без изменения его абсолютной величины в классической физике принимается классический разностный вектор (ΔV), содержащий только два положения вектора скорости в рассматриваемом интервале времени.

С энергетической точки зрения важно учитывать все положения вектора скорости, изменяющейся в общем случае, как по величине, так и по направлению. Кривая, описанная вектором скорости, изменяющимся в общем случае, как по величине, так и по направлению учитывает каждое мгновенное значение длины вектора скорости и каждое мгновенное положение вектора скорости в пространстве, т.е. является реальным приращением скорости в общем случае любого произвольного криволинейного движения. Среднее значение ускорения, соответствующее такому приращению является энергетическим эквивалентом физического процесса преобразования вектора скорости равномерного прямолинейного движения, как по абсолютной величине, так и по направлению.

В криволинейном движении итоговое положение вектора линейной скорости в пространстве может вообще не измениться, например, при полном обороте тела вокруг центра вращения в равномерном вращательном движении. При этом начальное и конечное положение вектора скорости совпадают в пространстве, т.е. классический разностный вектор (ΔV) в равномерном вращательном движении при завершении полного оборота тела относительно центра вращения равен нулю. Однако приращение скорости, которое учитывает все положения вектора линейной скорости за время завершения полного оборота в равномерном вращательном движении, отлично от нуля и равно длине окружности радиуса (V). Одинаковым по величине и направлению вектором скорости в принципе может заканчиваться любое произвольное криволинейное движение. При этом абсолютная величина приращения скорости в любом интервале времени, если это приращение реально происходит, никогда не равна нулю.

Кривая, которая отражает совокупность всех положений стрелки вектора линейной скорости в процессе изменения его величины и направления является **годографом** вектора линейной скорости. Скалярная величина длины годографа и есть приращение величины скорости в общем случае любого движения. Конфигурация годографа в пространстве это геометрическая характеристика криволинейного движения, по которой можно судить об изменении направления этого движения во времени и в пространстве. Таким образом, полная информация об ускорении по изменению скорости во всем диапазоне её изменения в процессе любого вида движения определяется скалярной величиной длины годографа и геометрической конфигурацией годографа в пространстве.

Каждая точка годографа в общем случае определяет мгновенную величину и положение вектора линейной скорости в соответствующей точке траектории движения. Общая длина годографа, равная совокупности всех его точек, эквивалентна общему приращению величины линейной скорости или общему изменению величины линейной скорости в процессе изменения ее величины и направления за рассматриваемый период времени. При этом длина годографа есть величина скалярная, потому что совокупность множества направлений и величин не может быть вектором.

В классической модели вращательного движения вектор скорости из точки (А) переносится параллельно самому себе в точку (В) (Рис. 17 О. Ф. Кабардин «ФИЗИКА» МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991). Если таким же образом перенести в точку (В) все положения вектора скорости, которые он занимал в каждой точке дуги окружности между точками (А) и (В), то стрелка вектора скорости опишет дугу окружности радиусом (V), которая является геометрической траекторией изменения направления вектора скорости или годографом вектора скорости равномерного движения по окружности. Годограф вектора скорости, как мы отметили выше, и определяет приращение любого движения, в том числе и рассматриваемого вращательного движения.

Существует прямая аналогия приращения вектора скорости прямолинейного движения и приращения вектора скорости криволинейного движения. И в прямолинейном движении, и в криволинейном движении приращением скорости является годограф. Прямолинейное движение это частный случай криволинейного движения. Приращение скорости движения и в том и в другом случае имеет одинаковый физический смысл. Для того чтобы аналогия между приращением скорости прямолинейного движения и приращением скорости криволинейного движения была более очевидной, рассмотрим привычный механизм определения приращения скорости прямолинейного движения с учётом понятия годографа скорости движения.

Применительно к прямолинейному движению точки (А) и (В) о которых идет речь у О. Ф. Кабардина (Рис. 17 «ФИЗИКА» МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991, см. выше) расположатся на одной прямой линии, являющейся траекторией прямолинейного движения. Перенесем в точку (В) все положения вектора скорости теперь уже прямолинейного движения, которые он занимал в каждой точке прямолинейной траектории между точками (А) и (В). Поскольку изменение направления прямолинейного движения равно нулю, то стрелки всех векторов также расположатся на одной линии в пределах классического разностного вектора (ΔV). Следовательно, годограф скорости прямолинейного движения совпадает с классическим разностным вектором, являющимся геометрической разностью начального и конечного векторов в рассматриваемом интервале времени. Таким образом, ускорение прямолинейного движения определяется по сути дела через годограф вектора скорости прямолинейного движения, который в частном случае прямолинейного движения совпадает с линейным вектором (ΔV). Поэтому если уж и переносить аналогию определения приращения скорости прямолинейного движения на криволинейное движение, то необходимо воспользоваться не частным случаем, пригодным только для прямолинейного движения, а общим случаем определения приращения скорости любого движения, которое определяется через годограф скорости движения.

Криволинейное движение со скоростью, изменяющейся как по величине, так и по направлению, принципиально ничем не отличается в этом отношении от прямолинейного движения, скорость которого изменяется только по величине. Физический смысл приращения скорости и в том и в другом случае одинаковый. Приращение скорости в обоих случаях равно длине годографа вектора скорости. Разница состоит только в том, что в прямолинейном движении годограф прямолинеен и совпадает с отрезком траектории движения, пройденным за счет прироста скорости прямолинейного движения по абсолютной величине, т.е. с классическим разностным вектором (ΔV). Однако это только частный случай приращения движения. В общем случае криволинейного движения годограф криволинеен. Годограф криволинейного движения не совпадает и не должен совпадать ни пространственно, ни по абсолютной величине с приращением скорости криволинейного движения, определённым с помощью правил векторной геометрии, т.к. классический прямолинейный разностный вектор с физической точки зрения не является приращением криволинейного движения.

Для криволинейного движения в математической модели движения можно ввести **академическое** понятие криволинейного вектора приращения скорости, который пространственно совпадает с годографом. Длина такого вектора пропорциональна полному приращению скорости во всем диапазоне её изменения. Стрелка криволинейного вектора-годографа, совпадающая с направлением перемещения стрелки вектора скорости, указывает не направление ускорения криволинейного движения, а направление внешней силы, вызывающей изменение направления движения. Кривая линия вектора-годографа отражает геометрический характер изменения внешнего воздействия в пространстве в рассматриваемом интервале времени.

Длина годографа, отнесенная к интервалу времени определяет абсолютную величину ускорения криволинейного движения. А направление вдоль мгновенного радиуса годографа, т.е. вдоль вектора скорости определяет мгновенное направление результирующей силы и соответственно мгновенное направление физического ускорения и скорости криволинейного движения. Стрелка криволинейного вектора-годографа не является фиксированной и одинаково принадлежит каждой точке годографа. Перемещая стрелку криволинейного вектора-годографа в любую его точку и ориентируя её в соответствии с направлением касательной в этой точке, получим направление внешнего воздействия, получаемого телом в рассматриваемом физическом взаимодействии в любой момент времени.

С классической точки зрения вектор линейной скорости равномерного вращательного движения имеет постоянную величину. Радиус годографа скорости равномерного вращательного движения, который равен вектору линейной скорости в любой момент времени, также является постоянным, что на первый взгляд противоречит нашей математической модели вращательного движения. В нашей модели линейная скорость изменяется не только по направлению, но и по абсолютной величине, т.к. в направлении вектора линейной скорости действует мгновенное линейное ускорение вращательного движения. На первый взгляд это плохо согласуется с постоянным радиусом годографа скорости равномерного движения по окружности. Тем не менее, в этом нет никакого противоречия.

Как мы уже отмечали выше, абсолютная величина линейной скорости равномерного вращательного движения в каждом цикле преобразования движения по направлению претерпевает циклические изменения. Однако длительность законченного цикла изменения направления, по всей видимости, очень мала и зависит от механических свойств связующего тела и тела движущегося по окружности, а также от скорости и радиуса вращения. Изобразить графически все изменения линейной скорости в масштабе реального времени и реального значения средней величины линейной скорости не представляется

возможным. Поэтому годограф скорости равномерного вращательного движения на макроуровне представляет собой окружность с постоянным радиусом, величина которого эквивалентна среднему значению величины линейной скорости равномерного вращательного движения. Соответственно ускорение, определённое через годограф среднего значения линейной скорости – это не физическое ускорение, а среднее ускорение вращательного движения, т.е. величина академическая, о чём мы и говорили выше.

На макроуровне в обычном масштабе времени ускорение вращательного движения, которое определяется средним ускорением законченного цикла преобразования движения по направлению **постоянно** по абсолютной величине**,** а само равномерное вращательное движение является, таким образом, равноускоренным движением. Нет никаких оснований, утверждать обратное, т.к. равномерное вращательное движение, по всей видимости, состоит из **одинаковых** циклов преобразования движения по направлению. В этом вопросе мы категорически не согласны с авторами статьи «Вращательное движение. Равномерное движение точки по окружности. Вектор угловой скорости. Угловое ускорение» ***(Mechanicshistori.ru*** *Классическая механика),* приведенной выше.

Авторы статьи утверждают, что равномерное движение по окружности не является равноускоренным: *«Пример плоского неравноускоренного движения, известный вам из школьного курса физики, — это* ***равномерное движение по окружности»***. Как же тогда расценивать тот факт, что ускорение **«неравноускоренного»** движения является величиной постоянной? По нашему мнению, равноускоренность это, прежде всего равномерность, т.е. постоянство изменения во времени изменяемого параметра физической величины, будь то абсолютная величина, направление или любой другой физический параметр, изменяющейся физической величины.

Налицо парадоксальная ситуация когда изменение направления движения, обеспечиваемое постоянным во времени ускорением направления считается не равноускоренным, только потому, что постоянная по величине линейная скорость равномерного вращательного движения изменяется по направлению. Однако с другой стороны изменение направления линейной скорости «**неравноускоренного**», но равномерного движения по окружности ассоциируется с **постоянным** по величине линейным центростремительным ускорением, что является отличительным признаком именно равноускоренного движения. Причем само изменение направления во времени так же является величиной постоянной, что опять-таки характерно именно для равноускоренного физического процесса.

Это противоречие легко разрешается, если учесть, что преобразование скорости по направлению эквивалентно её количественному преобразованию в новом направлении. С этой точки зрения равномерное движение по окружности ничем принципиально не отличается от прямолинейного равноускоренного движения, в котором равномерно во времени изменяется только абсолютная величина вектора скорости. В такой интерпретации и в том и в другом случае постоянной является именно количественная оценка изменения скорости движения. Следовательно, равномерное движение по окружности, в котором изменение направления скорости движения эквивалентно изменению (преобразованию) её абсолютной величины с полным основанием можно считать равноускоренным.

Для определения приращения функции от времени в этом случае достаточно простого арифметического деления приращения функции на аргумент, т.к. скорость приращения функции постоянна в любой момент времени. Обычно это не вызывает возражений, если равномерная функция линейная. Ведь не дифференцируем же мы приращение скорости прямолинейного равноускоренного движения для определения ускорения. В случае, когда функция нелинейная, но изменяется равномерно, как, например, направление линейной скорости при равномерном вращении, принципиально ничего не меняется, ведь **классическое** центростремительное ускорение, как условное академическое ускорение вращательного движения равное среднему ускорению полного цикла преобразования скорости движения по направлению, является величиной постоянной.

Основываясь на этих соображениях, определим ускорение направления, не прибегая к дифференцированию приращения скорости за бесконечно малый интервал времени. Для простоты рассмотрим один полный оборот тела относительно центра вращения. Вектор линейной скорости при движении тела по окружности вращается относительно центра масс тела. Физически это означает, что движущееся по окружности тело вращается вокруг своей оси в направлении кругового движения. Тогда за полный оборот вектора скорости разностный вектор, представляющий собой длину годографа линейной скорости, будет равен длине окружности радиуса (V):

$\Delta v = 2 * \pi * V$

Время, за которое тело и соответственно вектор линейной скорости совершат полный оборот равно:

$t = 2*\pi / \omega$

Тогда ускорение направления можно определить классически как частное от деления приращения направления на время этого приращения.

$a_н = 2*\pi*V/(2 * \pi /\omega) = V*\omega$

или с учетом, что $\omega = V/R$:

$\boldsymbol{a_н = V^2/R}$

Таким образом, можно получить выражение для ускорения направления совпадающее по форме с формулой для классического центростремительного ускорения простым делением приращения направления на полное время этого приращения, не прибегая к бесконечно малым интервалам времени, что ещё раз подтверждает, что равномерное движение по окружности является равноускоренным движением. Интервал времени для определения **ускорения направления** в отличие от определения классического центростремительного ускорения при равномерном **вращательном** движении может быть сколь угодно велик, если за приращение величины линейной скорости, принимается длина соответствующей дуги окружности с радиусом равным (V).

В рассмотренном случае два положения вектора линейной скорости отстоят друг от друга на целый оборот, что нисколько не повлияло на результат. Для определения ускорения направления равномерного вращательного движения **расстояние между рассматриваемыми положениями вектора линейной скорости, как и время изменения этого положения не имеют принципиального значения.** Если рассматриваемые положения вектора отстоят друг от друга на один или несколько оборотов, то длина «дуги» между ними или, другими словами, абсолютная величина изменения вектора скорости по направлению будет равна произведению длины окружности с радиусом, численно равным величине вектора (V) на количество оборотов (n):

$\Delta V = 2*\pi*V*n$

Величину центростремительного ускорения, как академического ускорения вращательного движения можно получить аналитически еще одним способом, не прибегая к дифференцированию, исходя из классических соотношений физических величин кинематической схемы вращательного движения:

На рисунке (1.3.1) показано изменение направления линейной скорости при круговом движении в направлении от точки (А) к точке (В).

Как известно угловая скорость вращения (ω) равна частному от деления линейной скорости (Va) на радиус (R):

$\omega = Va/R$ (1.1)

Линейная скорость ($a_н$) движения по окружности (ВС) с радиусом (V_a) равна:

$a_н = \omega*Va$ (1.2)

Очевидно, что угловая скорость вращения радиуса (ОА) равна угловой скорости вращения вектора (Va). Тогда подставляя в формулу (1.2) выражение для угловой скорости (1.1) получим классическое выражение для центростремительного ускорения:

$a_н = Va^2/R$ (1.3)

Никакого дифференцирования для определения величины центростремительного ускорения не потребовалось и в этом случае. Из приведенного выше вывода формулы центростремительного ускорения следует, что центростремительное ускорение это линейная скорость линейной скорости, т.е. ускорение, **изменяющееся по направлению** в соответствии с направлением линейной скорости и **направленное вдоль вектора линейной скорости** в любой момент времени.

В связи с вышеизложенным возникает вопрос, каким образом в классической физике при неправильно выбранном приращении вращательного движения получен правильный количественный результат центростремительного ускорения? Попробуем найти ответ на этот вопрос. Классический вывод формулы центростремительного ускорения (См. Рис. 17, О. Ф. Кабардин «ФИЗИКА» МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991 или Рис. 1.3.2.), основан на анализе соотношения сторон подобных треугольников (АОВ) и (СВД). Стороны (АВ) и (СД) в этих треугольниках при очень малом интервале времени приращения вращательного движения мало отличаются от соответствующих им одноимённых дуг окружности, которые опираются на стороны (АВ) и (СД) как на хорды. Поэтому в классическом выводе формулы центростремительного ускорения стороны (АВ) и (СД) в пропорции ($R/V*\Delta t \approx V/\Delta V$ (3.2)) при практическом вычислении фактически подменяются одноимёнными дугами.

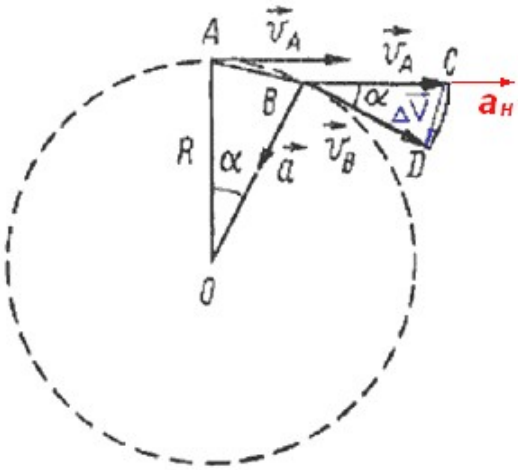


Рис. 1.3.2.

В представленном Кабардиным методе формула центростремительного ускорения фактически выводится не из подобия треугольников, а из подобия фигур (АОВ) и (СВД) стороны (АВ) и (СД), которых являются дугами окружности. Причём в равномерном вращательном движении фигуры (АОВ) и (СВД) подобны в любом интервале времени в пределах круга или полного оборота вектора линейной скорости. А с учетом цикличности равномерного вращения количество оборотов и интервал времени вообще не имеют никакого значения для определения приращения скорости движения. Это ещё раз подтверждает, что равномерное вращательное движение является равноускоренным движением.

Если рассматривать приращение равномерного вращательного движения именно как дугу, а не как хорду (СД) всё становится на свои места естественным образом. Знак примерного равенства в пропорции (R/V*Δt≈V/ΔV (3.2)) естественным образом заменяется знаком абсолютного равенства без ссылки на бесконечно малые приращения вращательного движения. Таким образом, для определения центростремительного ускорения, как постоянного ускорения равноускоренного по направлению движения, никакого дифференцирования приращения линейной скорости вращательного движения по времени не требуется. Для определения ускорения любого равноускоренного движения независимо от того, какое ускорение проявляется в этом движении: линейное ли или ускорение направления, достаточно простого арифметического деления приращения скорости движения на время, за которое произошло это приращение.

Правильный результат в классическом выводе формулы центростремительного ускорения, несмотря на не верно выбранное приращение скорости вращательного движения, фактически достигается не за счёт минимизации и исключения погрешности приращения вращательного движения методом дифференцирования, а за счёт полной физической переоценки этого приращения, происходящей по ходу вывода. Классический разностный вектор, в конце концов, просто подменяется годографом линейной скорости, а роль дифференцирования в классическом выводе центростремительного ускорения фактически сводится к осознанию и обоснованию необходимости такой подмены. В результате классический вывод формулы центростремительного ускорения по сути дела является одним из методов доказательства теоремы Жуковского о том, что скорость соответственной точки годографа равна полному ускорению точки, движущейся по траектории применительно к равномерному вращательному движению. Из этого следует, что приращение скорости равномерного вращательного движения равно годографу скорости (СД), но никак не линейному вектору (СД).

Самым необъяснимым и парадоксальным в классическом выводе формулы центростремительного ускорения с точки зрения физики и здравого смысла является первоначальный отказ от реального приращения скорости равномерного вращательного движения, как годографа линейной скорости в угоду правилам векторной геометрии. Тем более что далее в ходе вывода происходит по сути дела естественный обратный переход от линейного разностного вектора (ΔV) к годографу линейной скорости вращательного движения. Создаётся впечатление, что классическую физику больше интересует, не установление физического смыла центростремительного ускорения, а утверждение в физике векторной геометрии применительно к любому виду движения, т.е. утверждение классического математического аппарата описания кинематики движения. Это еще один пример, когда из математики, которая является только инструментом описания физических явлений, пытаются делать непосредственно физику.

Нет никакой объективной необходимости за приращение скорости равномерного вращательного движения принимать линейный разностный вектор (ΔV), что физически является заведомо неправильным в любом интервале времени, чтобы потом с помощью дифференцирования пытаться минимизировать искусственно допущенную методологическую ошибку. Причем после минимизации от допущенной

ошибки просто напросто отказываются! Гораздо правильнее, на наш взгляд, эту ошибку не допускать. Тем более что понятие годографа, как приращения вектора скорости в общем случае криволинейного движения, давно известно в классической физике. Попытки выйти на правильный результат исходя из заведомо неправильных начальных установок и некорректного с позиции этих установок последующего перехода к правильным физическим понятиям, опровергающим неправильные начальные установки, но без констатации этого факта вызывают, по меньшей мере, недоумение! С точки зрения здравого смысла неправильное, а значит и ненужное необходимо просто отбросить!

Годограф скорости применительно к прямолинейному движению оказывается равным классическому линейному разностному вектору (ΔV), что в конкретном частном случае прямолинейного движения нисколько не противоречит общим закономерностям определения приращения любого движения через годограф скорости. Общие закономерности всегда могут быть применены для любого частного случая. Однако обратная задача определения приращения скорости равномерного вращательного движения, как более общего случая движения через классический разностный вектор (ΔV) по аналогии с частным случаем прямолинейного движения не имеет физического смысла. Привычные стереотипы определения приращения скорости в частном случае прямолинейного движения применительно к общему случаю движения привели к многочисленным противоречиям классической модели вращательного движения.

Если абсолютная величина классического центростремительного ускорения в классической модели равномерного вращательного движения по приведённым выше причинам всё-таки соответствует реальной величине ускорения направления, то классическое направление разносного вектора (ΔV) на центр вращения, а, следовательно, и направление на центр классического центростремительного ускорения не выдерживает никакой критики. В учебнике физики для 9 класса (см. выше) представлено следующее обоснование направления центростремительного ускорения**.** "*Пользуясь правилом треугольника, совместим начала векторов и проведем красным цветом вектор разности (правый чертеж). Как видите, вектор разности скоростей, а, значит, и сонаправленный с ним вектор ускорения спутника направлен к центру окружности». (*"Физика-9" Тема 13 «Введение в кинематику» ***§ 13-л. «Центростремительное ускорение».****)*

По чертежу, приведенному в учебнике физики для 9-го класса, невозможно строго утверждать, что разностный вектор направлен на центр вращения. Направление разностного вектора зависит от выбранного интервала времени изменения движения и изменения направления вектора линейной скорости. С уменьшением интервала времени разностный вектор действительно стремиться к направлению на центр вращения, но при условии, что вектор линейной скорости направлен по касательной к окружности, что физически, кстати, в классической модели вращательного движения ничем не обоснованно. Считается, что в свою очередь вектор линейной скорости неизменно направлен по касательной к окружности, т.к. перпендикулярно ему действует центростремительное ускорение, направленное к центру. То есть налицо нарушение причинно-следственных связей. Такое обоснование направления разностного вектора на центр вращения нельзя считать удовлетворительным. Кроме того, как мы уже отмечали, классический разностный вектор вовсе не соответствует реальному приращению скорости вращательного движения.

Авторы статьи из раздела «Классическая механика» (***Mechanicshistori.ru*** *Классическая механика*) относительно направления вектора центростремительного ускорения говорят следующее: *«…вектор ускорения антипараллелен вектору* ***r****, то есть, направлен к центру»*. Довольно странный на наш взгляд вывод. Разве параллельность радиусу означает направление на центр? Из математики известно, что параллельные прямые не имеют точек пересечения. Прямая линия, параллельная или антипараллельная радиусу не может проходить через центр, если она не совпадает с самим радиусом. Как минимум сама терминология не имеет ни математического, ни физического смысла. Математика наука точная и требует соответственно точных и однозначных формулировок.

Кроме того, угол между центростремительным ускорением и радиус-вектором стремится к нулю только при стремлении к нулю интервала времени ($\Delta t \to 0$). Однако, при ($\Delta t = 0$) само понятие ускорения, в том числе и направление ускорения, теряет физический смысл, т.к. любое ускорение имеет смысл только в интервале времени отличном от нуля. Значит, не имеет смысла и определение ускорения в условиях, в которых понятие ускорения не существует. Определение ускорения в интервале времени, стремящемся к нулю, оправдано только при неравноускоренном движении. Причём в этом случае речь идёт лишь об определении среднего ускорения в минимальном, но не равном нулю с физической точки зрения интервале времени, в котором происходит минимизация случайных погрешностей, связанных с непредсказуемым изменением физической величины, изменяющейся по произвольному закону. Среднее ускорение в минимальном интервале времени стремится к реальному ускорению неравноускоренного движения, но никогда не достигает его ни физически, ни по абсолютной величине.

В случае равномерного вращательного движения абсолютная величина среднего ускорения в минимальном интервале времени совпадает с истинным значением обобщённого академического ускорения направления. Это происходит потому, что классический разностный вектор в минимальном интервале времени реально ассоциируется с годографом скорости вращательного движения, а вовсе не потому, что интервал времени достиг какой-то требуемой минимальной величины, при которой не верно с физической точки зрения определённое ускорение гипотетическим образом превращается в истинное ускорение направления. Причём, по нашему мнению, как мы уже отмечали выше, роль дифференцирования классического разностного вектора вопреки воле авторов фактически заключается в том, чтобы как раз логически обосновать переход от классического разностного вектора (ΔV) к реальному приращению равномерного вращательного движения, т.е. годографу скорости вращательного движения.

Таким образом, теоретическая (методологическая) ошибка определения приращения равномерного вращательного движения по сути дела косвенно признаётся самой классической моделью вращательного движения и, хотя и не совсем корректно с физической точки зрения, компенсируется в практическом вычислении, в котором фактически осуществляется переход от линейного разностного вектора к годографу линейной скорости вращательного движения. Однако направление ускорения вращательного движения по-прежнему связывается с классическим разностным вектором, который является величиной абстрактной и не отражает реального движения с ускорением направления.

Причиной изменения направления любого движения является активная внешняя сила, не совпадающая с направлением инерционного движения. За инерционное движение при движении по окружности в некотором приближении можно условно принять движение по касательной к окружности в достаточно малом интервале времени, в котором изменение направления и величины линейной скорости незначительны. Однако ускорение в направлении внешней силы по отношению к инерционному движению не является ускорением вращательного движения. Как мы уже говорили, вращательное движение осуществляется под действием результирующей силы, являющейся геометрической суммой внешней силы реакции и силы инерции, которая не направлена непосредственно на центр вращения. Результирующая сила вращательного движения отклоняется от направления прямолинейного инерционного движения в сторону центра вращения **за счёт первоочередного изменения направления активной внешней силы реакции.**

Активная сила упругости увеличивается по мере накопления упругой деформации. Для накопления деформации, способной вызвать силу упругости достаточную для заметного изменения направления инерционного движения требуется некоторое время. При этом сила упругости в любой момент времени стремиться к направлению на центр вращения по той простой причине, что связующее тело физически связывает вращающееся тело с центром вращения. Направление же условно инерционного движения вдоль касательной к окружности в силу своей инерционности некоторое время остается относительно неизменным. В результате **вектор активной силы реакции связующего тела опережает по фазе вектор пассивной силы инерции**, что приводит к отклонению результирующего движения в сторону центра вращения и определяет общее направление вращательного движения и новое направление инерционного движения в каждом цикле вращательного движения.

Таким образом, отклонение тела к центру вращения или его неудаление от центра вращения, т.е. движение тела по линии окружности происходит не потому, что на тело действует линейное центростремительное ускорение или линейное центробежное ускорение. Это происходит, потому что ускорение вращательного движения в среднем фактически направлено вдоль усреднённой геометрической окружности, по которой и осуществляется реальное движение тела. Реальное мгновенное направление ускорения вращательного движения совпадает с мгновенным направлением вектора линейной скорости в каждый момент времени, что полностью отвечает представлениям современной физики о соответствии направления силы и вызванного ей ускорения.

В классической модели ускорение вращательного движения учитывается вдоль текущего радиального направления, связанного с движущимся по окружности телом, т.е. вдоль одного фиксированного направления внутри вращающейся системы. Однако алгебраическая сумма радиальных ускорений в равномерном вращательном движении в среднем за цикл равна нулю. Радиальное движение внутри вращающейся системы не учитывает поступательного движения самой системы в направлении линейной скорости под действием ускорения вращательного движения, что лишний раз подтверждает, что линейное радиальное ускорение не может являться ускорением вращательного движения. Ускорение вращательного движения, как линейное радиальное ускорение, направленное к центру вращения, физического смысла не имеет.

Ускорение вращательного движения в классической физике рассматривается по сути дела, как математическая оценка **скалярной** величины геометрического отклонения окружности от касательной,

выраженное через ускорение по преодолению этого отклонения за минимальный интервал времени. Оценка отклонения окружности от касательной осуществляется через определение ускорения, которое потребовалось бы сообщить телу, движущемуся по касательной с постоянной линейной скоростью, для того чтобы преодолеть линейное отклонение точки на касательной от точки, движущейся все это время с реальным ускорением движения по реальной траектории. Другими словами классическое центростремительное ускорение численно равно ускорению по преодолению девиации вращательного движения.

Академически в некотором приближении образование девиации объясняется инерционным убеганием тела от центра вращения в отсутствии какого-либо ускорения, а преодоление девиации – это возвращение тела на реальную траекторию движения за счёт отложенного реального ускорения. Однако если преодоление девиации происходит за счет центростремительного ускорения, то образование девиации должно происходить за счет центробежного ускорения. Таким образом, геометрическое определение ускорения вращательного движения через девиацию также не проясняет его физической сущности и не оправдывает его ассоциацию с физическим центростремительным ускорением, как ускорением вращательного движения. Ускорение на отрезке девиации можно с одинаковым основанием считать как центростремительным, так и центробежным, т.к. геометрически направление отложенного ускорения реального равномерного движения по окружности правомерно определять в обоих направлениях.

Таким образом, современная модель вращательного движения это чисто математическая или ещё точнее геометрическая модель. Её нельзя бездумно, механически переносить на реальное движение реальных физических тел по криволинейной траектории и по окружности в частности, как это сделано в современной физике. Качественно классическое центростремительное ускорение это условное ускорение математической точки, движущейся по окружности по отношению к математической точке, синхронно движущейся с такой же линейной скоростью по касательной. Это чисто геометрическое ускорение отклонения линии окружности от прямой линии, т.е. геометрическое ускорение искривления прямой линии для каждой конкретной линейной скорости движения математической точки и радиуса кривизны линии окружности. С одинаковым основанием можно считать, что это ускорение по отклонению прямой от линии окружности, т.е. ускорение математической точки, движущейся по касательной по отношению к подобной точке, синхронно движущейся по окружности с такой же линейной скоростью. Как известно математическая точка не имеет массы, а, следовательно, в геометрии направление ускорения или геометрическое ускорение зависит только того, какую точку выбрать за точку отсчёта.

Геометрическое ускорение расхождения криволинейного и прямолинейного движений, а, следовательно, и классическое центростремительное ускорение, которое и является по сути дела чисто геометрическим ускорением, физического смысла не имеет. Это ускорение легко рассчитывается без учета, каких бы то не было сил и равновесий в радиальном направлении в любой системе отсчёта либо через девиацию, либо через дифференцирование изменения координат точки, движущейся по окружности, что в принципе геометрически означает одно и то же. Такая оценка расхождения прямолинейного и криволинейного движения имеет чисто геометрический смысл, т.е. нет никаких оснований называть такое условное геометрическое ускорение физическим «живым» ускорением вращательного движения. Однако если геометрическая оценка расхождения прямолинейного и криволинейного движения математической точки обратима по направлению, то этого следует ожидать и в реальном движении материальных тел по окружности. Если к реальному движению материальных тел по окружности применить полную геометрическую модель расхождения прямолинейного и криволинейного движений, то все противоречия вращательного движения разрешаются естественным образом.

Все недостатки классической модели вращательного движения связаны в основном с пренебрежением силой инерции на том основании, что сила инерции в классической физике считается фиктивной силой, хотя реально сила инерции вместе с силой реакции связующего тела образует результирующую силу, определяющую вращательное движение в целом. Результирующая сила образуется, независимо от того, какие силы участвуют в её формировании «фиктивные» силы инерции или «живые» силы взаимодействия реальных тел (см., главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ). Результирующая сила не зависит от системы отсчёта, в которой она определяется, и в которой определяются составляющие её силы, если они реально проявляются в реальном физическом процессе. От системы отсчета зависит только субъективное представление о рассматриваемых силах. Системы отсчёта это только математический инструмент, предназначенный исключительно для удобства решения математических уравнений. Инструмент, который только способствует математическому описанию реально действующих сил наиболее удобным и доступным способом, но не определяет само физическое взаимодействие тел. Поэтому для каждого конкретного физического процесса необходимо выбирать

систему отсчета, которая по возможности наиболее близка к абсолютной системе отсчета для конкретно рассматриваемого физического процесса.

Полное ускорение вращательного движения проявляется в направлении именно результирующей силы, а не в направлении её составляющих. Реальные ускорения в физике всегда связаны с реальным движением в направлении активной результирующей силы, независимо от того совпадает ли это активное движение с пассивным (свободным) движением тел на момент начала воздействия активной силы или не совпадает. Поэтому реальное ускорение вращательного движения, связанное именно с активным движением по окружности с изменяющейся по направлению линейной скоростью совпадает по направлению с мгновенным вектором линейной скорости вращательного движения. В направлении составляющих результирующей силы проявляются только составляющие полного ускорения. Проекция результирующей силы на радиальное направление образует центробежную и центростремительную силы, которые вызывают центробежное и центростремительное ускорения соответственно. Центробежное и центростремительное ускорения характеризуют переход от движения по окружности к прямолинейному движению и обратно в полном соответствии с уточнённой геометрической моделью расхождения прямолинейного и криволинейного движений математической точки.

В период, когда в составе результирующей силы преобладает сила инерции, тело стремится сохранить прямолинейное движение, удаляясь от центра вращения, то есть с некоторой степенью приближённости осуществляется переход от движения по линии окружности к прямолинейному движению. С накоплением упругой деформации в составе результирующей силы начинает преобладать сила упругости, которая приводит к замедлению прямолинейного движения и отклонению линейной скорости в сторону центра вращения, что характеризует обратный переход к движению по линии окружности. После изменения направления линейной скорости в сторону центра вращения тело под действием силы упругости получает ускорение в новом направлении движения, что приводит к увеличению инерции прямолинейного движения тела в новом направлении, что создает предпосылки для нового перехода к прямолинейному движению. Далее весь процесс циклически повторяется.

Количественно, как мы уже отмечали, классическое центростремительное ускорение совпадает со средним ускорением всех мгновенных ускорений проявляющихся в каждом законченном цикле вращательного движения во всем диапазоне направлений, занимаемых мгновенными ускорениями. Но это не физическое линейное ускорение в направлении мгновенного центра вращения, а академическое ускорение, т.е. среднее обобщённое ускорение физического процесса преобразования движения по направлению. Однако среднее академическое ускорение реального вращательного движения не направлено на центр вращения. Его направление совпадает со средним направлением всех векторов линейной скорости в каждом законченном цикле вращательного движения, которое в свою очередь совпадает с направленным по касательной к усреднённой окружности вектором линейной скорости вращательного движения.

Поскольку вектор мгновенного ускорения вращательного движения отклоняется от касательной как в ту, так и в другую сторону, то его проекция на радиальное направление образует физическое центростремительное и физическое центробежное ускорение в полном соответствии с приведённой выше, уточнённой геометрической моделью. В обычном масштабе времени равномерного движения по окружности, состоящего из множества циклов преобразования прямолинейного движения по направлению сложная траектория вращательного движения может быть усреднена до геометрической окружности. При этом направление вектора ускорения и вектора линейной скорости может быть условно определено, как направление вдоль касательной к этой окружности, т.к. касательная совпадает со средним направлением векторов ускорения и линейной скорости вращательного движения внутри каждого законченного цикла преобразования движения по направлению.

Таким образом, условное среднее направление ускорения и линейной скорости вращательного движения вдоль касательной к усреднённой окружности приобретает реальный физический смысл. Среднее направление этих векторов полностью определяет вращательное движение как физическое явление в целом, в отличие от классического центростремительного ускорения, которое физически является только одним из компонентов вращательного движения. Физическое центростремительное ускорение является необходимым, но не достаточным условием осуществления вращательного движения, в котором проявляется также и центробежное ускорение. Центростремительное и центробежное ускорение периодически сменяют друг друга в процессе вращательного движения в зависимости от преобладающего действия центростремительной или центробежной силы в составе результирующей силы вращательного движения.

Направленность классического центростремительного ускорения как ускорения вращательного движения непосредственно вдоль линии радиуса на центр вращения, в классической физике никак не

обосновано и **физически не доказано.** В интервале времени близком к нулю ($\Delta t=0$) классическое центростремительное ускорение превращается в виртуальную величину, направление которой характеризует только направление виртуальной внешней силы реакции ещё до установления результирующей силы. Как только внешняя сила реакции перестает быть виртуальной, направление ускорения вращательного движения, как результирующего ускорения тела, не может определяться направлением одной только внешней силы, которая является лишь одной из составляющих результирующей силы. Следовательно, реальное ускорение криволинейного движения, в том числе и ускорение равномерного вращательного движения никогда не будет направлено на центр вращения.

Направления всех физических величин в классической физике, в том числе и центростремительного ускорения, определены исключительно математическим путем как следствие достаточно условных, хотя может быть и логически правильных, но абстрактных математических приемов без малейшей связи с физикой явления. Как бы не был мал интервал времени (Δt) при определении физических величин, он не может быть меньше времени, требующегося для осуществления физических механизмов формирования динамических физических величин и, тем более, не может быть равен нулю, т.к. при этом все логические математические построения теряют всякую связь с реальными физическими явлениями. Величина классического разностного вектора с физической точки зрения никогда не равна приращению скорости по направлению даже при минимальном интервале времени дифференцирования, а его направление физически ничего общего не имеет с реальным направлением ускорения вращательного движения.

Все противоречия вращательного движения связанны с чисто математическим, условным подходом к вопросам вращательного движения. В классической физике движущееся по окружности тело рассматривается как материальная точка, а траектория её движения усредняется до геометрической окружности, без учёта реального физического механизма преобразования движения по направлению. Такой подход приводит к противоречивому с физической точки зрения математическому описанию вращательного движения. Выше подробно рассмотрены многочисленные противоречия классической модели вращательного движения, которые коротко можно обобщить в едином списке:

Во-первых: за направление линейной скорости выбрано направление по касательной к окружности, что физически в классической физике никак не обосновано. По сути дела такое направление линейной скорости просто постулируется. Далее основываясь на этом постулате, делаются все остальные заключения. Например, при уменьшении интервала времени (Δt) уменьшается угол альфа, т.к. за небольшой отрезок времени направление вектора линейной скорости изменяется незначительно, следовательно, направление разностного вектора (ΔV) приближается к направлению на центр вдоль радиуса вращения (см. О. Ф. Кабардин «ФИЗИКА», МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991 Рис.17). Такой вывод с точки зрения логики нельзя считать обоснованным. Направление разностного вектора (ΔV) будет приближаться, прежде всего, к направлению перпендикулярному **вектору линейной скорости.** И уже во вторую очередь, если условиться, что линейная скорость направлена по касательной к окружности, т.е. перпендикулярно радиусу, направление разностного вектора (ΔV) будет приближаться к направлению на центр вращения.

Учитывая, что направление линейной скорости по касательной к окружности в классической модели вращательного движения по сути дела постулируется, направление центростремительного ускорения, как ускорения вращательного движения, основанное на этом факте, также можно считать постулатом, т.е. утверждением, основанном на чисто математических допущениях без каких-либо физических обоснований.

Во-вторых: в классической модели вращательного движения разностный вектор, а вместе с ним и центростремительное ускорение могут быть направлены на центр вращения только при ($\Delta t=0$), когда какое-либо ускорение отсутствует в принципе. Таким образом, физическая сущность классического центростремительного ускорения виртуально определяется только при условиях, когда существование какого-либо ускорения невозможно в принципе, а в интервалах времени отличных от нуля ускорение направления равномерного вращательного движения определяется неоднозначно. И это притом, что центростремительное ускорение равномерного вращательного движения считается величиной постоянной и не должно зависеть от величины интервала времени, в котором оно определяется.

Пока сколь угодно малый интервал времени (Δt) отличен от нуля, т.е. при наличии реального движения реальное ускорение вращательного движения не может быть направлено на центр вращения, т.к. результирующая сила никогда не направлена непосредственно на центр вращения.

При ($\Delta t=0$) можно определить только направления отдельных внешних сил приложенных к телу, которые также не определяют однозначно направление ускорения будущего движения, т.к. в каждый

момент времени реального вращательного движения все эти силы проявляются по-разному и в разных направлениях. Однако в любом случае мгновенное направление равнодействующей всех сил и соответственно направление ускорения движения под действием этих сил в соответствии с законами физики в любой момент времени должно совпадать с направлением линейной скорости активного движения.

В-третьих: поскольку радиальное движение в существующей модели вращательного движения классической физикой отрицается, то в радиальном направлении должно существовать реальное статическое равновесие сил, которое невозможно объяснить фиктивной силой инерции. Такое равновесие может наступить, только если допустить, что на движущееся по окружности тело в направлении прямолинейного движения действует «обычная» сила, т.е. силами инерции следует считать все силы, проявляющиеся при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона (см. главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ). Однако одного только статического равновесия сил недостаточно для движения по окружности. При статическом равновесии сил в соответствии с первым законом Ньютона тело может двигаться только равномерно и прямолинейно или покоиться.

В условиях статического равновесия невозможно объяснить изменение направления линейной скорости в соответствии с изменением положения касательной в каждой точке окружности, т.е. невозможно объяснить движение по окружности.

В-четвертых: единственной силой, удерживающей вращающееся тело на одном и том же фиксированном расстоянии от центра вращения, является сила реакции связующего тела, уравновешивающая силу инерции прямолинейного движения тела. Сила реакции, направленная к центру вращения, в свою очередь, может появиться только в результате деформации связующего тела при удалении вращающегося тела от центра вращения под действием силы инерции. А для того чтобы тело неограниченно не приближалось к центру вращения после изменения направления движения в сторону центра вращения под действием силы реакции, сила реакции должна в определённый момент времени снова смениться противоположной по направлению силой инерции. Следовательно, линейная скорость, как минимум, не всегда должна быть направлена по касательной к окружности.

Для образования деформации, вызывающей изменение направления движения и для разрядки деформации после изменения направления на определенный угол вектор линейной скорости должен отклоняться от среднего равновесного положения вдоль касательной, как в ту, так и в другую сторону, в результате чего должна присутствовать радиальная составляющая движения. В отсутствии радиального движения, отсутствует и радиальная скорость, а значит, не может быть и приращения радиальной скорости, т.е. не может быть ни центростремительного, ни центробежного ускорения.

В классической модели вращательного движения, когда линейная скорость неизменно направлена по касательной к окружности, не может возникать никакого ускорения в радиальном направлении, в том числе и центростремительного ускорения.

В-пятых: периодическое изменение направления линейной скорости предполагает периодическое изменение величины и направления реального ускорения вращательного движения, которое по всем законам физики должно совпадать с реальным направлением активного движения в каждый момент времени, поскольку именно ускорение под действием вызывающей его силы определяет направление активного движения. В направлении центра вращения может осуществляться только одна из составляющих полного ускорения вращательного движения, которое формируется под воздействием результирующей силы при сложении силы реакции и силы инерции. Причём, поскольку соотношение этих сил в процессе движения по окружности постоянно изменяется, направление и величина полного ускорения, а, следовательно, и величина центростремительного и центробежного ускорений, которые являются проекцией полного ускорения на радиальное направление, не может оставаться постоянным.

В классической модели вращательного движения центростремительное ускорение, как ускорение вращательного движения, постоянно по величине и всегда направлено перпендикулярно линейной скорости, что противоречит законам физики для активного движения под действием результирующей силы, не направленной к центру вращения.

В-шестых: современная модель вращательного движения не дает физического представления, каким образом обычное **линейное** центростремительное ускорение может являться ускорением равномерного движения по окружности, поскольку классическое центростремительное ускорение не обеспечивает движение по окружности.

Траектория движения под действием внешней силы, неизменно направленной перпендикулярно линейной скорости равномерного и прямолинейного движения не только является окружностью, но и замкнутой кривой линией (см. Рис. 1.3.1).

В-седьмых: в соответствии с классической моделью во вращательном движении традиционно упоминаются только центробежная сила и центростремительное ускорение. Центростремительная сила, равно как и центробежное ускорение в классической теории вращательного движения практически не упоминаются. Либо в классической модели вращательного движения источником центростремительного ускорения является центробежная сила, что противоречит здравому смыслу и не соответствует действительности, либо необходимо признать не только существование центробежной силы и центростремительного ускорения, но и центробежного ускорения и центростремительной силы, которые в настоящий момент не вписываются в классическую модель вращательного движения.

Если признать существование центробежного ускорения под действием центробежной силы, то классическое центростремительное ускорение, как ускорение вращательного движения теряет физический смысл.

Эти противоречия не находят объяснения в классической модели вращательного движения. Классическая модель вращательного движения противоречива и условна и не объясняет ни направления линейной скорости, ни того факта, почему за направление вращательного движения принимается по сути дела направление внешнего воздействия на вращающееся тело со стороны связующего тела, как будто бы при этом не происходит никаких других физических взаимодействий. При этом остается нераскрытым и сам механизм вращательного движения.

Несколько по-иному подходит к вопросам вращательного движения Жуковский Н. Е. «Теоретическая механика» издание второе. ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА-ЛЕНИНГРАД 1952 г. При определении полного ускорения криволинейного движения Жуковский Н. Е. пользуется понятием годографа. Он доказывает теорему о том, что скорость соответственной точки годографа линейной скорости есть не что иное, как полное ускорение материальной точки, движущейся по криволинейной траектории (см. фотокопии ниже стр. 41).

Мы не совсем согласны с некоторыми деталями приведенного доказательства теоремы. Логические построения безупречны с точки зрения математики, но на наш взгляд не достаточно аргументированы с физической точки зрения. Равенство проекций на одни и те же оси само по себе вовсе не означает равенства проецируемых векторов. Для этого проецируемые вектора должны быть, как минимум одинаково ориентированы в пространстве по отношению к соответствующим осям координат, доказательства чего в теореме отсутствуют. И вообще, на наш взгляд, доказательства этой теоремы не требуется. Все и так достаточно очевидно и вытекает из определения годографа, о чем мы говорили выше. Ведь никто не пытается доказывать теорему о том, что скорость соответственной точки годографа в прямолинейном движении геометрически равна ускорению прямолинейного движения!

В прямолинейном движении это достаточно очевидно. В криволинейном движении это не столь очевидно, но суть приращения скорости криволинейного и прямолинейного движения одна и та же. Тем не менее, мы не оспариваем справедливость самого смысла теоремы, как пути определения ускорения. Это полностью совпадает с нашим представлением об ускорении вращательного движения, как о линейной скорости соответственной точки годографа. Если скорость соответственной точки годографа есть не что иное, как полное ускорение материальной точки, движущейся по криволинейной траектории, то совокупность всех точек годографа есть не что иное, как приращение скорости криволинейного движения за счет полного ускорения в течение времени (Δt).

Жуковский рассматривает общий случай криволинейного неравномерного движения, поэтому дифференцирование для определения полного ускорения оправдано, т.к. ускорение в таком случае является величиной переменной. При равномерном же вращательном движении дифференцирование лишь обнажает перечисленные нами выше противоречия. Эти противоречия не разрешены и у Жуковского. Хотя математическое выражение для полного ускорения получено Жуковским на основании понятия годографа линейной скорости, тем не менее, центростремительное ускорение, как ускорение вращательного движения по Жуковскому определяется как проекция на нормаль полного ускорения криволинейного движения без учета особенной непосредственно вращательного движения.

В случае неравномерного криволинейного движения противоречия понятия центростремительного ускорения несколько менее заметны, чем при равномерном вращательном движении. Действительно, в общем случае криволинейного движения под действием внешней силы линейная скорость может быть переменной не только по направлению, как в равномерном вращательном движении, но и по величине.

При этом наличие линейного центростремительного ускорения, как проекции на нормаль полного ускорения, не вызывает возражений, т.к. скорость движения вдоль нормали и расстояние до геометрического центра кривизны в неравномерном криволинейном движении не может не изменяться.

При равномерном вращательном движении по Жуковскому полное ускорение движения трансформируется в центростремительное ускорение. Математически все получается достаточно просто (см. ниже стр. 45 первоисточника формула (41)). При равномерном вращательном движении с классической точки зрения величина линейной скорости постоянная, следовательно, прирост скорости (dV) в формуле (41) равен нулю. Тогда полное ускорение равно центростремительному ускорению, а сила P превращается в центростремительную силу, которая уравновешена силой инерции Q. Но в таких условиях как мы показали выше центростремительное ускорение должно быть равно нулю. Кроме того, нормальная составляющая ускорения по изменению направления является только составной частью ускорения вращательного движения.

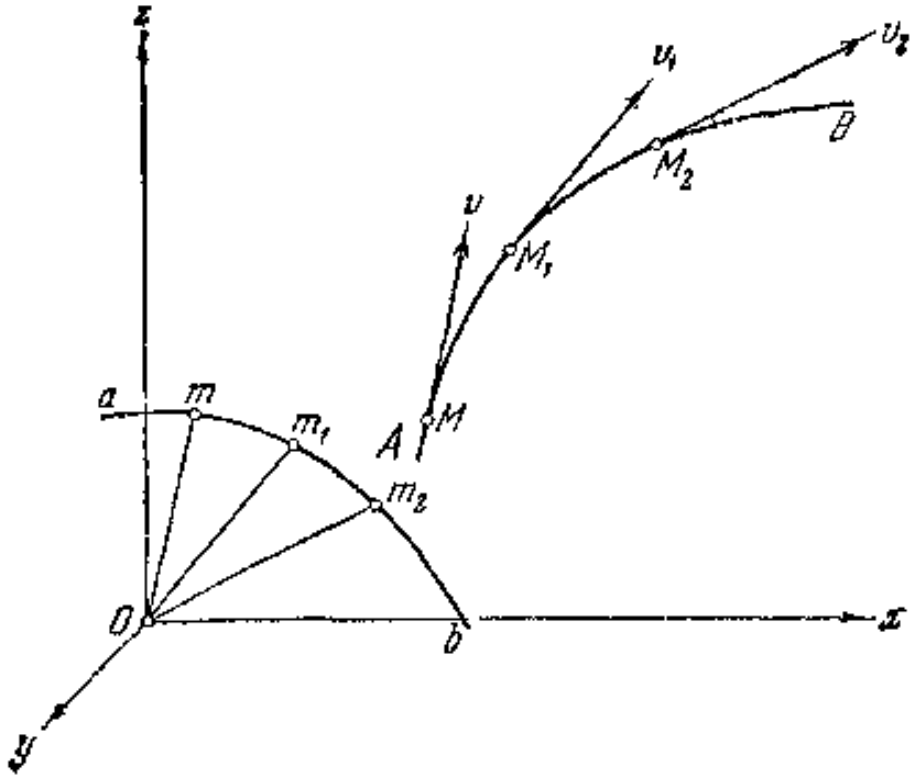
Таким образом, хотя Жуковский определяет ускорение криволинейного движения через годограф скорости, физическая сущность ускорения направления остаётся не раскрытой. В конечном итоге ускорение равномерного вращательного движения по Жуковскому сводится к классическому варианту центростремительного ускорения со всеми его неразрешенными противоречиями.

Классическая схема действия сил при равномерном вращательном движении не раскрывает механизма возникновения и направления центростремительного ускорения. Да и полное ускорение неравномерного криволинейного движения нуждается в обосновании. Жуковский не приводит объяснение, каким образом гипотетическая сила (P) обеспечивает движение по криволинейной траектории (AB). Ведь для этого необходим механизм постоянного изменения направления силы (P). У Жуковского сила (P) - академическая. По-видимому, он имел в виду силу или воздействие, которое в данном случае неважно по каким причинам заставляет тело двигаться по заданному закону. Жуковского, скорее всего, больше интересовала математическая, т.е. количественная сторона вывода формулы полного и центростремительного ускорения в данных условиях, а не физическое обоснование механизма вращательного движения.

Мы не согласны и с определением Жуковским центробежной силы как силы фиктивной. Являясь, безусловно, «компонентом предполагаемой силы инерции», центробежная сила не более фиктивная, чем гипотетическая сила (P). Ведь не только сила инерции, но и любая другая сила, в том числе и сила (P), проявляется только во взаимодействии тел. И если есть сила (P), то есть соответственно и сила инерции (Q) или центробежная сила, которая проявляется во взаимодействии с силой реакции связующего тела. Тем более что силой инерции следует считать и «обычную» силу, с которой движущееся по окружности тело воздействует на связующее тело (см. главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ).

§ 9. Годограф скорости. Для доказательства теорем, относящихся к полному ускорению, удобно пользоваться особой кривой, называемой годографом скорости. Познакомимся с нею.

Пусть по траектории AB (фиг. 21) движется некоторая точка M. Пусть скорость ее последовательно меняется по величине и направлению и принимает положения v, v_1, v_2, ... Проведем из начала



Фиг. 21.

координат O векторы Om, Om_1, Om_2, ..., геометрически равные v, v_1, v_2, ... Соединив концы этих векторов, получим ломаную линию, которая обратится в кривую, если точки M, M_1, M_2, ... взять достаточно близко. Эта кривая ab и представляет годограф скорости. Итак, *годограф скорости* есть кривая, проходящая через концы векторов, проведенных из начала, равных и параллельных скоростям движущейся точки.

Точка m на годографе, находящаяся на конце вектора v, представляющего скорость движущейся точки в положении M, называется точкой, *соответственной* точке M. Всякому положению точки на траектории соответствует точка на годографе. Нетрудно найти

уравнение годографа. В самом деле, пусть x', y', z' суть координаты точки m годографа, соответствующей точке M траектории. Эти координаты суть не что иное, как проекции скорости v на оси координат; если уравнения движения точки на траектории суть

$$x = \varphi(t), \quad y = \psi(t), \quad z = \chi(t),$$

то проекции скорости v, а следовательно, и координаты x', y', z' выразятся так:

$$x' = \varphi'(t) = \frac{dx}{dt} = v\cos\alpha,$$

$$y' = \psi'(t) = \frac{dy}{dt} = v\cos\beta,$$

$$z' = \chi'(t) = \frac{dz}{dt} = v\cos\gamma,$$

где α, β и γ суть углы v с осями координат. Исключая из трех уравнений t, получим уравнение годографа скорости.

Теорема. *Скорость соответственной точки годографа геометрически равна полному ускорению точки, движущейся по траектории.*

Пусть уравнения движения точки M (фиг. 22) суть

$$x = \varphi(t), \quad y = \psi(t), \quad z = \chi(t).$$

Тогда координаты соответственной точки m годографа суть

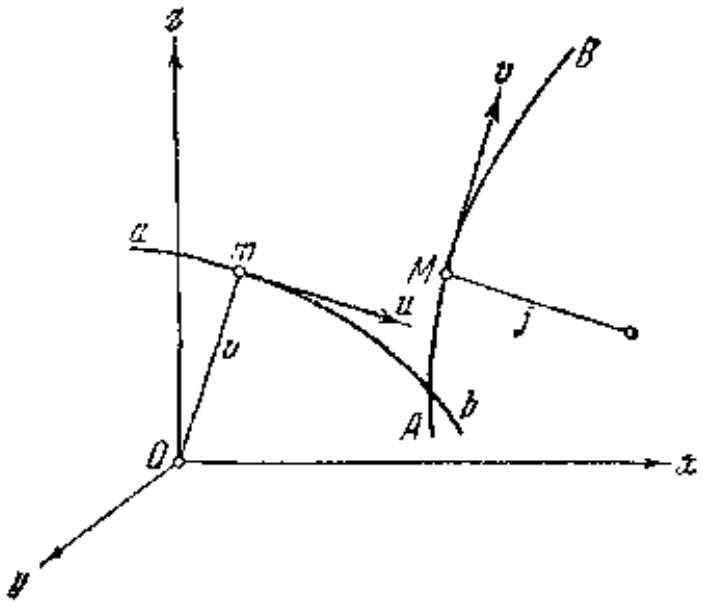
$$x' = \varphi'(t), \quad y' = \psi'(t), \quad z' = \chi'(t).$$

Обозначив через u скорость точки m, проектируем ее на оси координат:

$$\text{пр}_x u = \frac{dx'}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2},$$

$$\text{пр}_y u = \frac{dy'}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2},$$

$$\text{пр}_z u = \frac{dz'}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}.$$



Фиг. 22.

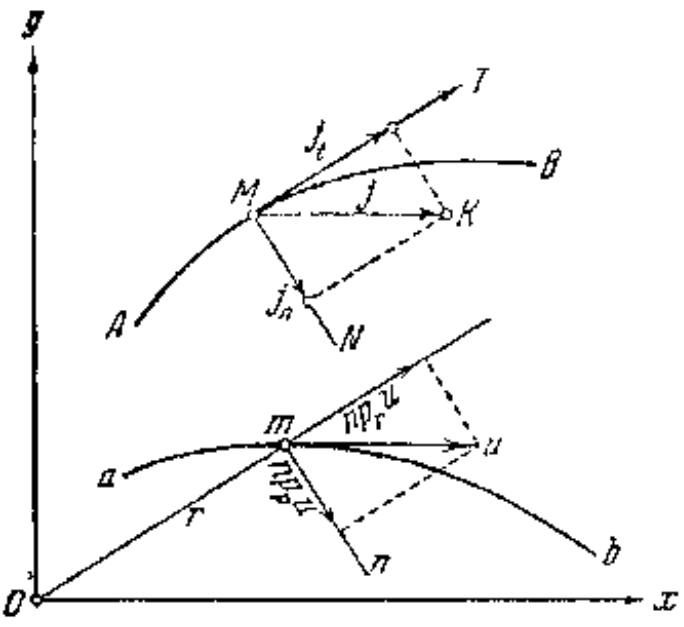
Но проекции полного ускорения j точки M на оси координат суть также $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ и $\frac{d^2z}{dt^2}$. А так как проекции на одни и те же оси равны, то и проектируемые векторы равны; следовательно:

$$u = j, \tag{38}$$

т. е. u, скорость точки m годографа, есть ускорение точки M.

§ 10. Проекции ускорения на касательную и главную нормаль к траектории. Теорема. *Проекция полного ускорения на касательную к траектории равна производной от величины скорости по времени, т. е.* $\frac{dv}{dt}$, *а проекция полного ускорения на главную нормаль к траектории равна квадрату скорости, деленному на радиус кривизны траектории данной точки, т. е.* $\frac{v^2}{\rho}$.

А) Доказательство теоремы для плоской траектории. Пусть точка движется в плоскости Oxy по траектории AB (фиг. 25). Годограф скорости для данного движения пусть есть ab. Было уже показано, что j, полное ускорение в точке M на траектории, геометрически равно u, скорости соответственной точки m на годографе, т. е. $\bar{j} = \bar{u}$.



Фиг. 25.

Проектируем полное ускорение на касательную и нормаль к траектории в точке M. Пусть эти проекции соответственно будут j_t и j_n. Проектируем также скорость u на продолжение радиуса-вектора Om, параллельного MT, и на перпендикуляр mn к нему в точке m, параллельный MN. В силу геометрического равенства $\bar{j} = \bar{u}$ имеем:

$$j_t = \text{пр}_r u,$$

т. е. проекция полного ускорения на касательную равна проекции скорости u на радиус-вектор. Но

$$\text{пр}_r u = \frac{dr}{dt} = \frac{dv}{dt};$$

отсюда

$$j_t = \frac{dv}{dt}; \tag{39}$$

j_t называется *тангенциальным* ускорением, так как направлено по касательной.

Перейдем к определению j_n. Из построения ясно, что

$$j_n = \text{пр}_p u.$$

Но

$$\text{пр}_p u = r\frac{d\varphi}{dt} = v\frac{d\varphi}{dt},$$

откуда

$$j_n = v\frac{d\varphi}{dt}.$$

Угол $d\varphi$ между направлениями двух смежных скоростей, или, что все равно, между касательными к кривой в двух смежных точках называется *углом смежности*. Из анализа известно, что отношение угла смежности $d\varphi$ к бесконечно малой дуге ds, соответствующей этому углу, есть мера кривизны кривой в данной точке, которая измеряется также и величиной $\frac{1}{\rho}$, где ρ — радиус кривизны кривой в данной точке; следовательно:

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\rho}.$$

Представим теперь j_n в таком виде:

$$j_n = v\frac{d\varphi}{ds}\frac{ds}{dt}.$$

Но $\frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\rho}$, а $\frac{ds}{dt}$ есть не что иное, как v; следовательно:

$$j_n = \frac{v^2}{\rho}. \tag{40}$$

j_n называется *центростремительным* ускорением, так как направлено всегда в сторону вогнутости кривой по направлению к центру кривизны.

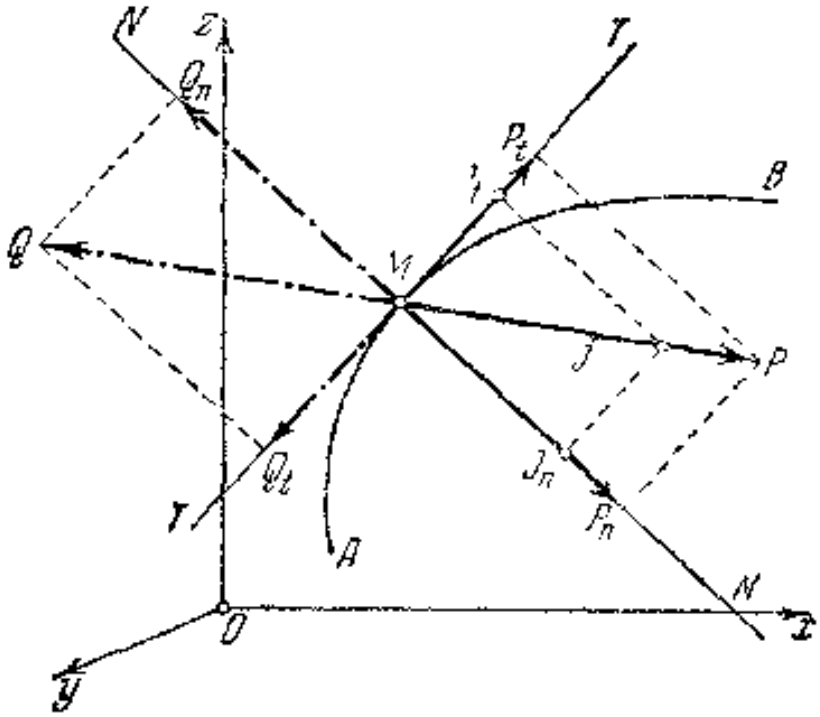
Из прямоугольного треугольника MNK имеем:

$$j = \sqrt{j_t^2 + j_n^2}.$$

Подставив сюда выведенные значения j_t и j_n, получим:

$$j = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2}. \tag{41}$$

§ 3. Центростремительная и центробежная силы. Пусть на материальную точку M (фиг. 231) массы m действует сила P, сообщая ей ускорение j. Разложим это ускорение на два: на тангенциальное $j_t = \frac{dv}{dt}$, направленное по касательной T, и на центростремительное $j_n = \frac{v^2}{\rho}$, направленное по нормали N к центру кривизны. Отложим на нормали N от точки M вектор $MP_n = mj_n$, а на касательной T от той же точки вектор $MP_t = mj_t$.



Фиг. 231.

Построив прямоугольник на этих векторах, мы увидим, что диагональ его есть $MP = mj$, откуда заключаем, что эти векторы суть два компонента силы по касательной и по нормали; из них вектор

$$P_t = mj_t = m\frac{dv}{dt} \tag{3}$$

называется *тангенциальной* силой, а вектор

$$P_n = mj_n = m\frac{v^2}{\rho} \tag{4}$$

называется нормальной или *центростремительной* силой.

Если теперь разложим силу инерции Q на два компонента — по нормали и по касательной, то получим:

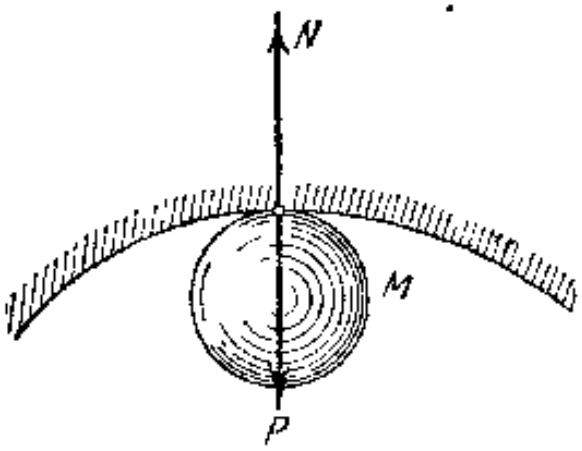
$$Q_t = -mj_t = -m\frac{dv}{dt}, \tag{5}$$

направленную по касательной обратно P_t и называемую *тангенциальной силой инерции*, и

$$Q_n = -mj_n = -m\frac{v^2}{\rho}, \tag{6}$$

направленную по нормали, от центра кривизны, и называемую *центробежной силой инерции*.

Являясь компонентом предполагаемой силы инерции, центробежная сила есть сила фиктивная; она должна быть присоединена к материальной точке, если мы хотим рассматривать вопрос о ее движении, как об относительном равновесии точки. Но в некоторых вопросах центробежная сила является и как некоторая действительная сила, — например, в вопросах об определении давления движущегося тела на препятствия, стесняющие его движение. Но в этом случае центробежная сила приложена не к материальной точке, а к тем телам, которые задерживают материальную точку на ее траектории. Если, например, некоторый шар M (фиг. 232) движется по цилиндрическому своду, описывая круг, то на него действует сила P давления свода, которая для шара есть центростремительная. Но по третьему закону динамики шар M сам давит на свод с такой же силой N, равной P. Эта сила N для шара будет центробежной силой инерции, и можно сказать, что свод находится под действием этой силы.



Фиг. 232.

Во вращательном движении не мало неразрешенных вопросов. Что такое и как образуется центробежная сила? Что такое и как образуется центростремительное ускорение в отсутствии движения к центру? Как происходит поворот вектора линейной скорости? И некоторые другие... Математика безупречная наука при операциях с числами, но физические величины это не числа, и их свойства не зависят от математических приемов. Мы согласны, что в современной физике без математики не обойтись, но физические величины должны быть, прежде всего, обоснованы физически и только после этого описаны математически. Иначе это будет не физика, а «занимательная математика».

Математическая физика, в которой суть физических явлений определяется лишь по результатам строго логических, но абстрактных математических преобразований, несколько отличается от собственно физики. Теории, построенные на основе математической физики далеки от реальной физики, и все больше подвергаются критике современной науки. Пример такой теории – знаменитая теория относительности ОТО и СТО Эйнштейна, а также квантовая механика. По нашему мнению полученные в таких теориях правильные математические соотношения это беда современной физики, потому что они создают иллюзию правильности тупиковых с точки зрения физики теорий.

Мы не хотим подвергать ревизии математическую составляющую теории вращательного движения. Все физические величины и соотношения теории вращения, выраженные в формулах, количественно верны, кроме ускорения Кориолиса, по нашему мнению, о чем пойдёт речь ниже. Мы хотели бы в меру своих возможностей уточнить физический смысл явления, в том числе: направления вектора линейной скорости и направления реального ускорения вращательного движения. Это может внести ясность в решение многих прикладных задач, связанных с вращением.

В современной модели вращательного движения классическое понятие центростремительного ускорения не обосновано физически и не раскрывает механизм вращательного движения. По-видимому, противоречивость основных понятий вращательного движения в академической науке вызвано тем, **что движение материальных тел рассматривается как движение материальной точки в отрыве от**

реальных физических процессов, протекающих в реальных телах при их взаимодействии. Наша точка зрения на **примерный механизм** преобразования прямолинейного движения во вращательное, которое является элементом любого криволинейного движения, а так же на механизм возникновения центробежной силы пояснена ниже (см. Рис. 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3) в разделе 1.4. МЕХАНИЗМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ.

1.4. МЕХАНИЗМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ.

Для образования вращательного движения тело должно иметь инерцию прямолинейного движения. Необходимо разогнать покоящееся тело (В) до какой-то скорости прямолинейного движения (Vп), которая в дальнейшем в процессе преобразования прямолинейного движения во вращательное движение приобретет значение линейной скорости вращения (Vл). Движущееся прямолинейно тело соединим связующим телом с центром вращения. Пусть центр вращения зафиксирован в пространстве, чтобы не смешивать при рассмотрении вращательного движения непосредственно вращение и прямолинейное движение. В противном случае тело получит оба вида движения.

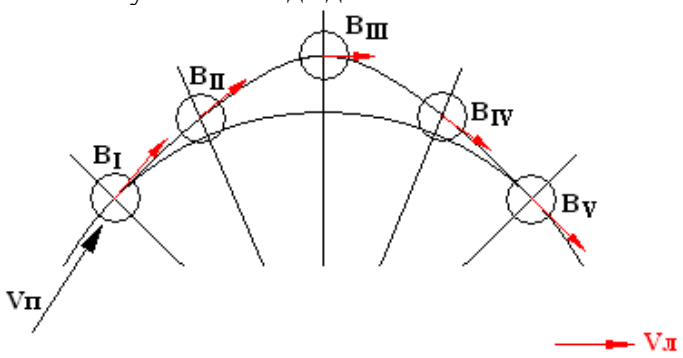


Рис. 1.4.1

На Рис. 1.4.1 условно изображены пять фаз процесса изменения направления движения тела (В) во вращательном движении: начало цикла преобразования, середина цикла преобразования, окончание цикла преобразования и по одной фазе в каждом полуцикле преобразования движения. Фазы обозначены римскими цифрами (I,II,III,IV,V). В первой фазе происходит «захват» движущегося прямолинейно тела (В) со скоростью прямолинейного движения (Vп) связующим телом. В этот момент инерция движения максимальна, а сила реакции минимальна. В фазах с первой по третью расстояния (А) и (С) увеличиваются (см. Рис. 1.2, 1.3), т.к. тело удаляется от центра будущего вращения. Поскольку тело имеет некоторую протяженность в направлении линейной скорости, то расстояния (А) и (С) от центра вращения до крайних точек тела расположенных на линии движения всегда разные. Причем расстояние (С) всегда больше расстояния (А). Следовательно, передняя по ходу движения часть области сопряжения растягивается сильнее, чем задняя, что соответствует изгибу. Таким образом, в связующем теле постепенно накапливается упругая деформация двух видов. Это растянутая деформация, образующаяся за счет общего удлинения связующего тела и изгибная деформация, образующаяся за счет разницы расстояний (А) и (С).

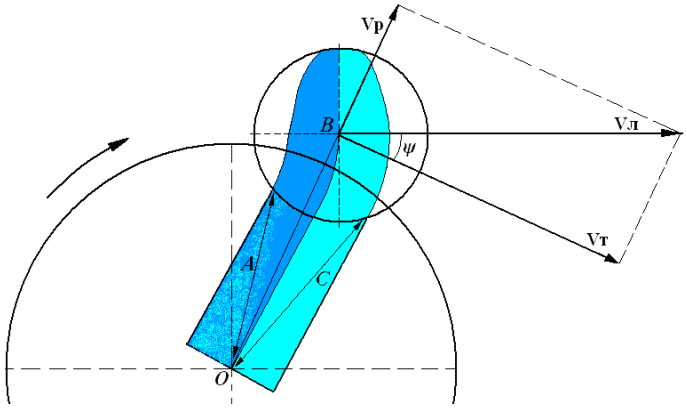


Рис. 1.4.2

Растянутая деформация распределяется равномерно по всей длине связующего тела. Изгибная деформация накапливается в основном непосредственно в области сопряжения тела со связующим телом, т.е. сосредотачивается преимущественно в некотором ограниченном объеме. Границы деформации условно обозначены на рисунке 1.4.2. В левой части области деформации (синий цвет) накапливается «малое» растяжение, в то время как, в правой части (голубой цвет) – большее растяжение. Движение в радиальном направлении происходит в условиях нарастающего противодействия силы упругости. Для того чтобы в этих условиях продолжалось радиальное движение, должен осуществляться опережающий прирост силы инерции в радиальном направлении (о силах инерции см. главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ

ИНЕРЦИИ), что обеспечивает не просто инерционное движении в радиальном направлении в сторону от центра вращения, а ускоренное радиальное движение. Опережающий прирост силы инерции в радиальном направлении может осуществляться только за счет непрерывного увеличения проекции скорости движения на радиальное направление, несмотря на уменьшение линейной скорости по величине, что обеспечивается ростом угла (ψ) в процессе образования изгибной деформации.

Таким образом, на этапе накопления деформации в фазах с первой по третью проявляется центробежное ускорение. Однако по мере роста силы упругости скорость нарастания деформации снижается. Кроме того, удаление тела от центра вращения и увеличение угла (ψ) приводит к уменьшению скорости прироста разницы расстояний (А) и (С), что кроме упругого противодействия движению тела в направлении линейной скорости способствует дополнительному снижению изгибающего момента и уменьшению прироста изгибной деформации. В третьей фазе заканчивается процесс накопления деформации. Угол (ψ) и радиальная составляющая линейной скорости перестают увеличиваться. Сила реакции достигает своего максимального значения, а сила инерции минимальна. На фоне ослабевания изгибающего момента резко возрастает разгибающий момент, который запускает общую разрядку деформации. Начинается обратный процесс – линейная скорость увеличивается под действием силы упругости, а угол (ψ) уменьшается, что приводит к проявлению центростремительного ускорения. В пятой фазе сила инерции вновь приобретает максимальное значение, в то время как сила реакции вновь становиться минимальной. После этого весь процесс полностью повторяется.

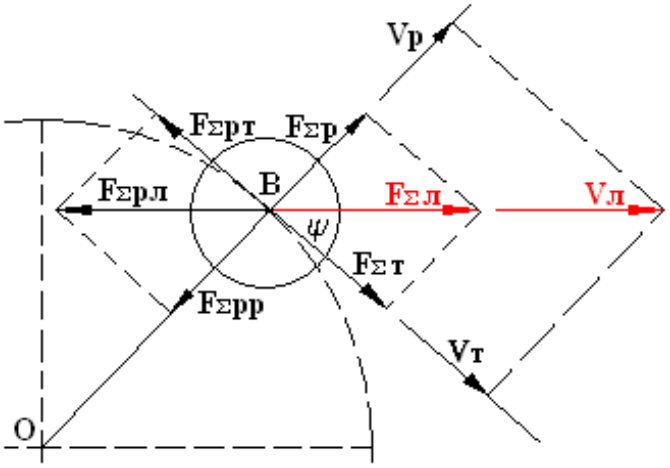


Рис. 1.4.3

Центробежная и центростремительная силы, вызывающие соответствующие ускорения, это не самостоятельные силы. Это всего лишь радиальные составляющие результирующей или суммарной линейной силы ($F_{\sum}$л), являющейся геометрической суммой силы инерции и силы реакции в период накопления и в период разрядки деформации соответственно. На Рис. 1.4.3 схематично показано образование центробежной силы ($F_{\sum}$р) и центростремительной силы реакции ($F\sum$рр) в момент их статического равновесия при максимальном удалении вращающегося тела от центра вращения. Более подробно образование результирующей силы, проекцией которой является центростремительная и центробежная сила описано в разделе 1.2. ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ.

За счет силы реакции связующего тела происходит торможение тела, как в радиальном направлении ($F_{\sum}$рр), так и в тангенциальном направлении ($F_{\sum}$рт). При этом общее сопротивление движению тела оказывает суммарная сила реакции линейная ($F_{\sum}$рл). Через определенный промежуток времени суммарная сила реакции ($F_{\sum}$рл) должна полностью скомпенсировать результирующую силу ($F_{\sum}$л), проявляющуюся в направлении вектора линейной скорости (Vл). Однако в период разрядки деформации результирующая сила вновь восстанавливается до прежней величины, т.к. после изменения направления вектора линейной скорости (Vл) торможение сменяется разгоном тела.

Как мы уже отмечали, механизм работы сил упругости при вращении аналогичен механизму отражения движущегося прямолинейно тела от отражающей поверхности с учетом особенностей вращательного движения. При взаимодействии с отражающей поверхностью сила упругости противодействует, прежде всего, перпендикулярной к плоскости отражающей поверхности составляющей скорости движения тела. Когда перпендикулярная скорость полностью скомпенсирована силой упругости отражающей поверхности, происходит «короткое скольжение тела вдоль поверхности», которое провоцирует высвобождение энергии деформации. Сила упругости сообщает телу перпендикулярную скорость в обратном направлении, которая складывается с оставшейся неизменной продольной скоростью. При этом результирующая скорость возрастает до первоначальной величины, но уже в новом

направлении. Наконец, после полной разрядки деформации тело отделяется от отражающей поверхности и продолжает движение в новом направлении с прежней по величине скоростью.

Это, конечно же, упрощённое, схематичное представление физического механизма отражения. Фактически никакого продольного скольжения без трения при взаимодействии тела с отражающей поверхностью быть не может. Скорее всего, при взаимодействии тела с отражающей поверхностью образуются определённые зоны деформации, в том числе и изгибной, которые за счёт силы упругости сообщают телу ускорение и движение в направлениях, соответствующих описанной выше схеме. Подробно останавливаться на этом здесь нет необходимости. Уяснив механизм вращательного движения, можно прояснить в деталях и механизм отражения.

Во вращательном движении роль перпендикулярной составляющей скорости движения к поверхности отражения играет радиальная составляющая скорости тела (Vp). Но в отличие от однократного «отражения», где перпендикулярная составляющая скорости тела постоянна и обусловлена первоначальным взаимным угловым расположением вектора скорости и отражающей поверхности, радиальная составляющая скорости тела в каждый момент времени разная и по величине и по угловому положению относительно вектора линейной скорости.

В период накопления деформации с увеличением угла (ψ) радиальная составляющая скорости движения тела увеличивается, т.к. увеличивается проекция скорости движения тела на геометрический радиус вращения, причём каждый раз в новом направлении текущей результирующей линейной скорости движения. Происходит, как мы уже отмечали, опережающий рост инерции движения тела в радиальном направлении. Поэтому полная компенсация радиальной составляющей во вращательном движении невозможна, до тех пор, пока не скомпенсирована вся кинетическая энергия движения тела, как источник, подпитывающий силу инерции. В отличие от обычного отражения, в котором перпендикулярная составляющая скорости движения в течение всего процесса отражения не получает дополнительной подпитки за счет общей кинетической энергии тела и является величиной постоянной, т.к. угол падения и угол отражения не изменяются.

За счёт изгибной деформации происходит поэтапная компенсация радиальной составляющей скорости движения в каждом текущем направлении, которое изменяется в соответствии с изгибом оси связующего тела. В каждом новом направлении линейной скорости результирующего движения радиальная составляющая движения увеличивается, за счёт изменения углового положения вектора линейной скорости по отношению к радиусу. Чем больше угол (ψ) и меньше угол между вектором линейной скорости и радиусом, тем больше радиальная составляющая движения. Поэтому полная компенсация радиальной составляющей возможна только после прекращения подпитки радиального движения за счет общей кинетической энергии движения тела при изменении угла изгиба связующего тела.

Это может случиться только в двух случаях. Либо при прекращении увеличении угла (ψ), либо при полной компенсации инерции движения тела за счёт силы упругости растянутой и изгибной деформации, т.е. при полной остановке движения. Если угол между геометрическим радиусом и скоростью движения тела будет постоянно увеличиваться, то скорость движения тела может быть полностью скомпенсирована силой упругости растянутой и изгибной деформации, т.к. все большая часть скорости движения тела будет скомпенсирована в виде текущей радиальной составляющей. Это сделает невозможным вращательное движение. Однако во вращательном движении полной компенсации инерции движения тела не происходит, т.к. изгибная деформация оказывается остановленной значительно раньше этого момента.

С увеличением изгиба одновременно возрастает центробежная сила (F∑p), создающая вращающий момент, плечом которого является перпендикуляр, восстановленный из центра масс тела на радиальную линию, связывающую геометрический центр вращения и центр изгиба. С увеличением изгиба плечо действия центробежной силы также увеличивается, а, следовательно, возрастает и вращающий момент центробежной силы. Вращающий момент центробежной силы (F∑p) направлен противоположно изгибающему моменту. Таким образом, увеличивающаяся с ростом угла (ψ) инерция радиального движения начинает препятствовать росту изгибной деформации. К тому же с увеличением угла (ψ) снижается рост изгибающего момента, т.к. уменьшается прирост разности расстояний (A) и (C).

В конце концов, возрастающий разгибающий момент силы упругости сначала сравнивается по величине с уменьшающимся изгибающим моментом силы инерции, а затем превышает его, что приводит к разрядке изгибной деформации. Разрядка изгибной деформации начинается в середине III фазы и является своего рода «спусковым крючком» для общей разрядки деформации. При разрядке деформации с уменьшением угла (ψ) начинается движение тела центру вращения. В V фазе в конце цикла разрядки деформации угол (ψ) вновь становится равным нулю, как и в начале цикла накопления деформации в первой фазе.

Накопление упругой деформации происходит на разных направлениях в соответствии с изгибом связующего тела. Соответственно и высвобождение силы упругости накопленной деформации, спровоцированное разгибающим моментом, происходит последовательно во всех направлениях, которые занимали вектор результирующий или суммарной линейной силы (F∑л) и вектор скорости движения тела (Vл) в период формирования деформации. Таким образом, структура накопленной деформации обеспечивает эффект «веера отражений», т.е. каждое «отражение» осуществляется в новом направлении, все более приближающемся к касательной. При этом линейная скорость тела увеличивается за счет силы упругости связующего тела. Инерция движения становится максимальной, а сила реакции минимальной. С возрастанием инерции движения в направлении близком к касательной тело вновь начинает удаляться от центра вращения. Далее весь процесс преобразования движения по направлению повторяется.

Образование установившегося вращательного движения во многом определяется жесткостью связующего тела. Если жесткость связующего тела будет недостаточной, то при радиальном удалении тела от центра вращения будет преобладать растянутая деформация связующего тела. В этом случае поворот движения в сторону центра вращения происходит только после того как значительная часть инерции первоначального прямолинейного движения оказывается скомпенсированной виде радиальной составляющей движения за счёт силы упругости растянутой деформации. Большая часть инерции движения тела перейдёт в потенциальную энергию растянутой деформации. При этом в точке поворота инерция движения и соответственно линейная скорость уменьшатся до величины, недостаточной для удержания тела за счет центробежной силы на круговой траектории с радиусом вращения равным достигнутому удалению тела от центра вращения.

Под действием силы упругости растянутой деформации, вобравшей в себя большую часть кинетической энергии движения тела начнется движение к центру вращения по криволинейной траектории значительно отличающейся от круговой. Причём если в точке поворота инерция движения тела будет полностью скомпенсирована, траектория движения будет близка к прямой линии, проходящей в непосредственной близости к центру вращения. Вместо движения по окружности получится беспорядочное колебательное движение относительно центра вращения по произвольной траектории до полного затухания колебаний. Если же связующее тело имеет достаточную начальную жесткость, разрядка изгибной деформации и соответственно поворот скорости движения тела в сторону центра произойдёт при достаточно большом значении инерции движения. При этом центробежная сила, проявляющаяся в процессе реализации механизма вращательного движения, обеспечит удержание тела на усреднённой круговой траектории с достигнутым средним радиусом вращения, уравновешивая силу реакции.

Благодаря своевременному изменению направления под действием изгибной деформации, к моменту достижения вектором линейной скорости (Vл) положения касательной, тело приобретает инерцию движения, достаточную для преодоления текущей силы упругости растянутой деформации связующего тела. По этой причине растянутая деформация во вращательном движении разряжается не полностью. Часть кинетической энергии движения тела с первоначальной скоростью (Vп) переходит в потенциальную энергию **остаточной деформации**, которая и определяет жесткость связующего тела, необходимую для преобразования прямолинейного движения со скоростью (Vп) во вращательное движение на достигнутом радиусе вращения с линейной скоростью (Vл). При этом значение линейной скорости установившегося вращательного движения (Vл) в фазе (V) будет несколько меньше первоначальной скорости тела (Vп).

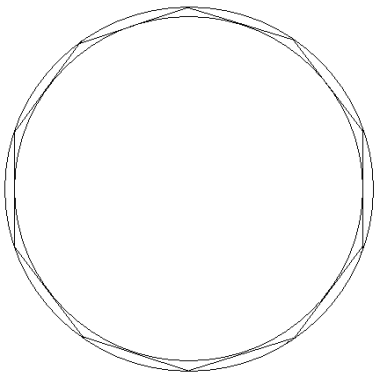


Рис. 1.5

Как мы уже отмечали выше, процесс накопления деформации сопровождается продвижением тела в текущем направлении линейной скорости. При этом линейная скорость всегда имеет проекцию на касательную к некоторой усредненной круговой траектории. При разрядке деформации, тело также движется в направлении линейной скорости, которая также имеет проекцию на касательную к усредненной окружности. **Таким образом, общее направление движения тела будет осуществляться по усредненной круговой траектории.** Усредненная траектория вращательного движения заключена между двумя окружностями с минимальным и максимальным радиусом вращения, которые определяются максимальным и минимальным удлинением связующего тела в установившемся

вращательном движении (см. рис. 1.5). При этом реальная траектория движения тела, конечно же, будет отличаться от идеальной окружности.

Существуют две основные причины, по которым, на наш взгляд, ускорение вращательного движения в классической физике ассоциируют именно с линейным центростремительным ускорением, направленным на центр вращения.

Во-первых: во вращательном движении происходит отклонение траектории прямолинейного движения тела в сторону центра вращения.

Однако отклонение в сторону центра вращения ещё не означает движения непосредственно на центр вращения. Физическое центростремительное ускорение, как было установлено выше, действительно проявляется во вращательном движении. Однако центростремительное ускорение периодически сменяется таким же по величине центробежным ускорением. Таким образом, радиальное ускорение вращательного движения с одинаковыми основаниями можно считать как центростремительным, так и центробежным ускорением. В классической модели вращательного движения за направление ускорения принимается по сути дела одно из равноправных радиальных направлений, в котором проявляется реальное ускорение вращательного движения. Это является одним из противоречий классической модели вращательного движения.

Направление к центру вращения центростремительного ускорения, как **ускорения вращательного движения не имеет физического смысла**. В направлении центра вращения проявляется лишь проекция реального ускорения вращательного движения, причём только в период разрядки упругой деформации связующего тела. В период образования упругой деформации, т.е. в период инерционного удаления тела от центра вращения проявляется центробежное ускорение. Активная сила упругости связующего тела, безусловно, является одной из причин изменения направления прямолинейного инерционного движения. Однако полное мгновенное ускорение вращательного движения проявляется в направлении результирующей силы, которая складывается из активной силы упругости связующего тела и силы инерции прямолинейного инерционного движения. Мгновенное направление ускорения направления совпадает с мгновенным направлением вектора линейной скорости.

Во-вторых: ускорение направления ассоциируют с центростремительным ускорением в связи с перегрузкой, возникающей при движении тела по круговой траектории и совпадающей по направлению с центробежной силой инерции.

Перегрузка это нарушение внутреннего равновесного состояния физических тел под воздействием внешней силы и силы инерции на молекулярном уровне и выше. Количественную оценку перегрузки в современной физике связывают с ускорением, за счет которого происходит нарушение внутреннего равновесного состояния физических тел. Однако если элементарные носители массы физического тела под воздействием внешней силы одновременно приобретают одинаковые ускорения в одном и том же направлении, то для физического тела в целом перегрузка отсутствует. В этом случае осуществляется по сути дела безинерционное движение. При этом если предположить, что сами элементарные носители массы имеют сложную структуру, т.е. в свою очередь состоят из элементарных носителей массы второго порядка, то для каждой элементарной массы первого порядка с учетом силы инерции перегрузка должна реально существовать, если элементарные носители массы приходят в движение не синхронно.

Таким образом, теоретически любое неуравновешенное физическое воздействие на материальные образования, имеющие сложную структуру, элементарные массы которых под воздействием внешней силы за счет явления инерции ускоряются не синхронно, должны сопровождаться перегрузкой. Поскольку на сегодняшний день вопрос о первокирпичиках материи и о количестве уровней деления материи в современной физике является открытым, ограничимся рассмотрением явления перегрузки во вращательном движении только на уровне условных элементарных носителей масс первого порядка, условно считая элементарные массы первого порядка неделимыми первокирпичиками материи.

Для того чтобы разрешить противоречия связанные с понятием перегрузки во вращательном движении, направленной, как принято считать в современной физике, в направлении вектора фиктивной центробежной силы инерции и ускорением направления, которое по нашему мнению совпадает с направлением вектора линейной скорости вращательного движения, следует непротиворечиво ответить на два основных вопроса:

Во-первых, почему отсутствует перегрузка вдоль линии окружности (тангенциальная перегрузка), если ускорение направления совпадает с направлением вектора линейной скорости?

Во-вторых, почему при проявлении равных по абсолютной величине и по времени действия центростремительного и центробежного ускорения в каждом цикле вращательного движения перегрузка во вращательном движении всегда направлена в сторону вектора фиктивной с точки зрения современной физики центробежной силы инерции.

В небесной механике сила тяготения, и сила инерции воздействуют на физическое тело только на уровне элементарных носителей массы. Поэтому независимо от преобладания в составе результирующей силы в каждый текущий момент времени либо силы инерции, либо силы тяготения любые изменения линейной скорости элементарных носителей массы, как по величине, так и по направлению происходят синхронно. При этом нарушения внутренней структуры физического тела не происходит, что эквивалентно отсутствию перегрузки, как в радиальном, так и в тангенциальном направлении. В жестко связанном механическом вращении на уровне элементарных носителей массы проявляется только сила инерции. Сила упругости связующего тела воздействует на вращающееся физическое тело посредством внешних механических связей между элементарными носителями массы, что приводит к внутренним деформациям физического тела. Однако к перегрузке приводят только существенные изменения внутренней структуры физического тела на молекулярном уровне. При кратковременных колебаниях внешней силы даже значительной величины, при которых взаимодействие элементарных носителей массы не выходит за некоторые ограниченные пределы межмолекулярных связей перегрузка для физического тела в целом может не обнаруживаться.

Единственным фактором, существенно нарушающим внутреннее равновесное состояние физического тела, движущегося по окружности за счет жесткой механической связи с центром вращения, является обусловленная остаточной деформацией связующего тела постоянная составляющая силы упругости, которая уравновешена постоянной составляющей силы инерции. Таким образом, в радиальном направлении на движущееся по окружности тело в обычном масштабе времени действует «статическая» сдавливающая или растягивающая сила, которая и воспринимается как перегрузка. Под действием статической сдавливающей или растягивающей силы молекулярные связи внутри физического тела напрягаются, что увеличивает их жесткость. Поэтому на общем фоне статической нагрузки кратковременная динамическая перегрузка, как в радиальном, так и в тангенциальном направлении, которая к тому же осуществляется циклически во встречно противоположных направлениях каждая, может быть практически ненаблюдаемой. При этом за счет жесткости напряженных межмолекулярных связей силовое воздействие успевает распространиться на все физическое тело. Кстати, эквивалентность статической нагрузки реальной динамической перегрузке свидетельствует о реальности силы инерции вообще и центробежной силы инерции в частности.

Постоянная составляющая силы упругости остаточной деформации связующего тела и силы инерции вращающегося тела представляет собой некоторый условный уровень, относительно которого происходит колебания максимального значения этих величин. В реальности сила упругости связующего тела и сила инерции вращающегося тела являются переменными величинами. Однако в соответствии с общей кинематикой вращательного движения радиальное движение вращающегося тела отсутствует, что свидетельствует об общем статическом характере проявления центробежной силы инерции. В уменьшенном масштабе времени в соответствии с механизмом преобразования движения по направлению радиальные ускорения являются проекцией ускоренного линейного движения, осуществляющегося под действием изменяющейся, как по величине, так и по направлению результирующей силы вращательного движения на радиальное направление. При этом деформация внутренней структуры физического тела в радиальном направлении не разряжается ниже какого-то определенного уровня, что также позволяет ассоциировать радиальную перегрузку со статической нагрузкой.

Структура статической деформации вращающегося тела полностью определяется только силой упругости связующего тела, т.к. центробежная сила инерции синхронно воздействует на каждую элементарную массу физического тела. Поэтому независимо от направления радиального ускорения в каждый текущий момент времени структура статической перегрузки соответствует структуре динамической перегрузки, возникающей при ускоренном движении к центру вращения, т.е. перегрузке направленной в сторону противоположную центру вращения. Однако это не значит, что вращательное движение определяется только центростремительной силой упругости связующего тела. В небесной механике перегрузка отсутствует во всех направлениях проявления результирующей силы вращательного движения. При этом не наблюдаемость реально действующих на вращающееся тело силы тяготения и центробежной силы инерции объясняется их синхронным воздействием на каждую элементарную массу вращающегося тела. В связанном вращении по этой же причине не наблюдается только центробежная сила

инерции, что вовсе не означает ее отсутствия или фиктивности, точно так же как присутствует ненаблюдаемые сила тяготения и сила инерции во вращательном движении в небесной механике.

Динамическая перегрузка в тангенциальном направлении в связанном вращении не приводит к накоплению структурных изменений, т.к. проявляется дважды за период во взаимно противоположных направлениях при уже установившейся жесткости вращающегося тела. При этом, как отмечалось выше, на фоне общего статического напряжения межмолекулярных связей физического тела очень кратковременная тангенциальная динамическая перегрузка может быть ненаблюдаемой. Таким образом, во вращательном движении, в котором вращающееся тело жестко связано с центром вращения связующим телом реально наблюдается только статическая перегрузка, направленная от центра вращения в отсутствие суммарного радиального движения. Точно так же, например, существует сила тяжести в поле тяготения Земли, количественно характеризующаяся ускорением свободного падения в отсутствии какого-либо реального движения в сторону центра Земли, когда тело покоится на неподвижной в радиальном направлении опоре. Совершенно очевидно, что никакого реального физического ускорения в направлении центра Земли покоящееся на опоре тело при этом не испытывает, однако считается, что на тело, тем не менее, действует перегрузка в 1g. И наоборот при свободном падении в поле тяготения любое материальное тело не испытывает ни малейших перегрузок, хотя движется ускоренно, точно так же как и вращающиеся тела в небесной механике, что делает такие движения сопоставимыми с инерционным движением.

Таким образом, обязательным условием отсутствия перегрузки во вращательном движении является соответствие амплитуды и периода колебаний элементарных масс условию внутреннего равновесного состояния тел и синхронное воздействие сил на каждый элемент массы. Эти условия являются общими для любого вращательного движения, в том числе и для движения по окружности физических тел, связанных с центром вращения жесткой механической связью. Если условие синхронности действия сил на элементарные массы, не выполняется или величина амплитуды и периода колебаний элементарных масс не соответствует условию внутреннего равновесного состояния движущегося по окружности тела, то во всех направлениях, противоположных такому воздействию должна возникать перегрузка. При движении по окружности физического тела жестко связанного с центром вращения радиальная перегрузка, как раз и обусловлена только силой упругости связующего тела, которая воздействует на вращающееся тело посредством его внутренних связей, что приводит к нарушению внутренней структуры вращающегося тела. Поэтому вращающееся тело испытывает только центробежную перегрузку. В силу ненаблюдаемости динамической перегрузки во вращательном движении классическая центробежная перегрузка должна быть несколько меньше реальной средней по абсолютной величине силы, задействованной в преобразовании движения по направлению, которая количественно рассчитывается как произведение массы на ускорение направления.

В-третьих: ускорение направления ассоциируют с центростремительным ускорением по следующей причине.

Чем меньше интервал времени (Δt) тем меньше отличается мгновенное направление центростремительного ускорения, как обобщённого ускорения вращательного движения от мгновенного направления линейного физического центростремительного ускорения, т.к. для установления результирующей силы требуется определенное время. Возможно, это и является одной из причин, по которой в классической физике за направление ускорения вращательного движения принимается направление внешнего воздействия со стороны силы упругости. Ведь в классической физике ускорение вращательного движения рассматривается именно за бесконечно малый интервал времени от воображаемого начала движения по окружности, в течение которого, однако, механизм реального движения по окружности не может быть реализован.

В отношении механизма образования вращательного движения наша точка зрения в некоторой мере пересекается с точкой зрения, представленной в «Элементарном учебнике физики» под редакцией академика Г. С. Ландсберга на странице 227, параграфа 117 «Возникновение силы, действующей на тело, движущееся по окружности» (М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004). Мы приводим фотокопию страницы 227 из этой работы.

В первый момент после начала движения сила со стороны нити на грузик не действует — резина не растянута. Поэтому он начнет двигаться прямолинейно и расстояние между ним и точкой O будет увеличиваться (расстояние OA больше, чем расстояние OA_0), резина начнет растягиваться, в результате чего появится сила, действующая

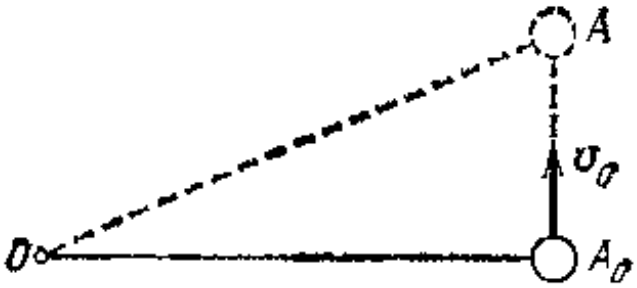


Рис. 184. В первый момент после толчка грузик движется по прямой A_0A и его расстояние от точки O увеличивается

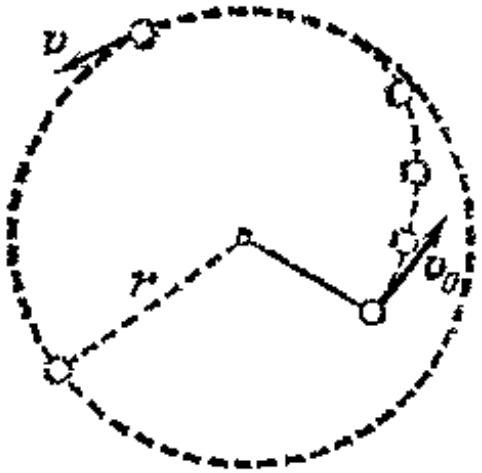


Рис. 185. Движение грузика после начального толчка

на грузик со стороны нити, он получит ускорение, направленное к точке O, и его траектория начнет искривляться.

Однако пока нить мало растянута, это искривление траектории будет недостаточным для того, чтобы грузик двигался по окружности, и он будет продолжать удаляться от точки O, увеличивая растяжение нити, а значит, и силу, действующую на грузик (рис. 185). В результате кривизна траектории будет продолжать увеличиваться, пока траектория не превратится в окружность. Тогда нить перестанет растягиваться. Следовательно, установится как раз такое растяжение нити, при котором она будет действовать на грузик с силой упругости, сообщающей ему ускорение, необходимое для равномерного движения по окружности, радиус которой равен длине растянувшейся нити. Эта сила, как мы знаем (см. формулу (116.1)), должна быть равна mv^2/r, где m — масса грузика, v — его скорость и r — радиус траектории. Если нить жесткая или если вместо нити взять стержень, то практически растяжение, создающее требуемую силу, будет очень мало и в качестве r можно взять длину нерастянутой нити или исходную длину стержня, а за установившуюся скорость принять начальную скорость v_0.

В целом мы согласны с описанием начального этапа растягивания резиновой нити, но с некоторыми оговорками. **Установившегося, т.е. статического равновесия при вращательном движении по нашему мнению нет и быть не может**, поскольку в результате изменения направления движения проявляются дестабилизирующие динамически изменяющиеся силы инерции и силы упругости под действием, которых это равновесие периодически нарушается. Поэтому статическое положение равновесия во вращательном движении может длиться лишь короткое мгновение. Объяснения Ландсберга в этом отношении довольно обтекаемы. Он всячески избегает употребления термина равновесие и по отношению к грузику, и по отношению к нити, и по отношению к математической точке, в которой оказывается грузик после прекращения растягивания нити:

«Однако пока нить мало растянута, это искривление траектории будет недостаточным для того, чтобы грузик двигался по окружности, и он будет продолжать удаляться от точки О, увеличивая растяжение нити, а значит, и силу, действующую на грузик (рис. 185). В результате кривизна траектории будет продолжать увеличиваться, пока траектория не превратится в окружность. Тогда нить перестанет растягиваться. Следовательно, установится как раз такое растяжение нити, при котором она будет действовать на грузик с силой упругости, сообщающей ему ускорение, необходимое для равномерного движения по окружности, радиус которой равен длине растянувшейся нити».

Ландсберг строго придерживается классической математической модели, в соответствии с которой сила инерции является фиктивной силой, хотя, казалось бы, пытается дать именно физическое объяснение механизма образования вращательного движения, поэтому его объяснение выглядит довольно абсурдным. Из его объяснений следует, что растяжение нити увеличивается каким-то непонятным гипотетическим образом, да еще увеличивая при этом *«…и силу, действующую на грузик»,* как будто бы грузик и закрепленная на нем нить удаляются от центра вращения, преодолевая сопротивление нити, сами по себе в отсутствие каких-либо сил. Однако реальная сила упругости, которую в этом движении приходится преодолевать грузику, не испытывающему никаких внешних сил, поскольку сила инерции считается фиктивной, непрерывно увеличивается!

Правда, если для грузика сила инерции является фиктивной, то для нити эта же самая сила считается вполне реальной. С учетом этого получается, что нить должна удлиняться под действием силы, действующей на нее со стороны грузика, а грузик при этом является только пассивным «топливным баком», который питает это движение энергией. Таким образом, энергетическая составляющая этого процесса в описании Ландсберга вроде бы проглядывается, но совершенно отсутствует описание «силовой установки» движения нити и грузика, т.е. механизма передачи энергии движения. Остается непонятным за счет, каких сил поддерживается движение самого грузика и откуда в каждой точке пространства, в котором оказывается грузик и конец нити, берутся силы, действующие на нить, если для грузика, эти силы являются фиктивными. Этот парадокс разрешим только в том случае, если силами инерции считать все силы, проявляющиеся при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона (см. главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ).

В реальной действительности необходимо учитывать, что до тех пор, пока не израсходован запас кинетической энергии движения грузика в соответствии с описанным выше механизмом за счет увеличения угла изгибной деформации «обычная» сила, действующая на нить со стороны грузика, т.е. сила инерции грузика постоянно увеличивается, компенсируя постепенно возрастающую силу упругости нити. При этом осуществляется ускоренное, хотя и с затухающим ускорением движение в радиальном направлении в сторону от центра вращения, и только с разрядкой изгибной деформации начинается обратный процесс. По этой причине максимальные и минимальные значения силы упругости и силы инерции никогда не совпадают по фазе. В каждой точке установившегося вращательного движения после смены направления движения под действием силы инерции и силы реакции грузик у Ландсберга или тело (В) в нашей редакции по-прежнему будут стремиться либо улететь от центра вращения, либо вновь приблизиться к центру вращения в зависимости от фазы вращательного движения.

За периодом накопления упругой деформации, в котором происходит уменьшение инерции движения и поворот тела к центру вращения, наступает период разрядки деформации и увеличение инерции в новом направлении движения. Увеличивающаяся инерция движения остановит процесс разрядки деформации и вновь приведет к повторению всего процесса в целом в новой точке усреднённой окружности. Точно так же как и в первом цикле, частично описанном в работе Ландсберга, или как изложено в нашей модели вращательного движения в каждой новой исходной точке окружности, соответствующей началу нового цикла расстояние до точки (О) по-прежнему будет стремиться к увеличению, пока накопившаяся деформация через силу упругости не остановит это увеличение.

Первоначальное удлинение резиновой нити, происходящее в результате недостаточной жесткости нерастянутой нити довольно значительно. По мере удлинения нити упругая жесткость возрастает, поэтому

последующие деформации уже не столь заметны и не столь очевидны особенно, если вместо нити - жесткий стержень. Инерция предполагает сохранение движения в неизменном виде. Остановить движение или **изменить его направление может только внешняя для тела сила, препятствующая силе инерции движения.** В данном случае изменить направление движения тела может только выросшая в результате дополнительной деформации сила упругости нити или связующего тела, что, по всей видимости, и происходит в реальности. Однако деформация и изменение силы упругости происходят далеко не по «щучьему велению», а за счет вполне реальной силы инерции движения.

После периода первоначального удлинения резиновой нити в условиях возросшей жесткости нити сила реакции способна изменить направление движения грузика. При этом разрядка деформации начинается при достаточно высокой скорости инерционного движения тела, что создает условия для образования вращательного движения, в котором величина и направление силы инерции и линейной скорости плавно изменяются по гармоническому закону. Не полностью растянутая нить не имеет достаточной жесткости изгибной деформации необходимой для образования разгибающего момента способного прекратить процесс накопления деформации еще до полной компенсации линейной скорости и образования вращательного движения. Поэтому растягивание будет происходить до тех пор, пока жесткость нити не возрастет. Если нить будет недостаточно жесткая, значительная часть скорости движения тела будет погашена силой упругости растянутой и изгибной деформации. При этом если линейная скорость на момент наступления разрядки изгибной деформации будет не достаточно высокой, то движения по окружности вообще не получится. Вместо вращения наступит беспорядочное движение тела относительно центра закрепления нити по траектории, значительно отличающейся от окружности.

Ландсберг утверждает, что в какой-то момент времени нить перестанет растягиваться, потому что установиться такое растяжение нити, при котором сила упругости сообщит телу ускорение, равное центростремительному ускорению равномерного вращения по окружности с радиусом, равным длине растянувшейся нити (см. первоисточник выше). При этом имеется в виду, что установится постоянный неизменный радиус вращения. То есть опять мы сталкиваемся с утверждением классиков, что центростремительное ускорение может быть в отсутствии радиального движения. Однако ускорения без движения в сторону действия силы быть не может. Кроме того, классическая физика в принципе отрицает даже кратковременное существование равновесия между силой инерции вращающегося тела и силой упругости связующего тела.

Двигаясь вдоль радиуса только в одну сторону, тело будет постоянно напрягать нить, в крайнем случае, до полной остановки движения. **Без обратного движения под действием силы упругости не будет и центростремительного ускорения.** В этих условиях может быть только статическое сдавливание вращающегося тела. Кроме того, воздействия одного только центростремительного ускорения не достаточно для движения по окружности. Под действием постоянного центростремительного ускорения общая результирующая скорость не может оставаться постоянной, и будет непрерывно возрастать, а траектория такого движения будет представлять собой незамкнутую кривую линию (см. главу 1.3 ПРОТИВОРЕЧИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, Рис. 1.3.1.).

Сходную точку зрения на образование вращения представляет С. Э. Хайкин («ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ», издание второе, исправленное и дополненное, издательство «НАУКА» главная редакция физико-математической литературы МОСКВА 1971):

§ 36. Деформации при вращательном движении

Проведем аналогичное рассмотрение движения тела по окружности с постоянной угловой скоростью. Пусть, например, тело массы m, прикрепленное на пружине к неподвижной точке O, вращается с постоянной угловой скоростью (рис. 79). Вращение с постоянной угловой скоростью есть движение с ускорением, направленным к центру. Это центростремительное ускорение телу сообщает растянутая пружина, которая действует на тело с определенной силой. Как мы уже знаем (§ 11), при равномерном дви-

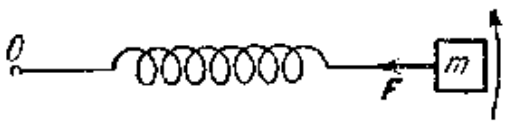


Рис. 79.

жении по окружности радиуса r тело испытывает только нормальное ускорение $j_n=\omega^2 r$, т. е. пружина должна на него действовать с силой $F = m\omega^2 r$.

Чтобы составить полную картину возникновения рассматриваемого движения, необходимо выяснить, почему пружина оказалась растянутой. Для этого рассмотрим какой-либо конкретный случай возникновения вращательного движения.

В нашем примере мы могли бы получить равномерное вращение следующим образом. Пусть вначале тело покоится в точке A (рис. 80), а пружина не растянута (для упрощения рисунка пружина заменена нитью, а тело — точкой). Сообщим телу некоторую начальную скорость v в направлении, перпендикулярном к OA. Вначале, пока на тело не действуют никакие силы, оно должно двигаться прямолинейно и равномерно в направлении начальной скорости v. При движении тела расстояние OB от тела до точки O будет увеличиваться, а пружина — растягиваться. Возникнет сила, действующая со стороны пружины на тело в направлении точки O, тело приобретет ускорение в этом направлении и перестанет двигаться прямолинейно [1]). Сначала, пока растяжение пружины мало, ускорение, сообщаемое телу, также будет мало и траектория движения будет лишь слегка искривлена. Удлинение пружины будет продолжаться и сообщаемое ею ускорение будет возрастать. Траектория будет становиться все более и более искривленной. Растяжение пружины прекратится, когда она будет сообщать телу ускорение, необходимое для того, чтобы траектория превратилась в окружность, т. е. когда пружина действует на тело с силой

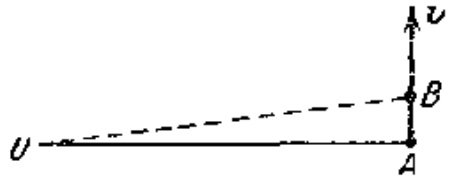


Рис. 80

$$F = m\omega^2 r. \qquad (5.1)$$

После этого и установится равномерное вращение тела с угловой скоростью $\omega=v/r$, где r — радиус вращения [2]).

Эту картину установления вращения можно продемонстрировать при помощи следующего опыта (рис. 81). На гладкое горизонтальное стекло помещен тяжелый шарик, удерживаемый мягкой пружиной; другой конец пружины закреплен неподвижно. Если шарик сильно толкнуть, сообщив ему начальную скорость в направлении, перпендикулярном к оси пружины, то можно наблюдать описанную выше

---

[1]) Строго говоря, вначале скорость будет изменяться не только по направлению, но и по величине, если сила, действующая со стороны пружины, не будет точно перпендикулярна к скорости. Но если пружина достаточно жесткая и растяжение ее мало, то этим можно пренебречь и принимать во внимание только изменение направления скорости.

[2]) Мы опять пренебрегаем побочными колебательными явлениями, которые могут возникнуть и в этом случае.

картину. Вначале траектория шарика будет заметно отличаться от окружности, и лишь в дальнейшем, когда пружина достаточно растянется, траектория превратится в окружность.

Ясно, что при установлении вращения будет деформироваться не только пружина, но и вращающееся удлиненное тело (примерно так, как и в предыдущем примере). Так как пружина прикреплена только к одной стороне тела, то она только прилегающей к ней части тела будет сообщать ускорение к центру. Поэтому вначале только ближайшие к пружине части тела начнут двигаться криволинейно, а наружные будут двигаться прямолинейно. Расстояние между отдельными частями тела будет возрастать — тело будет растягиваться. Возникнут упругие силы, действующие между отдельными частями тела, и эти силы начнут сообщать ускорение внешним частям тела. Изменение деформаций тела прекратится только тогда, когда возникшие внутри тела упругие силы достигнут величины, нужной для того, чтобы всем частям тела сообщить ускорения, необходимые для движения по окружности. Далее равномерное вращение будет происходить при неизменной деформации пружины и тела. Но величины деформаций пружины и тела и характер распределения этих деформаций будут различны. Если массой пружины по сравнению с массой тела можно пренебречь, деформация пружины будет однородна. Что же касается распределения деформаций во вращающемся теле, то в случае удлиненного тела (длина которого, однако, мала по сравнению с радиусом вращения) при условии, что сила, действующая со стороны пружины, распределена равномерно по всему сечению тела, характер деформации будет примерно такой же, как и в случае прямолинейного движения такого же тела с ускорением $j=\omega^2 r$.

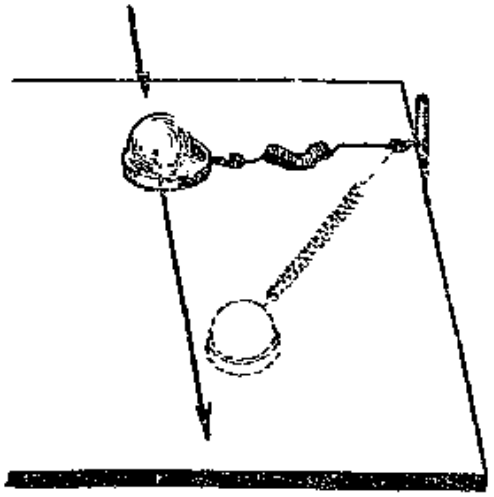


Рис. 81.

Вращающееся тело оказывается деформированным и поэтому действует на пружину в направлении от центра. Как и в предыдущем примере, наличием деформации ускоряемого тела объясняется происхождение силы, которая должна действовать со стороны тела на пружину, т. е. силы «противодействия», которая должна существовать по третьему закону Ньютона. Если бы тело не вращалось, но было деформировано так же, как и при вращении, оно действовало бы на пружину точно с той же силой.

Эту силу, которая действует со стороны вращающегося тела на пружину (нить, стержень и т. д.), удерживающую тело на постоянном расстоянии от оси вращения, называют «центробежной», так как она направлена от центра. Но, применяя этот термин, всегда следует помнить о происхождении этой силы. Она возникает потому,

что вращающееся тело оказывается деформированным, и по своей природе ничем не отличается от центростремительной силы, с которой растянутая пружина действует на вращающееся тело.

В отличие от Ландсберга Хайкин в ссылке [1]) признает, что вначале скорость будет изменяться не только по направлению, но и по величине. Как известно, дыма без огня не бывает. Хайкин фактически признает действие механизма образования вращения, хотя бы на начальном этапе его образования. Однако если уж при образовании вращения этот механизм, по мнению Хайкина все-таки существует, то будучи однажды запущен, он может быть прекращен только с прекращением вращения. После установления достаточной жесткости связующего тела изменяется только геометрический масштаб преобразования движения по направлению и соответственно его параметры, но его физическая сущность при этом остается без изменений. Скорость не может изменяться только по направлению, как не могут с установлением вращения изменяться и физические законы, по которым осуществляется изменение скорости по направлению. По крайней мере, хотя бы Хайкин это понимает, хотя его понимание видимо все же неполное или же он просто недостаточно последователен. Хайкин предлагает пренебречь колебаниями абсолютной величины скорости в виду их малости, а сами колебательные явления считает побочными. Ссылка [1]): *«Но если пружина достаточно жесткая и растяжение ее мало, то этим можно пренебречь и принимать во внимание только изменение направления скорости».* Ссылка [2]): *«Мы опять пренебрегаем побочными колебательными явлениями, которые могут возникнуть и в этом случае».*

Однако колебательные явления во вращательном движении не могут быть побочными, т.к. они являются неотъемлемой частью механизма преобразования движения по направлению и определяют сам характер этого преобразования. Математически действительно не целесообразно описывать кинематику вращательного движения как каждое мгновенное изменение величины и направления линейной скорости. В этом мы полностью согласны с классической физикой. Однако с физической точки зрения пренебрегать колебаниями величины и направления линейной скорости в динамике, - это значит пренебрегать физической сущностью преобразования движения по направлению. В динамике необходимо учитывать физический механизм образования вращательного движения как физического явления в целом. Пренебрежение физическим механизмом образования вращательного движения приводит в конечном итоге к многочисленным противоречиям классической физики с законами природы, которые невозможно оправдать никакой математической целесообразностью, только с точки зрения описания кинематики вращательного движения. Существующее описание динамики вращательного движения целиком и полностью базируется на его обобщенной кинематике без учета его физической сущности, что приводит к схематичному обобщенному, а, следовательно, и физически неправильному описанию сил, проявляющихся во вращательном движении.

Классическое центростремительное ускорение, полученное на базе обобщенной кинематики вращательного движения, как движения точки вдоль геометрической окружности без учета физической сущности преобразования движения по направлению, так же не имеет физического смысла. Это геометрическое ускорение, полученное без учета законов физических взаимодействий. Изменения величины и направления линейной скорости малы только в бесконечно малом интервале времени. Однако физические последствия таких изменений вполне ощутимо проявляются в обычном масштабе времени, из которых собственно и складывается и обобщенная кинематика вращательного движения, и его динамика. Центробежная сила, которая наравне с центростремительной силой участвует в образовании вращательного движения, является вполне реальной. Именно реальная, а не фиктивная центробежная сила инерции приводит к образованию центростремительной силы, которая неоправданно считается единственной причиной образования центростремительного ускорения. Не неподвижный центр вращения растягивает пружину (связующее тело), а реальная сила инерции прямолинейного движения тела. В определении центробежной силы инерции у Хайкина есть противоречия, в том числе и с классической физикой.

Центробежная сила у Хайкина: *«…по своей природе ничем не отличается от центростремительной силы, с которой растянутая пружина действует на вращающееся тело».* Мы полностью согласны с Хайкиным в причислении силы инерции к обычным силам, хотя с классической точки зрения центробежная сила это не «обычная» сила, а «фиктивная» сила инерции, которая имеет «особую» природу. (см., например, А.Н. Матвеев, «Механика и теория относительности», 3-е издание, Москва, «ОНИКС 21 век», «Мир и образование», 2003 г.) Однако Хайкин, на наш взгляд, неправильно трактует центробежную силу даже с точки зрения ее обычной природы. Он по сути дела предлагает рассматривать центробежную

силу инерции, как силу упругости растянутого вращающегося тела (подробнее см. выше фотокопию оригинала). Таким образом, центробежную силу Хайкин пытается объяснить как силу упругости, образующуюся за счет самой же силы упругости. Реальная причина деформации пружины и самого вращающегося тела по сути дела подменяется лишь следствием реальной причины.

Деформация вращающегося тела и пружины является только следствием воздействия на тело центробежной силы инерции. Без реального, а не фиктивного действия центробежной силы инерции никакой деформации пружины и вращающегося тела быть не может, как не может быть и центростремительного ускорения, это звенья одной цепи. При преобразовании движения по направлению первична инерция движения вращающегося тела, которая энергетически и в силовом плане обеспечивает растяжение пружины и образование центростремительной силы. Безусловно, общая сила взаимодействия вращающегося тела и пружины в соответствии с третьим законом Ньютона в равной степени воздействует как на пружину, так и на вращающееся тело. Однако общая величина этого взаимодействия определяется в первую очередь инерцией прямолинейного движения тела, которая проявляется в процессе преобразования прямолинейного движения по направлению. Чем выше скорость движения вращающегося тела по окружности, а, следовательно, и инерция движения тела, тем больше сила взаимодействия между ним и связующим телом. Если Ландсберг достаточно обтекаемо подходит к освещению этого вопроса, хотя и у него не все гладко (см. выше), то в изложении Хайкина, противоречие классической физики в отношении центробежной силы инерции трудно не заметить даже приверженцам самой классической физики.

Картина вращательного движения будет неполной, если мы не выясним, как будет вести себя остальные тела в составе вещества плоского круга и далее в составе объемного тела, например, для простоты – цилиндрического в ходе вращательного движения. Рассмотрим движение двух одинаковых тел, расположенных диаметрально на одинаковых расстояниях от центра вращения в одной плоскости и связанных с центром одинаковыми связующими телами. Это будет модель вращения тел в составе вещества круга, расположенных на окружности одного радиуса. Далее распространим это движение на все тела, лежащие в пределах всех концентрических окружностей плоского круга, а затем и по всему телу цилиндра.

Для простоты опять же предположим, что центр вращения жестко зафиксирован в пространстве. Тогда движение тела расположенного диаметрально телу (В) ничем не будет отличаться от движения самого тела (В). Причем движение обоих диаметрально расположенных тел будет синхронизироваться общим связующим телом. Эти рассуждения относятся к установившемуся вращательному движению или к начальному этапу вращательного движения, если на каждое тело воздействует одинаковая сила инерции, но в противоположных по отношению друг к другу направлениях. Если силы инерции неодинаковые или первоначальную скорость прямолинейного движения получает только одно из тел, начало вращения будет несколько отличаться от описанной схемы.

В этом случае второе тело получит начальный импульс движения от связующего тела. При этом начальная область деформации второго тела будет развиваться в сторону противоположную от оси связующего тела, чем деформация первого тела. Но после выравнивания скоростей второго тела со своим связующим телом процесс пойдет по описанной схеме. При этом сила инерции одного из тел поровну распределится между обоими телами, и каждое из них будет иметь только половину первоначальной инерции движения первого тела.

Что касается остальных тел, лежащих на одной окружности в составе плоского круга, то нет никаких оснований полагать, что их поведение при вращательном движении будет отличаться от поведения рассмотренных тел. То же самое можно сказать и в отношении остальных тел, лежащих на других окружностях круга и объемного тела в целом. Таким образом, механизм движения фрагмента объемного тела можно распространить на все тело в целом. Движение всех фрагментов будет синхронизироваться друг с другом через общее тело. Амплитуда колебаний при неизменной угловой скорости будет, по-видимому, возрастать по мере удаления от центра вращения.

Из рассмотренного механизма вытекает, что вращательное движение это разновидность колебательного движения, причем колебания всех величин происходят на более высоком уровне деления материи. Но на любом даже самом высоком из известных уровней деления материи элементы вещества имеют, конечно же, вполне определенные, а не бесконечно малые размеры. Поэтому колебания всех величин будут вполне реальными, а не математической абстракцией, каковой является классическое центростремительное ускорение. Причем на этом уровне все величины, по-видимому, линейные, а изменения их значений и направлений происходят под действием постоянно изменяющихся сил взаимодействующих между собой элементов вещества.

Поскольку вращательное движение является разновидностью колебательного движения, то все параметры вращательного движения, о которых мы говорили, как о постоянных величинах, будут иметь свои постоянные значения условно в смысле постоянства их действующих или средних значений по аналогии с переменными электромагнитными величинами. Представление вращательного движения в виде колебательного процесса позволяет разрешить перечисленные выше противоречия классической модели вращательного движения. Направления линейной скорости и центростремительного ускорения (ускорения направления) в предложенной модели вращательного движения объяснены естественным образом на базе классической физики, и не противоречивы.

Все усредненные значения параметров вращательного движения совпадают с их классическими значениями, кроме ускорения направления (центростремительного ускорения), направление которого, по нашему мнению, совпадает с усреднённым направлением линейной скорости вращательного движения вдоль касательной к усреднённой окружности. При этом отмеченное выше противоречие классической модели о невозможности движения по окружности при неизменном направлении линейной скорости по касательной, вследствие отсутствия условий для возникновения центростремительного ускорения, также разрешается естественным образом.

В момент, когда линейная скорость направлена по касательной к окружности, центростремительное ускорение действительно отсутствует. При гармонических колебаниях максимальная и минимальная амплитуда изменяющейся физической величины проявляется, когда скорость изменения этой величины равна нулю. Следовательно, когда направление линейной скорости приближается к касательной - величина линейной скорости максимальна, а центростремительное и центробежное ускорения равны нулю. Соответственно в момент, когда угол (ψ) максимален величина линейной скорости минимальна. При этом центростремительное и центробежное ускорения также равны нулю.

Статическое равновесие центробежной и центростремительной силы не обеспечивает криволинейного движения. В предложенной модели центробежная сила инерции и центростремительная сила реакции во вращательном движении находятся в **динамическом равновесии.** Таким образом, в предложенной модели разрешается одно из противоречий классической модели вращательного движения.

Вращательное движение является саморегулирующимся динамическим процессом, в котором средние значения величины линейной скорости (Vл), величины радиуса вращения (R_0) и величины ускорения направления (*ан*) автоматически устанавливаются и поддерживаются на постоянном уровне в рамках автоколебательного саморегулирующегося физического процесса.

При равномерном прямолинейном движении сопротивление движению связано только с сопротивлением внешней среды. В отсутствии сил трения и сопротивления внешней среды равномерное прямолинейное движение может продолжаться сколь угодно долго. Тело, движущееся по окружности, испытывает сопротивление движению даже при отсутствии сопротивления внешней среды. Однако сопротивление движению тела по окружности в отсутствии сил трения носит реактивный характер подобно реактивному сопротивлению электрического колебательного контура. Поэтому безвозвратных потерь энергии, связанных с преобразованием прямолинейного движения во вращательное движение не происходит. Кинетическая энергия прямолинейного движения претерпевает преобразование из кинетической энергии в потенциальную энергию и обратно. Тем не менее, даже при отсутствии трения в опорах вращающейся системы, вращение должно постепенно замедляться, т.к. при накоплении и разрядке упругой деформации энергия во вращательном движении все-таки расходуется на внутреннее трение.

Потери на внутреннее трение можно сравнить с потерями на активное сопротивление в электрическом колебательном контуре. При этом вращающееся тело, соединенное с центром вращения жестким упругим связующим телом подобно колебательному контуру с высокой добротностью. А вращение со связующим телом с мягкой упругостью имеет низкую добротность. Вращение с мягкой упругостью без подпитки энергией быстро прекращается, в то время как вращение с жестким связующим телом сохраняется значительно дольше, т.к. потери энергии в высокодобротной системе значительно меньше, чем в низкодобротной системе.

Величина кинетической энергии вращательного движения тела меньше кинетической энергии прямолинейного движения тела до его «захвата» связующим телом, т.е. до начала процесса преобразования прямолинейного движения во вращательное движение. Часть энергии прямолинейного движения переходит в потенциальную энергию остаточной деформации. Если происходит постепенный разгон тела, движущегося по окружности, то энергия установившегося движения тела по окружности также будет меньше энергии, затраченной на разгон тела, т.к. часть энергии разгона перейдет в потенциальную энергию остаточной деформации. **Поэтому линейная скорость установившегося**

движения тела по окружности (Vл) всегда меньше скорости прямолинейного движения тела (Vп) при одинаковой энергии, вызывающей каждое из этих движений.

Если рассматривать усредненные параметры вращательного движения, то равномерно движущееся по круговой траектории тело испытывает воздействие постоянной по величине и направлению центробежной силы в отсутствии движения в направлении воздействующей силы, т.к. центробежная сила в среднем за цикл уравновешивается силой реакции. Таким образом, среднее ускорение вращательного движения в радиальном направлении равно нулю. Аналогичное воздействие испытывают физические тела, движущиеся равномерно и прямолинейно по горизонтальной опоре в поле силы тяготения, При этом сила тяготения уравновешивается силой реакции опоры. Ускорение в направлении силы тяготения в этом случае отсутствует, поскольку нет перемещения в направлении действия силы тяготения. По всей видимости, сила тяготения и центробежная сила имеют одну и ту же природу и являются проявлением силы инерции.

Причём статического воздействия по нашему мнению в природе не существует. Любое воздействие может осуществляться только за счет движения, например, при передаче импульса движения частиц эфира каждому мельчайшему элементу физических тел. Статическое воздействие – это равновесие динамических процессов, происходящих на более высоком уровне деления материи. В статике тела испытывают динамическое воздействие, уравновешенное аналогичным динамическим воздействием с противоположным знаком со стороны опоры. Причем, несмотря на то, что любое взаимодействие связано с движением микрочастиц материи, для каждого из взаимодействующих тел оценкой взаимодействия является, прежде всего, сила, т.к. в момент взаимодействия движение, а, следовательно, и ускорение могут отсутствовать.

Центростремительное ускорение на макроуровне в отсутствии суммарного радиального движения такая же иллюзия, как и ускорение силы тяготения на макроуровне в отсутствии движения в направлении силы тяготения при равномерном прямолинейном движении тела по горизонтальной поверхности. Иллюзия центростремительного ускорения возникает в результате пространственного геометрического «неудаления» тела от центра вращения. При этом не следует забывать, что вращающееся тело не только не удаляется от центра окружности, но и не приближается к нему. Однако почему-то никто не называет ускорение направления центробежным ускорением, хотя основания для этого точно такие же, как и для того, чтобы считать ускорение направления центростремительным ускорением. Реальные центробежное и центростремительное ускорения в среднем за цикл уравновешивают друг друга.

Поскольку вращательное движение происходит с постоянной средней линейной скоростью, среднее ускорение в направлении линейной скорости также как и среднее ускорение в радиальном направлении равно нулю. В связи с этим равномерное вращательное движение является внутренним движением замкнутой системы, которая, как и любое физическое тело в отсутствие внешних сил подчиняется первому закону Ньютона. В пределах одного цикла равномерного вращательного движения тела оно, безусловно, является неравномерным движением. Но если рассматривать вращательное движение как физическое явлением в целом, в котором все средние величины параметров вращения постоянны, то такое вращательное движение можно рассматривать как равномерное движение в отсутствии внешних сил. В связи с этим первый закон Ньютона применительно к вращательному движению можно сформулировать следующим образом:

Тело находится в состоянии покоя, движется равномерно и прямолинейно или равномерно вращается до тех пор, пока его не выведет из этих состоянии воздействие со стороны других тел.

Для определения мгновенного значения ускорения тела при движении по криволинейной траектории на микроуровне необходимо учитывать изменение линейной скорости во всем диапазоне ее изменения. При этом определение мгновенного значения ускорения не только неравномерного криволинейного движения в общем случае, но и равномерного вращательного движения задача достаточно сложная. К тому же определение мгновенного значения ускорения, проявляющегося в процессе преобразования прямолинейного движения во вращательное движение, не всегда оправдано, т.к. вращательное движение, как физическое явление в полной мере характеризуется обобщенным академическим ускорением вращательного движения.

2. ВРАЩЕНИЕ ТЕЛ В НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКЕ.

Фундаментальные законы природы, если они верны, должны выполняться в любых условиях. Поэтому законы вращательного движения должны выполняться и на Земле и в космосе. Однако в небесной механике необходимо учитывать специфику движения тел в поле тяготения. Космические объекты, как правило, тела протяженные. Их в еще большей степени, чем обычные тела нельзя рассматривать как

материальные точки. Заменяя реальные физические тела материальными точками можно выявить лишь наиболее общие закономерности, не раскрыв физической сущности явления.

На Рис. 2.1 графически пояснен физический механизм движения тела по круговой орбите в небесной механике в нашем видении. На нижнюю и верхнюю часть небесного тела действует сила тяготения (Fтн) и (Fтв) соответственно. Очевидно, что нижняя часть тела испытывает большую силу тяготения, чем верхняя за счет разницы расстояний до центра тяготения. Проекции этих сил (Fн) и (Fв) на направление линейной скорости уменьшают инерционную скорость (Vи), причем нижние точки тела будут замедляться сильнее верхних точек. Это эквивалентно появлению момента сил, который приводит к повороту движения тела в сторону центра тяготения и уменьшению угла (**ψ**) между вектором линейной скорости и касательной к окружности с текущим радиусом.

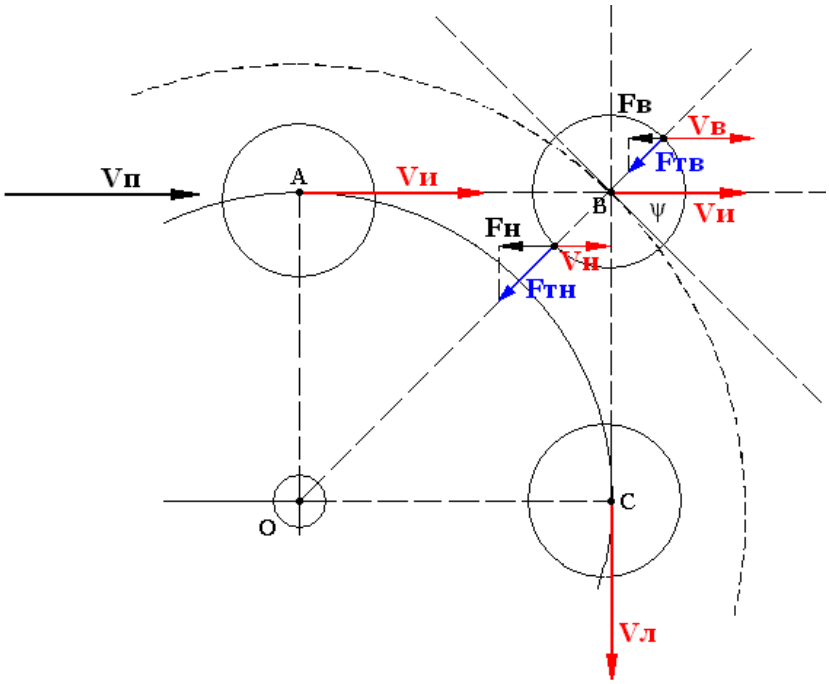


Рис. 2.1

В результате общего замедления движения под действием силы тяготения и вследствие этого уменьшения радиальной составляющей линейной скорости, радиальное удаление тела от центра тяготения прекращается, после чего начинается движение тела в сторону центра вращения. При этом под действием ускорения тяготения линейная скорость тела начнет увеличиваться. При приближении к центру тяготения на расстояние, соответствующее исходному расстоянию до центра тяготения величина линейной скорости восстанавливается до исходного значения, а направление движения совпадает с направлением касательной к круговой орбите с радиусом равным исходному расстоянию до центра тяготения. Далее весь процесс повторяется с новой точки исходной орбиты.

Таким образом, прослеживается полная аналогия механизма движения тел в поле тяготения с механизмом движения по окружности обычных тел, связанных с центром вращения связующим телом с той лишь разницей, что сила упругости связующего тела заменяется в небесной механике силой тяготения. Причём поскольку при движении тел в поле тяготения связующее тело отсутствует, то отсутствует и остаточная деформация. Поэтому линейная скорость тела при возвращении его на исходную орбиту должна быть равна исходной скорости прямолинейного движения тела (Vп=Vи=Vл).

Как было показано выше форма траектории движения обычных тел, связанных с центром вращения связующим телом зависит от добротности вращающейся системы. Наиболее стабильным является движение по круговой траектории, которое соответствует наибольшей добротности вращающейся системы. В небесной механике форма орбиты также зависит от добротности вращающейся системы. Однако в отсутствии связующего тела добротность вращающейся системы в небесной механике определяется не жесткостью связующего тела, а степенью соответствия начальной линейной скорости движения, требуемой линейной скорости движения по круговой орбите для каждого фиксированного расстояния до центра тяготения. Чем больше начальная линейная скорость движения небесного тела соответствует линейной скорости движения по круговой орбите на данном расстоянии до центра тяготения, тем выше добротность вращающейся системы в небесной механике и наоборот.

Для Земли скорость движения по круговой орбите в непосредственной близости от её поверхности соответствует первой космической скорости и равна 7,9 км/с. Движение по орбите со скоростью, отличающейся от расчётной скорости движения по круговой орбите, имеет более низкую добротность.

При начальной скорости движения у поверхности Земли больше первой космической (но не более 11,2 км/с для Земли) тело будет двигаться по эллиптической траектории. Наконец при некоторой исходной скорости тело может полностью преодолеть силу тяготения. Это вторая космическая скорость, которая у поверхности Земли составляет 11,2 км/с.

Расчётная скорость круговой орбиты определяется массами взаимодействующих небесных тел и квадратом расстояния между ними. Из закона всемирного тяготения следует, что ускорение свободного падения не зависит от массы падающего тела. Однако, на наш взгляд, это выполняется только для несопоставимых по величине масс, когда (M>>m). Для соизмеримых масс (M=m) величина силы тяготения на одном и том же расстоянии между телами, возможно, будет отличаться от величины силы тяготения между несоизмеримыми массами, что может быть обусловлено зависимостью гравитационной постоянной от соотношения масс взаимодействующих тел при одном и том же значении их произведения. Если это так, то ускорение свободного падения также зависит от соотношения масс взаимодействующих тел. С уменьшением соотношения масс гравитационная постоянная, по нашему мнению, должна увеличиваться.

Предлагаемый механизм вращательного движения может в виде гипотезы ответить на вопрос, почему в космосе за редким исключением стабильные орбиты имеют в основном крупные небесные тела. По нашему мнению, это происходит, потому что для малых объектов из-за малых размеров действие силы тяготения на дальние и ближние от центра тяготения точки мало различается по величине. В результате возникновение поворотного момента сил затруднено и действие его не достаточно эффективно. При недостаточном повороте линейная скорость малых небесных тел более эффективно гасится силой тяготения, как во вращающихся системах с низкой добротностью, и небесные тела, в конце концов, падают к центру тяготения, либо удаляются от центрального тела безвозвратно, если их начальная скорость достаточно велика.

На этом специфика вращательного движения в небесной механике не заканчивается. Поворот обычных тел относительно собственного центра масс в процессе движения по окружности происходит в условиях механического ограничения со стороны связующего тела. В результате поворот тела движущегося по круговой орбите составляет один оборот вокруг собственной оси на один оборот вокруг центра кругового движения. В небесной механике движущееся по орбите небесное тело не имеет жесткой связи с центром тяготения, т.е. не имеет никаких ограничений при вращении вокруг собственной оси. Поэтому поворотный момент сил тяготения, по-видимому, может привести к вращению небесных тел вокруг собственной оси в направлении движения по орбите (в прямом направлении) с большей угловой скоростью, чем угловая скорость движения тела по орбите, что, по всей видимости, может привести к дестабилизации орбитального движения.

Собственное вращение тела увеличивает орбитальную скорость удаленных от центрального тяготеющего тела точек движущегося по орбите тела, где сила тяготения сказывается меньше и уменьшает орбитальную скорость нижних точек, где сила тяготения сказывается сильнее. В результате собственное вращение небесных тел может привести к снижению их орбиты и медленному падению на центральное тяготеющее тело, т.к. удаление от центрального тяготеющего тела верхних точек, движущегося по орбите тела, не может скомпенсировать падения на центральное тело нижних его точек.

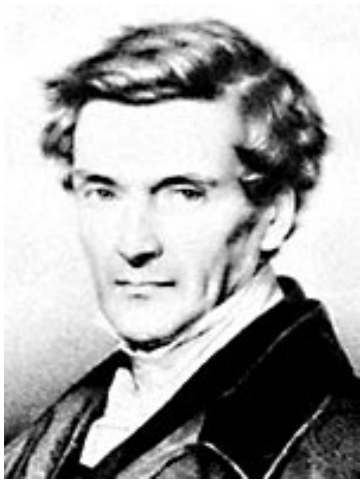
Все планеты Солнечной системы и само Солнце вращаются в одном и том же (прямом) направлении. Так же вращаются и большинство спутников за исключением группы малых спутников Юпитера (VIII, IX и XII), спутник Феб Сатурна и Тритон Нептуна. Они имеют не прямое, а обратное вращение. Но это скорее исключение требующее специальных исследований. Свое вращение большинство тел Солнечной системы, конечно же, получили не в результате захвата одного небесного тела другим, а в ходе образования Солнечной системы, которая, по-видимому, образовывалась из единого вращающегося газового облака. В результате все небесные тела и орбиты закручены в одну сторону. Во всяком случае, прямое вращение не противоречит механизму вращательного движения. Собственное вращение небесных тел, движущихся по орбитам относительно центрального тяготеющего тела, может привести к дестабилизации Солнечной системы. Однако существует и обратный процесс, противодействующий падению тел на центральное тяготеющее тело.

Скорость обтекания эфирным потоком верхней части вращающегося в прямом направлении тела выше, чем скорость обтекания нижней части тела, т.к. линейная скорость верхних точек тела направлена навстречу общему потоку эфира, а линейная скорость нижних точек совпадает с направлением потока. Кроме того линейная скорость верхней части тела, движущейся по внешней орбите выше чем линейная скорость нижней части тела, движущейся по внутренней орбите в силу разных радиусов вращения верхней и нижней частей небесного тела. При этом градиент давлений эфира направлен против силы тяготения и создаёт дополнительные условия для удержания тела на орбите, противодействуя силе тяготения, не скомпенсированной силой инерции движения тела по орбите из-за собственного вращения тела. Поэтому стабильность движения небесных тел по орбитам зависит от соотношения этих сил. Для небольших небесных тел из-за малого диаметра, беспорядочного вращения и неправильной формы воздействие

мировой среды, по-видимому, неэффективно, поэтому в описанном противодействии побеждают силы тяготения. В результате малые тела быстрее снижаются к центральному тяготеющему телу. Но это лишь гипотеза. В современной науке этот вопрос остается открытым.

Таким образом, движение небесных тел зависит от множества факторов, что приводит к отклонению от закона всемирного тяготения Ньютона, который применим в основном для математических материальных точек. Когда французский математик Анри Пуанкаре попробовал исследовать стабильность планетной системы, опираясь лишь на законы Ньютона, он был поражен. Получалось, что Солнечная система была нестабильна и в самой основе своей хаотической. Одним из объяснений причин нестабильности и отклонения движения небесных тел от законов всемирного тяготения может быть пренебрежение теорией реальными размерами тел и замена их математическими материальными точками. К сожалению, в научной литературе этот вопрос не достаточно освещен, хотя задуматься есть над чем.

3. ЯВЛЕНИЕ КОРИОЛИСА.



Густав Гаспар Кориолис (1792-1843 гг.) – французский математик и механик открыл силу инерции, названную впоследствии его именем. Она возникает в неинерциальной вращающейся системе отсчета. Он также вывел ее формулу.

Сила Кориолиса равна удвоенной радиальной скорости (V_p), умноженной на угловую скорость вращения (ω) и умноженную на синус угла между ними, а так же на испытуемую массу (М)

На протяжении двух столетий споры вокруг силы Кориолиса не прекращаются. Несмотря на официальную точку зрения, отраженную в учебниках физики, многие современные авторы высказывают свой взгляд на природу этого явления. Большинство из них называют силу Кориолиса силой инерции. Если учесть, что проявление любых сил в природе так или иначе связано с инерцией, то и про силу Кориолиса так же можно сказать, что это сила инерции. Однако такой подход не раскрывает физики явления.

Определение силы и ускорения Кориолиса достаточно непростая задача в плане установления физической сущности явления. Есть два крайних варианта сложного движения, в которых, как считается, проявляется сила и ускорение Кориолиса. В первом варианте относительная скорость направлена вдоль радиуса вращающейся системы. Во втором варианте относительная скорость направлена перпендикулярно радиусу вращающейся системы. В каждом из этих вариантов относительное движение приводит к проявлению дополнительной силы и ускорения, которые в классической физике связывают с силой и ускорением Кориолиса. Однако по нашему мнению сила и ускорение в каждом из этих вариантов настолько отличаются друг от друга по характеру своего проявления, что относить их к одному и тому же физическому явлению, на наш взгляд, некорректно.

Рассмотрим вывод формулы ускорения Кориолиса различными авторами при сложном движении по каждому из этих вариантов в отдельности.

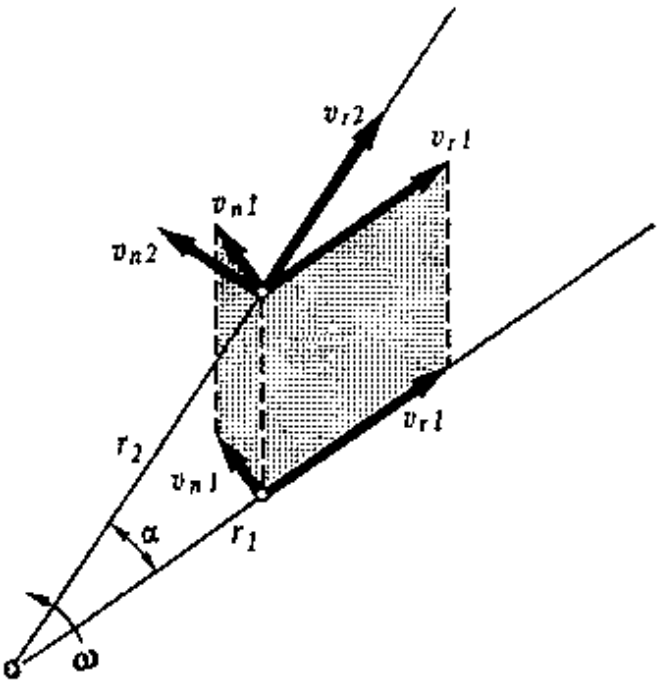
3.1. ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА. СКОРОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНА ВДОЛЬ РАДИУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ.

А. Н. Матвеев в работе «Механика и теория относительности», 3-е издание, Москва, «ОНИКС 21 век», «Мир и образование», 2003 г., допущенной в качестве учебника для студентов высших учебных заведений определяет ускорение Кориолиса следующим образом (см. фотокопии ниже).

66. Неинерциальные вращающиеся системы координат

Кориолисово ускорение. При рассмотрении неинерциальных систем координат, движущихся по прямой линии, соотношения между абсолютной, переносной и относительной скоростями и соответствующими ускорениями были совершенно одинаковыми [см. (64.2) и (64.3)]. У вращающихся систем дело обстоит сложнее. Отличие обусловливается тем, что переносная скорость различных точек вращающейся системы координат различна. Абсолютная скорость по-прежнему является суммой переносной и относительной скоростей:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}', \tag{66.1}$$



159.

Ускорение Кориолиса обусловлено различным значением переносного ускорения в разных точках неинерциальной системы

а абсолютное ускорение в таком простом виде не представляется.

При перемещении из одной точки вращающейся системы координат в другую изменяется переносная скорость точки. Поэтому, если даже относительная скорость точки при движении не меняется, она должна испытывать ускорение, отличное от переносного. Это приводит к тому, что **для вращающихся систем координат в выражение для абсолютного ускорения помимо суммы переносного и относительного ускорения входит еще одно ускорение $w_К$, называемое кориолисовым:**

$$\boxed{\mathbf{w} = \mathbf{w}_0 + \mathbf{w}' + \mathbf{w}_К.} \qquad (66.2)$$

Выражение для кориолисова ускорения. Для выяснения физической сущности кориолисова ускорения рассмотрим движение в плоскости вращения. Прежде всего нас интересует движение точки с постоянной относительной скоростью вдоль радиуса (рис. 159). На рис. 159 указаны положения точки в два момента времени, разделенных промежутком Δt, в течение которого радиус повернется

!

Кориолисова сила, как сила инерции, направлена противоположно кориолисовому ускорению и приложена к телу.

!

Возможность разложения угловой скорости на составляющие обусловлена векторной природой угловой скорости.

на угол $\Delta\alpha = \omega\Delta t$. Скорость вдоль радиуса v_r изменяется за это время по направлению, а скорость v_n, перпендикулярная радиусу, изменяется как по направлению, так и по абсолютному значению. Полное изменение составляющей скорости, перпендикулярной радиусу, равно

$$\Delta v_n = v_{n2} - v_{n1}\cos\alpha + v_r\,\Delta\alpha = \omega r_1 - \omega r_2\cos\alpha + v_r\,\Delta\alpha \approx$$
$$\approx \omega\,(r_2 - r_1) + v_r\omega\,\Delta t = \omega\,\Delta r + v_r\omega\,\Delta t, \qquad (66.3)$$

где учтено, что $\cos\alpha \approx 1$.

Следовательно, кориолисово ускорение

$$w_К = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v_n}{\Delta t} = \omega\frac{dr}{dt} + v_r\omega = 2v_r\omega. \qquad (66.4)$$

В векторном виде это выражение, как это непосредственно видно из соотношения направлений различных величин на рис. 159, можно представить следующим образом:

$$\mathbf{w}_К = 2[\boldsymbol{\omega},\ \mathbf{v}'], \qquad (66.5)$$

где $\mathbf{v}'$ — относительная скорость, в данном случае направленная вдоль радиуса.

В случае движения точки перпендикулярно радиусу, т. е. по окружности, относительная скорость $v' = \omega r$, а угловая скорость вращения точки в неподвижной системе координат равна $\omega + \omega'$, где ω — угловая скорость вращающейся системы координат. Для абсолютного ускорения получаем следующее выражение:

$$w = (\omega + \omega')^2 r = \omega^2 r + \omega'^2 r + 2\omega\omega' r. \qquad (66.6)$$

Первый член в правой части представляет переносное ускорение, второй член — относительное ускорение. Последний член $2\omega\omega' r = 2\omega v'$ является кориолисовым ускорением. Все ускорения в (66.6) направлены вдоль радиуса к центру вращения. С учетом направления кориолисово ускорение в (66.6) может быть записано в виде

$$\boxed{\mathbf{w}_К = 2[\boldsymbol{\omega},\ \mathbf{v}']}, \qquad (66.7)$$

где $\mathbf{v}'$ — относительная скорость, в данном случае направленная перпендикулярно радиусу.

Произвольная скорость может быть выражена в виде суммы слагающих, направленных по радиусу и перпендикулярно ему, и для обеих составляющих справедлива одна и та же формула вида (66.7). Отсюда следует, что формула (66.7) справедлива для кориолисова ускорения при произвольном направлении относительной скорости.

Если скорость направлена параллельно оси вращения, то никакого кориолисова ускорения не возникает: поскольку при этом соседние точки траектории имеют одинаковую переносную скорость.

Можно получить выражение для кориолисова ускорения более формальным путем — прямым вычислением абсолютного ускорения. Записав радиус-вектор движущейся точки в виде

$$\mathbf{r} = \mathbf{i}'x' + \mathbf{j}'y' + \mathbf{k}'z' \tag{66.8}$$

и дифференцируя по t с учетом зависимости $\mathbf{i}'$, $\mathbf{j}'$, $\mathbf{k}'$ от времени так же, как это было сделано в § 52, получим для абсолютной скорости следующее выражение:

$$\mathbf{v} = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}] + \mathbf{v}' = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}', \tag{66.9}$$

где $[\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}] = \mathbf{v}_0$ — переносная скорость, а

$$\mathbf{v}' = v_x'\mathbf{i}' + v_y'\mathbf{j}' + v_z'\mathbf{k}' \tag{66.10}$$

— относительная скорость. Отсюда находим абсолютное ускорение:

$$\mathbf{w} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \left[\boldsymbol{\omega}, \frac{d\mathbf{r}}{dt}\right] + \frac{d\mathbf{v}'}{dt} = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}'] + \mathbf{w}' + [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{v}'], \tag{66.11}$$

причем угловая скорость вращения считается постоянной и учтено что

$$\frac{d\mathbf{v}'}{dt} = \frac{dv_x'}{dt}\mathbf{i}' + \frac{dv_y'}{dt}\mathbf{j}' + \frac{dv_z'}{dt}\mathbf{k}' + v_x\frac{d\mathbf{i}'}{dt} + v_y'\frac{d\mathbf{j}'}{dt} + v_z'\frac{d\mathbf{k}'}{dt} =$$

$$= \mathbf{w}' + [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{v}']. \tag{66.12}$$

Поэтому абсолютное ускорение

$$\mathbf{w} = \mathbf{w}_0 + \mathbf{w}' + \mathbf{w}_K, \tag{66.13}$$

где $\boldsymbol{\omega}_0 = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{v}_0] = [\boldsymbol{\omega}, [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}]]$ — переносное ускорение, $\mathbf{w}' = \frac{dv_x'}{dt}\mathbf{i}' + \frac{dv_y'}{dt}\mathbf{j}' + \frac{dv_z'}{dt}\mathbf{k}'$ — относительное ускорение, $\mathbf{w}_K = 2[\boldsymbol{\omega}, \mathbf{v}']$ — кориолисово ускорение. Переносное ускорение целесообразно представить в виде

$$\mathbf{w}_0 = [\boldsymbol{\omega}, [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}]] = \boldsymbol{\omega}(\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}) - \mathbf{r}\omega^2 = \omega^2(\mathbf{d} - \mathbf{r}) = -\omega^2\mathbf{R}, \tag{66.14}$$

где $\mathbf{R}$ есть вектор, перпендикулярный оси вращения (рис. 160). Таким образом, переносное ускорение является центростремительным (напомним, что угловая скорость вращения считается постоянной).

Книга написана в соответствии с программой курса физики для университетов, однако, физики в данном учебнике нисколько не больше, чем во многих других современных учебниках по физике. Форма написания книги больше соответствует справочной литературе по физике, в которой приводятся количественные описания физических явлений без их подробного физического обоснования.

Матвеев пытается выяснить «*физическую сущность кориолисова ускорения»*, как он сам пишет на странице 403 своей книги. Однако все принципиальные выводы, касающиеся физики явления Кориолиса, подробно не анализируются. Механизм действия ускорения Кориолиса не раскрыт. Все спорные и противоречивые моменты остаются без доказательства и разъяснений. Зато большое внимание уделено математическим преобразованиям, за которыми не всегда виден физический смысл явлений. Хотя в физике все должно быть наоборот. Наибольшее внимание в **учебной литературе**, на наш взгляд, следует уделять обоснованию изложенных позиций с физической точки зрения. Именно физический смыл явления, должен принципиально определять математические выражения, которые описывают физическое явление лишь с количественной стороны.

Ускорение Кориолиса по Матвееву это изменение скорости тела, движущегося радиально внутри вращающейся системы, **в направлении, перпендикулярном радиусу вращения.** Это общепринятое в классической физике определение ускорения Кориолиса в рассматриваемом варианте. На стр. 404 Матвеев пишет: *«Скорость вдоль радиуса Vr изменяется за это время* (Δt) *по направлению, а скорость Vn, перпендикулярная радиусу, изменяется как по направлению, так и по абсолютному значению**. Полное изменение составляющей скорости, перпендикулярной радиусу, равно***

$$\Delta Vn = Vn_1 - Vn_2 * \cos\alpha + Vr * \Delta\alpha \approx \omega * \Delta r + Vr * \omega * \Delta t \qquad (66.3)$$

где учтено, что $\cos\alpha \approx 1$

Следовательно, кориолисово ускорение

$$w_к = \omega * \Delta r/dt + Vr * \omega = 2 * Vr * \omega».$$

Однако приведённая формулировка не является строгой ни физически, ни лингвистически, что может быть вызвано, по-видимому, нечёткими представлениями о природе ускорения Кориолиса.

Во-первых, в определении существует неопределённость в отношении (ΔVn): то ли это *«полное изменение составляющей»* **абсолютной** «*скорости, перпендикулярной радиусу»*, то есть не что иное, как полное изменение только линейной скорости переносного вращения, которое в таком случае не соответствует выражению (66.3). То ли это изменение **составляющих** (Vn) и (Vr) абсолютной скорости (Va) **в направлении**, **перпендикулярном** радиусу, что соответствует классическому приращению поворотного движения. Причём вопреки всякой логике чисто лингвистически более очевидна первая версия, т.к. в определении говорится именно о *«составляющей скорости, **перпендикулярной** радиусу…».* Возможно это простая опечатка издательства, однако расплывчатость и нечёткость формулировок наблюдается, как это ни странно, практически у всех авторов, так или иначе касающихся вопросов поворотного движения.

Во-вторых, в формулировке чётко обозначено одно из противоречий вращательного движения, существующее в классической физике, в соответствии с которым направление вектора ускорения вращательного движения не совпадает с направлением активного движения, связанного с этим ускорением. В классической физике в направлении классического ускорения вращательного движения активного движения просто не существует. Таким образом, физическую сущность ускорения Кориолиса Матвеев пытается обосновать на основе противоречивых классических представлений о физической сущности вращательного движения, которые сами нуждаются в удовлетворительном и непротиворечивом физическом обосновании.

В классической физике изменение абсолютной величины вектора скорости не связано с изменением его направления и наоборот изменение направления вектора скорости не связано с изменением его абсолютной величины. Тем самым обозначена грань между физической природой изменения скорости по величине и по направлению, хотя в природе нет специфических сил, которые изменяют движение либо только по направлению, либо только по величине. Совершенно очевидно, что при воздействии на движущееся тело в попутном или в противоположном его движению направлении результирующая скорость тела изменяется только по величине. Однако не менее очевидно, что при силовом воздействии под любым углом по отношению к вектору скорости движущегося тела, кроме угла (0^0 и 180^0) результирующая скорость движения тела должна изменяться как по величине, так и по направлению, что непосредственно следует из сложения скоростей по правилам векторной геометрии (см. рис. 1.3.1). При этом исключительность перпендикулярного направления по отношению к вектору скорости, при котором силовое воздействие в классической физике якобы приводит только к изменению скорости по направлению без изменения ее величины, не имеет физических оснований. Тем не менее, противоречивые представления классической физики об изменении движения по направлению заложены, по всей видимости, и в основу классической модели поворотного движения.

Из выражения (66.3) следует, что ускорение Кориолиса это изменение абсолютной скорости в направлении перпендикулярном радиусу, которое состоит из двух самостоятельных составляющих:

1. **ускорения линейной скорости переносного движения, обеспечивающее изменение линейной скорости переносного движения по абсолютной величине;**
2. **ускорения радиальной скорости относительного движения, обеспечивающее изменение радиальной скорости относительного движения по направлению.**

То есть, кроме линейного ускорения в направлении скорости, перпендикулярной радиусу, в состав классического ускорения Кориолиса на правах самостоятельной независимой величины входит центростремительное ускорение по изменению направления относительной скорости. Между тем в направлении перпендикулярном радиусу тело движется с линейной скоростью переносного вращения. Это единственная составляющая абсолютной скорости, перпендикулярная радиусу. Следовательно, любые линейные ускорения, действующие в указанном направлении, в том числе и центростремительное ускорение должны непременно **привести к изменению величины линейной скорости (Vn)**, а приращение скорости (Vn) является в таком случае полным приращением скорости в направлении перпендикулярном радиусу, т.е. в направлении, в котором проявляются эти ускорения. Это логически вытекает из законов динамики и в частности из второго закона Ньютона. Однако в классической модели поворотного движения вопреки всякой логике центростремительное ускорение по изменению направления относительной скорости никак не сказывается на величине приращения линейной скорости переносного вращения, а линейное ускорение в направлении переносного вращения не сказывается на приращении радиальной скорости относительного движения по направлению.

Существующая структура поворотного ускорения непосредственно вытекает из классической модели вращательного движения. Действительно, если центростремительная составляющая классического поворотного ускорения характеризует только изменение вектора относительной скорости по направлению, то в классической физике для физического оправдания изменения вектора скорости переносного движения по абсолютной величине, которое осуществляется в том же направлении, в котором проявляется и центростремительное ускорение, появляется необходимость введения дополнительного линейного ускорения Кориолиса. Причем точно также как центростремительная составляющая поворотного ускорения в классической физике не имеет никакого отношения к приросту вектора переносной скорости по абсолютной величине, дополнительная линейная составляющая классического ускорения Кориолиса не имеет никакого отношения к изменению вектора радиальной скорости по направлению. Таким образом, противоречие вращательного движения, которое заключается в гипотетическом изменении направления вектора линейной скорости без изменения его абсолютной величины, автоматически переносится и на поворотное движение.

В основе классических моделей вращательного и поворотного движения лежат исключительно кинематические схемы этих движений. Радиус окружности чисто геометрически есть величина постоянная, поэтому в классической модели вращательного движения радиальное движение отсутствует. В поворотном движении вектор скорости переносного движения изменяется в направлении центростремительной составляющей классического ускорения Кориолиса. Однако прирост скорости в направлении центростремительного ускорения в классической физике можно объяснить только дополнительным линейным ускорением, проявляющимся в этом же направлении, т.к. с классической точки зрения центростремительное ускорение приводит к изменению скорости только по направлению. Таким образом, исходя из геометрических представлений, под воздействием силы Кориолиса с классической точки зрения должны проявляться сразу два самостоятельных ускорения: центростремительное ускорение по изменению направления радиальной скорости относительного движения ($a_{ц.с.}$) и линейное ускорение ($a_{л}$) в направлении линейной скорости переносного вращения (Рис.3.1.1«а»).

Таким образом, с классической точки зрения все виды движения, из которых состоит поворотное движение, под воздействием одной и той же линейной силы получают независимые друг от друга приращения скоростей, принадлежащих к разным видам движений. Однако для осуществления независимых приращений скоростей разных видов движения, каждая половина единой линейной силы Кориолиса должна избирательно воздействовать на одно и то же тело в зависимости от вида вызываемого ей движения и при этом не оказывать влияния на другой вид поворотного движения, что с физической точки зрения представляется абсурдным. В соответствии со вторым законом Ньютона в результате воздействия линейной силы, проходящей через центр масс тела, оно может получить только одно линейное ускорение в направлении действия внешней силы. При этом никакой избирательности по видам

движения быть не может, т.к. в реальной действительности в соответствии со вторым законом Ньютона никаких других видов движения вдоль линии, проходящей через центр масс взаимодействующих тел, кроме линейного ускоренного движения, не образуется.

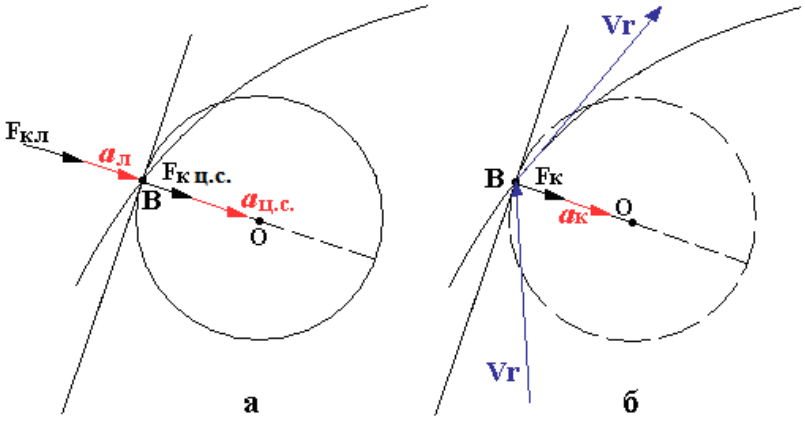


Рис. 3.1.1

На рисунке 3.1.1 силы обозначены по виду вызываемого ими ускорения:
Fкл: сила Кориолиса линейная. Fкц.с.: сила Кориолиса центростремительная.

Все ускорения, которыми пытаются объяснить приращения каких-либо иных видов механического движения, кроме линейного, в том числе и ускорения, связанные с угловыми перемещениями, являются обобщенными академическими ускорениями. Обобщенные академические ускорения являются физическим эквивалентом сложной комбинации локальных линейных ускорений, проявляющихся в разных направлениях. Так, например, угловое ускорение движущегося по окружности тела является физическим эквивалентом академического линейного ускорения, проявляющегося вдоль линии окружности. Это две абсолютно равнозначные с физической точки зрения геометрические характеристики одного и того же академического ускорения. Все виды сложного механического движения, связанного с изменением направления образуются в результате внешнего силового воздействия, не совпадающего с первоначальным направлением инерционного движения центра масс ускоряемого тела. При этом в результате взаимодействия внешней активной силы с силами инерции запускаются сложные физические механизмы формирования того или иного вида сложного движения (см. главу 1.2 ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ). Поворотное ускорение Кориолиса также как и ускорение вращательного движения представляет собой физический эквивалент сложной комбинации линейных ускорений, проявляющихся в разных направлениях.

Конечно, линейное ускорение может иметь проекции на различные линейные направления. В этом случае проекции на локальные направления естественно являются составляющими результирующего линейного ускорения. Однако составляющие классического ускорения Кориолиса не являются разложением поворотного ускорения на разные направления, т.к. в каждый момент времени они проявляются в одном и том же направлении. Разложение же физической величины на составляющие его части вдоль одного итого же направления может носить только условно-математический характер. Физического смысла такое разложение не имеет. Два одинаковых по величине и направлению линейных ускорения, которые к тому же осуществляются синхронно и в одинаковых условиях, не могут приводить к различным по своей физической сущности проявлениям, как это следует из классической модели поворотного движения. Таким образом, ускорение Кориолиса, которое с классических позиций невозможно объяснить на базе постоянного по абсолютной величине линейного ускорения пусть даже искусственно гипотетическим образом разделенного на две половины, проявляющиеся в разных качествах, следует рассматривать как обобщенное академическое ускорение, подобное ускорению вращательного движения.

Если допустить, что изменение вектора линейной скорости неизбежно связано с изменением его величины, то поворотное ускорение Кориолиса можно объяснить на базе обобщенного академического центростремительного ускорения вращательного движения, центр вращения которого движется в радиальном направлении переносного вращения со скоростью относительного движения. Величина поворотного ускорения точно также как и величина ускорения вращательного движения складывается из линейных ускорений, проявляющихся в разных направлениях в рамках законченного цикла формирования поворотного ускорения. С нашей точки зрения классические составляющие поворотного ускорения Кориолиса являются по сути дела физическим эквивалентом одного и того же обобщенного академического ускорения, которое количественно можно определить либо только по приращению относительной скорости по направлению, либо только по приращению скорости переносного вращения по абсолютной величине.

Как мы уже отмечали выше, в основе механизма изменения направления линейного движения лежит механизм отражения. Ускорение, возникающее при отражении, приводит вначале к торможению, а затем к ускоренному движению тела в направлении, перпендикулярном отражающей поверхности и одновременно к изменению линейной скорости по направлению. Это, конечно же, упрощенное схематичное представление механизма отражения. В реальной действительности в процессе отражения в каждом промежуточном пространственном положении вектора линейной скорости изменяется и его абсолютная величина. И только после завершения полного цикла механизма отражения абсолютная величина вектора линейной скорости восстанавливается до первоначального значения, но уже в новом направлении.

Таким образом, в результате осуществления физического механизма отражения линейное ускорение, проявляющееся в разных направлениях, приводит к одновременному в рамках физического процесса отражения приращению двух видов движения - изменению вектора линейной скорости относительного движения по направлению и приращению линейной скорости переносного движения по абсолютной величине. Следовательно, принципиально приращение обоих видов движения можно объяснить единым обобщенным академическим ускорением направления, которое количественно равно классическому центростремительному ускорению.

Законченный цикл преобразования движения по направлению состоит из элементарных отражений (см. главу 1.4 МЕХАНИЗМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ). Проекция вектора линейной скорости, изменяющегося как по величине, так и по направлению на радиальное направление (упрощенно - перпендикуляр к отражающей поверхности в каждом локальном отражении) образует ускоренное радиальное движение, хотя и в противоположных направлениях. Однако при этом никто не утверждает, что центростремительное ускорение состоит из двух независимых ускорений - ускорения по изменению направления линейной скорости вращательного движения и линейных радиальных ускорений. Нет никаких оснований утверждать это и в отношении поворотного ускорения, которое, по-видимому, также как и ускорение вращательного движения формируется из элементарных отражений (см. Рис.3.1.1«б»). Классическая физика не признает радиального движения вдоль радиуса вращения, который считается величиной постоянной, однако это не меняет реальной физической сущности вращательного и поворотного движений, поскольку радиальное движение при изменении направления прямолинейного движения, на наш взгляд, принципиально существует.

Геометрические принципы построения классических моделей двух видов сложного движения приводят к противоречивым физическим результатам. Одинаковые по своей физической сущности обобщенные академические ускорения поворотного и вращательного движения имеют в классической физике совершенно разный физический смысл и разную структуру. Классическое центростремительное ускорение исключительно по геометрическому принципу ассоциируется в классической физике как единое линейное ускорение, направленное к центру вращения. Поворотное же ускорение Кориолиса также же по геометрическому принципу раскладывается на две самостоятельные линейные составляющие, которые проявляются в одном и том же направлении, но которые вопреки всякой логике и законам природы приводят в классической физике к приращению только своего вида движения. При этом внутренние физические процессы, которые могут привести к геометрическому разложению поворотного движения на два вида движения, в классической физике во внимание почему-то не принимаются. Противоречия классической модели вращательного движения, формально решаются за счет введения в состав поворотного ускорения дополнительного линейного ускорения. Таким образом, задача определения поворотного ускорения Кориолиса, как собственно и ускорения вращательного движения, в классической физике решена формально математически.

С физической точки зрения ни классическая модель вращательного движения, ни классическая модель поворотного движения не осуществимы. Теоретически можно попытаться представить поворотное ускорение в двух видах движения, как попеременное действие единого поворотного ускорения, проявляющегося в разных качествах, что значительно более корректно, чем классическая модель поворотного движения. Тогда общее ускорение действительно определялось бы как сумма двух разных ускорений, каждое из которых в конечном итоге с учетом в два раза меньшего времени его воздействия по сравнению с общим временем ускоренного движения равнялось бы половине общего ускорения. При этом общее ускорение также было бы вдвое меньше классического поворотного ускорения. Однако в этом случае необходим физический механизм в соответствии, с которым поворотное ускорение Кориолиса периодически должно проявляться в том или ином качестве. Такое представление достаточно близко к реальному физическому механизму поворотного движения, в котором, однако, мгновенное линейное ускорение Кориолиса не перевоплощается в разные качества, а лишь изменяется как по величине, так и по направлению в соответствии с физическим механизмом образования поворотного движения. Среднее значение такого «линейного» ускорения и есть обобщенное академическое ускорение Кориолиса.

Ускорение Кориолиса, так же как и ускорение вращательного движения имеет физический смысл только, как обобщённое академическое ускорение, характеризующееся средним ускорением **законченного цикла** формирования ускорения Кориолиса, которое формируется в результате циклически повторяющегося физического процесса. Отличие состоит только в том, что ускорение Кориолиса формируется как среднее ускорение отдельных разрозненных циклов вращательного движения, в то время как ускорение направления (центростремительное ускорение) представляет собой среднее обобщенное ускорение одного цикла вращательного движения. В каждом цикле формирования ускорения Кориолиса также как и во вращательном движении происходит саморегуляция величины ускорения Кориолиса. Внутри цикла формирования ускорения Кориолиса локальные циклы вращательного движения могут иметь разные значения обобщенного среднего ускорения, и только в начале и в конце цикла формирования ускорения Кориолиса в результате действия механизма саморегуляции величина среднего ускорения в циклах вращательного движения в рамках поворотного движения приобретает количественное значение обобщенного поворотного ускорения Кориолиса.

После завершения каждого цикла вращательного движения в составе поворотного движения наступает фаза движения тела по инерции с установившейся линейной скоростью. В этой фазе приращение обоих видов движения прекращается. Однако в каждой новой точке взаимодействия тела с направляющей вновь формируется ускорение направления в результате чего, приращения обоих видов движения возобновляются. Таким образом, за счёт непрерывной последовательности отдельных циклов вращательного движения, осуществляющихся в каждой новой точке взаимодействия тела с направляющей, которые чередуются с инерционным движением в каждом локальном направлении, создаётся иллюзия длительного непрерывного осуществления двух видов ускоренного движения одновременно. Фактически же в каждом элементарном взаимодействии осуществляется только один вид ускоренного движения – линейное ускоренное движение, которое проявляется в разных направлениях в результате элементарных отражений.

Поскольку при формировании ускорения Кориолиса автоколебательный процесс вращательного движения вектора радиальной скорости чередуется с относительно длительными периодами движения по инерции, то вращательное движение радиальной скорости как таковое отсутствует. Существуют лишь отдельные разрозненные элементарные циклы вращательного движения, которые в совокупности с инерционным движением образуют уже не вращательное движение, как таковое, а поворотное движение, осуществляющееся по спиральной траектории. Таким образом, приращение поворотного движения происходит за счёт обобщенного среднего ускорения законченного цикла формирования поворотного движения, в котором одновременно получает приращение относительная линейная скорость по абсолютной величине и линейная скорость переносного вращения по направлению. Причем величина этого ускорения вдвое меньше классического ускорения Кориолиса, т.к. в реальном физическом механизме формирования поворотного ускорения Кориолиса отсутствует дополнительное линейное ускорение, обеспечивающее линейную часть классического поворотного ускорения или его центростремительная составляющая. В нашем понимании обе составляющие классического ускорения Кориолиса являются физическим эквивалентом обобщенного академического поворотного ускорения, которое представляет собой совокупность линейных ускорений, проявляющихся в разных направлениях.

Вопрос поступательного движения в направлении действия ускорения Кориолиса, которое во вращательном движении в среднем за цикл отсутствует, разрешается в поворотном движении за счёт достаточно длительного во времени инерционного движения между отдельными циклами вращательного движения по сравнению с инерционным движением непосредственно внутри цикла вращательного движения. При формировании вращательного движения процесс преобразования направления осуществляется практически непрерывно. В каждом цикле преобразования движения по направлению ускоренное радиальное движение от центра вращения тут же сменяется ускоренным радиальным движением к центру вращения, поэтому суммарное радиальное движение во вращательном движении отсутствует. В поворотном движении после завершения локального цикла преобразования радиального движения по направлению до следующего достаточно отдалённого по времени взаимодействия тело движется практически по инерции. В результате в каждом цикле формирования ускорения Кориолиса тело получает в среднем реальное ускоренное перемещение в направлении действия силы Кориолиса.

Кроме приведенных выше противоречий классической модели поворотного движения в классической физике нет удовлетворительного объяснения равенства двух составляющих классического ускорения Кориолиса по величине. Все авторы, занимающиеся изучением явления Кориолиса, не только не пытаются объяснить этот факт, **но даже не ставят такой вопрос!** В классической модели поворотного ускорения равенство двух составляющих ускорения Кориолиса автоматически вытекает из несложных математических преобразований, что для классической науки, в которой математика порою заменяет

физику, оказывается вполне достаточным. Между тем ответ на этот вопрос, по нашему мнению, не так прост, как кажется на первый взгляд и очень важен для определения физической сущности явления Кориолиса. Если допустить, что ускорение по изменению направления относительной радиальной скорости и ускорение по изменению абсолютной величины линейной скорости в направлении переносного вращения это одна и та же физическая величина, то вопрос о количественном и физическом равенстве этих ускорений разрешается естественным образом. Ниже предложен возможный физический механизм формирования и саморегуляции ускорения Кориолиса в нашей версии.

В отсутствие радиального относительного движения линейная скорость тела, находящегося на направляющей равна линейной скорости переносного вращения в соответствующей точке направляющей (см. Рис..3.1.2, поз.I), т.е. относительная скорость тела и направляющей равна нулю. При этом тело испытывает только ускорение переносного вращения, а средняя величина линейной скорости переносного вращения неизменна. С началом относительного радиального движения начинается циклический саморегулирующийся процесс формирования ускорения Кориолиса. Если сообщить телу прямолинейное движение вдоль направляющей с относительной скоростью (Vr), то это неизбежно приведет к дополнительному взаимодействию тела с направляющей. В результате переносного вращения направляющая поворачивается относительно вектора радиальной скорости тела (Vr) на некоторый угол (см. Рис.3.1.2, поз.II). При взаимодействии тела, движущегося с радиальной скоростью вдоль неизменного направления и повернувшейся на некоторый угол направляющей, относительная скорость между телом и направляющей уже не равна нулю и зависит от скорости радиального движения тела и от угла между вектором радиальной скорости и направляющей, т.е. от угловой скорости переносного вращения.

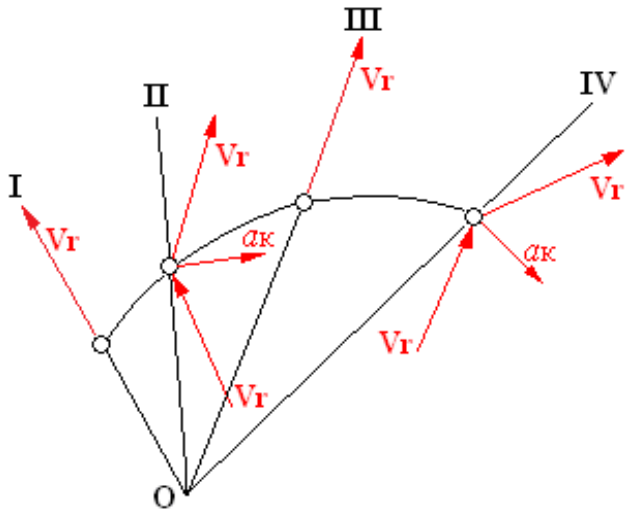


Рис. 3.1.2

Мгновенное значение ускорения, полученного телом в момент взаимодействия с направляющей, может быть значительно больше или меньше наблюдаемого среднего за цикл ускорения в направлении линейной скорости переносного вращения или ускорения по изменению направления относительной радиальной скорости. Однако значительную часть времени внутри цикла тело движется по инерции, поэтому какие бы значения не принимало ускорение Кориолиса внутри цикла, среднее за цикл ускорение Кориолиса равно отношению полного за цикл приращения скорости ко времени длительности полного цикла формирования ускорения Кориолиса. Под полным законченным циклом формирования ускорения Кориолиса следует понимать цикл взаимодействий тела с направляющей, после завершения которого скорость относительного движения направлена вдоль текущего радиуса переносного вращения, а нормальная к радиусу составляющая абсолютной скорости тела равна линейной скорости переносного вращения в точке, в которой в данный момент находится тело.

После каждого локального цикла изменения направления радиальной скорости относительного движения внутри полного цикла формирования ускорения Кориолиса тело продолжает движение под некоторым углом к направляющей с постоянной по величине скоростью. Движение тела происходит как в нормальном, так и в радиальном направлении, в то время как точка вращающейся системы, находящаяся на направляющей и соответствующая текущему радиальному положению тела, движется с возрастающей линейной скоростью переносного вращения. Именно за счет прироста линейной скорости переносного вращения точки вращающейся системы, находящейся на направляющей и соответствующей текущему радиусу переносного вращения и преодолевается разница скоростей тела и скорости соответствующей точки переносного вращения.

Направляющая как бы догоняет тело, движущееся к тому времени преимущественно по инерции, в новой точке вращающейся системы (см. Рис.3.1.2,поз.III). Причем скорость точки на направляющей соответствующей текущему радиальному положению тела является линейной скоростью переносного движения, которая не зависит от ускорения Кориолиса. В соответствии с классическими представлениями современной физики скорость и ускорение любой точки вращающейся системы является скоростью и ускорением непосредственно переносного движения, т.е. это чисто геометрические параметры движения переносного вращения математической точки на текущем радиусе переносного движения.

В то время как направление вектора относительной скорости при движении тела по инерции после каждого взаимодействия внутри полного цикла формирования ускорения Кориолиса какое-то время остается неизменным, направляющая в составе вращающейся системы постоянно изменяет свое угловое положение относительно неизменного по направлению вектора радиальной скорости тела. Таким образом, угол между вектором радиальной скорости и направляющей в процессе переносного вращения уменьшается. Направляющая догоняет тело не только за счёт линейной скорости переносного вращения точки соответствующей текущему радиальному положению тела, но и по направлению. После выравнивания угловых положений вектора относительной скорости и направляющей и выравнивания нормальной к радиусу скорости тела и переносной скорости соответствующей точки на направляющей, цикл формирования ускорения Кориолиса завершается (см. Рис.3.1.2,поз.III).

Если направляющая «догонит» тело раньше, того момента, когда угол между вектором относительной скорости и направляющей станет равным нулю, а их нормальные скорости сравняются по абсолютной величине, то при их контакте тело получит дополнительное ускорение направления. Причем величина ускорения при новом взаимодействии меньше величины ускорения в момент первого контакта тела с направляющей, так как движение соответственной точки на направляющей и тела осуществляются в этот момент в попутном направлении, т.е. при меньшей относительной скорости и меньшем угле взаимодействия. Поскольку дополнительное ускорение будет меньше первоначального, то следующий контакт тела с направляющей произойдет при еще меньшей разности нормальных скоростей тела и соответствующей точки на направляющей и меньшем угле между направляющей и вектором относительной скорости. Так будет происходить до тех пор, пока угол между направляющей и вектором относительной скорости при их взаимодействии не станет равным нулю, а нормальная скорость тела и соответствующей точки на направляющей не сравняются по величине, после чего полный цикл формирования ускорения Кориолиса завершится.

К моменту начала нового цикла скорость «отражающей поверхности» (направляющей) соответствует скорости тела, достигнутой, за счёт поворотного ускорения в предыдущем цикле, т.е. относительная скорость тела и направляющей в конце цикла, как и в начале цикла формирования ускорения Кориолиса равна нулю. Следовательно, среднее за цикл ускорение Кориолиса строго соответствует приросту линейной скорости переносного вращения связанному с изменением радиуса переносного вращения. Каждый цикл эквивалентен одному элементарному отражению радиальной скорости от неподвижной отражающей поверхности, что обуславливает неизменность радиальной скорости по величине после каждого отражения и изменение её по направлению. Если в момент первого взаимодействия тело и соответствующая точка направляющей имеют разные нормальные скорости и разные угловые положения вектора относительной скорости и текущего положения направляющей, то в соответствии с описанным выше механизмом произойдет выравнивание этих параметров. После того как нормальные скорости тела и соответствующей точки на направляющей и угловое положение вектора относительной скорости и текущего положения направляющей сравняются, - возобновятся нормальные циклы формирования ускорения Кориолиса.

Таким образом, в серии элементарных отражений большей или меньшей интенсивности с разными углами падения и отражения внутри полного цикла формирования ускорения Кориолиса достигается прирост абсолютной скорости тела в направлении линейной скорости переносного вращения до текущей величины вектора скорости переносного вращения. При этом достигается также и изменение направления радиальной скорости относительного движения, соответствующее текущему угловому положению направляющей в начале каждого цикла формирования ускорения Кориолиса. Из приведенного механизма следует, что и прирост линейной скорости в направлении переносного вращения и прирост направления радиальной скорости происходят в рамках единого физического процесса, характеризующегося единым обобщенным ускорением Кориолиса, эквивалентом которого является ускорение по изменению каждой из этих скоростей в отдельности.

Вращательное движение тела, жестко связанного с центром вращения связующим телом является относительно непрерывным и равномерным процессом по изменению величины и направления линейной скорости. В рассматриваемом сложном движении циклы вращательного движения периодически

прерывается достаточно протяженными участками равномерного прямолинейного движения по инерции. Центростремительное ускорение циклов вращательного движения в составе поворотного движения чередуется с прямолинейными участками равномерного движения по инерции, когда тело «отрывается» от направляющей и некоторое время движется самостоятельно по инерции. Поэтому при каждом последующем взаимодействии с направляющей центростремительное ускорение такого «прерывистого вращения» сообщает телу движение каждый раз к новому центру условной окружности, по которой предполагается движение тела с радиальной скоростью (Рис. 3.1.3). На Рис.3.1.3 предполагаемая окружность, по которой в классической версии поворотного движения тело движется с радиальной скоростью относительного движения, показана пунктиром.

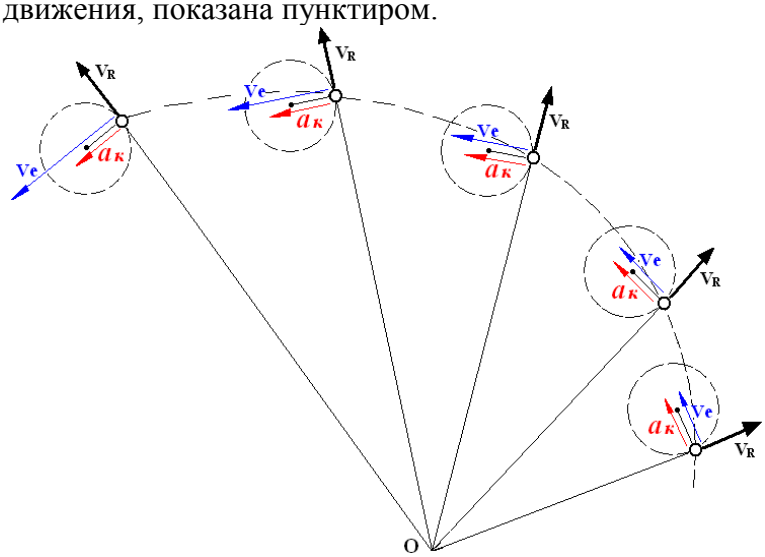


Рис. 3.1.3

Предложенный механизм поворотного движения тела под действием ускорения Кориолиса полностью соответствует современным представлениям теоретической механики об общем случае сложного движения твердого тела по криволинейной траектории, которое рассматривается как поступательные продвижения, чередующиеся с элементарными поворотами вокруг мгновенных осей вращения. Можно также математически показать, что ускорение по изменению переносной скорости по абсолютной величине и ускорение по изменению направления радиальной скорости относительного движения это одно и то же ускорение. Приращение радиальной скорости относительного движения по направлению равно:

$\Delta Vr = Vr*\Delta\alpha = Vr*\omega*\Delta t$

Это выражение соответствует третьему члену выражения (66.3)

Произведение ($Vr*\Delta t$) в выражении для (ΔVr) есть не что иное, как изменение радиуса переносного вращения (Δr). Тогда выражение для (ΔVr) можно записать в виде:

$\Delta Vr = Vr*\Delta\alpha = Vr*\omega*\Delta t = (Vr*\Delta t)*\omega = \mathbf{\Delta r*\omega}$

Но **($\Delta r*\omega$)** есть не что иное, как прирост линейной скорости переносного движения в связи с изменением радиуса переносного вращения:

$\mathbf{\Delta V_Л = r_2*\omega - r_1*\omega = (r_2 - r_1)*\omega = \Delta r*\omega}$

Тогда:

$\mathbf{\Delta Vr = \Delta V_Л}$

Аналогичным образом можно показать, что прирост абсолютной скорости в направлении линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине есть не что иное, как прирост радиальной скорости относительного движения по направлению.

$\mathbf{\Delta V_Л} = Vn_2 - Vn_1 = \omega*r_2 - \omega*r_1 = \omega*\Delta r = \omega*(Vr*\Delta t) = Vr*(\omega*\Delta t) = = Vr*\Delta\alpha = \mathbf{\Delta Vr}$

То есть:

$\mathbf{\Delta V_Л = \Delta Vr}$

Следовательно, ускорение Кориолиса ($w_к$) равно:

$\mathbf{w_к = \Delta V_Л/\Delta t = \Delta Vr/\Delta t = \omega*Vr}$

Приведенный выше математический анализ поворотного ускорения Кориолиса как показывает практика, может быть истолкован по-разному. Например, те же самые математические выкладки в классической физике воспринимаются как подтверждение классической модели поворотного ускорения, а не как два равнозначных математических метода определения одного и того же поворотного ускорения. Тем не менее, математическое выражение ($\Delta Vr=Vr*\Delta\alpha=Vr*\omega*\Delta t=(Vr*\Delta t)*\omega=\mathbf{\Delta r*\omega=\Delta V_Л}$) в первую очередь устанавливает приращение **линейной скорости переносного вращения**, поскольку с размером радиуса и скоростью изменения его углового положения физически увязывается линейная скорость не вдоль радиуса, а **перпендикулярная радиусу**. Однако приращение линейной скорости переносного

вращения по абсолютной величине в свою очередь определяется приращением радиальной скорости по направлению, поскольку каждый текущий радиус переносного вращения (**Δr=Vr*Δt**) определяется радиальной скоростью относительного движения. Отсюда следует, что приращение радиальной скорости одновременно является приращением линейной скорости переносного вращения и наоборот. Именно поэтому приращения этих скоростей и равны по абсолютной величине.

Математическое равенство физически означает, прежде всего, идентичность величин, но никак не их кратность. С математической точки зрения приращение переносной скорости по абсолютной величине и приращение радиальной скорости по направлению это, прежде всего тождественные математические выражения, что, скорее свидетельствует и об их физической идентичности, чем о частном случае равенства двух разных физических величин. Таким образом, дополнительное ускорение в составе классического поворотного ускорения Кориолиса нельзя считать, по крайней мере, на 100% обусловленным математически. Поворотное ускорение может быть определено различными математическими методами, но это не значит, что реальное ускорение будет состоять из суммы ускорений, найденных различными методами. Самостоятельные независимые ускорения могут быть равны между собой количественно. Полное же совпадение математических формул ускорений, в которых присутствуют **одни и те же базовые физические величины,** скорее всего, свидетельствует о том, что речь идет об одной и той же физической величине. Следовательно, в классическом ускорении Кориолиса **одна и та же физическая величина учтена дважды.**

У Матвеева А. Н. (см. выше Рис. 159) приращение поворотного движения четко разделено на две составляющие, которые рассматриваются как самостоятельные приращения поворотного движения. Переносное движение при относительном движении и относительное движение при переносном движении по сути дела выдернуты из общего процесса сложного движения, что на наш взгляд приводит к ошибочной интерпретации приращения поворотного движения, как суммы двух самостоятельных приращений разных скоростей. Однако приращение абсолютной линейной скорости равно сумме годографов составляющих линейных скоростей только при прямолинейном ускоренном движении. В общем случае приращение абсолютной скорости не равно алгебраической сумме годографов составляющих скоростей. Суммарное приращение составляющих скоростей и приращение суммарной скорости это вовсе не одно и то же. Приращением результирующей скорости сложного движения является не сумма годографов, а годограф суммы составляющих скоростей. Поэтому в общем случае при определении приращения сложного движения необходимо учитывать геометрическую сумму векторов составляющих скоростей в каждый текущий момент времени.

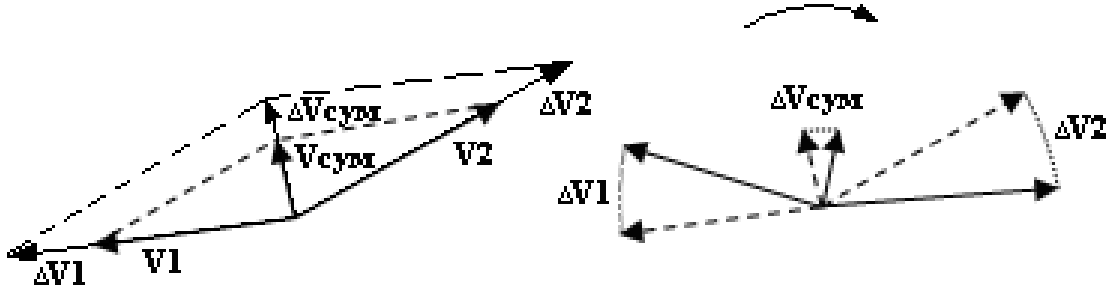


Рис. 3.1.4

На рисунке 3.1.4 изображен простейший пример параллелограмма векторов скоростей (V1) и (V2). Совершенно очевидно, что суммарный годограф (ΔVсум) не равен алгебраической сумме годографов (ΔV1) и (ΔV2) ни при ускорении по изменению направления составляющих векторов, ни при линейном ускорении в направлении составляющих векторов. Точно также годограф поворотного движения не может быть равен алгебраической сумме годографов скоростей, составляющих поворотное движение. Более того, физического понятия поворотной скорости как такового не существует. Поворотная скорость не является суммой радиальной и переносной скоростей, которая представляет собой абсолютную скорость. Поворотная скорость это академическая величина, характеризующая переносное движение при относительном движении и относительное движение при переносном движении. Поэтому полное приращение поворотного движения проявляется как приращение скорости каждого из этих движений в отдельности в присутствии другого движения. Изменение радиальной скорости по направлению одновременно приводит к такому же по абсолютной величине изменению линейной скорости переносного вращения и наоборот.

Как видно из рисунка (3.1.5) годограф радиальной линейной скорости, изменяющейся по направлению, совпадает с годографом линейной скорости переносного вращения, изменяющейся по абсолютной величине. Каждая новая точка годографа радиальной скорости одновременно является и точкой годографа линейной скорости переносного вращения. Таким образом, годограф (ΔVe=ΔVr) и есть

приращение поворотной скорости. При этом сама поворотная скорость одновременно является и радиальной скоростью относительного движения при переносном движении, и линейной скоростью переносного вращения при относительном движении. Каждая из этих скоростей в отдельности при осуществлении совместного движения приобретает статус поворотной скорости, которая, таким образом, является академической величиной, характеризующей новые качества каждой из этих скоростей, проявляющиеся только при совместном движении.

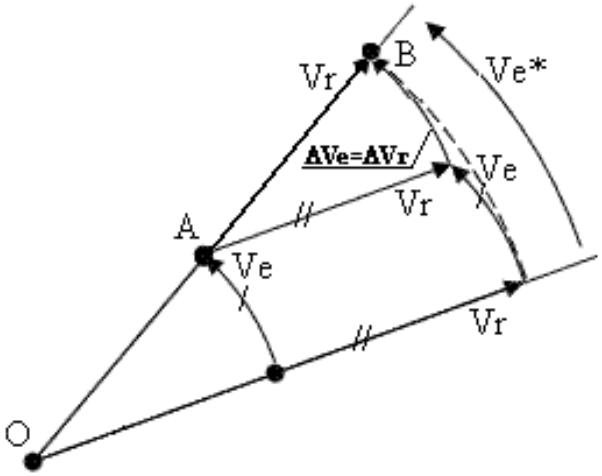


Рис. 3.1.5

Некоторое графическое расхождение годографа (ΔVr) с годографом (ΔVe) объясняется несоответствием масштаба рисунка минимальному интервалу времени, который он иллюстрирует. Наглядно изобразить все вектора в одном масштабе практически невозможно, поэтому на рисунке 3.1.5 для наглядности показаны только принципиальные соотношения векторов скоростей и их приращений. Кроме того, годограф (ΔVe) расположен вдоль дуги с текущим радиусом переносного вращения с некоторой степенью условности, т.к. в реальной действительности годограф (ΔVe) эквивалентен приращению прямолинейного движения, также как собственно и годограф (ΔVr). В данном случае принципиально важным параметром является только длина годографов (ΔVe) и (ΔVr), которая абсолютно одинакова, что подтверждается двумя равнозначными математическими методами определения поворотного ускорения. Причем равенство приращений (ΔVe) и (ΔVr) не случайно и объясняется их соответствием одной и той же физической величине. Взаимосвязь приращения направления с линейным приращением в новом направлении можно показать на примере вращательного движения.

Линейная скорость вращательного движения непрерывно перестраивается в новом направлении. До тех пор, пока вектор линейной скорости полностью не перестроится, в каждом новом направлении вращательного движения проявляется положительное линейное ускорение. В то же самое время линейное ускорение в прежнем направлении - отрицательное, что приводит к уменьшению линейной скорости в прежнем направлении. Причем в каждом новом направлении результирующая линейная скорость начинается с нулевого значения и заканчивается после полной перестройки линейной скорости вращательного движения в новом направлении. При этом значение линейной скорости вращательного движения в каждом направлении вдоль линии окружности остается неизменным, т.к. в новом направлении перестраивается одна и та же линейная скорость на базе нулевой начальной скорости в этом направлении. В поворотном движении приращение радиальной скорости в новом направлении формально также начинается с нулевого значения. Однако приращение радиальной скорости совпадает с направлением текущей линейной скорости переносного вращения, т.е. происходит на базе не нулевой начальной скорости. Поэтому приращение радиальной скорости относительного движения по направлению одновременно является приращением линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине.

После прекращения поворотного движения поворотное ускорение равно нулю. Однако приращение поворотной скорости, достигнутое за счет поворотного ускорения должно сохраняться и в дальнейшем движении без поворотного ускорения Кориолиса, т.е. после его прекращения. Поворотное ускорение равно нулю в двух случаях - либо в отсутствие радиального движения, либо в отсутствие переносного вращения. Следовательно, в каждом из этих случаев после прекращения действия поворотного ускорения должно сохраняться полное приращение поворотного движения, достигнутое за счет поворотного ускорения. Причем приращением поворотного движения является приращение академической поворотной скорости, которая эквивалентна каждой из составляющих сложное движение скоростей при их совместном проявлении. В отсутствие радиального относительного движения после его прекращения можно определить только приращение линейной скорости переносного вращения, а после прекращения

переносного вращения только приращение радиальной скорости по направлению. Следовательно, каждое из этих приращений в отдельности и является полным приращением поворотной скорости.

Приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине и приращение линейной скорости относительного движения по направлению являются абсолютно равнозначными эквивалентами полного приращения поворотной скорости. Приращения линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине (ΔVe) в отсутствие относительного движения не существует, как не существует и приращения относительной скорости по направлению (ΔVr) в отсутствие переносного вращения. Поворотное движение существует только при совместном осуществлении относительного радиального движения и переносного вращения. Относительное ускорение при переносном движении и переносное ускорение при относительном движении это одно и то же поворотное ускорение, а приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине и радиальной скорости относительного движения по направлению и есть общий физический эквивалент приращения поворотной скорости.

По своей физической сущности ускорение Кориолиса, является ускорением взаимного влияния переносного и относительного движений друг на друга. Ускорение Кориолиса одинаково обусловлено как переносным движением, в результате которого происходит увеличение линейной скорости переносного вращения, так и относительным движением, скорость которого во взаимодействии с переносным движением изменяется по направлению. Ускорение Кориолиса является общей частью переносного и относительного движений. Переносное и относительное ускорение тела в сложном движении отличаются от переносного и относительного ускорения тела в каждом из этих движений в отдельности на величину ускорения, определяющегося их взаимным влиянием друг на друга, т.е. на величину ускорения Кориолиса. Переносное ускорение тела в сложном движении это сумма переносного ускорения тела в отсутствии относительного движения и ускорения Кориолиса. Соответственно относительное ускорение тела в сложном движении это сумма относительного ускорения тела в отсутствии переносного движения и ускорения Кориолиса. Абсолютное ускорение не равно простой сумме переносного движения с учетом относительного движения и относительного движения с учетом переносного движения, поскольку при прямом математическом сложении общая часть этих ускорений будет учтена дважды.

Выводом формулы ускорения Кориолиса занимались множество авторов. Однако, несмотря на все перечисленные выше противоречия классической модели поворотного движения, формула ускорения Кориолиса в исполнении всех авторов неизменно привязана к результату, определяющемуся исторически сложившимся подходом к определению величины ускорения Кориолиса. В выводе формулы для ускорения Кориолиса представленном в «Справочнике по физике для высшей школы» (см. Рис.6) ускорение Кориолиса определяется как ускорение эквивалентного прямолинейного равноускоренного движения по формуле пути (S) для прямолинейного равноускоренного движения. Приведем дословно выдержку из справочника: «*Пусть тело (Б), находящееся на расстоянии (А) от неподвижной точки (О), движется в направлении точки (В) со скоростью (Vр). При отсутствии вращения тело (Б) через время (t) оказалось бы в точке (В). Так как направляющая (ОВ), вдоль которой движется тело, вращается в направлении (С), то фактически через время (t) тело (Б) окажется в точке (С) пройдя путь равный дуге окружности (ВС)*» («Справочник по физике для высшей школы»).

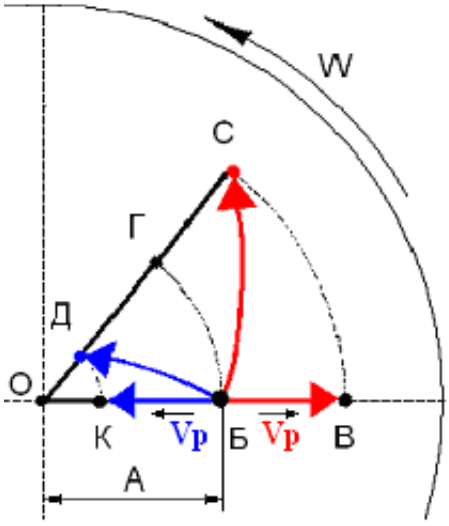


Рис. 3.1.6

Таким образом, ускорение Кориолиса в классической физике определяется через дугу (ВС), которую предлагается считать путем, пройденным с ускорением Кориолиса. Причем никаких пояснений, на каком основании дуга (ВС) принимается за путь, пройденный с ускорением Кориолиса, в справочнике не

приводится. Можно лишь предположить, что дуга (BC) ассоциируется с девиацией поворотного движения Девиация это академическое отклонение тела от реальной траектории движения в случае прекращения действия ускорения за период движения без ускорения. Чтобы вернуть тело после движения с постоянной скоростью, которую оно имело на момент прекращения действия ускорения на реальную траекторию движения необходимо обеспечить ему такое же приращение движения, дефицит которого образуется за время отсутствия ускорения. Очевидно, что ускорение по преодолению девиации, образующейся в достаточно малом интервале времени в некотором приближении соответствует реальному ускорению криволинейного движения, по крайней мере, по абсолютной величине.

Девиация в общем случае криволинейного движения является абстрактной академической траекторией, которая физически не совпадает с траекторией реального движения. Отклонение тела от реальной траектории за счёт отложенного ускорения в общем случае определяется по кратчайшему расстоянию между соответствующими точками на траектории инерционного движения и на реальной криволинейной траектории. Представление реальной траектории движения через девиацию является по сути дела академическим разложением реальной траектории движения на участки, пройденные по инерции за счёт достигнутой к определённому моменту времени скорости, и участки, пройденные телом с реальным ускорением. При этом полученные при разложении реальные участки траектории перераспределяются и группируются по видам движения на траекторию инерционного движения и академическую траекторию ускоренного движения, которые образуют геометрическую сумму равную реальной траектории абсолютного движения.

По всей видимости, главным условием определения ускорения криволинейного движения, в том числе и поворотного движения через академический отрезок девиации является строгое соответствие девиации элементарным участкам реальной траектории, пройденным за счёт реального ускорения, причем это соответствие достигается только в бесконечно малом интервале времени. Бесконечно малые элементы девиации любого криволинейного движения, будучи соответствующим образом, встроенными в прямую, пройденную без ускорения должны фактически обеспечивать возможность трансформации траектории движения тела в отсутствии ускорения в сумме с девиацией в реальную траекторию движения. Дугу (BC) и прямую (БВ) ни при каких условиях невозможно трансформировать в реальную траекторию абсолютного движения, поскольку величина дуги (BC) не соответствует элементарным участкам реальной траектории, пройденным только с поворотным ускорением.

Очевидно, что девиацией поворотного движения является отклонение прямолинейного радиального относительного движения от переносного вращения в отсутствии относительного движения. Переносным ускорением в отсутствие относительного движения в классической физике по определению считается ускорение той точки вращающейся системы, в которой в каждый текущий момент времени находится тело. Но переносное ускорение это ускорение по изменению направления линейной скорости переносного вращения в той же самой текущей точке вращающейся системы. Следовательно, линейной скоростью переносного вращения в отсутствие относительного движения следует считать текущую линейную скорость переносного вращения, за счет которой собственно и осуществляется отклонение переносного вращения в отсутствие относительного движения от прямолинейного радиального движения.

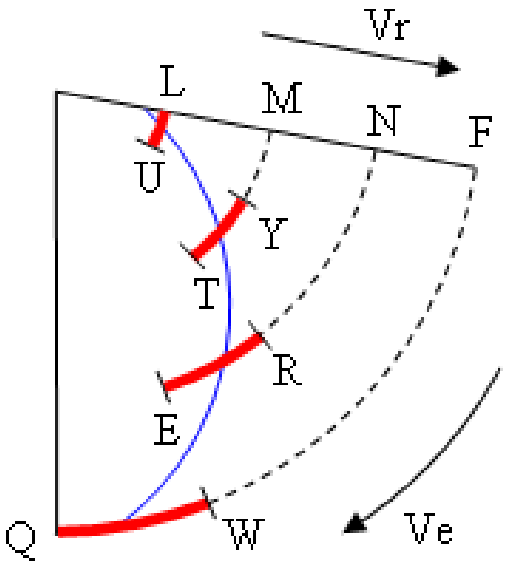


Рис. 3.1.7

Поскольку в любом заданном интервале времени в отсутствие относительного движения в соответствии с классическим же определением существует только переносное вращение с текущим

радиусом, то девиацией поворотного движения является непосредственное приращение линейной скорости переносного вращения от одного переносного вращения к другому, которое одновременно является и приращением радиальной скорости по направлению. Причем в этом нет никакого противоречия, т.к. прирост переносного вращения с переменным радиусом в отсутствии ускорения Кориолиса обеспечивается, тем не менее, именно за счет ускорения Кориолиса при наличии относительного и переносного движения. С учетом изложенного разложение абсолютной траектории на движение в отсутствии ускорения Кориолиса и девиацию поворотного движения представляет собой радиальные и окружные участки абсолютной траектории соответственно (Рис.3.1.7).

Окружные участки (QW, ER, TY, UL) представляют собой переносное вращение в отсутствие относительного движения на каждом текущем радиусе переносного вращения. Поскольку радиус переносного вращения непрерывно изменяется, то радиус окружных участков равен среднему радиусу переносного вращения в секторах, в которых находятся окружные участки. Сумма окружных участков и есть девиация поворотного движения равная приращению линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине и приращению радиальной скорости по направлению. Аналогично элементарным окружным участкам девиация поворотного движения во всем заданном интервале времени равна дуге окружности со средним радиусом вращения в этом интервале. Радиальные участки (LM, MN, NF) равные по величине радиальным разрывам (UY, TR, EW) траектории переносного вращения в отсутствие относительного движения представляют собой прямолинейное относительное движение (LM) в отсутствие переносного движения.

В составе классической девиации поворотного движения наряду с отклонением, связанным с реальным ускорением Кориолиса фактически присутствует путь, непосредственно пройденный с текущей начальной скоростью переносного вращения. Текущее приращение линейной скорости переносного вращения, достигнутое за счет ускорения Кориолиса, непрерывно включается в состав текущей линейной скорости переносного вращения, которая является скоростью той точки вращающейся системы, в которой в данный момент времени находится тело. Это приращение полностью учтено в текущих окружных участках со средним радиусом вращения (см. Рис.3.1.7), которые образуются за счет совместного осуществления переносного вращения и относительного радиального движения. Однако классическое приращение поворотного движения с максимальным радиусом повторно включает это приращение в виде пути, пройденного телом с начальной линейной скоростью текущего переносного вращения.

Общее отклонение прямолинейного радиального движения от переносного вращения в соответствии с классической схемой, показанной на (Рис. 3.1.7) фактически складывается из девиации поворотного движения непосредственно и пути, пройденного соответствующей точкой в составе текущего переносного вращения с радиусом, дополняющим реальный текущий радиус до максимального в заданном интервале времени. Очевидно, что радиус, дополняющий текущий радиус до максимального радиуса в заданном интервале времени в точности повторяет реальный текущий радиус только в обратном порядке. Таким образом, в составе классической девиации поворотного движения в виде дуги (BC) с максимальным радиусом переносного вращения в заданном интервале времени одно и то же приращение поворотного движения учитывается дважды.

Таким образом, девиацией поворотного движения является непосредственное приращение линейной скорости переносного вращения от одного переносного вращения к другому, которое одновременно является эквивалентом приращения радиальной скорости относительного движения по направлению и полным приращением поворотного движения. Классическая девиация поворотного движения, на наш взгляд, противоречит не только классическому определению переносного вращения в отсутствие относительного движения, но и здравому смыслу. Либо переносное движение с постоянным максимальным радиусом не соответствует переносному вращению без ускорения Кориолиса, т.е. девиации поворотного движения, либо классическое представление о переносном вращении в отсутствие относительного движения, которое представляет собой текущее переносное движение неверно. Возможен только один из этих двух вариантов, т.к. эти два понятия классической физики противоречат друг другу. С учетом изложенного девиация поворотного движения должна удовлетворять следующим условиям:

Во-первых, поскольку поворотное движение связано с переносным вращением, то девиацию поворотного движения следует определять вдоль линии окружности переносного вращения.

В классической физике отклонение прямолинейного относительного движения от реальной траектории так и определяется как дуга окружности. Однако классическое отклонение в виде дуги (BC) обеспечивается не только за счет ускорения Кориолиса, но и за счет достигнутой линейной скорости на каждом текущем радиусе окружного переносного движения в отсутствие относительного движения, т.е. в конечном итоге за счет чисто геометрического отклонения прямой от окружности.

Отсюда вытекает следующее условие определения девиации поворотного движения:

Во-вторых, девиация поворотного движения равна приращению переносного движения без ускорения Кориолиса с переменным радиусом и представляет собой дугу окружности с переменным радиусом прерывистую в радиальном направлении и располагающуюся вдоль реальной траектории абсолютного движения.

В-третьих, поскольку радиус переносного вращения непрерывно изменяется, девиация поворотного движения в заданном интервале времени равна длине дуги окружности со средним радиусом переносного вращения в этом интервале.

В-четвертых, в составе дуги окружности со средним радиусом поворотного движения необходимо учитывать не только путь, пройденный за счет поворотного движения, но и окружной путь, пройденный телом за счет начальной скорости переносного вращения на момент начала движения с отложенным ускорением Кориолиса. В конечном итоге, как будет показано ниже ускорение Кориолиса не зависит от начального радиуса и начальной линейной скорости переносного вращения, однако для того чтобы это стало очевидным в методике определения поворотного ускорения Кориолиса необходимо учитывать начальную линейную скорость переносного вращения.

В классической физике девиация поворотного движения определяется в составе дуги окружности, очерченной конечным радиусом (или максимальным радиусом в конкретном рассматриваемом случае) поворотного движения в минимальном интервале времени, что, на наш взгляд, приводит к удвоению реальной величины девиации поворотного движения. Траекторию, в соответствии с которой может быть определена девиация поворотного движения, можно представить в трех возможных вариантах (см. Рис. 3.1.8). При этом ускорение поворотного движения в соответствии с каждым из этих вариантов, естественно будет разное:

1. В виде дуги окружности с максимальным радиусом в рассматриваемом интервале времени, что соответствует классическому варианту.
2. В виде дуги окружности с переменным радиусом, соответствующим текущему радиусу переносного вращения в каждый момент времени, что соответствует нашей интерпретации.
3. И в виде прямой линии, соединяющей начальное и конечное положение точки, движущееся по траектории абсолютного движения.

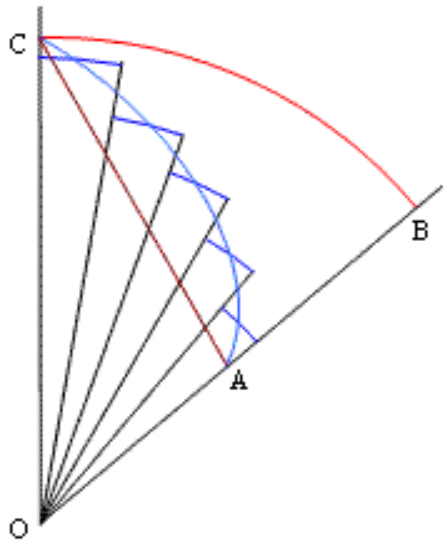


Рис. 3.1.8

Понятно, что прямая линия (AC) не может соответствовать реальной траектории поворотного движения, т.к. движение вдоль прямой вообще не связано с вращением. На рисунке (Рис. 3.1.8) прямой линией обозначена только одна из крайних границ области, внутри которой может находиться реальная траектория поворотного движения. Другой крайней границей этой области является дуга с максимальным радиусом переносного вращения, которая, также не соответствует траектории поворотного движения. Очевидно, что наиболее близка к реальной траектории поворотного движения дуга окружности с переменным радиусом, соответствующим текущему радиусу переносного вращения в каждый момент времени. Следовательно, девиацию поворотного движения следует определять в соответствии с дугой (AC) с переменным радиусом. Однако в классической физике для определения девиации поворотного

движения используется именно дуга окружности с конечным (в данном случае максимальным) радиусом переносного вращения!

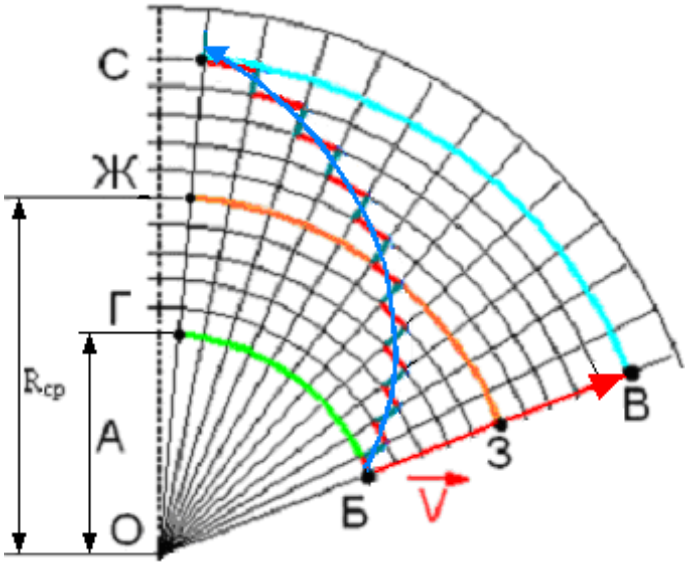


Рис. 3.1.9

На (Рис. 3.1.9) схематично изображена структура девиации поворотного движения в заданном интервале времени, условно соответствующим минимальному интервалу времени. Движение в соответствии с абсолютной траекторией (БС) осуществляется в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В каждом секторе, соответствующем минимальному интервалу времени внутри заданного интервала траектория (БС) условно разложена на элементарные участки, имеющие радиальную и окружную составляющие. Элементарные окружные участки вдоль кривой (БС) представляют собой общее отклонение точки (В) от соответствующей точки (С) на реальной траектории при прекращении действия поворотного ускорения, но с учетом переносного вращения с начальной линейной скоростью ($V_{лБ}$) и радиального прямолинейного движения. На наш взгляд, предложенная схема отвечает всем перечисленным выше критериям девиации поворотного движения.

Совершенно очевидно, что сумма элементарных окружных участков вдоль реальной траектории движения (БС) не равна длине дуги (ВС), которая содержит участки, **не эквивалентные** элементам реальной траектории абсолютного движения, пройденным с поворотным ускорением с начальной линейной скоростью ($V_{лБ}$). В некотором приближении только один участок дуги (ВС) в конце рассматриваемого интервала времени сопоставим с реальной девиацией поворотного движения с учетом начальной линейной скорости, т.к. радиус дуги (ВС) наиболее близок к радиусу переносного вращения именно в последнем секторе абсолютной траектории (БС). Все остальные участки дуги (ВС) никогда и ни при каких обстоятельствах не могут быть пройдены телом только за счет поворотного ускорения с учетом начальной линейной скорости переносного вращения в любом сколь угодно малом интервале времени. Поэтому девиация, определённая через дугу (ВС) после вычета из нее пути переносного вращения, пройденного с начальной линейной скоростью переносного вращения ($V_{лБ}$), не может соответствовать элементам реальной траектории поворотного движения.

В классической физике девиация поворотного движения определяется с учётом максимального радиуса поворота на каждом элементарном участке траектории. Фактически же максимального радиуса поворотного движения тело достигнет только к конечному моменту рассматриваемого интервала времени, в то время как всё остальное время радиус непрерывно изменяется, приобретая промежуточные значения между минимумом и максимумом. Следовательно, ни одно мгновенное значение радиуса поворотного движения в отдельности не может быть использовано для расчёта девиации поворотного движения. Для правильного определения девиации поворотного движения необходимо учитывать каждое мгновенное значение радиуса поворота. Поэтому девиация поворотного движения эквивалентна дуге окружности со средним радиусом поворота на каждом участке траектории, на котором она определяется. Это относится как к участку абсолютной траектории во всём заданном интервале времени, так и в минимальном интервале времени дифференцирования.

Реальная девиация равномерного поворотного движения вдоль траектории (БС), которая не зависит от изменения радиуса поворота в рассматриваемом интервале времени, равна длине дуги (ЖЗ) соответствующей среднему радиусу поворота (Rср) в этом интервале времени за вычетом дуги (БГ), соответствующей приращению поворотного движения за счёт начальной линейной скорости переносного вращения ($V_{лБ}$). Действительно, элементарные дуги вдоль реальной траектории (БС) с радиусами большими среднего радиуса (Rср) больше соответствующих им участков средней дуги (ЖЗ), в то время

как элементарные дуги с меньшими радиусами, меньше соответствующих участков дуги (ЖЗ). Однако в силу прямой пропорциональности величины радиуса и длины окружности общая сумма окружных участков вдоль кривой (БС) равна длине дуги (ЖЗ).

Длина радиальных участков, пройденных с постоянной радиальной скоростью (Vр) не влияет на величину общего приращения поворотного движения, полученного за счет ускорения Кориолиса, т.к. проекции радиальных участков на соответствующие элементарные дуги ***равны нулю***. Влияние радиального движения учитывается в изменении радиуса поворотного движения, которое само по себе без учета переносного вращения происходит без ускорения. Приращение же радиальной скорости относительного движения по направлению, равно как и приращение переносной скорости по абсолютной величине учитывается в окружных участках соответствующих среднему радиусу переносного вращения в каждом элементарном секторе (см. выше). Или в дуге (ЖЗ), соответствующей среднему радиусу поворотного движения в минимальном интервале времени в целом. Элементарные сектора условно соответствуют текущему радиусу поворотного движения в каждый момент времени внутри минимального интервала времени.

Математическая операция дифференцирования предполагает, что переменная физическая величина в минимальном интервале времени дифференцирования является величиной постоянной равной среднему значению изменяющейся физической величины в этом интервале времени. В отношении радиуса поворотного движения этот математический принцип дифференцирования в классической физике почему-то не соблюдается. Вместо среднего значения радиуса поворотного движения в классической физике за радиус поворотного движения принимается максимальный радиус поворотного движения в минимальном интервале времени. Однако приращение поворотного движения определенное с учётом какого-либо другого значения радиуса кроме среднего не соответствует реальной девиации поворотного движения. Следовательно, никаким дифференцированием методологически неправильно определенной величины девиации невозможно достичь истинного значения поворотного ускорения в рассматриваемом интервале времени. Как мы уже отмечали выше, методологические ошибки не устраняются с помощью дифференцирования и не всегда поддаются минимизации, как, например, в рассматриваемом случае.

С учётом изложенного определим линейное ускорение, эквивалентное ускорению Кориолиса (*а*к) через девиацию поворотного движения. При этом, поскольку в рассматриваемом случае дуга (ЖЗ), кроме девиации поворотного движения включает в себя отрезок, пройденный с начальной линейной скоростью (Vлб), применим формулу равноускоренного движения для пути (S) с учетом начальной скорости, являющейся постоянной составляющей равноускоренного движения.

$S = V_{лБ}*t + a_к*t^2/2$ (3.1)

Где $V_{лБ}$ – линейная скорость точки (Б)

Тот же самый путь можно определить как суммарную длину элементарных участков поворотного движения вдоль траектории (БС), из которых и складывается в конечном итоге девиация поворотного движения с учетом постоянной начальной линейной скорости, равная дуге (ЖЗ).

Радиус дуги (ЗЖ) равен среднему радиусу между начальным и конечным радиусом поворотного движения. Обозначим его (Rср):

$R_{ср} = (OC+A)/2$ (3.2)

Очевидно, что:

$OC = A + V_р*t$ (3.3)

Подставляя (1.13) в (1.12) получим:

$R_{ср} = A + V_р*t/2$ (3.4)

Путь (S), выраженный через угловую скорость (ω), определится выражением:

$S = R_{ср}*\omega*t$ (3.5)

Подставляя (3.4) в (3.5) и приравняв (3.1) и (3.5) получим:

$V_{лБ}*t + a_к*t^2/2 = (A + Vp*t/2)*\omega*t$

или

$2*V_{лБ}*t + a_к*t^2 = 2*A*\omega*t + Vp*\omega*t^2$

или

$2*V_{лБ}/t + a_к = 2*A*\omega/t + Vp*\omega$ (3.6)

Отсюда находим ускорение Кориолиса (*а*к):

$$\boldsymbol{a_к = 2*A*\omega/t + Vp*\omega - 2*V_{лб}/t}$$ (3.7)

Заметим, что произведение **A*ω** есть не что иное, как **($V_{лБ}$).** Произведя замену, получим выражение (3.8), в котором отсутствует начальная линейная скорость, т.е. ускорение Кориолиса зависит только от угловой скорости переносного вращения и линейной скорости относительного движения**:**

$$\underline{\boldsymbol{a_к = \omega*Vp}}$$ (3.8)

Выражение (3.8), полученное с учётом реального изменения радиуса поворотного движения отличается от формулы для (***а*к**), приведенной в справочнике по физике для высшей школы (3.9):

$a_к = 2*A*\omega/t + 2*Vp*\omega$ (3.9)

Авторы не учли, что:

во-первых: радиус движения тела по окружности – **переменный**, т.е. реальный путь, пройденный телом за счет ускорения Кориолиса ровно вдвое меньше длины дуги (ВС) за вычетом дуги (БГ), равной длине пути, пройденного с начальной линейной скоростью (Vлб);

во-вторых: начальная скорость тела в точке (Б) $\mathbf{V_{лБ} \neq 0}$. Поэтому путь (S), пройденный телом под действием ускорения Кориолиса равен не:

$S = a_к*t^2/2$, (3.10)

как записано в справочнике, а с учетом начальной линейной скорости переносного вращения ($V_{лБ}$):

$S = V_{лБ}*t + a_к*t^2/2$ (3.11)

В случае изменения направления движения тела (Б) на противоположное, т.е. к центру вращения выражение для (Rср) приобретет вид:

$R_{ср}=A–V*t/2$ (3.12)

$S = V_{лБ}*t - a_к*t^2/2$ (3.13)

Тогда получим для (***а*к**):

$\mathbf{- a_к = 2*V_{лБ}/t - 2*A*\omega/t + V*\omega}$ (3.14)

или

$\mathbf{- \underline{a_к = \omega*V}}$ (3.15)

Поскольку, как было показано выше, ускорение по изменению направления радиальной скорости и ускорение по приращению абсолютной скорости в направлении линейной скорости переносного движения представляют собой одну и ту же физическую величину, то формулу ускорения Кориолиса можно вывести через прирост линейной скорости переносного вращения. Пусть тело (Б) движется (см. рис.3.5) вдоль радиуса в направлении точки (В) с постоянной радиальной скоростью (Vр). За время (t) - время прохождения пути (БС) линейная скорость движения по окружности увеличится от линейной скорости точки (Б) – (Vлб) до линейной скорости точки (С) – (Vлс). Разгон происходит под воздействием направляющей (ОВ) на тело (Б) с силой Кориолиса (Fк) и ускорением Кориолиса (***а*к**). Ускорение определяется как прирост линейной скорости за единицу времени (t):

$a_к = (V_{лС} – V_{лБ})/t$ (3.16)

Если выразить линейные скорости через угловую скорость получим:

$a_к = (\omega*(A + Vp*t) – \omega*A)/t$ (3.17)

или:

$\mathbf{\underline{a_к = \omega*Vp}}$ (3.18)

В некоторых случаях радиальное относительное движение может осуществляться с ускорением. Это необходимо учитывать при определении ускорения Кориолиса. Рассмотрим случай равноускоренного радиального движения. Вернемся еще раз к формуле (3.12):

$a_к = (V_{лС} – V_{лБ})/t$ (3.19)

Запишем выражение для линейной (окружной) скорости в точке (Б):

$V_{лБ} = \omega * A$ (3.20)

И для линейной (окружной)скорости точки (С):

$V_{лС} = \omega * (A + V_р * t)$ (3.21)

Здесь (Vр) – радиальная скорость с учетом радиального ускорения.

Скорость (Vр) можно найти через радиальное ускорение. Так как ускорение в общем случае может меняться, найдем среднюю величину радиального ускорения (*а*р) на участке (БС):

$a_р = (a_{рс} + a_{рб})/2$ (3.22)

Тогда радиальная скорость с учетом радиального ускорения определится выражением:

$Vp = Vp_н + (a_{рс} + a_{рб})*t/2$ (3.23)

где: $Vp_н$ - радиальная скорость начальная.

Подставим (3.22) в (3.20):

$V_{лС}= \omega *(A+(Vp_н+(a_{рс} + a_{рб})*t /2)* t)= \omega*A+\omega*t*Vp_н+\omega* a_{рс}* t^2/2+\omega * a_{рб}*t^2/2$ (3.24)

Подставим (3.23) и (3.19) в (3.12):

$a_к = \omega*A/t + \omega*Vp_н + \omega* a_{рс}*t/2 + \omega* a_{рб}*t/2 - \omega*A/t$

или формула для ускорения Кориолиса при ускоренном радиальном движении примет вид:

$$\underline{\boldsymbol{a_к = \omega*Vp_н + \omega*t*(a_{рс} + a_{рб})/2}} \qquad (3.25)$$

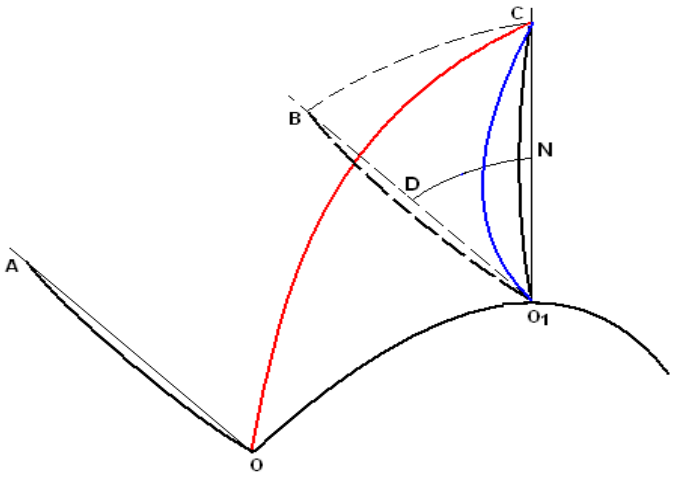


Рис. 3.1.10

Как следует из выражения (3.8) девиация поворотного движения не зависит от начальной линейной скорости переносного вращения (см.3.8), т.к. начальная скорость в интервале времени дифференцирования есть величина постоянная. Поэтому приращение поворотного движения в каждом минимальном интервале времени следует определять, как приращение поворотного движения, начинающегося с нулевого радиуса поворота в начале любого рассматриваемого интервала времени. На (Рис.3.1.10) графически пояснено определение девиации поворотного движения с нулевого радиуса поворота без учёта начальной линейной скорости переносного вращения.

В соответствии с положениями теоретической механики движение по любой криволинейной траектории может быть достигнуто одним поступательным и одним вращательным движением (см. Рис. 3.1.10). Таким образом, общий путь сложного движения раскладывается на три составляющие: на путь переносного движения (O-O1), путь относительного движения (O1-C) и на поворотный путь на участке (BC). В соответствии с классической схемой криволинейного движения поступательное движение по траектории переносного движения (O-O1) и вращательное движение в точке переносной траектории, соответствующей конечному моменту рассматриваемого интервала времени в точке (O1) осуществляются с учётом завершённого в рассматриваемом интервале времени относительного движения (OA). При этом дуга (BC), соответствующая максимальному радиусу поворота в рассматриваемом интервале времени принимается за девиацию поворотного движения, в то время как реальный радиус поворотного движения достигает максимального радиуса поворота только к концу рассматриваемого интервала времени.

Таким образом, классическая схема сложного движения не отражает действительности. Такую схему можно применять только для сложного движения, в котором отсутствует переносное вращение. При наличии переносного вращения движение вдоль относительной траектории следует рассматривать одновременно с поворотом относительной траектории в конечной точке траектории переносного движения (O1), соответствующей конечному моменту рассматриваемого интервала времени. Поступательное движение в этом случае осуществляется как перемещение точки начала относительного и поворотного движений в конечную точку траектории переносного движения, начиная с которой одновременно осуществляются относительное и поворотное движения. При этом реальная траектория с учётом поворотного движения соответствует окружным участкам кривой (O1-C), которая обозначена на рисунке (3.1.10) синим цветом.

В предложенной академической схеме представления сложного движения классический принцип разложения абсолютной траектории на составляющие, соответствующие каждому виду движения полностью сохраняется, но при этом учитывается реальный путь, пройденный с ускорением Кориолиса, т.к. реальное поворотное движение осуществляется с изменяющимся радиусом поворота. Как мы отмечали выше, поворотное движение с изменяющимся радиусом поворота состоит из окружных и радиальных участков. Элементарные окружные участки реальной поворотной траектории и составляют реальную девиацию поворотного движения, равную длине дуги (DN) (Рис. 3.1.11). С учетом реальной девиации поворотного движения полное ускорение Кориолиса соответствует линейному ускорению в направлении линейной скорости переносного вращения или ускорению по изменению направления радиальной скорости относительного движения каждого в отдельности, что полностью соответствует приведённому выше механизму формирования ускорения Кориолиса и физическому смыслу ускорения Кориолиса.

Аналогичный вывод ускорения Кориолиса приведен в другом справочнике по физике (Х. Кухлинг, «Справочник по физике», МОСКВА, «МИР» 1983). *«Перемещение тела в радиальном направлении равно r = vt. За то же время точка, удаленная от центра вращения на расстояние r, пройдет по дуге окружности путь s = rωt. Подставив сюда выражение для r, получим s = vtωt = vωt^2. Отсюда следует, что s ~ t^2, т.е. движение происходит ускоренно, а s = at^2/2. Таким образом, vωt^2 = at^2/2, следовательно, ускорение Кориолиса равно $a_к$ = 2vω»* (см. Рис. 3.1.11).

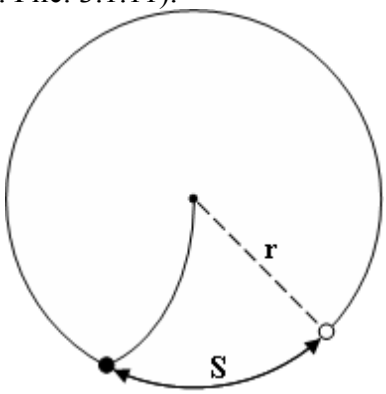


Рис. 3.1.11

Как и в большинстве случаев описания физических явлений в современной физике в выводе Кухлинга какие-либо физические обоснования ускорения Кориолиса отсутствуют. В выводе Кухлинга нет никаких пояснений, из каких соображений путь (s) увязывается с приращением, полученным за счет ускорения Кориолиса, кроме некорректной с физической точки зрения фразы: *«За то же время точка, удаленная от центра вращения на расстояние r, пройдет по дуге окружности путь s=rωt».* В реальной действительности точка, удаленная от центра вращения на расстояние (r) ни при каких обстоятельствах физически не пройдет путь (s = rωt), т.к. радиус (r) является величиной переменной. По смыслу надо полагать, что путь (s = rωt) в выводе Кухлинга должен представлять собой девиацию поворотного движения. Однако девиация поворотного движения должна состоять только из приращения поворотного движения. У Кухлинга же, как и в предыдущем случае, не учтены приведенные выше особенности девиации поворотного движения.

В классической схеме девиации поворотного движения одно и то же приращение фактически учитывается дважды. Один раз как реальное приращение, т.е. девиация непосредственно поворотного движения. Второй раз как приращение линейной окружной скорости, обусловленное несоответствием радиуса дуги классической девиации поворотного движения ее реальному радиусу. Второе приращение в составе классической девиации поворотного движения предполагает мнимое приращение каждого текущего радиуса переносного вращения в заданном интервале времени до величины максимального радиуса, что не соответствует реальной действительности. С достижением максимального радиуса переносного вращения в заданном интервале времени переносное вращение в отсутствие относительного движения и относительное движение в отсутствие переносного вращения заканчиваются. Поэтому классическое поворотное ускорение Кориолиса, определенное исходя из мнимого отклонения прямолинейного радиального движения от переносного вращения с максимальным радиусом в заданном интервале времени в отсутствие относительного движения завышено вдвое по отношению к реальному поворотному ускорению.

Сторонники классической модели поворотного движения не приводят приемлемых объяснений второй половины классической девиации поворотного движения. Объяснения типа: *«За то же время точка, удаленная от центра вращения на расстояние r, пройдет по дуге окружности путь s=rωt»* нельзя считать удовлетворительными по той простой причине, что дугу (*s=rωt*) совместно с радиальным движением за то же время ни при каких условиях невозможно вписать в реальную абсолютную траекторию. Даже в гипотетическом бесконечно малом интервале времени диспропорция между реальной абсолютной траекторией, классической девиацией и прямолинейным радиальным движением сохраняется в неизменном виде. В то время как девиация абсолютного движения в сумме с линейным движением вдоль касательной без ускорения практически соответствуют абсолютной траектории в минимальном интервале времени.

Объяснения же второй половины девиации поворотного движения за счет приращения радиальной скорости по направлению так же не могут считаться приемлемыми, т.к. это приращение мнимое. Оно уже однажды учтено как приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине, поэтому нет никакой необходимости учитывать его повторно. Как отмечалось выше, после прекращения действия ускорения Кориолиса одно из классических приращений поворотного движения в переносном вращении отсутствует, что необъяснимо с физической точки зрения и свидетельствует о том, что

приращение радиальной скорости по направлению и приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине это одна и та же физическая величина. Приращение радиальной скорости по направлению вполне удовлетворительно и непротиворечиво объясняется, как общее приращение радиальной скорости по направлению и линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине (см. выше).

Вся абсурдность логики классического определения девиации поворотного движения отчетливо проявляется при радиальном движении в сторону центра вращения. Пусть тело из точки (В) (см. рис. 3.1.6) движется к центру вращения вдоль направляющей (ОВ). В соответствии с классической логикой определения девиации поворотного движения при отсутствии вращения тело (В) через время (t) оказалось бы в точке (Б). Однако так как направляющая (ОВ), вдоль которой движется тело, вращается в направлении (Г), то фактически через время (t) тело (В) окажется в точке (Г) пройдя путь равный дуге окружности (ВГ) (на рис. 3.1.6 не показана).

Таким образом, следуя классической логике определения девиации поворотного движения при радиальном относительном движении в сторону центра вращения, за девиацию поворотного движения должна приниматься дуга окружности с минимальным радиусом в рассматриваемом интервале времени в отличие от рассмотренных выше случаев. Очевидно, что в этом случае ускорение Кориолиса должно быть вдвое меньше ускорения, определенного через средний радиус радиального движения и вчетверо меньше классического ускорения Кориолиса, хотя при смене направления радиального движения и при неизменных остальных параметрах сложного движения абсолютная величина ускорения Кориолиса должна оставаться неизменной.

По этой же логике при смене направления радиального движения к центру вращения ускорение Кориолиса в выводе Кухлинга (см. рис. 1.3.11) и вовсе отсутствует! Кухлинг утверждает, что при наличии переносного вращения *«За то же время точка, удаленная от центра вращения на расстояние r, пройдет по дуге окружности путь* $s=r\omega t$*»*. Но при движении к центру вращения конечная точка радиального движения в рассматриваемом интервале времени окажется непосредственно в центре вращения, т.е. девиация поворотного движения, определенная как дуга окружности с минимальным радиусом, а, следовательно, и ускорение Кориолиса в этом случае окажутся равными нулю.

Таким образом, классическая логика определения девиации поворотного движения при радиальном движении от центра вращения приводит к двойному завышению величины ускорения Кориолиса и к такому же по величине его занижению при радиальном движении к центру вращения. Учитывая, что минимальная величина радиуса при движении к центру вращения равна нулю, классическая логика определения девиации поворотного движения может привести к парадоксальному результату, в соответствии с которым ускорение Кориолиса и вовсе отсутствует!

3.2. ВТОРОЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА. ТЕЛО ДВИЖЕТСЯ ВДОЛЬ ОКРУЖНОСТИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО РАДИУСУ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ.

Второй вариант (см. Рис.3.2.1) описан, например, в упомянутой выше работе Матвеева А. Н. «Механика и теория относительности» 3-е издание, Москва, «ОНИКС 21 век», «Мир и образование», 2003г.

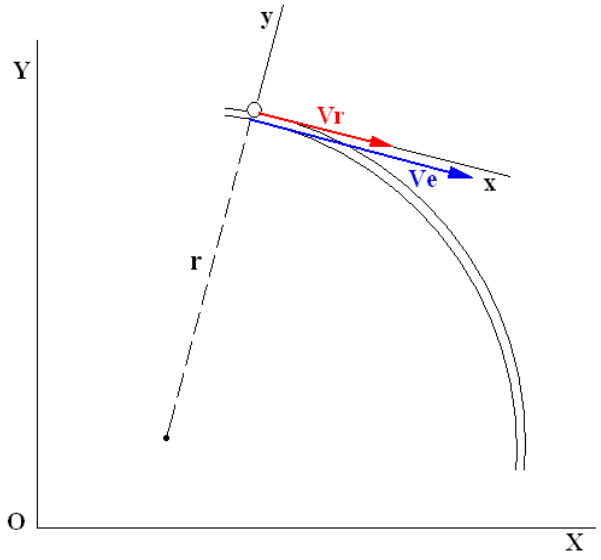


Рис. 3.2.1

Приведем формулу (66.6) Матвеева для абсолютного ускорения (w) при равномерном движении точки перпендикулярно радиусу вращения:

$w = (\omega + \omega')^2 * r = \omega^2 r + \omega'^2 * r + 2 * \omega * \omega' * r,$ (66.6)

где:

$(\omega + \omega')$ – угловая скорость вращения точки в неподвижной системе координат;

ω – угловая скорость вращающейся системы координат (угловая скорость переносного движения);

$\omega' * r = V'$ – относительная скорость;

ω' – относительная угловая скорость;

В составе абсолютной скорости первый член выражения (66.6) - ($\omega^2 r$) определяет непосредственно переносное ускорение, второй член ($\omega'^2 * r$) определяет относительное ускорение, а третий член ($2*\omega*\omega'*r$) выражения (66.6) с классической точки зрения представляет собой ускорение Кориолиса, т.к. математически его можно представит в виде классического выражения для ускорения Кориолиса:

$w_к = 2*\omega*\omega'*r = 2*\omega* (\omega'*r = V') = 2*\omega* V'$

Однако третий член выражения (66.6) можно представить еще и в следующем виде:

$w_к = 2*\omega*\omega'*r = (\omega*r)*\omega' + \omega*(\omega'*r) = \mathbf{Ve}*\omega' + \mathbf{Vr}*\omega,$

где:

Vr*ω - дополнительное поворотное ускорение, связанное с приростом относительной скорости (Vr) в составе абсолютной скорости (Va);

Ve*ω' - дополнительное поворотное ускорение, связанное с приростом линейной скорости переносного вращения (Ve) в составе абсолютной скорости (Va);

На рисунке 3.2.2 графически изображена траектория сложного движения, в котором тело движется перпендикулярно радиусу вращающейся системы в абсолютной системе координат. Такое движение можно представить как вращательное движение тела с линейной абсолютной скоростью (Va) и суммарной угловой скоростью ($\omega+\omega'$). Тогда физическую сущность ***дополнительного ускорения*** ($2*\omega*\omega'*r$) проявляющегося при движении тела перпендикулярно радиусу вращающейся системы можно пояснить следующим образом.

Подвижная система отсчета (xoy), в которой тело движется с относительной скоростью (Vr) получает дополнительную угловую скорость (ω) за счёт переносного вращения. Следовательно, в абсолютной системе координат (XOY) наряду с непосредственно относительным ускорением равным ($Vr*\omega'$) тело испытывает дополнительное ускорение направления ($Vr*\omega$), связанное с изменением направления вектора относительной скорости (Vr), вращающегося с дополнительной угловой скоростью переносного вращения. Вектор линейной скорости переносного вращения (Ve) в составе абсолютного вращения совершает дополнительное вращение с угловой скоростью относительного вращения (ω'). Следовательно, наряду с непосредственно переносным ускорением ($Ve*\omega$) вектор линейной скорости переносного вращения (Ve) в составе абсолютной скорости (Va) получает дополнительное ускорение направления ($Ve*\omega'$).

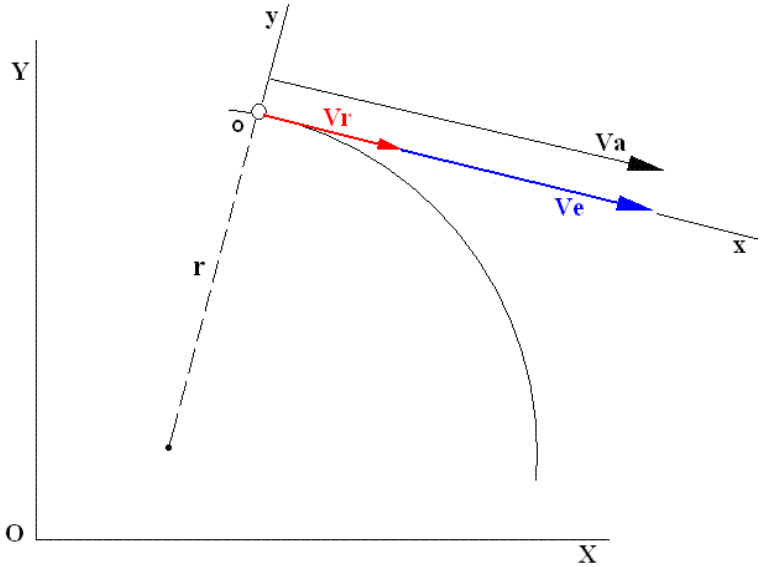


Рис. 3.2.2

Каждая из составляющих ***дополнительного ускорения*** ($Ve*\omega'$) и ($Vr*\omega$) в отличие от составляющих классического ускорения Кориолиса по первому варианту имеет индивидуальный физический эквивалент и определяет приращение векторов скоростей (Ve) и (Vr), вращающихся с угловыми скоростями (ω') и (ω), дополняющими собственные угловые скорости этих векторов до суммарной угловой скорости вращения вектора абсолютной скорости (Va). При этом количественное равенство двух составляющих

дополнительного ускорения легко объяснимо и непосредственно вытекает из прямо пропорционального соотношения угловых и линейных скоростей вращательного движения.

$\omega/\omega^{/} = Ve/Vr$

откуда следует, что:

$Ve*\omega^{/} = Vr*\omega$

Таким образом, абсолютное ускорение представляет собой алгебраическую сумму центростремительных ускорений вращательных движений условных составных частей абсолютной линейной скорости с соответствующими угловыми скоростями. Сумма годографов всех линейных скоростей вращающихся в составе абсолютного вращения равна годографу линейной скорости абсолютного вращения, как при сложении однородных движений, осуществляющихся синхронно вдоль общей траектории. Следовательно, никакого дополнительного поворотного ускорения, являющегося общей частью совместно осуществляющихся разнородных движений при относительном движении перпендикулярном радиусу нет.

Разложение абсолютного вращательного движения при перпендикулярном радиусу относительном движении на составляющие движения является условно математическим. Тело, движущееся по окружности, испытывает только центростремительное ускорение независимо от того на какие условные уровни математически разложено вращательное движение. С физической точки зрения все составляющие абсолютного вращения одинаковы. Нет никакой разницы, какое из составляющих абсолютного вращательного движения считать переносным, относительным или поворотным движением. Разложение однородного движения на относительное и переносное имеет смысл только для условно-математического обозначения линейных скоростей, вращение которых с суммарной угловой скоростью эквивалентно вращению суммарного вектора линейной скорости.

Вращение линейных скоростей независимых вращательных движений с суммарной угловой скоростью осуществляется с ускорением не равным сумме ускорений каждого из независимых вращательных движений. Увеличение линейной скорости до суммарного значения скоростей независимых вращений связано с дополнительным вращением каждого слагаемого с угловой скоростью, дополняющей его вращение до суммарной угловой скорости. При этом вращение слагаемых линейной скорости осуществляется в составе единого вектора в соответствии с механизмом преобразования движения по направлению, а не за счет появления нового вида движения в результате смешения движений с исходными параметрами, как при радиальном относительном движении. Вначале происходит простое алгебраическое сложение линейных скоростей без какого-либо их взаимного влияния друг на друга, т.к. они складываются в неизменном виде, а затем осуществляется вращение единого линейного вектора. После установления абсолютного вращения нет ни относительного вращения, ни переносного вращения, ни вращения векторов (Ve) и (Vr) с угловыми скоростями, дополняющими их вращения до абсолютной угловой скорости. Есть только вращение абсолютного вектора линейной скорости и центростремительное ускорение абсолютного вращения.

Появление дополнительных центростремительных ускорений связано с квадратичной зависимостью центростремительного ускорения от угловой скорости. Любые независимые вращения с разными угловыми скоростями, между которыми нет никакой физической связи, могут быть выражены друг через друга. При этом результирующее ускорение неизбежно будет содержать центростремительные ускорения вращательных движений линейных векторов, через сумму которых может быть выражен каждый из векторов линейных скоростей исходных независимых вращений. Поскольку ***дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega^{/}*r$) присутствует в центростремительном ускорении любого вращательного движения, линейная скорость которого выражена через его составные части, а угловая скорость равна сумме угловых скоростей независимых вращений, оно не является поворотным ускорением Кориолиса. ***Дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega^{/}*r$) характеризует разницу центростремительных ускорений между любыми, в том числе и независимыми вращениями с разными угловыми скоростями, т.е. само является центростремительным ускорением составных частей линейной скорости вращательного движения.

На Рис. 3.2.3 показано условно математическое представление абсолютного вращательного движения в виде суммы независимых вращательных движений с параметрами переносного вращательного движения, относительного вращательного движения и вращательных движений векторов (Ve) и (Vr) с угловыми скоростями, дополняющими их собственное вращение до абсолютной угловой скорости. Академически любое равномерное вращательное движение можно разложить на бесконечное множество вращательных движений с разными параметрами, сумма которых эквивалентна исходному вращательному движению. Однако это не значит, что абсолютное ускорение исходного вращательного движения состоит из бесконечного множества относительных ускорений, переносных ускорений и ***дополнительных ускорений***

поворотного движения. С физической точки зрения абсолютное ускорение это единое центростремительное ускорение однородного абсолютного вращения.

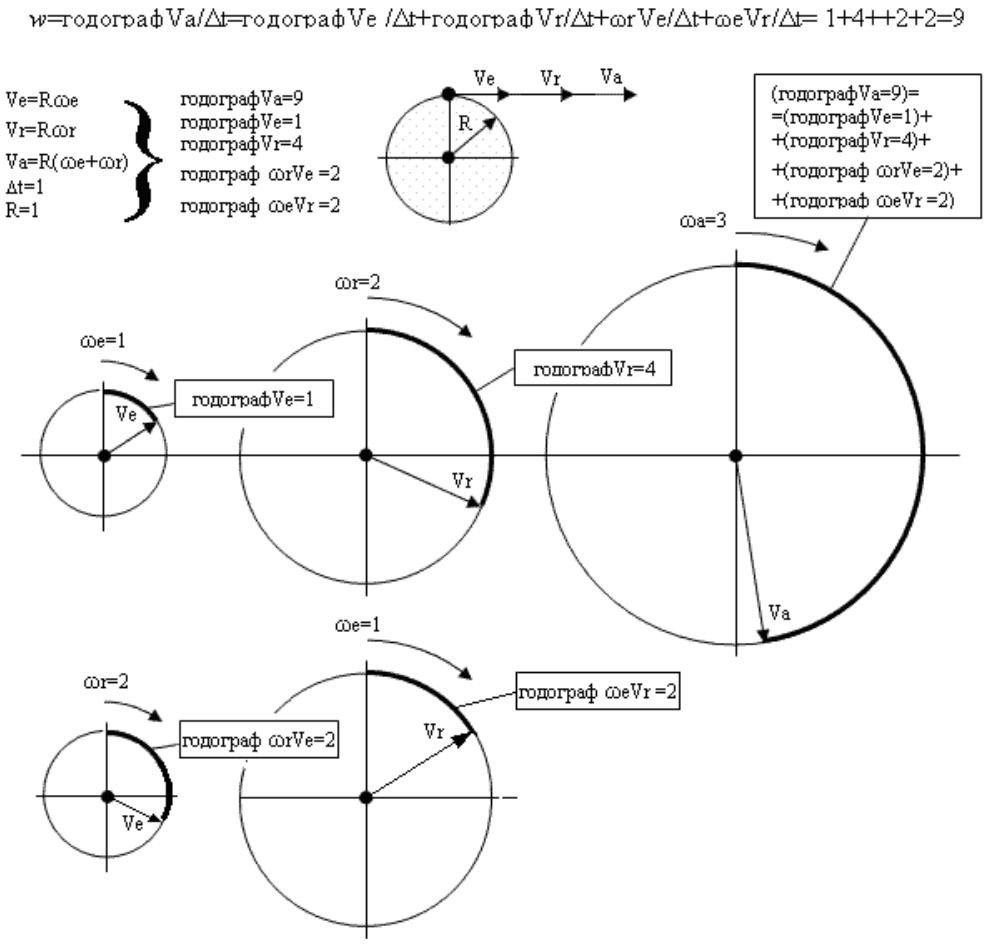


Рис. 3.2.3

Аналогично любое линейное ускорение условно математически можно разложить на бесконечное множество составляющих его линейных же ускорений, проявляющихся вдоль произвольных направлений. При этом результирующее ускорение определяется по теореме косинусов выражением очень похожим на формулу разложения суммы квадратов:

$$a\text{p}=\sqrt{a_1^2+a_2^2+2*a_1*a_2*\cos(\varphi)}$$

Однако никому не приходит в голову связывать линейное ускорение

$$\sqrt{2*a_1*a_2*\cos(\varphi)}$$

с каким-либо дополнительным ускорением иного вида движения, т.к. с физической точки зрения это абсурдно, что в случае линейного движения достаточно очевидно. Дополнительное ускорение

$$\sqrt{2*a_1*a_2*\cos(\varphi)}$$

характеризует одну из составных частей разности результирующего линейного ускорения и одной из его составляющих, в том числе и независимых линейных движений, осуществляющихся вдоль произвольных направлений.

Линейное ускоренное движение вдоль одного и того же направления также можно представить в виде множества линейных составляющих. При этом результирующее ускорение определяется алгебраической суммой составляющих ускорений без каких-либо дополнительных членов и является единым ускорением однородного прямолинейного движения. Безусловно, аналогия с разложением прямолинейного движения не совсем корректна по отношению к физической сущности поворотного ускорения Кориолиса, которое возникает только при взаимном влиянии друг на друга разнородных движений - прямолинейного и вращательного. Однако представление части единого ускорения однородного вращательного движения как поворотного ускорения, принадлежащего к иному виду движения, чем непосредственно вращательное движение не менее абсурдно. Не каждое ускорение, которое связано с вращением, является ускорением Кориолиса.

Конечно, можно условиться, что ***дополнительные ускорения (Ve*ω/) и (Vr*ω)*** будут называться составными частями поворотного ускорения Кориолиса. Однако дело вовсе не в самом названии, а в том, что понимается под одним и тем же названием. В классической физике под одним названием существуют по сути дела две принципиально разные физические величины. Физическая сущность ***дополнительного ускорения*** (2*ω*ω/*r) не соответствует физической сущности ускорения Кориолиса, проявляющегося при радиальном относительном движении. Между ускорением Кориолиса при радиальном относительном движении и ***дополнительным ускорением*** при относительном движении, перпендикулярном радиусу есть существенные различия. Есть также существенные различия между дополнительными ускорениями, присутствующими в формулах для абсолютного центростремительного ускорения при совпадающем направлении переносной и относительной линейных скоростей и при их противоположном направлении.

Ускорения (Ve*ω/) и (Vr*ω) совпадают по направлению как в классической модели вращательного движения, в которой направление центростремительного ускорения является виртуальным (условным), так и с учётом реальных направлений ускорений вращательного движения, совпадающих с направлением векторов соответствующих линейных скоростей. Их можно складывать алгебраически в любой модели вращательного движения в отличие от составляющих классического ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении. Составные части (Ve*ω/) и (Vr*ω) ***дополнительного ускорения*** (2*ω*ω/*r) имеют реальные индивидуальные физические эквиваленты, в то время как составные части ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении эквивалентны одному и тому же ускорению. Поворотное ускорение при радиальном относительном движении это общий параметр переносного вращения при относительном движении и относительного движения при переносном вращении.

Абсолютное ускорение при радиальном относительном движении отличается от ускорения текущего переносного вращения без учета относительного движения на величину поворотного ускорения Кориолиса. При этом текущие параметры переносного вращения сохраняются и после прекращения относительного движения. С прекращением же перпендикулярного радиусу относительного движения параметры вращательного движения приобретают прежние значения, соответствующие исходному переносному движению. Абсолютное ускорение при перпендикулярном радиусу относительном движении отличается от ускорения вращательного движения в отсутствии относительного движения на величину соответствующую не ***дополнительному ускорению*** (2*ω*ω/*r), а на величину соответствующую разнице центростремительных ускорений вращательных движений с разными угловыми скоростями. Следовательно, ***дополнительное ускорение*** (2*ω*ω/*r) характеризует не поворотное движение, а является составной частью центростремительного ускорения однородного вращения. Соответственно при совпадающем направлении переносной и относительной линейных скоростей годографы скоростей (Ve) и (Vr) входят в состав годографа скорости абсолютного вращения, как соответствующие приращения составных частей абсолютной линейной скорости.

Возврат к исходному переносному вращению при прекращении относительного движения, перпендикулярного радиусу можно представить как сложное движение, в котором линейная скорость относительного вращения направлена противоположно линейной скорости абсолютного переносного вращения. При этом в соответствии с классической схемой поворотного движения переносным ускорением следует считать текущее абсолютное ускорение. Таким образом, абсолютное ускорение автоматически превращается в переносное ускорение, а поворотное ускорение, которое до этого момента присутствовало в составе абсолютного ускорения, автоматически превращается в составную часть обычного центростремительного ускорения. В составе же центростремительного ускорения исходного переносного вращения в соответствии с классической схемой поворотного движения наоборот автоматически появляется ускорение Кориолиса с противоположным знаком, которого до этого в его составе не было. Совершенно очевидно, что все эти взаимные превращения являются условно математическими, т.к. никаких физических преобразований одного вида движения в другой и смешения разнородных движений при этом не происходит. Налицо обычное сложение однородных движений.

При радиальном относительном движении параметры переносного вращения непрерывно изменяются, что требует внешних энергетических затрат, в том числе и на поддержание ускорения Кориолиса. При перпендикулярном радиусу относительном движении также необходимы затраты на изменение параметров вращения. Однако в установившемся абсолютном вращении в отсутствие трения внешние затраты энергии на ***дополнительное ускорение*** не требуются, т.к. равномерное вращательное движение осуществляется за счет внутренней энергии вращения. Таким образом, «ускорение Кориолиса», как дополнительное ускорение, принадлежащее к самостоятельному виду движения в составе ускорения абсолютного вращательного движения, при равномерном относительном движении, перпендикулярном радиусу не обусловлено энергетически. Любая составная часть центростремительного ускорения, одной из которых и является ***дополнительное ускорение (2*ω*ω/*r)***, принимаемое в классической физике за

ускорение Кориолиса существует исключительно за счет внутренней энергии вращающейся системы, в то время как дополнительное ускоренное движение требует дополнительных затрат на его поддержание.

Таким образом, выделение в структуре единого абсолютного вращательного движения при перпендикулярном радиусу относительном движении трех различных видов движения: вращательного переносного движения, относительного линейного движения и поворотного движения носит условно математический характер, не имеющий никакого отношения к физическим особенностям вращательного движения. С физической точки зрения все составные части вектора линейной скорости абсолютного вращения изменяют направление в соответствии с единым механизмом преобразования движения по направлению единого абсолютного линейного вектора, в соответствии с которым преобразование его по направлению осуществляется через преобразование его величины в каждом новом направлении. С этой точки зрения не имеет никакого значения, на какие составные части условно математически разделена линейная скорость, т.к. преобразуется по направлению ее абсолютная величина, а не условные вектора, в виде которых она представлена в каждом конкретном случае. Разделение абсолютного вращения на переносное и относительное имеет значение только на субъективном бытовом уровне.

При увеличении переносной линейной скорости ***дополнительное ускорение (2*ω*ω/*r)*** можно **условно математически** рассматривать как два центростремительных ускорения, которые дополняют собственное вращение частей абсолютной скорости - векторов (Ve) и (Vr) до суммарной угловой скорости абсолютного вращения. При этом направление дополнительного ускорения совпадает с направлением центростремительного ускорения, т.к. по своей физической природе оно само является центростремительным ускорением по изменению направления соответствующих условных частей абсолютной линейной скорости. Направление поворотного ускорения Кориолиса определяется в физике как направление вектора, перпендикулярного плоскости, проходящий через векторы угловой и относительной скорости, с конца которого кратчайший поворот вектора угловой скорости в сторону вектора относительной скорости виден происходящим против часовой стрелки.

В соответствии с этим правилом при направлении линейной скорости относительного движения в сторону, противоположную вектору переносной скорости, поворотное ускорение направлено от центра вращения, что противоречит классическому направлению центростремительного ускорения, к которому, на наш взгляд, относится и ***дополнительное ускорение (2*ω*ω/*r)***. В нашей версии во вращательном движении проявляется как центростремительное, так и центробежное ускорение, которые являются проекциями на радиальное направление реального ускорения вращательного движения, которое в реальной действительности совпадает с текущим вектором линейной скорости. Однако проявление одного только центростремительного или одного только центробежного ускорения во вращательном движении противоречит, в том числе и нашей версии вращательного движения.

Алгебраическое выражение для абсолютного ускорения имеет вид:

$\omega_a Va = \omega_e * Ve + (-\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}) + \omega_r * Vr$ (3.2.1)

или

$\omega_a Va = \omega_e * Ve + \mathbf{(-\omega_r * Ve - \omega_e * Vr)} + \omega_r Vr$

Центростремительное ускорение ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}$) в выражении (3.2.1) отрицательное, что не имеет физического смысла. Ускорение же относительного вращения положительное, хотя по физическому смыслу отсутствие в составе переносной линейной скорости ее составной части, соответствующей относительной линейной скорости должно привести к уменьшению переносного ускорения как минимум на величину относительного ускорения. Таким образом, выражение (3.2.1) это исключительно математическое выражение устанавливающее связь независимых вращений с параметрами соответствующими условно математическим переносному движению, относительному движению и абсолютному вращению, т.е. вращательному движению разностного вектора линейной скорости. Физический смысл выражения (3.2.1) присутствует в неявном виде. Для определения физического смысла составных частей абсолютного ускорения найдем переносное ускорение, выразив угловую скорость переносного вращения через сумму угловых скоростей абсолютного и относительного вращений:

$\omega_e * Ve = R*(\omega_a + \omega_r)^2 = R*\omega_a^2 + \mathbf{2*R*\omega_a*\omega_r} + R*\omega_r^2 = \omega_a * Va + \mathbf{\omega_a * Vr + \omega_r * Va} + \omega_r * Vr$ (3.2.2)

Физический смысл выражения (3.2.2) аналогичен физическому смыслу выражения для абсолютного ускорения при одинаковой направленности линейных скоростей переносного и относительного движения, в котором абсолютное ускорение заменяется переносным, а переносное ускорение - абсолютным ускорением. При противоположной направленности линейных скоростей переносного и относительного движения переносное ускорение математически непосредственно включает сумму абсолютного ускорения и относительного ускорения, соответствующих собственным угловым скоростям, это, во-первых. Кроме того, части вектора переносной линейной скорости, соответствующие векторам абсолютной и относительной линейной скорости вращаются с их суммарной скоростью. Следовательно, математически в

состав переносного ускорения дополнительно входят центростремительные ускорения условных составных частей переносной скорости, вращающихся с угловой скоростью, дополняющей их собственную абсолютную и относительную угловую скорость соответственно до суммарной угловой скорости переносного вращения.

Из (3.2.2) определим центростремительное ускорение абсолютного вращательного движения:

$\omega_a Va = \omega_e * Ve - (+\omega_a * Vr + \omega_r * Va) - (+\omega_r * Vr)$ (3.2.3)

или

$\boldsymbol{\omega_a Va = \omega_e * Ve - (+2*\omega_r * Va) - (+\omega_r * Vr)}$ (3.2.4)

Физический смысл выражения (3.2.3), непосредственно вытекает из физического смысла выражения (3.2.2). Абсолютное ускорение наряду с другими ускорениями, которые присутствуют в выражении (3.2.2) для переносного ускорения это **условная** (абстрактная) составная часть переносного ускорения. Знак минус, стоящий перед ускорениями в выражении (3.2.3) и (3.2.4) означает не отрицательную величину этих центростремительных ускорений, а их отсутствие в составе абсолютного ускорения, которое характеризует вращение только одной из составных частей линейной скорости переносного вращения, равной разности линейных скоростей переносного и относительного вращения. Таким образом, ни одна из составных частей ускорения переносного движения не может являться поворотным ускорением для абсолютного вращения по той простой причине, что в составе установившегося равномерного вращения вектора абсолютной линейной скорости этих положительных центростремительных ускорений просто не существует. Для абсолютного центростремительного ускорения все составляющие центростремительного ускорения бывшего вращения бывшего значения переносной линейной скорости и бывших вращений ее условных составных частей являются математической абстракцией. В абсолютном вращении вращается только одна составная часть бывшей линейной скорости переносного вращения, равная абсолютной линейной скорости. Именно в этом и заключается физический смысл выражений (3.2.3) и (3.2.4).

Все условные составляющие независимого «суммарного» переносного вращения реально проявляются, т.е. реально воздействуют на материальную точку только в переходный период образования ее абсолютного вращения. Однако и в этом случае движение точки можно рассматривать как переменное вращение, в центростремительном ускорении которого нет поворотного ускорения второго типа. Изменение вращательного движения, как собственно и его образование происходит на уровне единого сложного физического механизма преобразования движения по направлению. В классической же физике изменение направления линейного движения это односложный элементарный физический процесс, характеризующийся только линейным центростремительным ускорением, которое гипотетическим образом изменяет направление вектора линейной скорости без изменения его величины. Это такое же односложное элементарное понятие в классической физике, как изменение скорости по абсолютной величине.

Если абсолютную угловую скорость выразить через разность (ω_e) и (ω_r), как (ω_e-ω_r), а абсолютную линейную скорость выразить через разность (Ve) и (Vr), как (Ve-Vr), то выражение в скобках в формуле (3.2.3) примет вид:

$\boldsymbol{a_{доп.}} = (\omega_r Va + \omega_a Vr) = \omega_r Ve - \omega_r Vr + \omega_e Vr - \omega_r Vr = \mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e - 2*\omega_r Vr}$ (3.2.5)

Подставив в (3.2.3) выражение для ($\boldsymbol{a_{доп.}}$) - (3.2.5), получим:

$\omega_a Va = \omega_e Ve - \mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e + 2*\omega_r Vr} - \omega_r Vr$ (3.2.6)

Выражение (3.2.6) легко привести к классическому виду ($\omega_a Va=\omega_e Ve-\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}+\omega_r Vr$), т.к. дополнительное ускорение ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e - 2*\omega_r Vr}$) входит в состав классического поворотного ускорения ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}$). Математически оба выражения тождественны:

$\omega_e Ve - (\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e - 2*\omega_r Vr}) - \omega_r Vr = \omega_e Ve + (-\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}) + (+\omega_r Vr) = \omega_a Va$

Однако в классическом выражении ($\omega_a Va=\omega_e Ve+(-\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e})+(+\omega_r Vr)$) физический смысл присутствует в неявном виде. Относительное ускорение, которое при противоположной направленности переносной и относительной линейных скоростей с физической точки зрения должно приводить к уменьшению переносного ускорения по абсолютной величине, присутствует в скалярной классической формуле (3.2.1) с положительным знаком! В соответствии с (3.2.5) классическое поворотное ускорение ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}$) по абсолютной величине больше дополнительного ускорения ($2*R*\omega_a*\omega_r$) на удвоенное относительное ускорение ($\mathbf{2*\omega_r*Vr}$). При незначительной разнице переносной и относительной линейных скоростей ускорение ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}$) может быть даже значительно больше исходного переносного ускорения! Поэтому положительное относительное центростремительное ускорение в классической формуле (3.2.1) – это часть некомпенсированной разницы дополнительного ускорения ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e}$) и дополнительного ускорения ($\mathbf{2*R*\omega_r*\omega_e - 2*\omega_r Vr}$) в классическом выражении для абсолютного ускорения. Чисто внешне классическая формула для абсолютного ускорения при разной направленности линейных

скоростей (3.2.1) хорошо согласуется с теоремой о сложении ускорений, в которой, однако речь идет о **геометрическом** сложении ускорений. В скалярной же формуле для абсолютного ускорения (см.3.2.1) центростремительное ускорение относительного вращения в соответствии с теоремой о сложении ускорений должно иметь отрицательную величину!

Дополнительное ускорение **($2*\omega_r*Va$)** в формуле (3.2.4) можно с не меньшим основанием считать поворотным ускорением Кориолиса второго типа, чем классическое дополнительное ускорение **($2*\omega_e*Vr$),** единственным аргументом которого в пользу ускорения Кориолиса является внешнее сходство его формулы с формулой ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении. Правда, в ускорении **($2*\omega_r*Va$)** вместо относительной линейной скорости присутствует абсолютная линейная скорость, а вместо переносной угловой скорости - относительная угловая скорость. Однако при радиальном относительном движении никакой другой угловой скорости, кроме переносной угловой скорости единственной вращающейся системы просто нет, в то время как в однородном вращательном движении эти понятия относительны, как в отношении угловой скорости, так и в отношении линейной скорости и определяются чисто условно. К тому же формула же (3.2.4) значительно более корректна с точки зрения физического смысла, который состоит в следующем. Каждая из составных частей абсолютного ускорения по (3.2.4) является одной из составляющих абстрактной математической разницы между переносным и абсолютным центростремительным ускорением, которая рассчитана через разностные параметры двух независимых вращений с учетом квадратичной зависимости центростремительного ускорения от угловой скорости вращения. Следовательно, реально ни то, ни другое дополнительное ускорение с физической точки зрения нельзя считать поворотным ускорением Кориолиса.

Реальное ускорение постоянно изменяет параметры движения, как например поворотное ускорение при радиальном относительном движении. Во вращательном движении после его установления параметры вращения остаются неизменными, а центростремительное ускорение существует безо всякого вмешательства извне. Равномерное вращательное движение, как физическое явление в целом довольно проблематично считать ускоренным движением. Равномерное вращательное движение - это движение с неизменными средними параметрами, включающее в себя внутренний колебательный процесс, который, однако, не влияет на общую равномерность процесса равномерного движения по окружности. Любое внешнее воздействие может изменить параметры равномерного вращательного движения, но после прекращения внешнего воздействия вновь возобновляется равномерное вращение с новыми параметрами. При этом в новом центростремительном ускорении не может быть никаких дополнительных посторонних ускорений, кроме тех, обобщенной академической величиной которых оно само и является. Однако эта совокупность ускорений обусловлена единым физическим процессом преобразования движения по направлению, который в классической физике характеризуется единой величиной обобщенного ускорения направления или центростремительного ускорения.

Поворотное ускорение возникает только в сложном движении. Вращательное же движение в классической физике с точки зрения кинематики, из которой собственно и выводится центростремительное ускорение, однозначно относится к однородному движению. Поворотное ускорение Кориолиса при радиальном относительном движении, хотя и имеет общие элементы с вращательным движением, но, строго говоря, вращательным движением в «чистом» виде не является. Изменение направления вектора относительной скорости при радиальном относительном движении происходит не с центростремительным ускорением, а с поворотным ускорением Кориолиса, механизм формирования которого, хотя и непринципиально, но все же отличается от механизма формирования ускорения вращательного движения. При радиальном относительном движении дополнительное ускорение обусловлено взаимным влиянием двух разнородных движений друг на друга, в то время как при перпендикулярном радиусу относительном движении существует только однородное вращательное движение. Все составляющие ускорения абсолютного вращения с физической точки зрения являются условными составными частями одного и того же абсолютного центростремительного ускорения, математически выраженного через условные составные части как при одинаковой направленности переносной и относительной линейных скоростей, так и при их противоположной направленности.

С учетом механизма преобразования движения по направлению в каждом цикле вращательного движения происходит как изменение радиуса вращения, так и изменение угловой скорости, т.е. во вращательном движении изначально заложено поворотное ускорение Кориолиса, связанное с радиальным движением, а также ***дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega'*r$), связанное с переменным вращением вектора линейной скорости. Однако никто не пытается выделять в составе равномерного вращательного движения поворотное ускорение Кориолиса ни первого, ни второго типа, т.к. с классической точки зрения никаких внутренних тангенциальных и радиальных движений в составе равномерного вращательного движения просто не существует. Поэтому нет никакого смысла разделять и центростремительное ускорение

абсолютного равномерного вращения в зависимости от условно математического представления его линейной скорости в виде условных составных частей при одинаковой направленности линейных скоростей. Или в виде составной части линейной скорости несуществующего для материальной точки переносного вращения и соответственно несуществующих разностных вращений при противоположной направленности линейных скоростей. После изменения угловой скорости абсолютное вращение представляет собой однородное равномерное вращательное движение, в котором даже с точки зрения классической физики какие-либо дополнительные ускорения, тем более ускорение Кориолиса, - отсутствуют. Во вращательном движении существует только центростремительное ускорение вращательного движения.

Составное вращение с физической точки зрения ничем не отличается от однородного моно вращения. С точки зрения способа достижения абсолютного вращения такое разделение, безусловно, имеет смысл, но искусственное физическое разделение одного и того же с классической же точки зрения вида результирующего движения может быть только условно математическим. Причем в результате такого разделения все составляющие абсолютного вращения даже условно математически являются центростремительными ускорениями. С физической точки зрения для материального тела нет никакой разницы за счет скольких этапов прибавления вращения достигнуто единое в конечном итоге абсолютное вращение и абсолютное центростремительное ускорение. Как нет и никакой разницы скольких абстрактных вращений нет в составе абсолютного ускорения при противоположной направленности линейных скоростей после установления равномерного абсолютного вращения. Если искать поворотное ускорение непосредственно в равномерном вращательном движении, которое едино с точки зрения физического механизма его образования, то даже в равномерном вращательном движении можно найти бесконечное множество ускорений Кориолиса классического типа, т.е. не только при радиальном относительном движении, но при перпендикулярном радиусу относительном движении.

Вращательное движение на микроуровне, безусловно, представляет собой сложное движение, в котором одновременно осуществляются и линейное и вращательное движения. Тем не менее, на макроуровне оно описывается моно параметрами, такими как линейная скорость, обобщенное академическое ускорение направления (центростремительное ускорение), угловая скорость, радиус вращения и т.д. Поэтому нет никакого смысла при относительном движении перпендикулярном радиусу вдруг вспоминать о сложной составной структуре равномерного вращательного движения, только на более примитивном уровне, чем оно есть на самом деле. Тем более что именно в классической физике равномерное вращательное движение считается однородным движением, в котором линейная скорость изменяется только по направлению под действием линейного центростремительного ускорения. Математическое описание полного изменения реального обобщенного ускорения по изменению направления движения может поставить в тупик всю современную физику, причем самое главное, что в этом нет абсолютно никакой необходимости. Все механические движения имеют в принципе одну и ту же природу. Однако обобщенные академические ускорения, которые на макроуровне определяют вид движения как физическое явление в целом, нет смысла математически раскладывать на составные части, хотя с физической точки зрения необходимо всегда помнить об их истинной физической природе.

В классической физике существует излюбленный прием пояснения сущности физических явлений с точки зрения субъективных наблюдателей, находящихся в той или иной системе отсчета. Пусть по внутренней или внешней поверхности равномерно вращающегося цилиндра с постоянной относительной линейной скоростью движется закрытая капсула, в которой находится наблюдатель. С точки зрения наблюдателя находящегося в капсуле абсолютно неважно, с какой относительной скоростью капсула движется по поверхности цилиндра и с какой скоростью вращается сам цилиндр, важна лишь абсолютная скорость движения капсулы по окружности, не зависимо от того, каким техническим способом достигнуто абсолютное вращение. Для наблюдателя в капсуле существует только центростремительное ускорение абсолютного равномерного вращательного движения, т.к. никакими доступными ему способами он не сможет определить на какие составные части технически и математически может быть разделено его абсолютное вращение. Об этом может судить только внешний наблюдатель. Однако и внешний наблюдатель, поразмыслив, легко придет к выводу, что физическая сущность установившегося равномерного вращательного движения не зависит от того, каким способом оно достигнуто. Поэтому объективно нет никакой необходимости выделять в составе центростремительного ускорения равномерного вращательного движения какие-либо дополнительные ускорения в зависимости от условно математического разложения его на составные части или технического способа его достижения.

Ускорение Кориолиса возникает только при взаимном влиянии друг на друга двух разнородных движений, когда каждое из них под влиянием друг друга приобретает новые свойства, которыми они не обладают каждое в отдельности. Вращательное движение с классической точки зрения изначально

существует только как ускоренное движение, в котором при изменении параметров вращения никаких новых качеств не появляется. ***Дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega'*r$) является условной составной частью центростремительного ускорения вращательного движения. С прекращением относительного движения прекращается не поворотное ускоренное движение с дополнительным поворотным ускорением ($2*\omega*\omega'*r$), а изменяется абсолютная величина центростремительного ускорения исходного вращения. При радиальном же относительном движении поворотное движение представляет собой особый вид движения, которое является общей частью исходных движений и реализуется только при их совместном осуществлении. Наблюдатель в закрытой капсуле, движущейся радиально с постоянной скоростью в составе вращающейся системы, без труда отметит появление дополнительного ускорения, отличного даже от изменяющегося центростремительного ускорения текущего переносного вращения, в то время как при перпендикулярном радиусу относительном движении наблюдатель отметит только изменившееся центростремительное ускорение. Причем только в том случае, если он будет присутствовать в капсуле во время переходного процесса.

С прекращением радиального относительного движения прекращается только поворотное ускоренное движение. Причем приращение, достигнутое в результате действия поворотного ускорения, сохраняется в параметрах нового вращательного движения. Прямолинейное относительное движение само по себе не является ускоренным движением. Поэтому все приращения, реализующиеся в параметрах текущего переносного вращения, образуются только в результате взаимного влияния друг на друга двух разнородных движений вращательного и прямолинейного. Поворотное движение и поворотное ускорение это видоизмененное вращательное движение. С прекращением переносного вращения общее ускорение системы становится равным нулю. Однако приращение, достигнутое в результате действия поворотного ускорения, сохраняется в виде измененного направления прямолинейного относительного движения с прекращением поворотного вращения или в виде изменения переносной линейной скорости по величине с прекращением относительного движения. Следовательно, приращение поворотного движения одновременно является приращением линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине и приращением относительного движения по направлению. При совместном осуществлении однородных движений никакого особого вида движения не образуется, а общее ускорение равно геометрической сумме ускорений составляющих движений с учетом зависимости ускорения от изменяемой линейной и соответственно угловой скорости для обобщенных академических ускорений.

При относительном движении вдоль оси вращающейся системы ускорение Кориолиса, как известно, не проявляется, поскольку соседние точки траектории имеют одинаковую скорость. При относительном движении, перпендикулярном радиусу все соседние точки на круговой траектории также имеют одинаковую по абсолютной величине линейную скорость, хотя и разную по направлению, т.к. движение вдоль окружности является криволинейным движением. Однако изменение величины и направления линейной скорости происходит исключительно с центростремительным ускорением, формирующимся в соответствии с механизмом изменения движения по направлению. Следовательно, при относительном движении, перпендикулярном радиусу ускорение Кориолиса также как и в случае линейного движения, осуществляющегося вдоль оси вращающейся системы, не проявляется, а ***дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega'*r$) является неотъемлемой частью центростремительного ускорения однородного вращательного движения, на которую увеличивается абсолютное ускорение при одном и том же направлении линейных скоростей. Дополнительное же ускорение (**$2*\omega_a*\omega_r*r$**) это одна из частей центростремительного ускорения переносного вращения, которую оно теряет при противоположном направлении линейных скоростей. Однородное с точки зрения кинематики вращательное движение следует отличать от сложного движения, в котором участвуют разнородные движения с различными физическими механизмами их осуществления.

На сайте http://dic.academic.ru приводится толкование физического смысла ускорения Кориолиса. При этом ускорение Кориолиса при радиальном относительном движении в точности совпадает с толкованием физического смысла ускорения Кориолиса при радиальном же относительном движении данным в работе Матвеева. Однако в работе Матвеева не приводится толкование физического смысла ускорения Кориолиса при движении тела перпендикулярно радиусу вращения. Матвеев ограничивается лишь выводом формулы ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении. Причем за ускорение Кориолиса Матвеев принимает дополнительное ускорение, которое появляется в формуле для центростремительного ускорения абсолютного вращательного движения после полного установления во времени всех его параметров, если разложить его линейную скорость на составные части, а полное ускорение записать в виде математического разложения формулы для суммы квадратов.

Не останавливаясь на уточнении физического смысла ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении, Матвеев отмечает, что известная классическая формула ускорения Кориолиса является общей формулой для всех случаев его проявления и таким образом видимо следует

полагать, что физический смысл ускорения Кориолиса во всех случаях его проявления не меняется. В статье «Кориолисово ускорение» на сайте http://dic.academic.ru в разделе «Физический смысл» об этом так прямо и говорится: *«Если тело движется перпендикулярно направлению к центру вращения, то доказательство будет аналогичным. Ускорение из-за поворота вектора скорости останется* $\vec{a} = [\vec{\omega} \times \vec{v}]$, *а также прибавляется ускорение в результате изменения центростремительного ускорения точки».*

Все это было бы верно, если бы это было действительно так. Однако ускорение из-за поворота скорости (a=ω*V) это и есть дополнительное центростремительное ускорение точки, которым в классической физике объясняется, в том числе и вторая половина ускорения Кориолиса *(«а также прибавляется ускорение в результате изменения центростремительного ускорения точки»*). Таким образом, в итоге получается, что с классической точки зрения полное ускорение Кориолиса при радиальном относительном движении это ускорение по изменению переносной скорости по величине и ускорение по изменению относительной скорости по направлению, а при перпендикулярном относительном движении это ускорение по изменению относительной скорости по направлению и… по направлению! Исходя из выше сказанного классическое толкование физического смысла ускорения Кориолиса с физической точки зрения, мягко говоря, некорректно.

Во-первых, из трактовки классической физики ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении вовсе не следует, что физический смысл ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении и ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении идентичны. В классической физике ускорению по изменению переносной скорости по абсолютной величине при радиальном относительном движении соответствует изменение относительной скорости по направлению при перпендикулярном относительном движении. Можно допустить, что они могут быть равны по абсолютной величине, но с физической точки зрения это совершенно разные понятия. При перпендикулярном относительном движении после установления абсолютного вращения, в составе которого и определяется «ускорение Кориолиса», изменение переносной скорости по абсолютной величине вообще отсутствует. Поэтому с физической точки зрения не могут быть идентичны и дополнительные ускорения в каждом из вариантов относительного движения.

Во-вторых, из классической физики следует, что центростремительное ускорение по изменению направления относительной скорости радиального движения не может привести к изменению переносной скорости по абсолютной величине. Именно из этого и вытекает физический смысл классического ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении, т.к. для приращения каждой из скоростей с классической точки зрения требуется отдельное ускорение для каждого вида движения. Чем же в таком случае оправдать двойное ускорение по изменению направления одной и той же относительной скорости при перпендикулярном радиусу относительном движении? Физическое обоснование этого факта в классической физике,как это ни странно, отсутствует.

В-третьих, в приведенном классической физикой объяснении *«физического смысла»* ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении физический смысл ускорения Кориолиса, да и вообще какой-либо смысл отсутствует, т.к. физический смысл полного ускорения Кориолиса объясняется физическим смыслом только одной из его половин. Ведь *«Ускорение из-за поворота вектора скорости…»* и *«ускорение в результате изменения центростремительного ускорения точки»* это одна и та же физическая величина. При этом остается без объяснений, почему один и тот же поворот одной и той же скорости повторяется дважды, т.е. почему ускорение Кориолиса равно двойному повороту одной и той же скорости и какой в этом физический смысл.

Истинный физический смысл дополнительного ускорения в составе единого центростремительного ускорения абсолютного вращательного движения после полного установления во времени всех его параметров, как мы уже отмечали выше, состоит в следующем. Каждая из составляющих ***дополнительного ускорения*** (Ve*ω/) и (Vr*ω) определяет приращение векторов скоростей (Ve) и (Vr), вращающихся соответственно с угловыми скоростями (ω/) и (ω), дополняющими собственные угловые скорости этих векторов до суммарной угловой скорости вращения вектора абсолютной скорости (Va). Это совершенно очевидно вытекает из формулы дополнительного ускорения, если представить ее в правильном (приемлемом) с точки зрения физического смысла виде: ($w_к$=2*ω*ω/*r=(ω*r)*ω/+ω*(ω/*r) =**Ve***ω/+ Vr***ω**).

Как видно физический смысл дополнительного ускорения в составе центростремительного ускорения при разложении абсолютной линейной скорости на две составляющие значительно отличается от физического смысла ускорения Кориолиса при перпендикулярном радиусу относительном движении. На

наш взгляд, классическая модель поворотного движения при относительном движении, перпендикулярном радиусу, в котором за ускорение Кориолиса принимается **дополнительное ускорение** ($2*\omega*\omega'*r$) противоречит физической сущности ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении:

Во-первых, разложение равномерного вращательного движения на составные части противоречит представлениям классической физики о вращательном движении, как об однородном движении. На основании классической модели поворотного движения при перпендикулярном радиусу относительном движении вращательное движение следует считать сложным движением, что противоречит классической модели изменения вектора скорости по направлению без изменения его абсолютной величины. В классической физике изменение скорости по направлению без изменения ее абсолютной величины считается таким же односложным актом, как и изменение линейной скорости по абсолютной величине без изменения ее направления.

Во-вторых, при относительном движении, перпендикулярном радиусу при совпадающем направлении переносной и относительной скорости силой Кориолиса приходится считать часть центробежной силы абсолютного вращательного движения, а поворотным ускорением Кориолиса – часть центростремительного ускорения абсолютного вращения. При направлении же относительной скорости противоположном направлению переносной скорости классическое поворотное ускорение эквивалентно отрицательному центростремительному ускорению (**$2*\omega_a*\omega_r*r$**) и соответствующей ему отрицательной центробежной силе, что не имеет физического смысла.

В-третьих, при направлении относительной скорости противоположном направлению переносной скорости классическое поворотное ускорение ***$(2*\omega_e*\omega_r*r)$*** содержит в своем составе удвоенное относительное ускорение (**$2*\omega_r*Vr$**). В результате в скалярной классической формуле для абсолютного ускорения переносное ускорение (**ω_r*Vr**), на величину которого абсолютное ускорение должно быть физически уменьшено присутствует с положительным знаком. При противоположной направленности линейных скоростей физический смысл аналогичный физическому смыслу дополнительного ускорения ***$(2*\omega_e*\omega_r*r)$*** при одинаковой направленности линейных скоростей имеет дополнительное ускорение (**$2*\omega_a*\omega_r*r$**). Таким образом, при изменении знака относительной линейной скорости классическое поворотное ускорение в соответствии с теоремой о сложении ускорений определяется неоднозначно.

В-четвёртых, с прекращением относительного движения, перпендикулярного радиусу параметры вращательного движения принимают исходное состояние, что свидетельствует о непосредственной принадлежности ***дополнительного ускорения*** ($2*\omega*\omega'*r$) к параметрам вращательного движения, а не к ускорению поворотного движения, не относящегося непосредственно к вращательному движению, хотя и осуществляющемуся непосредственно на его базе.

В-пятых, в классической модели поворотного движения при относительном движении, перпендикулярном радиусу однородное по виду вращательное движение условно математически разделено на переносное, поворотное и абсолютное вращение, которые принимаются за разные виды движения практически на физическом уровне. Однако физический смысл механического движения не может определяться условно математическими исходными установками, связанными с различными способами технической реализации этого движения. Центростремительное ускорение равномерного вращательного движения и само равномерное вращательное движение не перестают быть таковыми, если абсолютную линейную скорость представить в виде суммы любого количества составных линейных векторов.

В-шестых, поворотное ускорение при перпендикулярном радиусу относительном движении не обусловлено с энергетической точки зрения, т.к. ***дополнительное ускорение $(2*\omega*\omega'*r)$,*** как часть центростремительного ускорения существует только исключительно за счет внутренней энергии вращательного движения, что подтверждает принадлежность ***дополнительного ускорения $(2*\omega*\omega'*r)$*** исключительно к вращательному движению. Ни один вид движения, кроме равномерного прямолинейного движения и равномерного вращательного движения не осуществляется без изменения внутренней энергии движущейся системы.

Таким образом, при таком количестве отличий ***дополнительного ускорения,*** проявляющегося при перпендикулярном радиусу относительном движении от ускорения Кориолиса, при радиальном относительном движении их невозможно отнести к одному и тому же виду поворотного движения. Поворотное ускорение образуется только при совместном осуществлении двух видов разнородных движений - прямолинейного и вращательного. Следовательно, ***дополнительное ускорение $(2*\omega*\omega'*r)$*** не является ускорением Кориолиса, которое, однако, необходимо учитывать в составе абсолютного движения, т.к. оно является неотъемлемой частью абсолютного ускорения и непосредственно входит в

состав переносного ускорения вращательного движения. Поэтому учитывать дополнительное ускорение необходимо именно как центростремительное ускорение.

3.3. ОБЩИЙ СЛУЧАЙ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА.

Рассмотрим общий случай проявления ускорения Кориолиса, в котором относительная скорость имеет произвольное направление. Матвеев считает, что: *«Произвольная скорость может быть выражена в виде суммы слагающих, направленных по радиусу и перпендикулярно к нему, и для обеих составляющих справедлива одна и та же формула вида (66.7). Отсюда следует, что формула (66.7) справедлива для кориолисова ускорения при произвольном направлении относительной скорости».*

$w_K = 2[\omega, v^{/}]$ (66.7)

где $v^{/}$ - относительная скорость перпендикулярная радиусу.

Запишем в геометрическом виде выражение для ускорения Кориолиса при произвольном направлении относительной скорости в классической интерпретации:

$a_К = 2*\omega *Vr_{=} + 2*\omega*Vr_{\perp}$

(3.26)

где:

$2*\omega*Vr_{\perp} = 2*\omega*\omega^{/}*r$;

$Vr_{=}$: радиальная составляющая относительной скорости;

$Vr_{\perp}$: перпендикулярная составляющая относительной скорости;

Ω: мгновенное значение переносной угловой скорости;

$\omega^{/}$: относительная угловая скорость,

r: текущее значение радиуса переносного вращения.

Вынося за скобки общий множитель (2* w) можно записать:

$a_К = 2*\omega*(Vr_{=} + Vr_{\perp})$

Сумма ($Vr_{=}$) и ($Vr_{\perp}$), записанная в круглых скобках есть не что иное, как геометрическое выражение для относительной скорости (Vотн):

$Vотн = Vr_{=} + Vr_{\perp}$

Тогда:

$a_К = 2*\omega*Vотн$.

То есть, если рассматривать ***дополнительное ускорение*** ($2*\omega*\omega^{/}*r$) как ускорение Кориолиса при относительном движении, перпендикулярном радиусу, а величину ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении определять по классической формуле, то ускорение Кориолиса при произвольном направлении относительного движения математически действительно определяется выражением (66.7). Однако, на наш взгляд, математические преобразования, приводящие формулу общего ускорения Кориолиса при произвольном направлении относительного движения к виду (66.7) с физической точки зрения неправомерны.

Ускорение Кориолиса по первому варианту формально зависит только от переносной угловой скорости, т.к. относительная угловая скорость в первом варианте проявления ускорения Кориолиса при равномерном вращении (абсолютная угловая скорость не изменяется) отсутствует. Однако при произвольном направлении относительного движения текущая угловая скорость постоянно изменяется за счет перпендикулярной радиусу составляющей относительного движения. Поэтому вектора всех составляющих абсолютной скорости сложного движения в абсолютной системе координат вращаются с **абсолютной** угловой скоростью (если не учитывать сдвиги фаз).

Таким образом, при произвольном направлении относительного движения в формуле (3.26) в выражении ($2*\Omega n*Vr_{=}$) в классическом варианте или ($\Omega n*Vr_{=}$) в нашей интерпретации для ускорения Кориолиса, обусловленного радиальным относительным движением необходимо учитывать абсолютную угловую скорость (**Ωn**) равную сумме текущих угловых скоростей переносного и относительного движений:

$\Omega n = \omega_{ет} + \omega_{гт}$,

Где:

$\omega_{ет} = (\Omega_{(n-1)})$ – переносная угловая скорость равная абсолютной угловой скорости на (n-1) шаге дифференцирования;

$\omega_{гт}$ – относительная угловая скорость в текущем интервале времени дифференцирования (n).

В свою очередь в выражении ($2*\omega*\omega^{/}*r$) для ***дополнительного ускорения***, обусловленного перпендикулярной к радиусу составляющей относительного движения необходимо учитывать не абсолютную угловую скорость, а переносную угловую скорость, т.к. в выражении для относительной линейной скорости ($\omega^{/}*r=Vr_{\perp}$) уже учтена относительная угловая скорость ($\omega^{/}$), дополняющая переносную угловую скорость до абсолютной угловой скорости. Собственно это очевидно и из самого выражения для ***дополнительного ускорения*** ($2*\omega*\omega^{/}*r$), в котором присутствуют обе угловые скорости (ω и $\omega^{/}$). Таким образом, в слагаемые выражения

(3.26), представляющие собой составляющие классического ускорения Кориолиса при произвольном направлении относительного движения должны подставляться разные угловые скорости (Ωn) и ($\omega_{ет}$). При этом выражение для ускорения Кориолиса при произвольном направлении относительного движения (3.26) с учетом классического поворотного ускорения при радиальном и при перпендикулярном к радиусу относительном движении будет иметь вид, несколько отличающийся от классической формулы вида (66.7):

$a\text{к} = 2*\Omega n*Vr_{=} + 2*\omega_{ет}*Vr_{\perp}$ (3.26*)

В выражении (3.26*), математические преобразования по приведению этого выражения к выражению вида (66.7) невозможны, т.к. угловые скорости в каждом слагаемом формулы (3.26*) разные. С учетом реальной текущей угловой скорости при произвольном направлении относительного движения в формуле (3.26*) вынести за скобки чисто математически можно только множитель «2», что с нашей точки зрения также не бесспорно, т.к. в нашей версии ускорения Кориолиса множитель «2» отсутствует. Множитель «2» при радиальном относительном движении скорее противоречит физической сущности поворотного движения, чем соответствует ей. По крайней мере, все существующие классические объяснения физической сущности ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении, на наш взгляд, не выдерживают никакой критики.

Физическое обоснование множителя «2» в ***дополнительном ускорении*** при нормальном относительном движении в классической физике также отсутствует. Множитель «2» в выражении для ***дополнительного ускорения*** ($2*\omega*\omega'*r$) получен чисто математическим путем, как множитель, присутствующий в формуле разложения суммы квадратов двух чисел вне всякой связи с конкретным физическим смыслом ***дополнительного ускорения*** ($2*\omega*\omega'*r$). Таким образом, даже косвенно по аналогии с перпендикулярным радиусу относительным движением «двойка» в выражении для ***дополнительного ускорения*** не может служить оправданием такого же множителя «2» в выражении для ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении. Тем более что, хотя наличие множителя «2» в выражении ($2*\omega*\omega'*r$) правомерно, ***дополнительное ускорение,*** на наш взгляд вообще не является ускорением Кориолиса.

Поэтому при произвольном направлении относительного движения общее ускорение Кориолиса, по нашему мнению, описывается выражением для ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении в нашей версии с учётом изменяющей за счёт нормальной составляющей относительного движения угловой скорости переносного вращения.

$a_{к}$ общ. = $\Omega n*Vr$ **(3.27)**

При этом ***дополнительное ускорение*** **($2*\omega*\omega'*r$)** при относительном движении, перпендикулярном радиусу будет автоматически учтено в составе центростремительного ускорения текущего вращательного движения с текущей абсолютной угловой скоростью (Ωn).

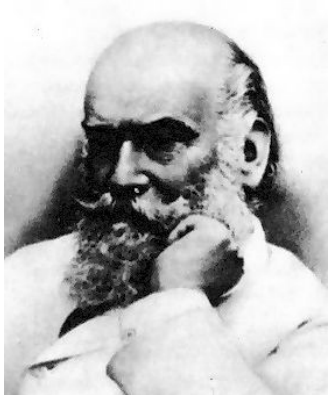
4. КЛАССИКИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ О ЯВЛЕНИИ КОРИОЛИСА

В классической физике оба варианта проявления ускорения Кориолиса, являются частными случаями общей формулы ускорения Кориолиса вида (66.7). По нашему мнению это обусловлено следующими обстоятельствами:

Во-первых, никто из исследователей явления Кориолиса не учитывает изменение длины элементарных поворотных участков при изменении радиуса поворотного движения при радиальном относительном движении.

Во-вторых, в классической физике нет четкого физического представления об ускорении Кориолиса, в результате чего происходит смешение понятия ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении и ***дополнительного ускорения*** при перпендикулярном радиусу относительном движении.

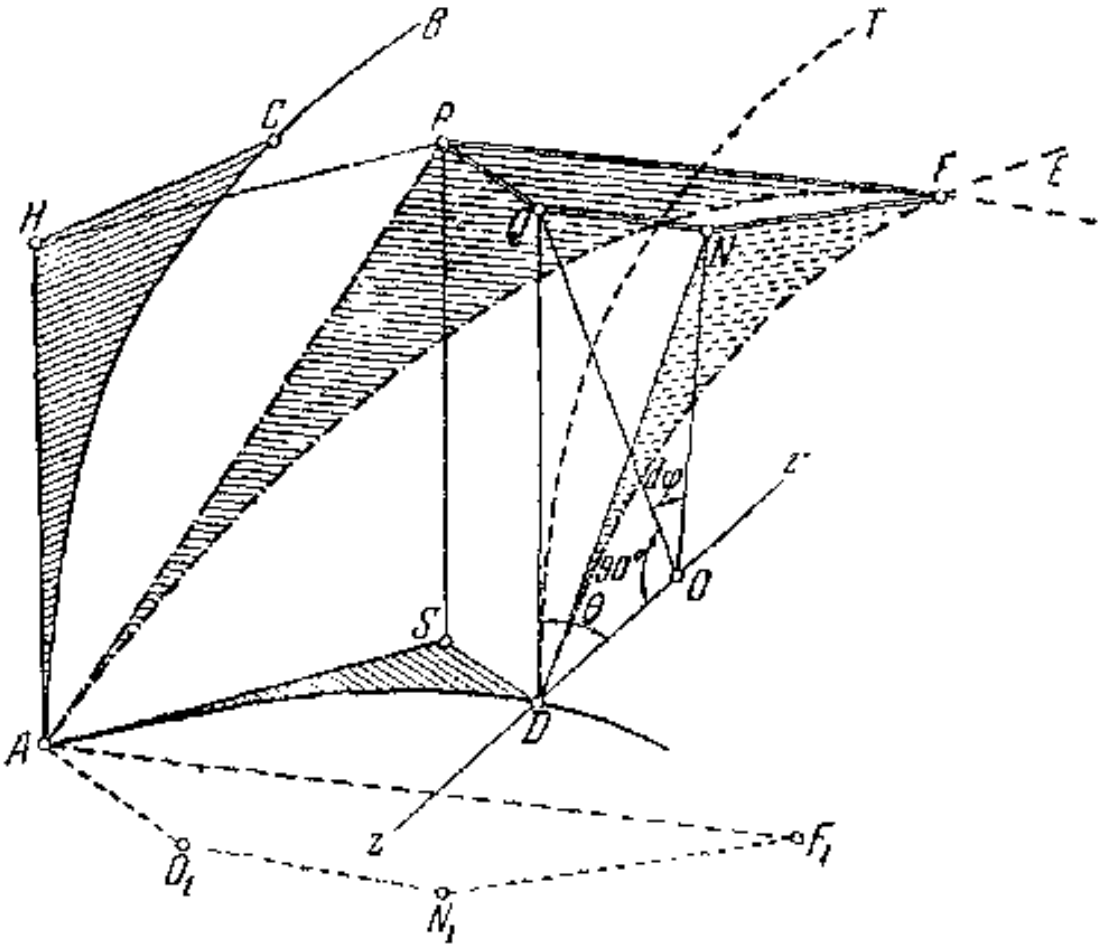
Таким образом, любое доказательство теоремы Кориолиса при радиальном направлении относительного движении в классической физике автоматически считается доказательством полной теоремы Кориолиса в общем случае при произвольном направлении относительного движения как, например, в графическом выводе формулы ускорения Кориолиса у Жуковского Н. Е..



4.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКРЕНИЯ КОРИОЛИСА Н. Е. ЖУКОВСКОГО

Жуковский Н. Е. в работе «Теоретическая механика» издание второе, ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА-ЛЕНИНГРАД 1952 предлагает следующий графический вывод формулы ускорения Кориолиса (см. фотокопии ниже):

Мы ограничимся рассмотрением того случая, когда траектория сама не деформируется, но кроме поступательного движения может иметь еще и вращательное.



Фиг. 46.

Предварительно условимся в некоторых обозначениях. Полное ускорение относительного движения назовем *относительным* ускорением и обозначим через g. Полное ускорение переносного движения назовем *переносным* ускорением и обозначим через l. Наконец, полное ускорение абсолютного движения назовем *абсолютным* ускорением и обозначим через j.

Переходим к решению вопроса. Положим, что траектория движущейся точки в рассматриваемый момент времени занимает положение AB (фиг. 46). Точка, выходя из A, движется по своей траектории, и, если бы траектория была неподвижна, она в бесконечно малый промежуток времени τ перешла бы в положение C.

С другой стороны, если бы точка была в A неподвижна, то через тот же промежуток времени τ она заняла бы положение D вследствие того, что траектория во время τ переместится из положения AB в положение DE. Таким образом, от одновременного движения точки

и траектории движущаяся точка опишет некоторую траекторию AF и через промежуток времени τ будет находиться в F, причем $DF = AC$. Построим девиации этих движений. Девиацию относительного движения HC получаем, отложив $AH = u\tau$ по касательной к траектории в точке A, где u есть скорость относительного движения, и соединив H с C. Девиацию переносного движения SD получаем, отложив $AS = w\tau$, где w — скорость переносного движения, и соединив S с D. Построив параллелограмм на AH и AS, утверждаем, что вектор AP направлен по абсолютной скорости и равен $v\tau$, где v — скорость абсолютного движения.

В самом деле, если по направлению AH отложим всю скорость u относительного движения и по направлению AS всю скорость w переносного движения, то, построив на них параллелограмм, получим всю скорость v абсолютного движения, направленную по диагонали AP. Если теперь умножить стороны этого параллелограмма на τ, то стороны его будут $u\tau$ и $w\tau$, а диагональ $v\tau$; но $u\tau = AH$, $w\tau = AS$ согласно построению; следовательно, $v\tau = AP$. Что касается направления AP, то оно есть направление v, т. е. направление абсолютной скорости, так как направление диагонали от пропорционального увеличения или уменьшения сторон параллелограмма не изменяется. Если $AP = v\tau$, то, соединив P с F, получим PF — девиацию абсолютного движения.

Итак:

AB есть положение траектории во время t;

DE есть положение траектории во время $t + \tau$;

AC есть путь в относительном движении за время τ;

AD есть путь в переносном движении за время τ;

AF есть путь в абсолютном движении за время τ;

$AH = u\tau$, где u — скорость относительного движения;

$AS = w\tau$, где w — скорость переносного движения;

$AP = v\tau$, где v — скорость абсолютного движения;

HC — девиация относительного движения, равная $g\frac{\tau^2}{2}$ и параллельная полному ускорению относительного движения;

SD — девиация переносного движения, равная $f\frac{\tau^2}{2}$ и параллельная полному ускорению переносного движения;

PF — девиация абсолютного движения, равная $/\frac{\tau^2}{2}$ и параллельная полному ускорению в абсолютном движении.

Положим, что фигура AHC по прошествии времени τ заняла положение DNF, причем DN не параллельно AH. Проведем из D вектор $DQ \parallel AH$. Если бы траектория перемещалась поступательно, т. е. параллельно самой себе, то DQ была бы касательной к траектории DT, но так как траектория еще повернулась около оси zz' на некоторый угол, то касательная к ней будет DN. Соединив P с Q,

Q с N и N с F, получим бесконечно малый многоугольник $PQNF$, для которого по правилу сложения векторов можно написать:

$$\overline{PF} = \overline{PQ} + \overline{QN} + \overline{NF}. \tag{54}$$

В этой геометрической сумме нам известны векторы $\overline{PF}$, $\overline{PQ}$ и $\overline{NF}$. Действительно, $\overline{PF}$ есть девиация абсолютного движения и геометрически равна $\frac{1}{2}\bar{j}\tau^2$, т. е.

$$\overline{PF} = \frac{1}{2}\bar{J}\tau^2.$$

Точно так же вектор $\overline{PQ} = \overline{SD}$, но $\overline{SD} = \bar{I}\frac{\tau^2}{2}$, следовательно:

$$\overline{PQ} = \frac{1}{2}\bar{I}\tau^2.$$

Наконец, $\overline{NF} = \overline{HC}$; так как $HC = \frac{1}{2}g\tau^2$, то

$$\overline{NF} = \frac{1}{2}\bar{g}\tau^2,$$

хотя $NF = HC$ только по величине, но в пределе при бесконечно малом τ, когда NF сливается с HC, мы можем принять их направления параллельными, так что равенство $\overline{NF} = \frac{1}{2}\bar{g}\tau^2$ справедливо.

Рассмотрим теперь вектор $\overline{QN}$. Будет доказано в кинематике незменяемой системы, что всякое перемещение такой системы может быть достигнуто одним поступательным и одним вращательным движениями. Пользуясь этим, мы можем линию AH переместить в положение DN следующим образом: перенести AH поступательно в DQ и повернуть DQ около оси zz' на некоторый угол QON. Тогда QN можно рассматривать, как бесконечно малую дугу, которую описала точка Q в бесконечно малый промежуток времени радиусом OQ из центра O на оси zz', причем треугольник OQN находится в плоскости, перпендикулярной к оси zz', около которой повернулась траектория. Если этот угол назовем через $d\varphi$, то $QN = OQ \cdot d\varphi$; но, как будет сказано в параграфе о вращательном движении, $\frac{d\varphi}{\tau} = \omega$, где ω есть угловая скорость вращения; поэтому $d\varphi = \omega\tau$ и $QN = OQ \cdot \omega\tau$.

Что касается OQ, то ее мы определим из прямоугольного треугольника OQD, в котором прямой угол есть угол при O. Имеем $OQ = DQ \cdot \sin\theta$, где θ — угол между OD (или, что то же, zz') и DQ; но $DQ = AH = a\tau$; поэтому

$$QN = a\omega\tau^2 \sin\theta.$$

Направление вектора $\overline{QN}$ характеризуется тем, что он перпендикулярен одновременно и к DQ и к zz'. К DQ он перпендикулярен как элемент

окружности основания конуса, описываемого линией DQ при вращении около zz', к образующей конуса, а к zz' — как линия, лежащая в плоскости вращения, осью которого служит zz'.

Подставляя в уравнение (54) выражения, найденные для векторов $\overline{PF}$, $\overline{PQ}$, $\overline{QN}$ и $\overline{NF}$, находим:

$$\bar{j}\frac{\tau^2}{2} = \bar{g}\frac{\tau^2}{2} + \bar{l}\frac{\tau^2}{2} + \overline{ON},$$

где $QN = u\omega\tau^2 \sin\theta$. Разделим полученное геометрическое равенство на общий множитель $\frac{1}{2}\tau^2$. Это значит, что, оставляя направления сторон бесконечно малого многоугольника $PFNQ$ неизменными, мы увеличиваем пропорционально его стороны, т. е. строим подобный многоугольник. Тогда наше уравнение представится в таком виде:

$$\bar{j} = \bar{l} + \bar{k} + \bar{g}. \tag{55}$$

Полученное уравнение показывает, как выражается полное ускорение сложного движения; вектор $\bar{k}$, равный по величине $2\omega u \sin\theta$, называется *поворотным ускорением*. Уравнение (55) приводит к следующей теореме, принадлежащей Кориолису.

Теорема Кориолиса. *Полное ускорение в сложном движении слагается геометрически из трех векторов:* 1) *из полного ускорения относительного движения,* 2) *из полного ускорения переносного движения и* 3) *из поворотного ускорения.*

Рассмотрим теперь, как получается вектор, называемый поворотным ускорением. Мы видели, что этот вектор равен по величине

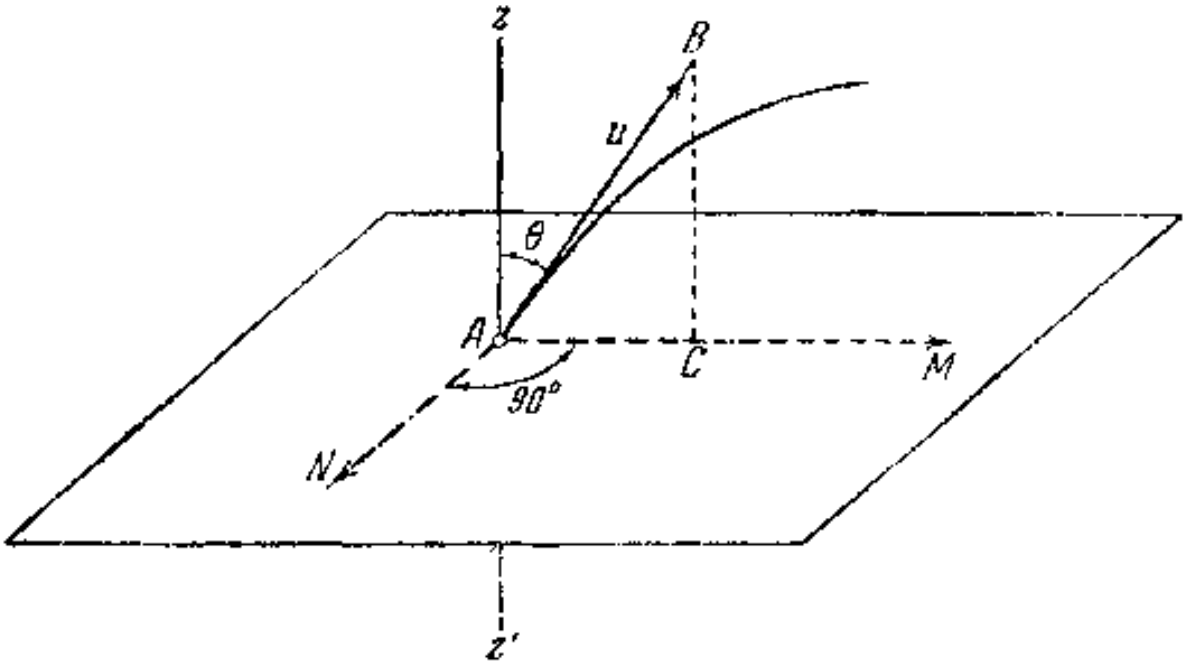
$$k = 2\omega u \sin\theta.$$

Траектория относительного движения имеет не только поступательное, но и вращательное переносное движение. Проведем через рассматриваемую точку A (фиг. 47) плоскость, перпендикулярную к оси вращения zz'. Пусть вектор $\overline{AB}$ есть скорость относительного движения u; проектируем ее на эту плоскость. Проекция ее $AC = u\sin\theta$, где θ есть угол скорости u с осью вращения zz'. Умножаем вектор $\overline{AC}$ на 2ω, не изменяя его направления; получаем:

$$AM = 2\omega u \sin\theta.$$

Мы видим, что вектор $\overline{AM}$ по величине есть k. Для того же чтобы получить надлежащее направление поворотного ускорения, надо повернуть вектор AM так, чтобы он стал перпендикулярен к оси zz' и к скорости u, т. е. занял положение AN. На основании всего сказанного получится следующее правило: для построения поворотного ускорения надо провести через рассматриваемую точку плоскость перпендикулярно к оси, около которой вращается траектория,

спроектировать на эту плоскость относительную скорость u и полученный вектор, не изменяя направления, изменить по величине через умножение на 2ω (т. е. на двойную угловую скорость вращения траектории); потом повернуть его на прямой угол около оси вращения в ту сторону, куда вращается траектория.



Фиг. 47.

Чтобы получить геометрически вектор полного ускорения, нужно при точке A (фиг. 46) построить многоугольник $AO_1N_1F_1$ со сторонами, параллельными многоугольнику $PQNF$, но пропорционально увеличенными в $\frac{2}{\tau^2}$ раз.

Поворотное ускорение обращается в нуль в следующих трех случаях:

1) Когда $\omega = 0$, т. е. когда траектория перемещается поступательно; в этом случае полное ускорение $\bar{j} = \bar{l} + \bar{g}$.

2) Когда $u = 0$; это соответствует тому случаю, когда точка относительного движения не имеет; тогда $\bar{j} = \bar{l}$.

3) Когда $\theta = 0$, т. е. точка движется параллельно оси вращения; в этом случае $\bar{j} = \bar{l} + \bar{g}$.

Относительное движение в работе Жуковского криволинейное. Значит, в рассматриваемом случае присутствует нормальная составляющая относительной скорости. Однако, хотя Жуковский рассматривает наиболее общий случай сложного движения, в котором теоретически присутствует радиальная и нормальная составляющие относительного движения, в его выводе фактически приводится физический механизм определения ускорения Кориолиса только для радиального относительного движения.

В соответствии с академическим понятием о девиации траектория относительного движения в выводе Жуковского раскладывается на девиацию и **условную траекторию** в виде прямой линии, пройденную движущейся точкой за время (τ) с постоянной относительной скоростью (u), которую имела движущаяся точка в относительном движении в начальный момент рассматриваемого интервала времени. При этом приращение поворотного движения определяется как длина дуги (QN), описанной радиусом

(OQ=DQ*sinθ=u*τ*sinθ), являющимся радиальной составляющей **условной траектории** относительного движения (DQ) в отсутствии ускорения относительного движения, осуществляющегося со скоростью (u) за время (τ). Проекция условной траектории относительного движения (DQ) **на перпендикулярное** радиусу направление Жуковским **не рассматривается.**

Девиация относительного движения (NF) некоторым образом учитывает нормальную составляющую относительного движения. Однако девиация (NF) геометрически начинается из конечной точки дуги (QN), которая соответствует окончанию поворотного движения в рассматриваемом интервале времени (τ). Следовательно, положение точки (F) и величина девиации относительного движения (NF) никоим образом не могут влиять на длину отрезка (QN), который Жуковский и рассматривает в своём выводе как приращение поворотного движения. Несмотря на то, что в соответствии с переносным вращением фактически осуществляется поворот всей траектории относительного движения (AC), приращение поворотного движения определяется Жуковским только по повороту проекции **условной траектории** относительного движения на радиальное направление. Проекция условной траектории относительного движения на перпендикулярное радиусу направление и приращение поворотного движения при относительном движении, перпендикулярном радиусу, которое с классической точки зрения также происходит за счёт ускорения Кориолиса, в работе Жуковского не определены ни геометрически, ни физически.

Таким образом, в выводе Жуковского фактически речь идёт исключительно об ускорении Кориолиса, проявляющемся при радиальном относительном движении, несмотря на попытку представить его как вывод ускорения Кориолиса в общем случае сложного движения при произвольном направлении относительного движения. Связь ускорения Кориолиса, проявляющегося при радиальном относительном движении с полным ускорением Кориолиса, Жуковским физически не установлена. Поэтому в выводе Жуковского не может считаться доказанным соответствие формулы вида (66.7) общему ускорению Кориолиса при произвольном направлении относительного движения. К тому же, как и во всех предыдущих случаях, рассмотренных выше, вызывает сомнение правильность определения приращения поворотного движения при радиальном относительном движении. Жуковский также как и все другие авторы, занимающиеся явлением Кориолиса, при определении девиации поворотного движения не учитывает изменение радиуса элементарного поворота внутри бесконечно малого интервала времени поворотного движения.

Классическая теоретическая механика утверждает, что всякое перемещение неизменяемой системы может быть достигнуто одним поступательным движением и одним вращательным движением. Траектория относительного движения перемещается поступательно вдоль траектории переносного движения до точки соответствующей конечному моменту рассматриваемого интервала времени. Затем траектория относительного движения поворачивается относительного мгновенного центра вращения подвижной системы координат на угол, соответствующий повороту радиуса переносного движения за рассматриваемый интервал времени. Таким образом, легко получить координаты движущейся точки на абсолютной траектории для времени (τ). Однако одних только координат движущейся по абсолютной траектории точки в конце рассматриваемого интервала времени недостаточно для определения абсолютного ускорения. Необходимо учитывать реальную траекторию движения точки внутри рассматриваемого интервала времени, т.е. необходимо знать все ткущие координаты составляющих абсолютного движения в рассматриваемом минимальном интервале времени дифференцирования.

В выводе Жуковского в поворотном движении участвует не вектор радиальной составляющей относительной скорости, а проекция (OQ) условной траектории относительного движения (DQ=DN) за время (τ) на радиус переносного вращения. Таким образом, речь идёт не о приращении вектора радиальной скорости по направлению, т.е. годографе радиальной скорости, а о приращении поворотного пути, пройденного за счёт поворотного ускорения за время (τ) или о девиации поворотного движения, которая, как мы установили выше, не может быть равна длине дуги (QN). Приращение поворотного движения можно определить и через годограф радиальной составляющей относительной скорости. Однако при этом необходимо помнить, что дополнительное приращение радиальной скорости - есть полное приращение поворотного движения (см. выше глава 3.1). В работе же Жуковского речь идёт об определении ускорения Кориолиса именно через классическую девиацию поворотного движения.

Поскольку отрезок (QN) в выражении (54) рассматривается как девиация поворотного движения ($QN_Д$), то его величину необходимо определять с учётом реального поворотного движения, в котором радиус поворота (OQ), связанный с переносным вращением непрерывно изменяется за счёт радиальной составляющей относительного движения, в том и числе и внутри минимального интервала времени (τ). Девиация поворотного движения, как мы установили выше, равна дуге окружности, описанной средним радиусом поворотного вращения за рассматриваемый минимальный интервал времени

дифференцирования. Только с учетом среднего радиуса поворотного движения в минимальном интервале времени выражение (54) Жуковского можно считать правомерным.

Во время реального поворотного движения радиус поворотного движения за время (τ) изменяется от нуля в момент времени (t), когда (τ=0) до максимального значения (OQ), равного (OQ=u*τ*sin θ) в момент времени (t+τ). Поэтому для расчета девиации поворотного движения ($QN_Д$) необходимо учитывать средний радиус поворотного движения (u*τ*sin θ/2) равный половине (OQ) аналогично тому, как мы это делали при определении ускорения Кориолиса через девиацию поворотного движения (см. главу 3.1 ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА, СКОРОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНА ВДОЛЬ РАДИУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ, Рис.3.1.6). Следовательно, девиация ($QN_Д$) равна:

$QN_Д = (1/2)*(OQ)*\omega*\tau*\sin\theta = (1/2)*(u*\tau)*\omega*\tau*\sin\theta = (1/2)*u*\omega*\tau^2*\sin\theta = (\tau^2/2)*u*\omega*\sin\theta$

Девиация криволинейного движения определяется формулой для пути прямолинейного равноускоренного движения:

$S = a*t^2/2$

Заменив ускорение (*a*) ускорением Кориолиса (k), а время t временем (τ) получим для ($QN_Д$):

$QN_Д = (\tau^2/2) * k$

Приравняв два выражения для ($QN_Д$), найденных через угловую скорость и через ускорение Кориолиса получим:

$(\tau^2/2)*u*\omega*\sin\theta = (\tau^2/2) * k$

Отсюда ускорение Кориолиса равно:

$k = u*\omega*\sin\theta$

Подобный вывод формулы ускорения Кориолиса мы уже приводили выше (см. вывод формулы ускорения Кориолиса (3.8); Рис. 3.1.6;9), где также обращали внимание, что для определения пути, пройденного с ускорением Кориолиса через угловую скорость переносного вращения, необходимо учитывать средний радиус поворота в рассматриваемом интервале времени.

Можно также воспользоваться уравнением (54) первоисточника с учетом найденного нами значения девиации ($QN_Д$). Подставляя девиацию поворотного движения ($QNд=\tau^2/2*u*\omega*\sin\theta$) в равенство (54) и разделив все члены равенства на ($\tau^2/2$) получим линейное ускорение, эквивалентное ускорению Кориолиса:

$k = u*\omega*\sin\theta$

Таким образом, с учетом изменения радиуса поворотной части абсолютного ускорения, значение поворотного ускорения получилось ровно вдвое меньше, чем в выводе формулы ускорения Кориолиса, приведенном Жуковским.

При этом многоугольник PQNF (Фиг.46 по Жуковскому) примет вид PQ_1N_1F (см. Рис.4.1.1).

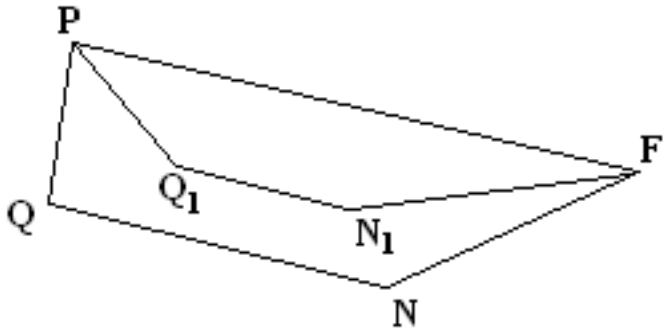


Рис. 4.1.1

Стороны многоугольника PQNF соотносятся со сторонами многоугольника PQ_1N_1F следующим образом:

$PQ_1 = PQ$

$N_1F = NF$

$Q1N1 = QN_Д = QN/2$

В связи с изменением длины (QN) в нашей интерпретации, изменились и направления девиации относительного и переносного движений. Однако в первоисточнике (см. Рис. 46) направление и величина геометрических отрезков девиации не являются строго обоснованными, они показаны схематично, тем более что Жуковский допускает несовпадение по направлению отрезков (HC) и (NF), которые при минимизации времени (τ) должны сливаться. Возможно, если наша версия ускорения Кориолиса верна, то направление и величина отрезков девиации относительного, переносного и поворотного движений в многоугольнике PQ_1N_1F больше соответствуют действительности, чем направление и величина этих же

отрезков в многоугольнике PQNF. Хотя в конечном итоге это не имеет принципиального значения, т.к. ориентация девиации в пространстве является условно академической.

Таким образом, если в выводе Жуковского учесть реальное изменение радиуса поворота в процессе поворотного движения, то мы получим значение абсолютного ускорения сложного движения и поворотного ускорения Кориолиса отличные от их классических значений для первого варианта проявления ускорения Кориолиса. Аналогичные замечания можно предъявить и к геометрическому выводу ускорения Кориолиса С. М. Тарга.

4.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА С. М. ТАРГА

С. М. Тарг «Краткий курс теоретической механики» МОСКВА, ВЫСШАЯ ШКОЛА 1986 доказывает теорему Кориолиса следующим образом (см. фотокопии ниже).

Равенство (85) вопросов не вызывает. Абсолютное ускорение действительно определяется как сумма относительного ускорения и переносного ускорения, т.е. как сумма двух движений. А вот равенство (86) уже не бесспорно. Автор свои обозначения почему-то подробно не объясняет, хотя задуматься есть над чем. Что такое, например относительное ускорение при переносном движении и переносное ускорение при относительном движении?

Лингвистически относительное ускорение при переносном движении может быть истолковано как непосредственно **относительное ускорение по определению,** так и как **абсолютное ускорение,** т.е. сумма всех осуществляющихся одновременно движений. Аналогично можно сказать и о переносном ускорении при относительном движении. Лингвистически это может быть как непосредственно переносное ускорение по определению, так и абсолютное ускорение, т.к. относительное ускорение при переносном движении и переносное ускорение при относительном движении существуют только совместно друг с другом и с поворотным движением.

Конкретный смысл приведенных формулировок можно установить только по математическим формулам, точно также как по математическим формулам приходилось уточнять смысл определений и в работе Матвеева (см. главу 3.1 ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА, СКОРОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНА ВДОЛЬ РАДИУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ). Судя по обозначениям (90) первоисточника в определениях Тарга речь идёт о двух составляющих поворотного ускорения Кориолиса. Формулировки переносного и относительного ускорений практически у **всех классиков,** занимающихся изучением явления Кориолиса расплывчаты и неопределенны, как в данном случае и у Тарга. На наш взгляд, нечёткость лингвистических формулировок является следствием нечетких представлений о самом физическом явлении.

Вывод Тарга, на наш взгляд, по существу полностью повторяет вывод А. Н. Матвеева представленный в работе «Механика и теория относительности», 3-е издание, Москва, «ОНИКС 21 век», «Мир и образование», 2003 г., допущенной в качестве учебника для студентов высших учебных заведений. Соответственно все наши замечания к выводу формулы ускорения Кориолиса в работе Матвеева мы можем переадресовать и к Таргу.

§ 66. ТЕОРЕМА О СЛОЖЕНИИ УСКОРЕНИЙ (ТЕОРЕМА КОРИОЛИСА)

Найдем зависимость между относительным, переносным и абсолютным ускорениями точки. Из равенства (84) получим

$$\bar{a}_{\text{аб}} = \frac{d\bar{v}_{\text{аб}}}{dt} = \frac{d\bar{v}_{\text{от}}}{dt} + \frac{d\bar{v}_{\text{пер}}}{dt}. \tag{85}$$

Производные здесь определяют изменение каждого из векторов при абсолютном движении. Эти изменения слагаются в общем случае из изменений при относительном и при переносном движениях, что ниже будет непосредственно показано. Следовательно, если условиться изменения, которые векторы $\bar{v}_{\text{от}}$ и $\bar{v}_{\text{пер}}$ получают *при относительном движении*, отмечать индексом «1», а *при переносном движении* — индексом «2», то равенство (85) примет вид

$$\bar{a}_{\text{аб}} = \frac{(d\bar{v}_{\text{от}})_1}{dt} + \frac{(d\bar{v}_{\text{от}})_2}{dt} + \frac{(d\bar{v}_{\text{пер}})_1}{dt} + \frac{(d\bar{v}_{\text{пер}})_2}{dt}. \tag{86}$$

Но по определению (см. § 64, п. 1) *относительное ускорение характеризует изменение относительной скорости только при относительном движении*; движение осей $Oxyz$, т. е. переносное движение при этом во внимание не принимается. Поэтому

$$\bar{a}_{\text{от}} = \frac{(d\bar{v}_{\text{от}})_1}{dt}. \tag{87}$$

В свою очередь, *переносное ускорение характеризует изменение переносной скорости только при переносном движении*, так как $\bar{a}_{\text{пер}} = \bar{a}_m$ (см. § 64, п. 2), где m — точка, неизменно связанная с осями $Oxyz$ и, следовательно, получающая ускорение только при движении вместе с этими осями, т. е. при переносном движении. Поэтому

$$\bar{a}_{\text{пер}} = \frac{(d\bar{v}_{\text{пер}})_2}{dt}. \tag{88}$$

В результате из равенства (86) получим

$$\bar{a}_{\text{аб}} = \bar{a}_{\text{от}} + \bar{a}_{\text{пер}} + \frac{(d\bar{v}_{\text{от}})_2}{dt} + \frac{(d\bar{v}_{\text{пер}})_1}{dt}. \tag{89}$$

Введем обозначение

$$\bar{a}_{\text{кор}} = \frac{(d\bar{v}_{\text{о г}})_2}{dt} + \frac{(d\bar{v}_{\text{пер}})_1}{dt}. \qquad (90)$$

Величина $\bar{a}_{\text{кор}}$, *характеризующая изменение относительной скорости точки при переносном движении и переносной скорости точки при ее относительном движении, называется поворотным, или кориолисовым, ускорением точки.* В результате равенство (89) примет вид

$$\bar{a}_{\text{аб}} = \bar{a}_{\text{от}} + \bar{a}_{\text{пер}} + \bar{a}_{\text{кор}}. \qquad (91)$$

Формула (91) выражает следующую теорему Кориолиса о сложении ускорений*: *при сложном движении ускорение точки равно геометрической сумме трех ускорений: относительного, переносного и поворотного, или кориолисова.*

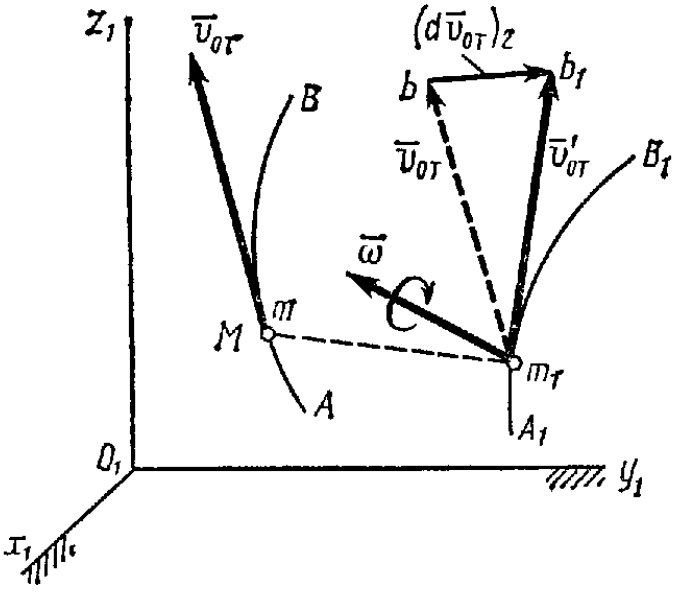


Рис. 188

Найдем для вычисления $\bar{a}_{\text{кор}}$ формулу, вытекающую из равенства (90). При этом, рассматривая общий случай, будем считать переносное движение, т. е. движение подвижных осей $Oxyz$, а с ними и кривой AB (см. рис. 182), слагающимся из поступательного движения вместе с некоторым полюсом и вращения вокруг этого полюса с угловой скоростью $\bar{\omega}$, называемой *переносной угловой скоростью.* Величина $\bar{\omega}$, как показано в § 63, от выбора полюса не зависит и на изображенных рис. 188, где полюс точка m, и рис. 189, где полюс O, имеет одно и то же значение.

Начнем с определения $(d\bar{v}_{\text{от}})_2/dt$. При рассматриваемом переносном движении вектор $\bar{v}_{\text{от}}$, направленный по касательной к кривой AB, переместится вместе с этой кривой поступательно (придет в положение $\overline{m_1 b}$, рис. 188) и одновременно повернется вокруг точки m_1 до положения $\overline{m_1 b_1}$. В результате вектор $\bar{v}_{\text{от}}$ получит в переносном движении приращение $(d\bar{v}_{\text{от}})_2 = \overline{bb_1} = \bar{v}_b \cdot dt$, где $\bar{v}_b$ — скорость, с которой перемещается точка b при повороте вектора $\overline{m_1 b} = \bar{v}_{\text{от}}$ вокруг точки m_1. Так как этот поворот происходит с угловой скоростью $\bar{\omega}$, то по формуле (76) $\bar{v}_b = \bar{\omega} \times \overline{m_1 b} = \bar{\omega} \times \bar{v}_{\text{от}}$. В результате получаем $(d\bar{v}_{\text{от}})_2 = \bar{v}_b \cdot dt = \bar{\omega} \times \bar{v}_{\text{от}} dt$ и

$$\frac{(d\bar{v}_{\text{от}})_2}{dt} = \bar{\omega} \times \bar{v}_{\text{от}}. \qquad (92)$$

Теперь определим $(d\bar{v}_{пер})_1/dt$. Скорость $v_{пер}$ равна скорости той неизменно связанной с подвижными осями точки m кривой AB, с которой в данный момент времени совпадает точка M (рис. 189). Если точку O принять за полюс и обозначить через $\bar{r}$ вектор $\overline{Om}=\overline{OM}$, то по формуле (81)

$$\bar{v}_{пер}=\bar{v}_0+\bar{\omega}\times\bar{r}.$$

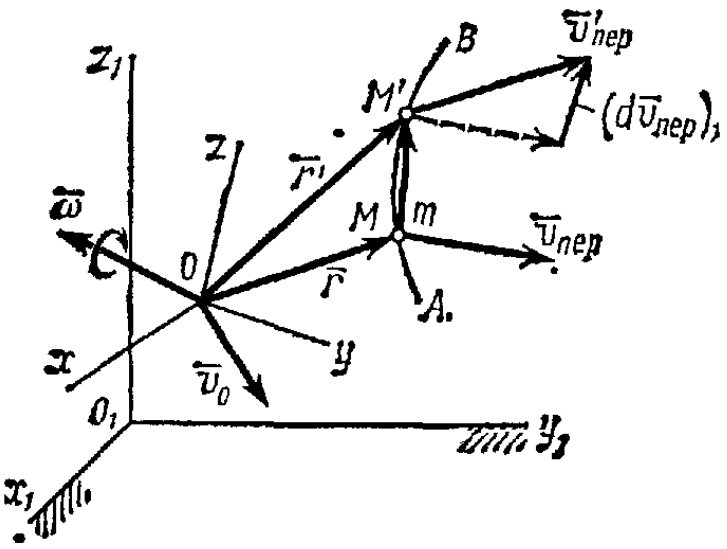


Рис. 189

Совершив за промежуток времени dt относительное перемещение $\overline{MM'}=\bar{v}_{от}\cdot dt$, точка придет в положение M', для которого $\bar{r}'=\bar{r}+\overline{MM'}$ и

$$\bar{v}'_{пер}=\bar{v}_0+\bar{\omega}\times\bar{r}'=$$
$$=\bar{v}_0+\bar{\omega}\times(\bar{r}+\overline{MM'}).$$

Следовательно, вследствие того, что точка совершает относительное перемещение $\overline{MM'}=\bar{v}_{от}dt$, вектор $\bar{v}_{пер}$ получает приращение

$$(d\bar{v}_{пер})_1=\bar{v}'_{пер}-\bar{v}_{пер}=\bar{\omega}\times\overline{MM'}=\bar{\omega}\times\bar{v}_{от}\,dt,$$

откуда

$$\frac{(d\bar{v}_{пер})_1}{dt}=\bar{\omega}\times\bar{v}_{от}. \qquad (93)$$

Подставляя величины (92) и (93) в равенство (90), получим

$$\bar{a}_{кор}=2\,(\bar{\omega}\times\bar{v}_{от}). \qquad (94)$$

Таким образом, *кориолисово ускорение равно удвоенному векторному произведению переносной угловой скорости* (угловой скорости подвижной системы отсчета) *на относительную скорость точки.*

Случай поступательного переносного движения. В этом случае $\omega=0$ и, следовательно, $\bar{a}_{кор}=0$. В результате равенство (91) дает *

$$\bar{a}_{аб}=\bar{a}_{от}+\bar{a}_{пер}. \qquad (95)$$

Кроме рассмотренных выше геометрических выводов ускорения Кориолиса существуют так называемые аналитические методы определения ускорения Кориолиса через дифференцирование приращения координат абсолютного движения.

4.3. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА И. М. ВОРОНКОВА

И. М. Воронков в «Курсе теоретической механики» ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА 1954 § 91. Теорема Кориолиса определяет полное ускорение следующим образом (см. Рис.4.3.1):

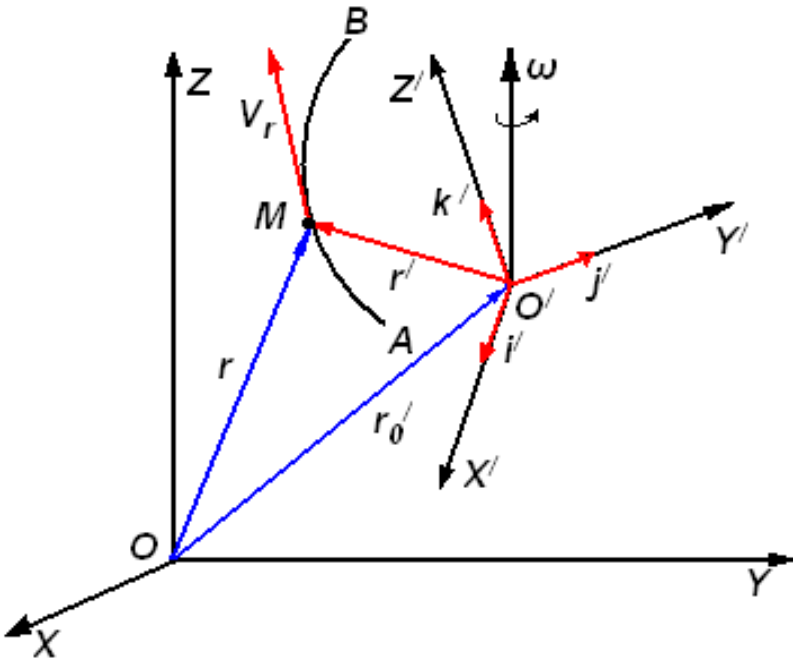


Рис. 4.3.1

$r = r_0^/ + r^/$

$r^/ = x^/ * i^/ + y^/ * j^/ + z^/ * k^/$

$r = r_0^/ + x^/ * i^/ + y^/ * j^/ + z^/ * k^/$

Переносная скорость **(v_e)** равна производной от радиус-вектора **(r)** по d(t) при переменных **ортах i, j, k**:

$v_e = dr_o^/ /dt + x^/ di^/ /dt + y^/ dj^/ /dt + z^/ dk^/ /dt$

Переносное ускорение **(w_e)** равно производной переносной скорости (v_e) по (dt), при переменных **ортах i, j, k** и постоянных координатах $x^/$, $y^/$, $z^/$:

$$w_e = d^2r_o^/ /dt^2 + x^/ d^2i^/ /dt^2 + y^/ d^2j^/ /dt^2 + z^/ d^2k^/ /dt^2$$

Относительная скорость **(v_r)** равна производной ($r^/$) по (dt) при переменных координатах $x^/$, $y^/$, $z^/$ и постоянных **ортах i, j, k**:

$v_r = i^/ dx^/ /dt + j\, dy^/ /dt + k^/ d\, z^/ /dt$

После дифференцирования последнего выражения при **постоянных ортах i, j, k** получим относительное ускорение **(w_r):**

$$w_r = id^2 x^/ /dt^2 + jd^2 y^/ /dt^2 + kd^2 z^/ /dt^2$$

Далее для определения абсолютного ускорения **(w_a)**, Воронков предлагает продифференцировать по времени левые и правые части выражения для абсолютной скорости **(v_a)** при **переменных координатах ($x^/$,$y^/$,$z^/$,$i^/$,$j^/$,$k^/$):**

$$v_a = v_e + v_r$$

$$w_a = dv_a/dt = dv_r/dt + dv_e/dt$$

$dv_e/dt = d^2r_o^/ /dt^2 + x^/ d^2i^/ /dt^2 + y^/ d^2j^/ /dt^2 + z^/ d^2k^/ /dt^2 + (dx^/ /dt * di^/ /dt + dy^/ /dt * dj^/ /dt + d\, z^/ /dt * dk^/ /dt) =$

$= w_e + (dx^/ /dt * di^/ /dt + dy^/ /dt * dj^/ /dt + d\, z^/ /dt * dk^/ /dt)$

$dv_r/dt = id^2 x^/ /dt^2 + jd^2 y^/ /dt^2 + kd^2 z^/ /dt^2 + (dx^/ /dt * di^/ /dt + dy^/ /dt * dj^/ /dt + + d\, z^/ /dt * dk^/ /dt) =$

$= w_r + (dx^/ /dt * di^/ /dt + dy^/ /dt * dj^/ /dt + d\, z^/ /dt * dk^/ /dt)$

учитывая, что :

$di^/ /dt = v_r(i^/) = \omega * i^/$

$dj^/ /dt = v_r(j^/) = \omega * j^/$

$dk^/ /dt = v_r(k^/) = \omega * k^/$,

то выражение в скобках в уравнениях для (dv_e/dt) и для (dv_r/dt) примет вид:

$$(dx^/ /dt * di^/ /dt + dy^/ /dt * dj^/ /dt + d\, z^/ /dt * dk^/ /dt) = \omega * v_r$$

Подставляя в уравнение для (dv_e/dt) и для (dv_r/dt) вместо скобок выражение **($\omega * v_r$),** получим:

$$dv_e/dt = w_e + \omega * v_r$$

$$dv_r/dt = w_r + \omega * v_r$$

Складывая два последних выражения, определим абсолютное ускорение **(w_a):**

$\mathbf{w_a = w_e + w_r + 2 * \omega * v_r}$

Воронков, к сожалению, не дает разъяснений, касающихся физического смысла производных по времени $\mathbf{(dv_e/dt)}$ и $\mathbf{(dv_r/dt)}$ при переменных значениях $\mathbf{(x',y',z',i',j',k')}$, хотя это, на наш взгляд, очень важно с точки зрения физического смысла поворотного ускорения Кориолиса. Именно об этом мы говорили при анализе вывода Матвеева и Тарга. Рассмотрим подробнее дифференцирование переносной скорости при переменных координатах $\mathbf{(x',y',z',i',j',k')}$. Дифференциал $\mathbf{(dv_e/dt)}$ при переменных $\mathbf{(i',j',k')}$ это есть непосредственно переносное ускорение $\mathbf{(w_e)}$ по определению. А дифференциал переносной скорости $\mathbf{(dv_e/dt)}$ при переменных $\mathbf{(x',y',z')}$ учитывает дополнительное изменение переносной скорости при осуществлении относительного движения. Действительно, продифференцируем переносную скорость при переменных $\mathbf{(x',y',z')}$:

$v_e/dt = (dr_o'/dt + x' di'/dt + y'dj'/dt + z'dk'/dt)/dt$

Дифференциал $(dr_o'/dt) = 0$, т.к. радиус-вектор (r_o) не зависит от переменных $\mathbf{(x',y',z')}$. При дифференцировании оставшихся членов в выражении для относительной скорости (v_e) при переменных $\mathbf{(x',y',z')}$ получаем:

$v_e/dt = (\mathbf{x'} di'/dt + \mathbf{y'}dj'/dt + \mathbf{z'}dk'/dt)/dt = (\mathbf{dx'/dt} * di'/dt + \mathbf{dy'/dt} * dj'/dt + \mathbf{d\,z'/dt} * dk'/dt) = \mathbf{\omega * v_r}$

Таким образом, переносное ускорение тела при относительном движении это сумма переносного ускорения точки подвижной системы, в которой в данный момент времени находится тело и **дополнительного ускорения Кориолиса.**

Аналогичным образом рассмотрим подробнее дифференцирование относительной скорости $\mathbf{(dv_r/dt)}$ при переменных значениях $\mathbf{(x',y',z',i',j',k')}$. Дифференциал относительной скорости $\mathbf{(dv_r/dt)}$ при переменных $\mathbf{(x',y',z')}$ это есть непосредственно относительное ускорение (w_r) по определению. А дифференциал относительной скорости $\mathbf{(dv_r/dt)}$ при переменных $\mathbf{(i',j',k')}$ учитывает дополнительное изменение относительной скорости при осуществлении переносного движения.

Продифференцируем переносную скорость при переменных $\mathbf{(i',j',k')}$:

$dv_r/dt = (i'dx'/dt + j\,dy'/dt + k'd\,z'/dt)/dt = (dx'/dt * \mathbf{di'/dt} + dy'/dt * \mathbf{dj'/dt} + d\,z'/dt * \mathbf{dk'/dt}) = \mathbf{\omega * v_r}$

Таким образом, относительное ускорение тела при переносном движении это сумма относительного ускорения и **дополнительного ускорения Кориолиса.**

Относительное ускорение при переносном движении отличается от относительного ускорения в отсутствии переносного движения на величину ускорения Кориолиса. Точно также как переносное ускорение при относительном движении отличается от переносного ускорения в отсутствии относительного движения на ту же самую величину. В обоих случаях и при дифференцировании $\mathbf{(dv_e/dt)}$ при переменных координатах $\mathbf{(x',y',z')}$, и при дифференцировании $\mathbf{(dv_r/dt)}$ при переменных $\mathbf{(i',j',k')}$ фактически дифференцируется одна и та же поворотная часть абсолютного движения. Поэтому присутствие в классической формуле абсолютного ускорения двойных членов поворотного ускорения Кориолиса означает, что одно и то же поворотное ускорение учтено дважды. Реальное абсолютное ускорение сложного движения, по нашему мнению, определяется выражением:

$\mathbf{w_a = w_e + w_r + \omega * v_r}$

Воронков безупречно выполнил математические преобразования, которые, однако, основаны на неправильном, на наш взгляд, представлении о приращении поворотного движения и природе ускорения Кориолиса. Математический аппарат дифференцирования поворотного движения, имеет под собой неправильную физическую базу, на наш взгляд. В результате поворотное ускорение Кориолиса в выводе Воронкова, как и в выводах других авторов, завышено вдвое за счет двойного учета одной и той же физической величины.

Аналитические выводы уравнения абсолютного ускорения и ускорения Кориолиса не ограничиваются методом, предложенным Воронковым. В теоретической механике представлены и другие варианты аналитического определения ускорения Кориолиса, которые по физической сущности мало чем отличаются от рассмотренного вывода Воронкова.

4.4. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА Н. Е. ЖУКОВСКОГО И П. АППЕЛЯ

Так Жуковский Н. Е. в уже упомянутом выше труде (Н. Е. Жуковский, «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА», ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, МОСКВА-ЛЕНИНГРАД, 1952г.) в разделе «Определение ускорения Кориолиса аналитическим путем» и П. Аппель («Теоретическая механика» том первый ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ МОСКВА 1960) определяют абсолютное ускорение следующим образом.

Жуковский и Аппель в отличие от Воронкова находят уравнение для абсолютного ускорения путем двойного дифференцирования приращения абсолютных координат в неподвижной системе координат. Абсолютные координаты определяются через координаты подвижной системы координат при помощи косинусов углов Эйлера. При этом в уравнении для абсолютного ускорения присутствуют выражения для переносного ускорения, относительного ускорения и дополнительного поворотного ускорения Кориолиса.

Координата (x) в неподвижной системе координат, выраженная через координаты подвижной системы координат при помощи косинусов углов Эйлера определяется выражением (нумерация формул оригинальная):

$$\mathbf{x = x_0 + a*x' + в*y' + c*z'},\qquad (1.41)$$

где:

$\mathbf{x_0}$ – радиус-вектор абсолютной системы координат, определяющий начало подвижной системы координат;

$\mathbf{x', y', z'}$ - оси подвижной системы координат;

x, y, z – оси абсолютной системы координат;

а, в, с – косинусы углов между соответствующими подвижными и неподвижными осями.

После двойного дифференцирования уравнения (1.41) получаем выражение для ***a*(абс)**:

$$\boldsymbol{a}\mathbf{(абс)} = d^2x_0/dt^2 + x'd^2a/dt^2 + y'd^2в/dt^2 + z'd^2c/dt^2 + (da/dt * dx'/dt + dв/dt * dy/dt + dc/dt * dz/dt) +$$
$$+ id^2x'/dt^2 + jd^2y'/dt^2 + kd^2z'/dt^2 + (da/dt * dx'/dt + dв/dt * dy/dt + dc/dt * dz/dt) \qquad \mathbf{(1.42)}$$

где:

$\mathbf{w_e} = d^2x_0/dt^2 + x'd^2a/dt^2 + y'd^2в/dt^2 + z'd^2c/dt^2$ **– переносное ускорение**

$\mathbf{w_r} = id^2x'/dt^2 + jd^2y'/dt^2 + kd^2z'/dt^2$ **– относительное ускорение**

$\mathbf{w_k} = \mathbf{2*}\ (da/dt * dx'/dt + dв/dt * dy/dt + dc/dt * dz/dt)$ **– ускорение Кориолиса**

Таким образом, при дифференцировании абсолютных координат сложного движения по методу Жуковского и Аппеля поворотное ускорение Кориолиса также как и у Воронкова, вдове превышает значение ускорения Кориолиса в нашей версии. Вывод ускорения Кориолиса в редакции Жуковского и в редакции Аппеля ничем принципиально не отличается от вывода Воронкова, т.к. дифференциал суммы равен сумме дифференциалов.

4.5.АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА Р. ФЕЙНМАНА

Ниже приведена фотокопия оригинального текста из работы «ФЕЙНМАНОВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ. 2. ПРОСТРАНСТВО. ВРЕМЯ. ДВИЖЕНИЕ», стр.78, 79; Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс.

Возьмем снова эксперимент с вращающимся столиком. Рассмотрим отдельно тело и руки, с точки зрения человека, вращающегося на столике. Согнув руки с гантелями, мы стали вращаться быстрее, но заметьте, что тело при этом *не изменило своего момента инерции*; тем не менее оно стало вращаться быстрее, чем прежде. Если бы мы провели вокруг тела окружность и рассмотрели только предметы внутри этой окружности, то *их* момент количества движения *изменился* бы; они закрутились бы быстрее. Следовательно, когда мы сгибаем руки, на тело должен действовать момент силы. Однако центробежная сила не может дать никакого момента, так как она направлена по радиусу. Это говорит о том, что среди сил, возникающих во вращающейся системе, центробежная сила не одинока: *есть еще и другая сила*. Эта другая сила носит название *кориолисовой силы*, или *силы Кориолиса*. Она обладает очень странным свойством: оказывается, что если мы во вращающейся системе двигаем какой-то предмет, то она толкает его вбок. Как и центробежная сила, эта сила кажущаяся. Но если мы живем во вращающейся системе и хотим что-то двигать по радиусу, то для этого мы должны тянуть его несколько вбок. Именно эта «боковая» сила создает момент, который раскручивает наше тело.

Перейдем теперь к формулам и покажем, как кориолисова сила работает на практике. Пусть Мик сидит на карусели, которая кажется ему неподвижной. С точки зрения Джо, который стоит на земле и знает истинные законы механики, карусель крутится. Предположим, что мы провели радиальную прямую на карусели и пусть Мик двигает прямо по этой линии какую-то массу. Я хочу показать, что для того, чтобы все было так, как мы описали, необходима боковая сила. Это можно увидеть, обратив внимание на момент количества движения вращающейся массы. Она крутится все время с одной и той же угловой скоростью ω, поэтому ее момент количества движения равен

$$L = mv_{\text{танг}} r = m\omega r \cdot r = m\omega r^2.$$

Если масса расположена близко к центру, то он сравнительно мал, но если мы передвигаем ее в новое положение и если мы увеличиваем r, то масса m приобретает больший момент коли-

чества движения, т. е. во время движения по радиусу на нее *должен действовать некоторый момент силы*. (Чтобы на карусели двигаться по радиусу, нужно наклониться и толкаться вбок. Попробуйте как-нибудь сами проделать это.) Поскольку момент силы равен скорости изменения L во время движения массы m по радиусу, то

$$\tau = F_{\text{К}} r = \frac{dL}{dt} = \frac{d(m\omega r^2)}{dt} = 2m\omega r \frac{dr}{dt},$$

где через $F_{\text{К}}$ обозначена сила Кориолиса. В действительности мы хотели узнать, какую боковую силу должен прилагать Мик, чтобы двигать массу m со скоростью $v_r = dr/dt$. Как видите, она равна $F_{\text{К}} = \tau/r = 2m\omega v_r$.

Дифференцирование по времени момента количества движения при радиальном относительном движении в предположении, что переменной величиной является радиус с физической точки зрения не корректно. Момент силы является функцией изменения во времени момента количества движения (L), который в свою очередь является функцией изменения во времени угловой скорости вращения. Первопричиной изменения количества движения является внешнее вращение по отношению к движущемуся радиально телу, компенсирующее естественное в соответствии с законом сохранения момента количества движения изменение угловой скорости вращения при изменении радиуса вращения. В отсутствии внешнего по отношению к движущемуся радиально телу вращения изменение радиуса никакого влияния на приращение момента количества движения непосредственно не оказывает. Поэтому при изменении момента количества движения в процессе равномерного поворотного движения радиус может быть переменной величиной только как условный эквивалент неявного приращения угловой скорости, за счет которого она поддерживается на неизменном уровне.

В представлении поворотного движения, очевидно, применим тот же принцип, что и в представлении любого криволинейного движения. Сначала осуществляется поступательное движение вдоль радиуса без добавочного вращения, а затем - добавочное вращение с фиксированным текущим радиусом до достижения постоянной угловой скорости (ω). Таким образом, приращение момента количества движения в процессе радиального движения в минимальном интервале времени эквивалентно его приращению за счет добавленного вращения на условно постоянном текущем радиусе вращения. При этом угловая скорость компенсирующего вращения изменяется от нуля до постоянного значения (ω). Очевидно, что в

таком представлении поворотного движения скорость изменения момента количества движения одинаково пропорциональна, как скорости изменения угловой скорости, так и скорости изменения радиуса. Таким образом, при условно неизменной угловой скорости эквивалентом скорости ее неявного изменения может служить скорость изменения радиуса. Однако поскольку приращение момента количества движения осуществляется на условно постоянном радиусе, т.е. при неизменном моменте инерции, а переменная (r) используется только как условный эквивалент неявного приращения угловой скорости, то скорость изменения момента количества движения пропорциональна только первой степени условно переменного радиуса, а не его квадрату.

Фейнман по сути дела предлагает продифференцировать по времени выражение для момента силы в предположении, что переменной величиной является не эквивалентный, а физический радиус без учета всего лишь только **условной** зависимости скорости изменения (L) от изменения радиуса:

$M = F_к*\Delta r = \Delta L/\Delta t = (m*\omega*\Delta r^2)/\Delta t$

Однако при дифференцировании по времени момента силы в предположении, что переменной величиной является не скорость изменения радиуса эквивалентная приращению угловой скорости, а непосредственно приращение физического радиуса уравнение динамики вращательного движения не имеет физического смысла, т.к.:

Во-первых: Под классическим приращением радиуса в минимальном интервале времени подразумевается минимальный отрезок радиуса вблизи текущих координат движущейся точки. Однако приращение момента количества движения принципиально невозможно определить на каком-либо ограниченном участке радиуса вообще и на участке радиуса, не связанном с центром вращения в частности. **Момент** силы и **момент** количества движения определяются и имеют смысл только в фиксированной точке на радиусе, т.е. на фиксированном расстоянии до центра вращения, т.к. все соотношения динамики вращательного движения связаны с вполне определенным расстоянием до центра вращения. Таким образом, приращение радиуса в минимальном интервале времени может быть сколь угодно малым, однако в любом случае оно должно измеряться от центра вращения.

Во-вторых: основное уравнение динамики вращательного движения является только **функциональным** аналогом второго закона динамики Ньютона, что не дает никаких оснований для подмены физических понятий, определяющих физические зависимости динамики вращательного движения и второго закона Ньютона. Момент силы представляет собой произведение двух разных физических величин, поэтому мгновенное значение момента силы не может быть определено как мгновенное значение единой физической величины. Каждый из сомножителей момента силы может быть определен только в соответствии с индивидуальной функциональной зависимостью. Фейнман же дифференцирует произведение двух взаимосвязанных физических величин, не устанавливая функциональной зависимости для каждой из них в отдельности, что не имеет физического смысла, т.к. правая часть уравнения динамики вращательного движения является неполной функцией для каждого из сомножителей, определяющих момент силы.

В классическом выводе формулы для ускорения Кориолиса устанавливается по сути дела не мгновенное значение момента силы, а мгновенное значение произведения двух взаимозависимых переменных, которое не является мгновенным значением момента силы, т.к. момент силы не может определяться неопределенной силой, действующей на неопределенном радиусе. По этой же причине деление обеих частей уравнения на радиус после дифференцирования правой части также не имеет физического смысла. В левой части уравнения радиус является функцией от времени, в то время как в правой части после дифференцирования присутствует мгновенное значение текущего радиуса.

$M = F_к(r)*r(t) = \Delta L/\Delta t = (m*\omega*\Delta r^2(t))/\Delta t$

Отсюда определим $F_к(r)$ по методу Фейнмана:

$F_к(r)*r(t) = (m*\omega*\Delta r^2(t))/\Delta t$

$F_к(r)*r(t) = 2*m*\omega*r*(dr/dt)$

$F_к(r)*r(t) = 2*m*\omega*r*Vr$

В левой части последнего выражения радиус является функцией от времени, а в правой части присутствует мгновенный текущий радиус, поэтому правую часть нельзя сократить на (r/r(t)). Следовательно, выражение для силы Кориолиса по методу Фейнмана будет иметь вид:

$F_к(r) = (2*m*\omega*r*Vr)/r(t)$

Это выражение не только не проясняет физический смысл силы Кориолиса, но и не определяет мгновенное значение силы Кориолиса, т.к. в нем не полностью учтена зависимость изменения радиуса от

времени. Это выражение, на наш взгляд, неправомерно и с математической точки зрения. Абсурдно одну и ту же физическую величину считать переменной только в одной части уравнения и не учитывать ее функциональную зависимость в другой его части. Полученное выше выражение наглядно показывает, что функция (f=r(t)) должна быть учтена в выражении для силы Кориолиса еще до определения ее мгновенного значения. Бессмысленно дифференцировать выражение (правая часть уравнения), которое не содержит в своем составе всех переменных уравнения функционально определяющих значение искомой величины. В классическом же выводе Фейнмана переменная (r) в левой части уравнения является по сути дела либо функцией самой себя (r=f(r)), либо независимым коэффициентом. Ни то, ни другое не соответствует действительности.

Определить мгновенное значение силы Кориолиса можно только после установления полной функциональной зависимости силы Кориолиса от условно переменного радиуса. Если уж радиус считать переменной величиной, то он является переменной величиной во всем уравнении, а не только в его правой части. Таким образом, при определении силы Кориолиса сначала необходимо избавиться от переменной (r) в левой части основного уравнения динамики вращательного движения и только после этого можно приступать к дифференцированию полученного выражения для силы Кориолиса. При этом приращением радиуса в минимальном интервале времени является текущее расстояние от центра вращения. Исключить переменную (r) из левой части основного уравнения динамики вращательного движения можно несколькими способами.

1. Деление обеих частей уравнения на переменную (r).

$F_к * r = L/t = (m * r^2 * \omega)/t$

$F_к = \Delta(L/r)/\Delta t = (m * \Delta r * \omega)/\Delta t$

Полученное выражение для силы Кориолиса можно продифференцировать по времени в предположении, что переменной величиной является текущий радиус, одновременно являющийся приращением расстояния до центра вращения, не вступая ни в какие противоречия с физическими понятиями динамики вращательного движения, моделью представления криволинейного движения и понятием о мгновенном значении физической величины.

$F_к = d(L/r)/dt = d(m * r * \omega)/dt$

$F_к = d(L/r)/d = m * \omega * dr/dt$

$F_к = m * \omega * Vr$

2. Замена переменной (r) выражением, определяющим зависимость (r) от времени (t).

$F_к * r = L/t = (m * r^2 * \omega)/t$

$F_к * Vr * t = (m * \omega * Vr^2 * t^2)/t$

$F_к * Vr = (m * \omega * r * Vr * t)/t^2$

$F_к * Vr = (m * \omega * \Delta r * Vr)/\Delta t$

$F_к = (m * \omega * \Delta r)/\Delta t$

Полученное выражение для силы Кориолиса, так же как и в предыдущем случае можно продифференцировать по времени на участке радиуса в минимальном интервале времени, не вступая в противоречия с физическими понятиями. Можно также дифференцировать и предыдущее выражение, т.к. (Vr) является величиной постоянной.

$F_к = d(m * \omega * r)/dt$

$F_к = (m * \omega) * dr/dt$

$F_к = m * \omega * Vr$

Точно такое же выражение для силы Кориолиса можно получить, вообще не прибегая к дифференцированию. При равномерном поворотном движении мгновенное значение скорости момента количества движения одновременно является его средней и постоянной скоростью, которая определяется простым арифметическим делением момента количества движения на время его изменения. Поэтому при выводе формулы для силы и ускорения Кориолиса при равномерном поворотном движении вполне правомерно вообще отказаться от дифференцирования, как с физической, так и с математической точки зрения. При этом необходимо помнить, что радиус это расстояние до центра вращения, а время соответствует времени изменения не приращения радиуса, оторванного от центра вращения, а полному приращению текущего радиуса, т.е. расстояния до центра вращения.

Основное уравнение динамики вращательного движения может быть записано в следующем виде:

$M = F_к * r = I * \varepsilon = I * d\omega/dt = m * r * r * d\omega/dt$

При равномерном поворотном движении для количественной оценки скорости изменения (L) с математической точки зрения не имеет никакого значения, какая из физических величин в его составе является переменной или постоянной, важно лишь общее изменение момента количества движения во времени. В арифметической форме выражение для момента силы будет иметь следующий вид:

$Fк*r = (m*r*r*\omega)/t$

Отсюда найдем силу Кориолиса:

$Fк = (m*r*\omega)/t$

Учитывая, что радиальная скорость равна (Vr=r/t) выражение для силы Кориолиса окончательно можно записать:

$Fк = m*\omega*Vr$

Аналогичный результат при равномерном поворотном движении можно получить путем выражения времени в основном уравнении динамики вращательного движения через текущий радиус переносного вращения.

$M = Fк*r = L/t = (m*r*r*\omega)/t$

Найдем время (t):

$t = r/Vr$

Подставляя выражение для времени в исходное выражение получим:

$Fк*r = (m*r*r*\omega)/(r/Vr) = (m*r*r*\omega*Vr)/r = m*r*\omega*Vr$

Или окончательно:

$Fк = m*\omega*Vr$

Как видно из полученных формул, в выражении для силы Кориолиса, определенных различными методами нет никаких дополнительных множителей подобных множителю «2» в классическом выражении для силы Кориолиса.

Все формулы для силы Кориолиса, полученные разными методами, представленными выше, хорошо согласуются между собой, в том числе и с нашей версией формулы ускорения Кориолиса, полученной через геометрическое приращение поворотного движения. При определении формулы для силы и ускорения Кориолиса методом дифференцирования необходимо сложное аналитическое обоснование величины приращения поворотного движения, опирающееся на определенную методику определения приращения, которая может оказаться спорной, как, например, в данном случае. При арифметическом же определении средней величины силы и ускорения Кориолиса, выполненном на базе не подлежащих сомнению классических формул, методологические ошибки полностью исключены. Арифметические методы определения силы Кориолиса, приведенные выше, подтверждают нашу версию силы и ускорения Кориолиса.

Изменение момента количества добавленного движения при равномерном радиальном движении может не соответствовать темпу изменения радиуса. При этом в строгом соответствии с основным уравнением динамики вращательного движения необходимо учитывать изменение во времени угловой скорости. Определим силу Кориолиса (Fк) из основного уравнения динамики вращательного движения при равномерном радиальном движении в предположении, что переменной во времени величиной является угловая скорость вращения.

$Fк*r = m*r^2*(\Delta\omega/\Delta t)$

или

$Fк*r = (m*r*(\mathbf{r}*\mathbf{\Delta\omega}))/\Delta t$

Отсюда сила Кориолиса равна:

$Fк = (m*(\mathbf{r}*\mathbf{\Delta\omega}))/\Delta t$

Но

$r*\Delta\omega = \Delta Vл$

Тогда

$Fк = d(m*\Delta Vл)/dt = m*dVл/dt$

$Fк = m*dVл/dt$

Из полученной формулы с учетом равенства (**dVл/dt=dVr/dt)**, которое справедливо, в том числе и в классической физике следует, что полное поворотное ускорение Кориолиса равно:

$a_к = dVл/dt = dVr/dt$

В отличие от классической формулы, в которой ускорение Кориолиса равно сумме **(dVл/dt + dVr/dt)**:

$a_к = dVл/dt + dVr/dt$

Таким образом, мы получили очередное подтверждение, что составляющие классического ускорения Кориолиса (**dVл/dt=dVr/dt)** с физической точки зрения являются равнозначными эквивалентами одного и

того же ускорения, которое можно определить либо только по приращению линейной скорости переносного вращения, либо только по приращению радиальной скорости по направлению.

В соответствии с изложенным физический смысл классической силы Кориолиса, которая компенсирует естественное изменение угловой скорости вращения можно определить следующим образом:

Классическая сила Кориолиса - это сила, которая возникает при частичной или полной компенсации угловой скорости вращающейся системы изменяющейся в соответствии с законом сохранения момента количества движения в зависимости от скорости изменения радиуса в процессе радиального относительного движения материальной точки внутри вращающейся системы.

Классическая сила Кориолиса, приложенная к радиально движущемуся телу **на текущем радиусе** переносного вращения равна силе, компенсирующей естественное изменение угловой скорости. Поскольку изменение угловой скорости на текущем радиусе за счет добавленного вращения прямо пропорционально изменению текущей линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине, то поворотное ускорение Кориолиса равно ускорению по изменению линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине, за счет которого одновременно осуществляется и изменение радиальной скорости по направлению.

При радиальном движении внутри изолированной вращающейся системы, весь момент количества вращательного движения которой сосредоточен только в движущемся радиально теле сила и ускорение Кориолиса **с классической точки зрения не проявляются**, т.к. при этом момент количества движения остается неизменными и, следовательно, никаких моментов сил относительно оси вращения нет. Если же суммарный момент количества движения вращающейся системы больше момента количества движения движущегося радиально тела, то ненаблюдаемая в рамках закона сохранения (L) сила Кориолиса реально проявляется и на уровне физических тел, воздействуя на вращающуюся массу, радиус которой не изменяется, что противоречит утверждению, приведенному выше. Этот феномен объясняется в классической физике фиктивностью силы Кориолиса, которую относят к несуществующим в природе силам инерции. Однако, если масса, радиус вращения которой не изменяется, оказывает инерционное сопротивление изменению скорости вращения тела, движущегося вдоль радиуса, то в классической физике остается без ответа вопрос, каким образом и за счет, каких сил изменяется угловая скорость самого движущегося радиально тела, если его момент количества движения остается неизменным? Ведь неизменность во времени момента количества движения с классической точки зрения означает полное отсутствие каких-либо моментов сил относительно оси вращения!

На наш взгляд сам закон сохранения количества движения обязан своим существованием именно тангенциальным силам, возникающим в процессе радиального движения. В соответствии с предложенным выше механизмом преобразования движения по направлению в результате взаимодействия силы упругости связующего тела и силы инерции прямолинейного движения вращающегося тела возникает результирующая сила, которая имеет, в том числе и тангенциальную составляющую. В процессе осуществления радиального движения на вращающееся тело кроме силы упругости связующего тела дополнительно воздействует тангенциальная сила. Таким образом, при уменьшении радиуса за счет тангенциальной силы осуществляется дополнительный разгон вращающегося тела. Соответственно при увеличении радиуса происходит процесс торможения вращающегося тела.

Во вращательном движении внешней силе кроме инерционного сопротивления физической массы приходится преодолевать дополнительное инерционное сопротивление, связанное с различным расстоянием от вращающегося тела до центра вращения. При изменении радиуса, т.е. расстояния до центра вращения, изменяется и дополнительное инерционное сопротивление вращению. Поэтому под действием тангенциальной составляющей результирующей силы вращательного движения пропорционально изменению дополнительного инерционного сопротивления вращению, связанного с изменением расстояния до центра вращения изменяется и линейная скорость физической массы вращающегося тела. То есть инерция вращательного движения преобразуется в «обычную» силу, действующую на обычную физическую массу, что и обеспечивает сохранение момента количества движения.

Поскольку одновременно с изменением величины линейной скорости движущегося радиально тела в соответствии с механизмом вращательного движения осуществляется процесс ее преобразования по направлению, тангенциальные ускорения проявляются только на уровне микроструктур вещества. Все преобразования осуществляются на уровне внутренних процессов преобразования инерции вращательного движения. Изменение дополнительной инерции вращения компенсируется изменением линейной инерции

физической массы. Этим видимо и объясняется отсутствие с классической точки зрения силы Кориолиса при условии сохранения момента количества движения радиально движущегося тела подобно отсутствию тангенциальных сил и ускорений во вращательном движении. На макроуровне в масштабе физических тел тангенциальные ускорения во вращательном движении не наблюдаемы (см. перегрузка во вращательном движении, глава 1.3 ПРОТИВОРЕЧИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ).

По величине ненаблюдаемая в рамках выполняемости закона сохранения (L) - момента количества движения сила Кориолиса равна классической силе Кориолиса, за счет которой происходит частичная или полная компенсация естественного изменения угловой скорости, т.к. величина приращения угловой скорости и время, за которое оно осуществляется в обоих случаях, аналогичны. Однако это вовсе не означает, что классическая формула силы Кориолиса, удвоенная по отношению к полученной выше формуле, - верна. **Классическая сила Кориолиса** (не путать с классической формулой силы Кориолиса) и ненаблюдаемая сила Кориолиса равны по величине и противоположны по направлению, как «обычная» сила и сила инерции соответственно. Классическая сила Кориолиса это «обычная» активная сила, которая разгоняет или тормозит вращение движущегося радиально тела в зависимости от направления радиального движения, а ненаблюдаемая сила Кориолиса представляет собой инерцию вращательного движения, которая сопротивляется изменению момента количества движения на любом текущем радиусе вращения.

Определим классическую силу Кориолиса в общем случае поворотного движения при неравномерном радиальном движении и произвольном изменении угловой скорости. Поскольку при произвольном приращении момента количества движения изменение угловой скорости не привязано к изменению радиуса, то единственной переменной величиной влияющей на изменение момента количества движения является приращение угловой скорости по отношению к ее естественному текущему значению.

$Fк = m*\omega*r*(\omega_т - \omega_е)/t = m*\omega*r*(d(\omega_т - \omega_е)/dt) = m*\omega*r*(d\omega_т/dt - d\omega_е/dt)$

Где:

$\omega_т$ – текущая угловая скорость;

$\omega_е$ – естественная текущая угловая скорость на текущем радиусе.

Как видно из полученного выражения никаких дополнительных числовых множителей нет и в общем случае проявления силы Кориолиса.

5. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ.

Дифференцирование по времени является абстрактным математическим методом определения мгновенного значения переменных во времени физических величин (скорости, ускорения и производных высших порядков) путем минимизации случайных погрешностей в бесконечно малом интервале времени. Главным условием, которому должно удовлетворять абстрактное математическое понятие «бесконечно малый интервал времени» является отсутствие в нем неучтенных случайных изменений физической величины. В идеале это интервал времени между двумя соседними значениями физической величины. Однако это условие в реальной действительности практически не достижимо. Как это ни парадоксально в бесконечно малом интервале времени с математической точки зрения существует бесконечно большое количество точек, в которых физическая величина теоретически может принимать любые значения. Поэтому за мгновенное значение физической величины при дифференцировании фактически принимается среднее значение физической величины в малом временном интервале, который только условно соответствует бесконечно малому интервалу времени.

Кроме того с физической точки зрения нет никакого смысла уменьшать интервал времени до бесконечности. Физические механизмы формирования сложных видов движения предполагают осуществление сложных комбинаций элементарных движений с различными физическими параметрами. С уменьшением интервала времени до бесконечности существует вероятность попадания его целиком в параметры элементарных составляющих сложного движения. По отдельным же элементарным движениям невозможно определить закон изменения сложного составного движения, которое имеет смысл только во вполне определенном конечном интервале времени. В отсутствие возможности уменьшать интервал времени до двух соседних значений физической величины математическая операция дифференцирования сложных движений может быть оправдана физически, только с учетом достоверно известного закона изменения физической величины. Поэтому главным критерием корректности дифференцирования не математических, а сложных физических величин является методически правильное определение траектории, вдоль которой происходит изменение физической величины, т.е. закона изменения физической величины, выраженного через изменение ее геометрических координат в какой-либо системе отсчета.

Математическая операция дифференцирования не предполагает безусловного исключения погрешности в минимально возможном с физической точки зрения интервале времени. Решение о значимости минимизированной погрешности принимается на физическом уровне в соответствии с физической сущностью определяемой величины и законом ее изменения. Устранению подлежат только случайные погрешности, связанные с непредсказуемыми бессистемными флуктуациями переменной физической величины. На фоне случайных погрешностей необходимо различать закономерные изменения, которые неразрывно связаны с общей закономерностью изменения траектории (графика) физической величины. При этом общая погрешность определения среднего значения физической величины в минимальном интервале времени дифференцирования складывается из случайной погрешности и погрешности, обусловленной методикой определения физической величины, учитывающей закон ее изменения.

Погрешности, связанные с неправильным определением закона изменения физической величины являются методологическими погрешностями, которые иногда могут быть минимизированы при дифференцировании, что значительно облегчает задачу определения действительного закона изменения физической величины. Однако методологические погрешности при дифференцировании никогда не устраняются полностью. В минимальном интервале времени дифференцирования изменяется масштаб, в котором определяется приращение физической величины. Если методологическая ошибка не зависит от масштаба приращения физической величины, то соотношение между реальным значением физической величины и методологической погрешностью и вовсе сохраняется в неизменном виде в любом масштабе времени. Ниже будут рассмотрены два случая, в одном из которых методологические погрешности могут быть минимизированы, а в другом не зависят от интервала времени, в котором определяется физическая величина. Это относится, например, к определению ускорения равномерного вращательного движения, а также к определению поворотного ускорения Кориолиса.

В равномерном вращательном движении с любыми параметрами закон изменения физической величины (вектора линейной скорости) известен, причем не предположительно, а математически точно. Это годограф линейной скорости, который представляет собой окружность или элементы окружности с радиусом равным по абсолютной величине вектору линейной скорости (см. главу 1.3 ПРОТИВОРЕЧИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, а также аналитические выводы центростремительного ускорения). Поэтому для определения центростремительного ускорения равномерного вращательного движения нет необходимости в минимизации интервала времени между любыми точками значений линейной скорости. Однако в классической физике по совершенно не объяснимым причинам ускорение равномерного вращательного движения определяется методом дифференцирования классического разностного прямолинейного вектора (ΔV), который с физической точки зрения не является приращением линейной скорости равномерного вращательного движения. Безусловно, при стремлении интервала времени дифференцирования к нулю длина классического прямолинейного разностного вектора (ΔV) стремится к длине годографа линейной скорости. Однако это свидетельствует лишь о том, что закон изменения линейной скорости действительно соответствует ее годографу, следовательно, нет никакой необходимости вообще прибегать к дифференцированию прямолинейного разностного вектора (ΔV).

С уменьшением интервала времени дифференцирования в силу характера соотношений геометрических параметров вращательного движения методологическая погрешность определения приращения линейной скорости через прямолинейный разностный вектор (ΔV) также уменьшается. Однако эта погрешность не может быть физически устранена в любом сколь угодно малом интервале времени, т.к. длина классического разностного вектора (ΔV) лишь бесконечно приближается к длине годографа линейной скорости, но никогда не достигает длины годографа физически. Следовательно, после минимизации интервала времени на физическом уровне может быть принято только одно единственно правильное решение – это решение об ошибочности используемой методики, а вовсе не о пренебрежении неустранимой погрешностью между дугой окружности и ее хордой даже в виду незначительно малой величины этой погрешности в бесконечно малом интервале времени. Тем более что в интервале времени меньше некоторого значения изменение физической величины может осуществляться по совершенно другому закону, отличному от определяемого обобщенного закона ее изменения.

Таким образом, определение центростремительного ускорения методом дифференцирования классического разностного вектора (ΔV) является лишь одним из вариантов доказательства теоремы о том, что приращением скорости, как по величине, так и по направлению является ее годограф. Правильное значение центростремительного ускорения получено в классической физике только благодаря тому, что в практическом вычислении прямолинейный разностный вектор фактически заменяется годографом линейной скорости (см. главу 1.3 ПРОТИВОРЕЧИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ). Даже в бесконечно малом интервале времени разностный прямолинейный вектор не соответствует реальному

приращению вращательного движения. В силу геометрических особенностей вращательного движения пропорция между методологической погрешностью и реальным значением центростремительного ускорения с уменьшением интервала времени уменьшается, что в некоторой степени компенсирует методологическую ошибку. Однако в реальной действительности ускорение, полученное при дифференцировании прямолинейного разностного вектора, никогда не достигает своего реального значения ни математически, ни, тем более, физически.

Методологическую погрешность определения центростремительного ускорения в классической физике по сути дела приравняли к случайной погрешности, которая проявляется только в переменных физических процессах, изменяющихся непредсказуемым образом, в то время как центростремительное ускорение равномерного вращательного движения постоянно по величине и характеризует равномерное, т.е. постоянное во времени изменение направления вектора линейной скорости. С количественной стороны центростремительное ускорение, как отмечалось выше, определено правильно, только благодаря фактическому отступлению от векторной геометрии при выполнении практических вычислений. Однако классическая физика упорно не признает ошибочность с физической точки зрения методики определения центростремительного ускорения через прямолинейный разностный вектор. Направление и физическая сущность центростремительного ускорения в классической физике определяется по сути дела из графических построений векторной геометрии. Хотя, исходя из той же векторной геометрии, центростремительное ускорение, как это ни парадоксально, может быть направлено на центр только тогда, когда приращение вращательного движения равно нулю.

Если бы при дифференцировании классического разностного вектора (ΔV) был сделан правильный вывод о его физическом несоответствии приращению вращательного движения, то равномерное вращательное движение, возможно, не считалось бы сегодня неравноускоренным. При этом постоянное по абсолютной величине центростремительное ускорение, характеризующее равномерное изменение линейной скорости вращательного движения по направлению не определялось бы дифференцированием и не ассоциировалось бы с линейным ускорением, направленным к центру вращения. Тем более что все предпосылки к этому в классической физике имеются, - это понятие о годографе, определяющем любые изменения скорости, как по величине, так и по направлению. С учетом физической сущности равномерного вращательного движения центростремительное ускорение, как и любое ускорение равноускоренного движения, может и должно быть определено простым делением приращения линейной скорости (годографа линейной скорости) на время, в течение которого это приращение произошло.

Определение центростремительного ускорения через дифференцирование приращения координат при движении точки по линии окружности также приводит к правильному количественному результату, поскольку в этом случае отступление от реальной траектории движения не допускается. Закон изменения линейной скорости вращательного движения строго соблюдается. Однако направление центростремительного ускорения в классической физике и в этом случае увязывается с чисто математическим дифференцированием тригонометрических функций. Знаки минус, в производных по осям координат с классической точки зрения расцениваются как физическое направление центростремительного ускорения к началу координат, т.е. к центру вращения (Х. Кухлинг, «Справочник по физике», МОСКВА, «МИР» 1983). Однако тригонометрические функции, применяемые по отношению к чисто геометрической кинематике вращательного движения, не могут давать представление о реальном мгновенном направлении линейной скорости и ускорения вращательного движения. С нашей точки зрения направление обобщенного академического ускорения направления, как и направление любого физического ускорения всегда совпадает с направлением мгновенного вектора результирующей скорости активного движения.

Для определения приращения вектора линейной скорости в общем случае криволинейного движения минимизация случайной погрешности, конечно же, необходима, как собственно и для определения приращения вектора скорости прямолинейного неравномерного движения. Однако физическая сущность преобразования движения не меняется от того преобразуется ли это движение только по направлению или только по абсолютной величине. Поэтому даже в общем случае криволинейного движения, в котором вектор линейной скорости изменяется как по величине, так и по направлению дифференцированию подлежит не прямолинейный разностный вектор, определяемый в соответствии с правилами векторной геометрии, а годограф линейной скорости. Методологические ошибки дифференцирования криволинейного движения приводят не только к искажению физической сущности преобразования движения по направлению, но и к искажению физической сущности родственного ему поворотного движения, состоящего из двух разных видов движений - вращательного и прямолинейного. Это второй из рассматриваемых случаев, в котором, однако методологические ошибки не могут быть минимизированы при дифференцировании в отличие от случая вращательного движения.

Физическая сущность поворотного ускорения в классической физике четко не определена. Все выводы относительно физической сущности ускорения Кориолиса сделаны только исходя из математических преобразований, в том числе и дифференцирования приращения поворотного движения. Причем все математические преобразования осуществляются на основании кинематической схемы поворотного движения без учета его физической сущности. Как отмечалось выше, если не известен закон изменения физической величины, то в бесконечно малом интервале времени дифференцирования необходимо учитывать бесконечно большое количество значений физической величины. При определении ускорения Кориолиса этот принцип в классической физике почему-то не соблюдается. Закон изменения поворотного движения в классической физике выводится именно по результатам дифференцирования приращения поворотного движения, которое, как это ни странно в такой ситуации, определяется только по одному максимальному значению радиуса поворотного движения, без учета реальной траектории поворотного движения в заданном интервале времени.

Таким образом, закон изменения скорости поворотного движения в классической физике увязан с длиной окружности с максимальным радиусом переносного движения в заданном интервале времени. Все остальные значения радиуса переносного вращения, которые он принимает при осуществлении поворотного движения, на наш взгляд, необоснованно игнорируются. По крайней мере, приемлемое и непротиворечивое физическое объяснение соответствия дуги окружности с максимальным радиусом приращению поворотного движения в классической физике отсутствует. При этом геометрический эквивалент реальной траектории изменения скорости поворотного движения равный длине дуги окружности со средним радиусом поворотного движения оказывается вдвое меньше длины дуги окружности с максимальным радиусом поворотного движения в заданном интервале времени. Это как раз тот случай, когда методологическая ошибка сохраняется в неизменном виде в любом масштабе времени, т.к. соотношение длин дуг окружности с разными радиусами в силу чисто геометрических закономерностей кинематики вращательного движения сохраняется в неизменном виде в любом масштабе радиусов окружностей и соответственно в любом масштабе времени.

Таким образом, при определении поворотного ускорения Кориолиса, на наш взгляд, допущена методологическая ошибка, которая не может быть минимизирована при дифференцировании и остается неизменной в любом масштабе времени. Результаты классических методов определения ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении хорошо согласуются между собой. Геометрический и аналитический методы определения ускорения Кориолиса дают одинаковый результат. Таким образом, создаётся иллюзия, что сходимость геометрических и аналитических методов определения ускорения Кориолиса в классической физике подтверждают правильность классических теоретических представлений о физической сущности ускорения Кориолиса. Однако, на наш взгляд, во всех классических методах определения ускорения Кориолиса допущена одна и та же методологическая ошибка, связанная с неправильным дифференцированием поворотного движения. Именно поэтому все они дают одинаковое значение поворотного ускорения Кориолиса.

В соответствии с классической математической моделью поворотное движение осуществляется при неизменных координатах материальной точки в подвижной системе координат, а прирост радиуса поворотного движения осуществляется при неизменных координатах материальной точки в абсолютной системе координат, что не отражает действительности. Переносное и относительное движения осуществляются одновременно и непосредственно влияют друг на друга, поэтому их нельзя рассматривать вне всякой связи друг с другом даже в минимальном интервале времени. Радиус поворотного движения не изменяется дискретно от одного минимального интервала времени к другому, как следует из классических представлений о дифференцировании поворотного движения, а определяется текущей проекцией траектории относительного движения на радиус переносного вращения внутри минимального интервала времени дифференцирования. Поэтому при дифференцировании поворотного движения необходимо учитывать не радиус соответствующий начальному, конечному или какому-либо другому моменту интервала времени дифференцирования без учёта всех остальных его значений в этом интервале времени, а средний радиус поворота в любом сколь угодно малом интервале времени.

При дифференцировании изменяющихся во времени физических величин их значение определяется как среднее значение физической величины в каждом минимальном интервале времени. При дифференцировании поворотного движения от этого правила в классической физике почему-то отступают. Вместо среднего значения радиуса поворота, учитывающего все значения изменяющегося радиуса поворотного движения, которые и формируют траекторию поворотного движения, при определении приращения поворотного движения необоснованно учитывается только максимальный радиус поворота. При этом все остальные значения радиуса поворотного движения в бесконечно малом интервале времени фактически игнорируются. Таким образом, дифференцирование поворотного движения в классической

физике не соответствует общим принципам дифференцирования переменных физических величин, что приводит, в том числе и к ошибочной количественной оценке приращения поворотного движения.

В математике нет необходимости учитывать какие-либо изменения физической величины внутри бесконечно малого интервала времени, поскольку такие изменения с точки зрения математики также бесконечно малы. Однако пропорции методологических погрешностей по отношению к действительному значению физической величины, как показано выше, могут сохраняться в неизменном виде в любом масштабе времени. С физической точки зрения математическая операция дифференцирования оправдана только в том случае, если физическая величина, проявляющаяся в каждом минимальном интервале времени дифференцирования определена с учетом всех значений этой величины в рассматриваемом интервале времени, т.к. при дифференцировании определяется фактически среднее значение физической величины. Потеря любых значений физической величины в рассматриваемом интервале времени приводит не только к ошибке в определении ее количественного значения, но и в конечном итоге приводит к искажению ее физической сущности.

Реально в каждом минимальном интервале времени дифференцирования радиус поворотного движения изменяется от нуля до максимального значения (см. главу 3.1 ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА СКОРОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНА ВДОЛЬ РАДИУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ). Поэтому величина приращения поворотного движения в каждом минимальном интервале времени дифференцирования, рассчитанная исходя только из максимального радиуса поворота, оказывается завышенной вдвое по отношению к реальному приращению поворотного движения. Методологические погрешности, соотношение которых с определяемой физической величиной не зависит от масштаба времени, не могут быть не только устранены, но и минимизированы при дифференцировании. Поворотное ускорение Кориолиса, на наш взгляд, определено в классической физике некорректно.

Хотя элементарные математические операции и основаны на физических аналогиях, принципиальный недостаток исследования физических закономерностей математическими методами состоит в том, что математические методы сами по себе не имеют физического смысла, а лишь отражают физический смысл природных явлений. Поэтому математическое описание любого физического явления должно, прежде всего, отвечать физической сущности явления. Правильные математические операции, не опирающиеся на физическую сущность явления, косвенно приводят к закреплению в физике допускаемых иногда методологических ошибок в качественной оценке физических явлений. При этом сходимость конечных результатов различных методов, содержащих одну и ту же методологическую ошибку, создает иллюзию правильности теоретических положений в отношении физических явлений, лишь на том основании, что эти теоретические положения получены в ходе правильных с точки зрения математики преобразований.

Возможно, что и теоретические представления об ускорении Кориолиса сложились в классической физике лишь на основании классической модели дифференцирования поворотного движения, которая не отражает действительной структуры поворотного движения, что в конечном итоге приводит к неразрешимым противоречиям в существующей модели поворотного движения.

6. КРИТЕРИЙ ИСТИННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА.

Как показано выше ни один из авторов не дал чёткого и непротиворечивого физического обоснования классической формулы ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении. Как впрочем, нет удовлетворительного физического обоснования в классической физике и формулы для ускорения Кориолиса при относительном движении, перпендикулярном радиусу. Формула ускорения Кориолиса при относительном движении, перпендикулярном радиусу в классической физике определена только математически, как формула разложения суммы квадратов двух чисел. Физическое обоснование этой формулы в классической физике противоречит классической же модели вращательного движения, в соответствии с которой равномерное вращательное движение является однородным моно движением. Представление центростремительного ускорения равномерного вращательного движения в виде суммы ускорений вращательных движений с разными параметрами противоречит также и нашей модели преобразования движения по направлению. Многочисленные составные части линейной скорости абсолютного вращательного движения не могут самостоятельно вращаться в составе абсолютной линейной скорости с разными угловыми скоростями. После установления равномерного вращательного движения происходит преобразование по направлению единого вектора линейной скорости с единой угловой скоростью.

Все существующие в современной физике выводы ускорения Кориолиса по своей физической сущности как две капли воды похожи друг на друга и отличаются только в совершенно непринципиальных деталях. По сути дела принципиально существует только один вывод формулы ускорения Кориолиса,

который под разными фамилиями кочует из одного учебника теоретической механики в другой в неизменном виде. Основной упор во всех существующих на сегодняшний день выводах ускорения Кориолиса делается на математическое описание явления, исходя из его упрощенной кинематической схемы. При этом физический механизм образования поворотного ускорения Кориолиса не приводится. Работы таких авторов, как С. Э. Хайкин, Р. Фейнман, А. Зоммерфельд не добавляют ничего существенного для понимания физики явления Кориолиса в дополнение к работам рассмотренным выше. Ни один из авторов не раскрывает физической сущности явления Кориолиса. Г.С. Ландсберг, например, в «ЭЛЕМЕНТАРНОМ УЧЕБНИКЕ ФИЗИКИ», М.., ФИЗМАТЛИТ, 2004 вообще не приводит вывода формулы ускорения Кориолиса, ограничиваясь ее конечным видом. Ландсберг пишет, что вывод формулы *«для движений тела, происходящих в плоскости, перпендикулярной оси вращения не приводится в виду* ***сложности такого расчёта».***

Сложность действительно есть, но заключается она не в математических преобразованиях, которые как раз не представляют большой сложности, а в определении физической сущности явления. В нашей версии ускорение Кориолиса значительно отличается от классического ускорения Кориолиса, как по величине, так и по физической сущности. Поэтому необходимо найти некоторый критерий истинности, позволяющей разрешить наши разногласия с классической физикой. Наиболее правильным путём определения ускорения в общем случае любого движения, на наш взгляд, является дифференцирование годографа абсолютной скорости по времени, поскольку по определению и по своей физической сущности именно годограф в общем случае любого вида движения является приращением скорости движения.

Независимо от конфигурации годографа в пространстве и от его кривизны, он не может быть представлен как сочетание поступательных и вращательных движений в соответствии с классическими представлениями об осуществлении криволинейного движения, т.к. годограф вообще не является траекторией движения. Годограф это приращение скорости движения, который состоит из математических точек, обозначающих положение изменяющегося как по величине, так и по направлению вектора линейной скорости любого движения. Совокупность всех точек годографа и составляет его абсолютную величину, которая таким образом не зависит от его кривизны. Поэтому дифференцирование годографа эквивалентно дифференцированию приращения скорости прямолинейного движения, в котором отсутствует поворотное движение. Следовательно, при дифференцировании годографа методологические ошибки, связанные с дифференцированием поворотного движения, которое на наш взгляд в классической физике осуществляется некорректно, отсутствуют.

Исходя из этих соображений, в качестве критерия истинности для определения ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении выберем ускорение Кориолиса, полученное методом дифференцирования годографа линейной скорости абсолютного движения. В некотором смысле критерием истинности ускорения Кориолиса может быть и поворотное ускорение, определённое через девиацию поворотного движения. Однако в классической физике девиация поворотного движения также как и дифференцирование поворотного движения определяется, на наш взгляд, некорректно. Зато в отличие от наших разногласий с классической физикой в отношении физической сущности девиации поворотного движения мы целиком и полностью согласны с классической физикой в определении ускорения любого движения через годограф скорости. Поэтому для разрешения наших разногласий с классической физикой определим поворотное ускорение Кориолиса именно через годограф, в отношении которого у нас нет никаких разногласий с классической физикой.

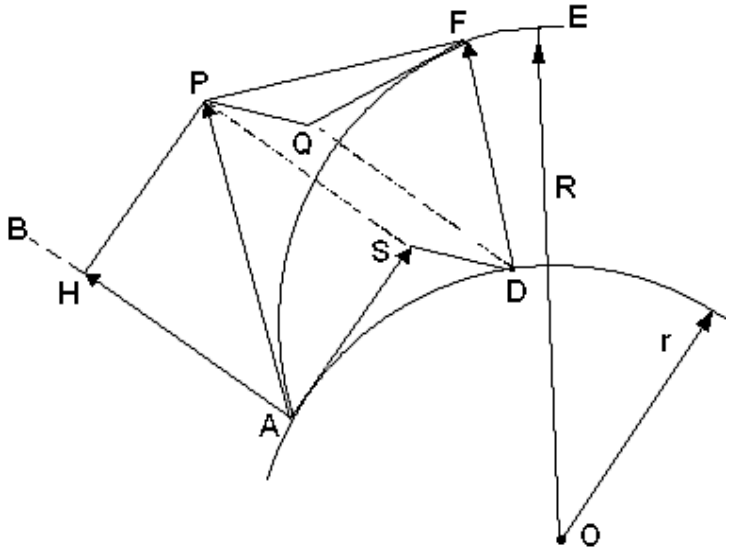
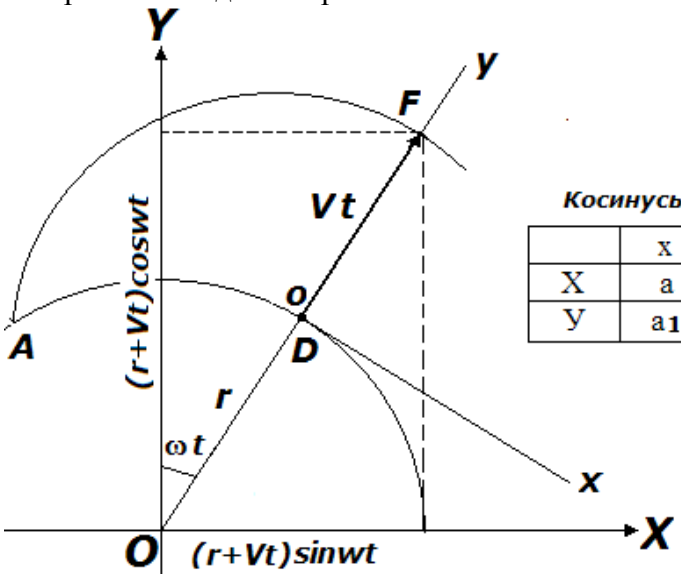


Рис.6.1

Рассмотрим простейший случай сложного движения (Рис. 6.1), в котором относительное движение равномерное и прямолинейное, а переносное движение осуществляется по окружности радиуса (r). Пусть движение происходит в одной плоскости, а вектор относительной скорости направлен вдоль радиуса поворотного вращения. Это еще более упрощенный случай, чем случай, рассмотренный Жуковским (см. выше). Такое движение соответствует радиальному движению тела на вращающемся плоском диске, которое в основном и рассматривается в данной работе.



Косинусы углов

	x	y
X	a	b
y	a1	b1

Рис. 6.2

Найдем приращение абсолютного движения в геометрической интерпретации Н. Е. Жуковского и произведем его аналитический расчет. Все обозначения соответствуют Фиг. 46 в приведенной работе Жуковского. Определим координаты сложного движения в точке (F) в абсолютной системе координат через координаты подвижной системы координат, воспользовавшись таблицей девяти косинусов. Поскольку для простоты рассматриваемое движение осуществляется в одной плоскости, то нам понадобятся только четыре косинуса (см. рисунок 6.2).

$X = r_x + a * x + b * y = r * \sin(\omega * t) + (a * x = 0) + V * t * \sin(\omega * t)$

Можно выразить координату (X) непосредственно в абсолютной системе координат как проекции на (X) радиуса (R = r + V * t). При этом получаем абсолютно идентичное выражение:

$X = (r + V * t) * \sin(\omega * t) = r * \sin(\omega * t) + V * t * \sin(\omega * t)$;

Определим (Y):

$Y = r_y + a_1 * x + b_1 * y = r * \cos(\omega * t) + (a_1 * x = 0) + V * t * \cos(\omega * t)$

Можно выразить координату (Y) непосредственно в абсолютной системе координат как проекции на (Y) радиуса (R = r + V * t). При этом получаем абсолютно идентичное выражение:

$Y = (r + V * t) * \cos(\omega * t) = r * \cos(\omega * t) + V * t * \cos(\omega * t)$;

Найдем абсолютную скорость и ускорение в точке (F). Для этого найдем первую и вторую производные координаты сложного движения в точке (F).

$dX/dt = r * \omega * \cos(\omega * t) + V * \sin(\omega * t) + V * t * \omega * \cos(\omega * t)$;

$d^2X/dt^2 = - r * \omega^2 * \sin(\omega * t) + V * \omega * \cos(\omega * t) + V * \omega * \cos(\omega * t) - V * t * \omega^2 * \sin(\omega * t) =$

$= - r * \omega^2 * \sin(\omega * t) + 2 * V * \omega * \cos(\omega * t) - V * t * \omega^2 * \sin(\omega * t)$;

$dY/dt = - r * \omega * \sin(\omega * t) + V * \cos(\omega * t) - V * t * \omega * \sin(\omega * t)$;

$d^2Y/dt^2 = - r * \omega^2 * \cos(\omega * t) - V * \omega * \sin(\omega * t) - V * \omega * \sin(\omega * t) - V * t * \omega^2 * \cos(\omega * t) =$

$= - r * \omega^2 * \cos(\omega * t) - 2 * V * \omega * \sin(\omega * t) - V * t * \omega^2 * \cos(\omega * t)$;

Возведем в квадрат производные (dX/dt) и (dY/dt) по правилу квадрата суммы трех слагаемых:

$(dX/dt)^2 = r^2 * \omega^2 * \cos^2(\omega * t) + V^2 * \sin^2(\omega * t) + V^2 * t^2 * \omega^2 * \cos^2(\omega * t) +$

$+ 2 * r * \omega * V * \cos(\omega * t) * \sin(\omega * t) + 2 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega * t) * \cos(\omega * t) + 2 * r * \omega^2 * V * t * \cos^2(\omega * t)$;

$(dY/dt)^2 = r^2 * \omega^2 * \sin^2(\omega * t) + V^2 * \cos^2(\omega * t) + V^2 * t^2 * \omega^2 * \sin^2(\omega * t) -$

$- 2 * r * \omega * V * \cos(\omega * t) * \sin(\omega * t) - 2 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega * t) * \cos(\omega * t) + 2 * r * \omega^2 * V * t * \sin^2(\omega * t)$;

Сложив два последних выражения, найдем квадрат абсолютной скорости $V^2_{абс}$:

$V^2_{абс} = r^2 * \omega^2 * (\cos^2(\omega * t) + \sin^2(\omega * t)) +$

$+ V^2 * (\sin^2(\omega * t) + \cos^2(\omega * t)) +$

$+ V^2 * t^2 * \omega^2 * (\cos^2(\omega * t) + \sin^2(\omega * t)) +$

$+ 2 * r * \omega * V * \cos(\omega * t) * \sin(\omega * t) +$

$(- 2 * r * \omega * V * \cos(\omega * t) * \sin(\omega * t)) +$

$+ 2 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega * t) * \cos(\omega * t) -$

- 2 * V² * t * ω * sin (ω*t) * cos(ω*t)+
+2*r * ω² * V * t * (cos² (ω*t) + sin² (ω*t));

Учитывая, что:
1.слагаемые, отмеченные жирным курсивом (зеленый цвет), взаимно уничтожаются,
2.слагаемые, отмеченные жирным шрифтом (фиолетовый цвет) взаимно уничтожаются,
3.сумма (cos² (ω*t) + sin² (ω*t)) = 1 (красный цвет)
Окончательно получаем:

$$\mathbf{V_{абс} = \sqrt{(r^2 * \omega^2 + V^2 + V^2 * t^2 * \omega^2 + 2 * r * \omega^2 * V * t)}} \qquad \mathbf{(6.1)}$$

Возведем в квадрат производные (d²X/dt²) и (d²Y/dt²) по правилу квадрата суммы трех слагаемых:
(d²X/dt²)² = r² * ω⁴ * sin² (ω*t) + 4 * V² * ω² * cos² (ω*t) + V² * t²* ω⁴ * sin² (ω*t) –
- 4 * V * r * ω³ * sin (ω*t) * cos (ω*t) - 4 * t * V² * ω³ * sin (ω*t) * cos (ω*t) + 2 * V * r * t * ω⁴ * sin² (ω*t);
(d²Y/dt²)² = r² * ω⁴ * cos² (ω*t) + 4 * V² * ω² * sin² (ω*t) + V² * t² * ω⁴ * sin² (ω*t) +
+ 4 * r * V * ω³ * sin (ω*t) * cos (ω*t) - 4 * t * V² * ω³ * cos (ω*t) * sin (ω*t) + 2 * V * r * t * ω⁴ * cos² (ω*t);
Сложив два последних выражения, найдем квадрат абсолютного ускорения R²:
R² = r² * ω⁴ * (cos² (ω*t) + sin² (ω*t)) +
+ 4 * V² * ω² * (sin² (ω*t) + cos² (ω*t)) +
+ V² * t² * ω⁴ * (cos² (ω*t) + sin² (ω*t)) -
- 4 * r * V² * ω³ * sin (ω*t) * cos (ω*t) +
+ 4 * r * V² * ω³ * cos (ω*t) * sin (ω*t) -
- 4 * t * V² * ω³ * sin (ω*t) * cos (ω*t) +
+ 4 * t * V² * ω³ * cos (ω*t) * sin (ω*t) +
+ 2 * V * r * t * ω⁴ * sin² (ω*t) + 2 * V * r * t * ω⁴ * cos² (ω*t);

Учитывая, что:
1.слагаемые, отмеченные жирным курсивом (зеленый цвет), взаимно уничтожаются,
2.слагаемые, отмеченные жирным шрифтом (фиолетовый цвет) взаимно уничтожаются,
3.слагаемые, отмеченные подчеркнутым шрифтом (коричневый цвет) взаимно уничтожаются,
4.сумма (cos² (ω*t) + sin² (ω*t)) = 1 (красный цвет)
окончательно получаем:

$$\mathbf{a_{(абс)ж} = \sqrt{(r^2 * \omega^4 + 4 * V^2 * \omega^2 + 2 * V * r * t * \omega^4)}} \qquad \mathbf{(6.2)}$$

Теперь определим координаты сложного движения в точке (F) при движении к центру вращения:
X = r_x + a * x + b * y = r * sin (ω*t) + (a * x = 0) - V * t * sin (ω*t)
Можно выразить координату (X) непосредственно в абсолютной системе координат как проекции на (X) радиуса (R = r + V * t). При этом получаем абсолютно идентичное выражение:
X = (r + V * t) * sin (ω*t) = r * sin (ω*t) - V * t * sin (ω*t);
Определим (Y):
Y = r_y +a_1 * x + b_1 * y = r * cos (ω*t) + (a * x = 0) - V * t * cos (ω*t)
Можно выразить координату (Y) непосредственно в абсолютной системе координат как проекции на (Y) радиуса (R = r + V * t). При этом получаем абсолютно идентичное выражение:
Y = (r + V * t) * cos (ω*t) = r * cos (ω*t) - V * t * cos (ω*t);
Найдем абсолютную скорость и ускорение в точке (F) при движении к центру. Для этого найдем первую и вторую производные координаты сложного движения в точке (F).
dX/dt = r * ω * cos (ω*t) - V * sin (ω*t) - V * t * ω * cos (ω*t);
d²X/dt² = - r * ω² * sin (ω*t) - V * ω * cos (ω*t) - V * ω * cos (ω*t) + V * t * ω² * sin (ω*t) =
= - r * ω² * sin (ω*t) - 2 * V * ω * cos (ω*t) + V * t * ω² * sin (ω*t);
dy/dt = - r * ω * sin (ω*t) - V * cos (ω*t) + V * t * ω * sin (ω*t);
d²Y/dt² = - r * ω² * cos (ω*t) + V * ω * sin (ω*t) + V * ω * sin (ω*t) + V * t * ω² * cos (ω*t) =
= - r * ω² * cos (ω*t) + 2 * V * ω * sin (ω*t) + V * t * ω² * cos (ω*t);
Возведем в квадрат производные (dX/dt) и (dY/dt) по правилу квадрата суммы трех слагаемых:
(dX/dt)² = r² * ω² * cos² (ω*t) + V² * sin² (ω*t) + V² * t² * ω² * cos²(ω*t) + 4*r * ω * V * cos (ω*t)* sin (ω*t) –
-4*V² * t * ω * sin (ω*t) * cos(ω*t) - 2*r * ω² * V * t * cos² (ω*t);

$(dY/dt)^2 = r^2 * \omega^2 * \sin^2(\omega*t) + V^2 * \cos^2(\omega*t) + V^2 * t^2 * \omega^2 * \sin^2(\omega*t) - 4* r * \omega * V * \cos(\omega*t)* \sin(\omega*t) + + 4 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega*t) * (\omega*t) – 2 * r * \omega^2 * V * t * \sin^2(\omega*t);$

Сложив два последних выражения, найдем квадрат абсолютной скорости $V^2абс$:

$V^2абс = r^2 * \omega^2 * (\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) +$
$+ V^2 * (\sin^2(\omega*t) + \cos^2(\omega*t)) +$
$+ V^2 * t^2 * \omega^2 * (\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) +$
$\boldsymbol{+ 4 * r * \omega * V * \cos(\omega*t)* \sin(\omega*t)} +$
$\boldsymbol{- 4 * r * \omega * V * \cos(\omega*t)* \sin(\omega*t)} +$
$\boldsymbol{+ 4 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t)} -$
$\boldsymbol{- 4 * V^2 * t * \omega * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t)} +$
$- 2*r * \omega^2 * V * t * (\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t));$

Учитывая, что:
1.слагаемые, отмеченные жирным курсивом (зеленый цвет), взаимно уничтожаются,
2.слагаемые, отмеченные жирным шрифтом (фиолетовый цвет) взаимно уничтожаются,
3.сумма $(\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) = 1$ (красный цвет)
Окончательно получаем:

$$\boldsymbol{V_{абс} = \sqrt{(r^2 * \omega^2 + V^2 + V^2 * t^2 * \omega^2 - 2 * r * \omega^2 * V * t)}} \qquad \textbf{(6.3)}$$

Возведем в квадрат производные (d^2X/dt^2) и (d^2Y/dt^2) по правилу квадрата суммы трех слагаемых:

$d^2X/dt^2 = - r * \omega^2 * \sin(\omega*t) - V * \omega * \cos(\omega*t) - V * \omega * \cos(\omega*t) + V * t * \omega^2 * \sin(\omega*t) =$
$= - r * \omega^2 * \sin(\omega*t) - 2 * V * \omega * \cos(\omega*t) + V * t * \omega^2 * \sin(\omega*t);$
$(d^2X/dt^2)^2 = r^2 * \omega^4 * \sin^2(\omega*t) + 4 * V^2 * \omega^2 * \cos^2(\omega*t) + V^2 * t^2* \omega^4 * \sin^2(\omega*t) +$
$+ 4 * V * r * \omega^3 * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t) - 4 * t * V^2 * \omega^3 * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t) -2 * V * r * t * \omega^4 * \sin^2(\omega*t);$
$d^2Y/dt^2 = - r * \omega^2 * \cos(\omega*t) + V * \omega * \sin(\omega*t) + V * \omega * \sin(\omega*t) + V * t * \omega^2 * \cos(\omega*t) =$
$= - r * \omega^2 * \cos(\omega*t) + 2 * V * \omega * \sin(\omega*t) + V * t * \omega^2 * \cos(\omega*t);$
$(d^2Y/dt^2)^2 = r^2 * \omega^4 * \cos^2(\omega*t) + 4 * V^2 * \omega^2 * \sin^2(\omega*t) + V^2 * t^2 * \omega^4 * \sin^2(\omega*t) -$
$- 4 * r * V * \omega^3 * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t) + 4 * t * V^2 * \omega^3 * \cos(\omega*t) * \sin(\omega*t) – 2 * V * r * t * \omega^4 * \cos^2(\omega*t);$

Сложив два последних выражения, найдем квадрат безусловного ускорения R^2:

$R^2 = r^2 * \omega^4 * (\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) +$
$+ 4 * V^2 * \omega^2 * (\sin^2(\omega*t) + \cos^2(\omega*t)) +$
$+ V^2 * t^2 * \omega^4 * (\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) -$
$\boldsymbol{- 4 * r * V^2 * \omega^3 * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t)} +$
$\boldsymbol{+ 4 * r * V^2 * \omega^3 * \cos(\omega*t) * \sin(\omega*t)} -$
$\boldsymbol{- 4 * t * V^2 * \omega^3 * \sin(\omega*t) * \cos(\omega*t)} +$
$\boldsymbol{+ 4 * t * V^2 * \omega^3 * \cos(\omega*t) * \sin(\omega*t)} -$
$- 2 * V * r * t * \omega^4 * \sin^2(\omega*t) - 2 * V * r * t * \omega^4 * \cos^2(\omega*t);$

Учитывая, что:
1.слагаемые, отмеченные жирным курсивом (зеленый цвет), взаимно уничтожаются,
2.слагаемые, отмеченные жирным шрифтом (фиолетовый цвет) взаимно уничтожаются,
3.слагаемые, отмеченные подчеркнутым шрифтом (коричневый цвет) взаимно уничтожаются,
4.сумма $(\cos^2(\omega*t) + \sin^2(\omega*t)) = 1$ (красный цвет)
Окончательно получаем:

$$\boldsymbol{a_{(абс)ж} = \sqrt{(r^2 * \omega^4 + 4 * V^2 * \omega^2 – 2 * V * r * t * \omega^4)}} \qquad \textbf{(6.4)}$$

Преобразование абсолютной величины скорости в связи с изменением ее направления и непосредственное изменение вектора скорости по абсолютной величине в общем случае происходит на уровне преобразования абсолютной величины скорости. В случае равномерного вращательного движения преобразование величины скорости происходит только в процессе изменения направления скорости и характеризуется ускорением направления или центростремительным ускорением. В общем случае сложного движения кроме преобразования абсолютной величины скорости, связанной с изменением ее направления, может непосредственно происходить изменение вектора скорости по абсолютной величине в каждом текущем направлении движения.

Рассмотренный пример сложного движения представляет собой, движение тела вдоль радиуса вращающейся системы с учетом ускорения Кориолиса. Траекторией такого движения является спираль. Абсолютное ускорение при движении тела по спирали характеризуется преобразованием величины скорости, связанной с изменением ее направления и непосредственным изменением вектора скорости по абсолютной величине. Изменение абсолютной скорости движения тела во всем диапазоне ее изменения по любой произвольной траектории определяет годограф абсолютной скорости. На Рис.6.3 изображен годограф скорости движения тела по спирали для рассматриваемого сложного движения. Участок годографа абсолютной скорости (АС) в минимальном интервале времени (Δt) равен геометрической сумме двух других годографов в интервале времени (Δt): годографа изменения вектора абсолютной скорости по направлению (АВ) и годографа изменения вектора абсолютной скорости по величине (ВС).

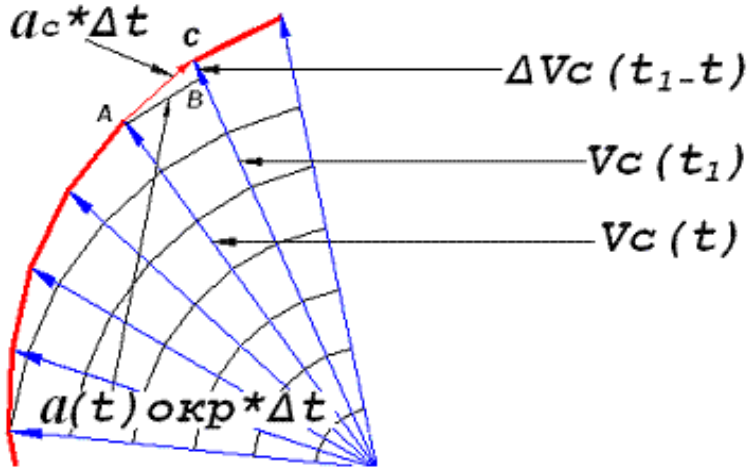


Рис. 6.3

Определим абсолютное ускорение движения по спирали в интервале времени (Δt). Длину годографа (АС) в интервале времени Δt можно определить из прямоугольного треугольника (АВС) по теореме Пифагора, как корень квадратный из суммы квадратов катетов (АВ) и (ВС):

$AC = a_c * \Delta t = \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2}$

$AB = a(t)_{окр} * \Delta t = Vc(t) * \omega * \Delta t$ (6.5)

Где: ускорение a(t)окр – это проекция абсолютного ускорения движения по спирали на окружность с радиусом Vc(t);

$BC = (Vc(t_1) - Vc(t)) * \Delta t,$ (6.6)

где скорости спирали Vc(t) в каждый текущий момент времени определяется по теореме Пифагора, как корень квадратный из суммы квадратов абсолютной величины вектора переносной скорости (Ve(t)) и вектора радиальной скорости (Vr(t)):

$Vc(t) = \sqrt{Ve^2(t) + Vr^2(t)}$

Тогда абсолютное ускорение (a(абс)) равно:

$$\boldsymbol{a_{(абс)} = AC/\Delta t = (\sqrt{((Vc(t_1)-Vc(t))*\Delta t)^2+(Vc(t)*\omega*\Delta t)^2})/\Delta t} \quad \textbf{(6.7)}$$

Составной частью абсолютного ускорения является ускорение Кориолиса, которое определяет изменение величины абсолютной скорости в направлении линейной скорости переносного вращения в процессе изменения направления радиальной скорости относительного движения. Выведем формулу ускорения Кориолиса для рассматриваемого сложного движения через переносное ускорение в предположении, что полное ускорение Кориолиса равно либо линейной части классического поворотного ускорения, либо ускорению по изменению направления радиальной скорости:

$a_к = \Delta Vл/\Delta t$

Умножив и разделив полученное выражение для (aк) на угловую скорость (ω) получим:

$a_к = (\omega * \Delta Vл)/(\omega * \Delta t)$

В числителе полученного выражения записана разность переносных ускорений (Δaе) при остановленном относительном движении в начале и в конце интервала времени (Δt), равная разности ускорений направления вращательного движения (Δa(цт)) с текущими радиусами вращения в моменты времени, отстоящими друг от друга на интервал времени (Δt):

$\Delta a_е = \Delta a_{(цт)} = \omega * \Delta Vл$

Тогда выражение для (aк) приобретает вид:

$a_к = \Delta a_е/\omega*\Delta t = \Delta a_{(цт)}/\omega*\Delta t$,
но
$\omega*\Delta t = \Delta\varphi$,
тогда
$$\boldsymbol{a_к = \Delta a_{(цт)}/\Delta\varphi} \qquad \textbf{(6.8)}$$

Таким образом, каждую составную часть классического поворотного ускорения Кориолиса можно выразить через прирост центростремительного ускорения переносного вращения, приходящегося на единичный угол поворота вектора радиальной скорости в составе вращающейся системы. Это косвенно свидетельствует о том, что каждая из классических составляющих ускорения Кориолиса является полным поворотным ускорением, поскольку каждая из них имеет общий эквивалент в виде прироста переносного ускорения на единицу угла поворота в составе сложного движения с заданными параметрами.

Аналогичное выражение можно получить и для классического поворотного ускорения:

$$\boldsymbol{a_{кк} = 2*\Delta a_{(цт)}/\Delta\varphi} \qquad \textbf{(6.8*)}$$

или

$$\boldsymbol{a_{кк} = \Delta a_{(цт)}/0{,}5*\Delta\varphi} \qquad \textbf{(6.8**)}$$

Из выражений (6.8*;6.8**) следует, что текущее приращение переносного ускорения вдвое превышает переносное ускорение сложного движения с заданными параметрами. Для обеспечения двойного приращения переносного ускорения в заданном интервале времени абсолютная величина вектора радиальной скорости и соответственно прирост радиуса переносного вращения должны вдвое превышать соответствующие параметры рассматриваемого сложного движения. Однако это будет уже совсем другое движение с другими параметрами, которому соответствует другое поворотное ускорение. В противном случае следует считать, что приращение радиальной и переносной скорости осуществляется независимо друг от друга и имеет соответствующий индивидуальный физический эквивалент в суммарном приращении поворотной скорости, что не подтверждается реальной действительностью.

Используя полученные формулы для абсолютного ускорения, рассмотренного сложного движения построим графики:

1. $\mathbf{a_{(цт)}}$ – график центростремительного ускорения вращательного движения с текущим физическим радиусом (переносное ускорение);
2. $\boldsymbol{a_{(абс)Ж}}$ – график абсолютного ускорения по Жуковскому по формуле (6.4);
3. $\boldsymbol{a_{(абс)Г}}$ – график абсолютного ускорения вычисленного через годограф линейной скорости спирали по формуле (6.7);
4. $\boldsymbol{a_{(кк)}}$ – график классического ускорения Кориолиса;
5. $\boldsymbol{a_{(к)}}$ – ускорения Кориолиса в нашей версии по формуле (6.8);
6. $\boldsymbol{a_{(абс)геом.}}$ **с учетом** $\boldsymbol{a_{кк}}$ – график абсолютного ускорения как геометрической суммы ($a_{кк}$) и ($a_{цт}$);
7. $\boldsymbol{a_{(абс)геом.}}$ **с учетом** $\boldsymbol{a_к}$ – график абсолютного ускорения как геометрической суммы ($a_к$) и ($a_{цт}$).

Исходные данные:

Rн = 0 м – радиус вращения начальный;
ω = 2 рад/с – угловая скорость вращения;
Vр = 50м/с – радиальная скорость тела.

Графики построим для радиального движения, проходящего через центр переносного вращения в интервале времени ≈2,5с (см. Рис.6.4) и ≈10с (см. Рис. 6.5) с дискретностью $\Delta t = 0{,}025$ с.

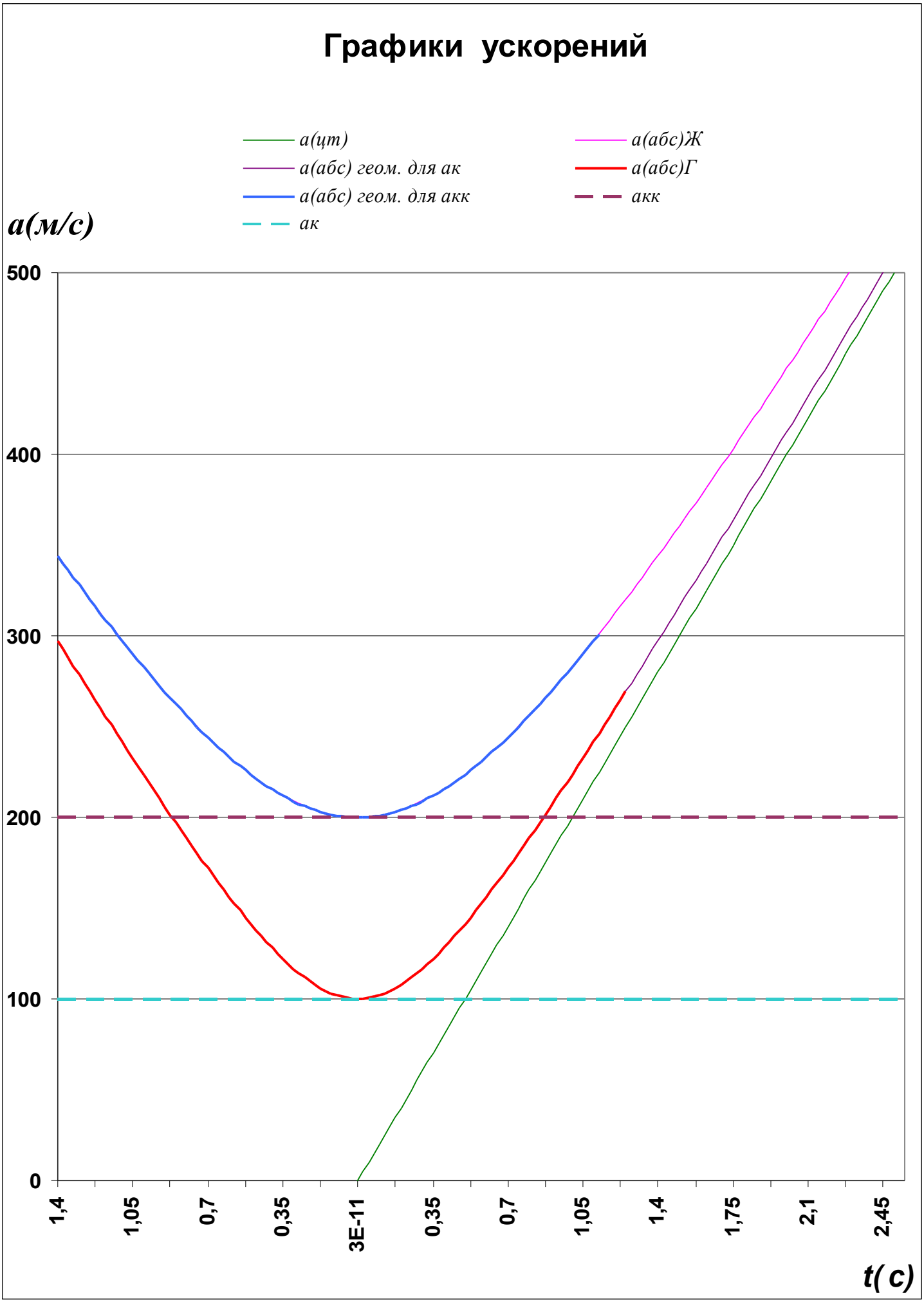

Графики ускорений
a(цт)
a(абс) геом. для ак
a(абс) геом. для акк
ак
a(абс)Ж
a(абс)Г
акк
a(м/с)
500
400
300
200
100
0
1,4
1,05
0,7
0,35
3E-11
0,35
0,7
1,05
1,4
1,75
2,1
2,45
t(c)

Рис. 6.4

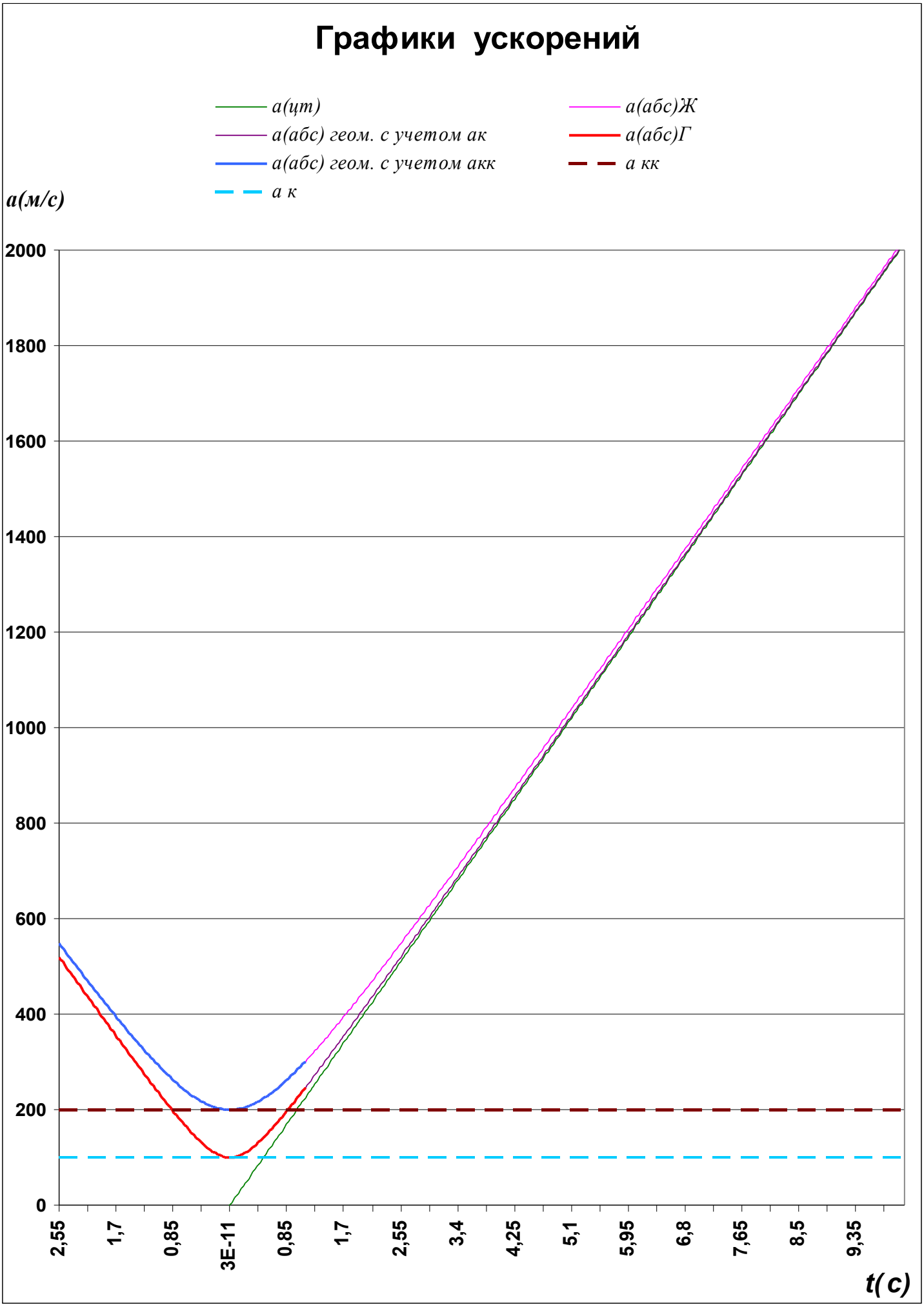

Графики ускорений
a(цт)
a(абс) геом. с учетом ак
a(абс) геом. с учетом акк
a к
a(абс)Ж
a(абс)Г
a кк
a(м/с)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
2,55
1,7
0,85
3E-11
0,85
1,7
2,55
3,4
4,25
5,1
5,95
6,8
7,65
8,5
9,35
t(c)

Рис. 6.5

Абсолютное ускорение рассматриваемого движения геометрически складывается из центростремительного ускорения переносного вращения (ускорение переносного вращения в точке, в которой в данный момент времени находится тело) и ускорения Кориолиса. Центростремительное ускорение переносного вращения прямо пропорционально радиусу переносного вращения. При стремлении радиуса переносного вращения к нулю центростремительное ускорение также стремится к нулю. В то время как ускорение Кориолиса, пропорциональное угловой скорости переносного вращения и радиальной скорости относительного движения, не зависит от радиуса переносного вращения. Следовательно, при стремлении радиуса переносного вращения к нулю, абсолютное ускорение при равномерном радиальном относительном движении стремится к величине ускорения Кориолиса по первому варианту, которое, таким образом, является минимумом функции абсолютного ускорения от расстояния до центра вращения.

Конечно же, при стремлении радиуса переносного вращения к нулю стремится к нулю и линейная скорость переносного вращения, т.е. в момент перехода через центр переносного вращения прекращает свое существование одна из двух составляющих абсолютной линейной скорости. Это дает основание некоторым специалистам считать, что в области, близкой к центру вращения отсутствует одна из классических частей поворотного ускорения Кориолиса, которая обеспечивает приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине. Поэтому, по их мнению, значение ускорения Кориолиса вблизи центра вращения равно половине классического поворотного ускорения, причем после прохождения центра вращения с появлением ненулевого значения переносной линейной скорости ускорение Кориолиса якобы вновь восстанавливается по абсолютной величине до прежнего значения классического поворотного ускорения. На наш взгляд это мнение ошибочно. Это один из примеров определения сущности физических явлений на основании абстрактных математических представлений о физических процессах.

Физическая сущность ускорения определяется не направлением и абсолютной величиной результирующей скорости, а темпом изменения скорости в направлении действия силы. Линейная скорость переносного вращения действительно принимает нулевое значение в центре вращения. При этом центростремительное ускорение переносного вращения также равно нулю. Однако с точки зрения классической же физики центростремительное ускорение переносного вращения под действием центростремительной силы отвечает за изменение переносной скорости только по направлению. Изменение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине определяет сила и ускорение Кориолиса. В центре переносного вращения обращается в нуль только центростремительная сила. Сила же Кориолиса при соблюдении условия неизменности угловой скорости переносного вращения не изменяется по отношению к телу ни по направлению, ни по абсолютной величине в любой точке радиуса переносного вращения (см. главу 7 УСКОРЕНИЕ КОРИОЛИСА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЧЕРЕЗ ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ.). Следовательно, поворотное ускорение Кориолиса остается неизменным по отношению к телу, как по величине, так и по направлению в любой точке на радиусе переносного вращения, в том числе и в центре переносного вращения.

Нулевое значение скорости в непрекращающемся процессе движения не означает отсутствия приращения скорости, а является только текущей мгновенной характеристикой непрекращающегося движения под действием силы в одной из его точек. Обращение в нуль переносной линейной скорости не может служить причиной уменьшения вдвое поворотного ускорения в центре переносного вращения за счет отсутствия линейной части классического поворотного ускорения, по той простой причине, что сама переносная скорость обращается в нуль именно за счет наличия линейной части поворотного ускорения Кориолиса. Обращение же в нуль центростремительного ускорения это лишь следствие процесса изменения переносной линейной скорости по величине под действием силы и ускорения Кориолиса, но не наоборот. Следовательно, при явном отсутствии с классической точки зрения линейной части поворотного ускорения, но при наличии непрекращающегося приращения линейной скорости переносного вращения, роль линейного ускорения Кориолиса может выполнять только его эквивалент в виде приращения радиальной скорости относительного движения по направлению. Как отмечалось выше, линейное приращение движения за счет центростремительного ускорения по изменению направления радиальной линейной скорости может реально наглядно обнаруживаться при ненулевой начальной линейной скорости переносного вращения, в направлении которой преобразуется радиальная линейная скорость.

Это означает, что мгновенное ускорение обобщенного академического «центростремительного» ускорения совпадает по направлению с линейной скоростью вращательного движения в соответствии с нашей версией преобразования движения по направлению. На примере поворотного ускорения Кориолиса этот процесс становится лишь более наглядным и заметным по сравнению с обобщенной кинематической схемой вращательного движения. Таким образом, на базе физического механизма преобразования

движения по направлению в нашей версии можно непротиворечиво объяснить физическую сущность поворотного ускорения, которая состоит в следующем. Приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине и приращение радиальной скорости относительного движения по направлению являются равнозначными физическими эквивалентами одного и того же приращения поворотного движения. Таким образом, при обращении в нуль центростремительного ускорения переносного вращения непрекращающееся приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине, которое одновременно является и приращением радиальной скорости относительного движения по направлению обеспечивается полным поворотным ускорением Кориолиса, которое равно абсолютному ускорению в центре переносного вращения.

При приближении тела к центру переносного вращения его угловая скорость вращения подпитывается только за счет преобразования радиальной скорости относительного движения по направлению. При этом для поддержания переносной угловой скорости в неизменном виде переносное вращение приходится сдерживать за счет силы Кориолиса, которая является внешней по отношению к замкнутой вращающейся системе. Однако после прохождения центра переносного вращения линейная скорость переносного вращения приобретает первоначальное значение именно за счет преобразования радиальной скорости относительного движения по направлению. И лишь на последующих этапах восстановление потерь линейной скорости радиального относительного движения на приращение линейной скорости переносного вращения по абсолютной величине приходится восстанавливать за счет внешней силы Кориолиса, поддерживающей угловую скорость переносного вращения на неизменном постоянном уровне.

Классическое ускорение Кориолиса ($a_{кк}$) при заданных параметрах движения равно 200 (м/с). Ускорение Кориолиса ($a_к$) в нашей версии, вычисленное тремя различными способами по формулам (3.8), (3.12) и (6.6) при заданных параметрах движения равно 100 (м/с). На графиках (Рис.6.4;6.5) видно, что в центре вращения **классическое абсолютное ускорение** ($a($абс)Ж) практически равно **классическому** ускорению Кориолиса, в то время как величина **абсолютного ускорения**, **вычисленная через годограф** линейной скорости ($a($абс)Г) в центре вращения равна величине ускорения Кориолиса **в нашей версии**. Таким образом, минимум функции абсолютного ускорения, вычисленного через годограф абсолютной скорости, т.е. методом который мы выбрали в качестве контрольного, подтверждает нашу версию ускорения Кориолиса.

При этом следует обратить внимание, что реальная угловая скорость вращения вектора абсолютной скорости несколько отличается от угловой скорости переносного вращения. Вращение вектора абсолютной скорости из-за постоянно изменяющегося соотношения составляющих его векторов скорости переносного и относительного движений непрерывно изменяется по фазе по отношению к вращению вектора линейной скорости текущего переносного вращения. В приведенных расчетах абсолютной величины годографа абсолютной скорости используется неизменная по величине угловая скорость переносного вращения. Вращение расчетного вектора абсолютной скорости в каждом элементарном интервале времени опережает по фазе вращение реального вектора абсолютной скорости при неизменной угловой скорости вращения векторов переносной и радиальной скорости, являющихся составляющими абсолютной скорости. Математически несложно рассчитать запаздывание вектора абсолютной скорости по отношению к вектору линейной скорости переносного вращения в каждой заданной точке и построить уточненный график абсолютного ускорения, однако в этом нет крайней необходимости.

Как бы ни изменялось абсолютное ускорение в любом случае вблизи нулевого значения радиуса переносного вращения переносное ускорение стремиться к нулю, а абсолютное ускорение стремится к поворотному ускорению Кориолиса. Поскольку угловая скорость вектора абсолютной скорости всегда запаздывает по отношению к переносной угловой скорости, то в приведенных расчетах величина годографа абсолютной скорости на участках отдаленных от нулевого радиуса даже несколько завышена по отношению к ее реальному приращению. Таким образом, расчетное ускорение Кориолиса в нашей версии определяется со сдвигом в сторону классического ускорения Кориолиса, что исключает какую-либо необъективность или предвзятость с нашей стороны при разрешении противоречия между классической и нашей версией поворотного ускорения. Реальный график абсолютного ускорения должен быть еще ближе к графику текущего переносного вращения, чем в наших расчетах. Тем не менее, несмотря на то, что принятое в расчетах допущение приводит к завышенному значению абсолютного ускорения, полученное поворотное ускорение на оценочном уровне практически вдвое меньше классического, что и требовалось доказать.

Нет ничего удивительного, что классический метод определения абсолютного ускорения по формуле (6.2) подтверждает «правильность» классического ускорения Кориолиса. Классическое абсолютное ускорение по формуле (6.2) и абсолютное ускорение, вычисленное через годограф абсолютной скорости по формуле (6.7), на наш взгляд, как раз и отличаются друг от друга только величиной ускорения

Кориолиса в различных версиях в их составе. Это подтверждается ещё одним независимым классическим геометрическим методом определения абсолютного ускорения с учётом классической и нашей версии ускорения Кориолиса. Абсолютное ускорение является геометрической суммой текущего центростремительного ускорения переносного вращения и ускорения Кориолиса, которые проявляются во взаимно-перпендикулярных направлениях. Поэтому абсолютное ускорение ($a_{(абс)геом.}$) можно определить по теореме Пифагора как гипотенузу прямоугольного треугольника, которая равна корню квадратному из суммы квадратов катетов: центростремительного ускорения и ускорения Кориолиса в соответствующей точке вращающейся системы:

$$a_{(абс)геом.} = \sqrt{a^2_{цт} + a^2_{к}} \qquad (6.9)$$

Подставляя поочередно в формулу (6.9) ускорение Кориолиса классическое ($a_{кк}$) и ускорение Кориолиса в нашей версии ($a_{к}$) определим два варианта абсолютного ускорения и построим графики этих абсолютных ускорений ($a_{(абс)геом.}$ с учетом $a_{кк}$) и ($a_{(абс)геом.}$ с учетом $a_{к}$). График абсолютного ускорения с учётом ускорения Кориолиса в нашей версии ($a_{(абс)геом.}$ с учетом $a_{к}$), изображённый фиолетовым цветом на (Рис.6.4) и (Рис.6.5) практически сливается с графиком абсолютного ускорения, вычисленного через годограф ($a_{(абс)Г}$), изображённым красным цветом. Точно также сходятся графики ($a_{(абс)Ж}$) и ($a_{(абс)геом.}$ с учетом $a_{кк}$). Таким образом, величина абсолютного ускорения, полученная геометрическим методом по классической формуле (6.9) при прочих равных параметрах зависит от величины ускорения Кориолиса, подставляемого в формулу (6.9). Абсолютное ускорение по формуле (6.9) в зависимости от версии подставляемого в неё ускорения Кориолиса принимает значение то абсолютного ускорения по формуле (6.2), то абсолютного ускорения по формуле (6.7). Следовательно, отличие абсолютного ускорения ($a_{(абс)Ж}$), полученного при двойном дифференцировании приращения абсолютной траектории по формуле (6.2) или (6.4) от абсолютного ускорения, определённого по методу годографа по формуле (6.7), как мы и ожидали, объясняется только разницей величины ускорения Кориолиса в их составе.

Совпадение ускорения Кориолиса в той или иной версии со значением абсолютного ускорения в центре переносного вращения может служить критерием истинности определения ускорения Кориолиса и абсолютного ускорения только в том случае, если ускорение Кориолиса и абсолютное ускорение определяются по независимым друг от друга методикам. Только в этом случае совпадение абсолютного и поворотного ускорения при переходе через центр вращения могут служить подтверждением правильности методик, по которым они определяются. Этому условию удовлетворяют только поворотное ускорение в нашей версии и поворотное и абсолютное ускорения, найденные через годограф абсолютной скорости в центре переносного вращения, т.к. значения этих ускорений определяются по независимым методикам. То есть поворотное ускорение Кориолиса в нашей версии и есть искомое поворотное ускорение Кориолиса.

На первый взгляд абсолютное ускорение в центре переносного вращения в каждом из этих методов не может быть критерием истинности для ускорения Кориолиса, т.к. величина поворотного ускорения в каждом из этих методов одинаково определяется дифференцированием приращения движения. Однако это не совсем так и касается только составляющих абсолютного ускорения по формулам (6.2;6.4). При определении абсолютного ускорения в соответствии с формулами (6.2;6.4) дифференцируется как поступательное движение, так и поворотное движение. Причём для каждого составляющего вида движения, входящего в состав абсолютного движения используется своя методика определения приращения этого вида движения. В методе же определения абсолютного ускорения через годограф абсолютной скорости дифференцируется **абсолютная** величина годографа, что эквивалентно дифференцированию приращения прямолинейного (поступательного) движения. Таким образом, поворотное ускорение в составе абсолютного ускорения в последнем методе не связано с классической моделью дифференцирования поворотного движения.

В соответствии с классической моделью сложного движения любое движение в общем случае может быть представлено в виде одного поступательного и одного вращательного движения. Определение приращения поступательного движения не вызывает никаких вопросов, а вот классическое определение приращения поворотного движения, на наш взгляд, осуществляется в классической физике некорректно. Приращение поворотного движения определяется при переменных координатах абсолютной системы координат в предположении, что во время поворотного движения текущие координаты движущегося тела в подвижной системе координат остаются неизменными, а изменение относительных координат происходит при постоянных абсолютных координатах. При этом принципиально искажается физический смысл поворотного движения (см. выше, Глава3;5), т.к. фактически:

во-первых, оба движения осуществляются одновременно, а

во-вторых, радиус поворотного движения непрерывно изменяется.

В классической физике не существует нескольких версий ускорения Кориолиса. Классическая формула ускорения Кориолиса уже более двухсот лет не претерпевает никаких изменений. Однако отличие минимальных значений абсолютных ускорений в центре переносного вращения, найденных различными методами, которые с физической точки зрения и представляют собой поворотное ускорение Кориолиса, **позволяет усомниться в исключительности и правильности классической версии ускорения Кориолиса**. На наш взгляд, классическое поворотное ускорение, которое определяется в составе абсолютного ускорения по формулам (6.2;6.4), зависит от субъективной классической модели поворотного движения, т.к. классический метод дифференцирования поворотного движения основан на субъективных искусственных допущениях.

В методе определения абсолютного ускорения через годограф абсолютной скорости отсутствуют какие-либо искусственные допущения классической модели поворотного движения. Годограф абсолютной скорости учитывает реальное изменение скорости в любой момент времени независимо от того связано ли это изменение с поступательным движением или с вращательным движением. Каждая точка годографа соответствует реальному вектору скорости, как по величине, так и по направлению, а совокупность всех его точек эквивалентна изменению **абсолютной величины** скорости при любом виде движения. Годограф скорости в общем случае криволинейного движения по своему физическому смыслу ничем не отличается от годографа скорости прямолинейного движения. И в том и в другом случае приращение скорости связано с преобразованием скорости по абсолютной величине (см. выше Глава1), поэтому дифференцирование годографа эквивалентно дифференцированию приращения скорости прямолинейного движения, в котором отсутствует поворотное движение.

При дифференцировании годографа осуществляется чисто математическая операция дифференцирования не связанная с какими-либо физическими моделями того или иного вида движения. Единственное методологическое допущение в методе определения абсолютного ускорения через годограф скорости связано с представлением кривой годографа в виде ломаной линии (Рис.6.3), что вносит некоторую количественную погрешность при определении абсолютной величины длины годографа. Однако такая погрешность с физической точки зрения непринципиальна, т.к. не искажает физической сущности годографа в соответствии, с которой приращением скорости движения является именно абсолютная величина годографа. Погрешность, связанная с отступлением от линеаризации криволинейного движения легко устраняется при дифференцировании с уменьшением дискретности дифференцирования.

Проведём подобный анализ для общего случая проявления ускорения Кориолиса. Точно также как и для ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении определим абсолютное ускорение сложного движения, в котором присутствует радиальная и нормальная составляющая относительного движения двумя классическими методами: через годограф абсолютной скорости и классическим геометрическим методом. Для простоты рассмотрим сложное движение, в котором равномерное и прямолинейное относительное движение направлено под углом в 45^0 к радиусу переносного вращения.

1. Определим абсолютное ускорение рассматриваемого движения через годограф абсолютной скорости.

Физический механизм определения абсолютного ускорения рассматриваемого движения аналогичен механизму определения абсолютного ускорения при радиальном относительном движении по формуле (6.7), т.е. через годограф абсолютной скорости (см. Рис 6.3). Однако вместо абсолютной скорости при радиальном относительном движении (Vc) в формулу (6.7) следует подставлять абсолютную скорость (Vc общ.), определённую с учётом нормальной составляющей относительной скорости (Vr общ.). Кроме того, за счёт нормальной составляющей относительной скорости (Vr общ.) вектор абсолютной скорости (V(абс)общ) в рассматриваемом движении вращается не с угловой скоростью переносного вращения, а с угловой скоростью абсолютного вращения текущей (Ωn), которая равна сумме угловых скоростей переносного движения текущего ($\omega_{ет}$) и угловой скорости текущей относительного движения, обусловленного перпендикулярной к радиусу составляющей относительного движения ($\omega_{гт}$):

$\Omega(n) = \omega_{ет} + \omega_{гт}$

Абсолютную линейную скорость спирали (Vc общ.) определим в соответствии с рисунком 6.6:

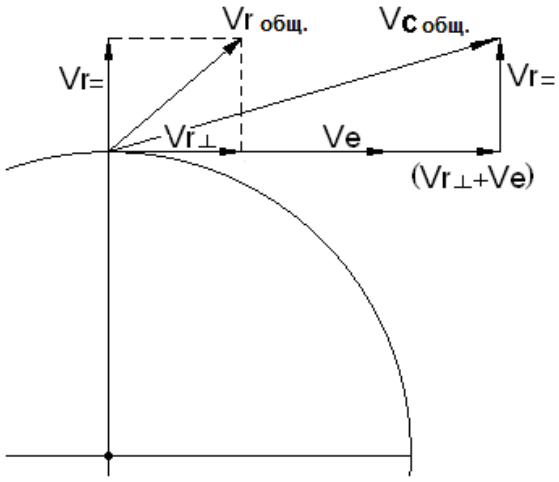


Рис. 6.6

Vc общ.= $\sqrt{(Vr_{\perp} + Ve)^2 + V^2r_{=}}$

С учётом оговоренных поправок перепишем формулу (6.7) применительно к абсолютному ускорению ($a_{(абс)общГ}$) при относительном движении, направленном под углом 45^0 к радиусу переносного вращения:

$$a_{(абс)общГ} = (\sqrt{((Vсобщ(t_1) - Vобщ(t))*\Delta t)^2 + (Vсобщ(t)*\Omega абс *\Delta t)^2})/\Delta t \qquad (6.10)$$

2. Определим абсолютное ускорение классическим геометрическим методом по формуле (6.9) при относительном движении, направленном под углом 45^0 к радиусу:

2.1. Абсолютное ускорение в каждой точке текущего радиуса вращения без учёта ускорения Кориолиса, проявляющегося за счёт относительного движения с радиальной составляющей ($Vr_{=}$) относительной скорости (Vrобщ), представляет собой центростремительное ускорение текущее:

$$a_{цт}\ тек = \Omega(n)^2*Rт\ общ \qquad (6.11)$$

Перпендикулярно центростремительному ускорению текущему ($a_{цт}$тек) действует ускорение Кориолиса, обусловленное радиальной составляющей скорости относительного движения. Поскольку переносная угловая скорость за счёт нормального к радиусу относительного движения непрерывно изменяется на величину нормальной составляющей скорости относительного движения, то в каждом минимальном интервале времени дифференцирования необходимо учитывать текущую абсолютную угловую скорость ($\Omega n=\omega_{ет}+\omega_{гт}$). Тогда абсолютное ускорение геометрическое с учётом ускорения Кориолиса в нашей версии (3.27) будет иметь вид:

$$a_{(абс)общ.\ геом} = \sqrt{(\Omega n^2*Rт\ общ)^2+(\Omega n*Vr_{=})^2} \qquad (6.12)$$

2.2. Определим абсолютное ускорение геометрическое с учётом классического полного ускорения Кориолиса при относительном движении, направленном под углом 45^0 к радиусу.

Каждому значению текущего радиуса переносного вращения при наличии нормального к радиусу относительного движения соответствует абсолютная текущая переносная угловая скорость ($\Omega n=\omega_{ет}+\omega_{гт}$), которая является абсолютной угловой скоростью в текущем интервале времени дифференцирования. Для ускорения Кориолиса, обусловленного перпендикулярной к радиусу составляющей относительной скорости необходимо учитывать угловую скорость переносную текущую ($\omega_{ет}$) или абсолютную угловую скорость на (n-1) шаге дифференцирования. Следовательно, для определения полного ускорения Кориолиса при произвольном направлении относительного движения в соответствии с классической моделью поворотного движения необходимо воспользоваться формулой (3.26*).

aкк общ. = $2*\Omega(n)*Vr_{=} + 2*\Omega(n-1)*Vr_{\perp}$

где:

$Vr_{=}$: радиальная составляющая относительной скорости;

$Vr_{\perp}$: перпендикулярная составляющая относительной скорости;

$\Omega(n)$: переносная угловая скорость на текущем радиусе, которая для радиального относительного движения является абсолютной;

$\Omega(n-1) = \omega$ет: переносная угловая скорость на (n-1) шаге дифференцирования радиального относительного движения;

Запишем формулу (3.26*) в алгебраическом виде, в котором дополнительное ускорение определяется, как корень квадратный из суммы квадратов катетов ($2*\Omega(n)*Vr_{=}$) и ($2*\Omega(n-1)*Vr_{\perp}$), поскольку составляющие ускорения Кориолиса, проявляющиеся при радиальном относительном движении и при нормальном к радиусу относительном движении, взаимно перпендикулярны:

$$a_{кк\ общ.} = \sqrt{(2*\Omega n*Vr_{=})^2 + (2*\Omega(n-1)*Vr_{\perp})^2} \qquad (6.13)$$

Подставляя в формулу (6.9) выражения (6.11) и (6.13), получим окончательно:

$$\boldsymbol{a(абс)общКгеом = \sqrt{(\Omega^2 n\ общ.*Rт\ общ)^2+(2*\Omega n*Vr_{=})^2 + (2*\Omega(n-1)*Vr_{\perp})^2}} \qquad \mathbf{(6.14)}$$

Напомним, что в нашей версии полное ускорение Кориолиса при произвольном направлении относительного движения с учетом абсолютной текущей угловой скорости определяется по формуле:

$$a_{к\ общ.} = \Omega n*Vr_{=} \qquad (3.27)$$

Используя полученные формулы, построим графики:

1. $\boldsymbol{a_{(цт)}}$ – график центростремительного ускорения вращательного движения с текущим физическим радиусом (абсолютное ускорение без учёта ускорения Кориолиса за счёт радиальной составляющей относительной скорости по формуле (6.11);
2. $\boldsymbol{a_{(абс)общК}}$ – график абсолютного ускорения, рассчитанного классическим способом по формуле (6.15);
3. $\boldsymbol{a_{(абс)общ}}$ – график абсолютного ускорения, рассчитанного классическим способом по формуле (6.12);
4. $\boldsymbol{a_{(абс)общГ}}$ – график абсолютного ускорения, определенного через годограф абсолютной скорости по формуле (6.10);
5. $\boldsymbol{a_{(к)общ}}$ – график ускорения Кориолиса в нашей версии по формуле (6.15): $a_{к\ общ.} = \Omega*Vr_{=}$;
6. $\boldsymbol{a_{(кк)общ}}$ – график классического ускорения Кориолиса (66.7);

Исходные данные практически те же, что и в предыдущем случае с некоторыми оговорками и дополнениями:

Rн = 0 м – радиус вращения начальный;
Ωабс.= ωе + ωr$_т$ – угловая скорость абсолютного движения;
Vr общ. = 50м/с – относительная скорость тела в относительном движении произвольного направления.

Графики построим для относительного движения как в области, расположенной вблизи центра вращения, так и в областях отдалённых от центра вращения в интервале времени ≈2,5с (см. Рис.6.7) и ≈10с (см. Рис. 6.8) с дискретностью Δt = 0,025 с. На рисунках (6.9) и (6.10) графики ($\boldsymbol{a_{(к)общ}}$) и ($\boldsymbol{a_{(кк)общ}}$) показаны отдельно.

Резкое уменьшение радиуса переносного вращения в области близкой к центру вращения при неизменной нормальной к радиусу составляющей относительной скорости приводит к резкому увеличению относительной угловой скорости, а, следовательно, и абсолютной угловой скорости, что в свою очередь приводит к увеличению абсолютного ускорения. Поэтому в области, лежащей вблизи центра переносного вращения, графики абсолютного ускорения устремляются в бесконечность. Однако, как и в случае радиального относительного движения, в точке соответствующей центру вращения абсолютное ускорение в обеих версиях соответствует ускорению Кориолиса в одноимённых версиях.

В нашем примере ускорение Кориолиса для радиального относительного движения в нашей версии, удовлетворяющее исходным данным равно 70,7 *м/с^2*. На Рис. (6.7) видно, что абсолютное ускорение ($a_{(абс)общ.Г}$) и ($a_{(абс)общ.геом.}$) в точке соответствующей центру переносного вращения имеет минимальное значение, равное ускорению Кориолиса, обусловленного радиальной составляющей относительного движения в нашей версии, т.е. 70,7 *м/с^2*. График абсолютного ускорения классического геометрического ($a_{(абс)общ.Кгеом.}$) имеет минимальное значение в точке центра вращения равное 141,42 *м/с^2,* что соответствует классической версии ускорения Кориолиса по первому варианту. Причём если в центре переносного вращения абсолютное ускорение определяется величиной ускорения Кориолиса, то с увеличением радиуса вращения абсолютное ускорение определяется в основном центростремительным ускорением переносного

вращения. На Рис.6.8 уже через 10 секунд радиального движения все кривые практически сливаются с графиком центростремительного ускорения.

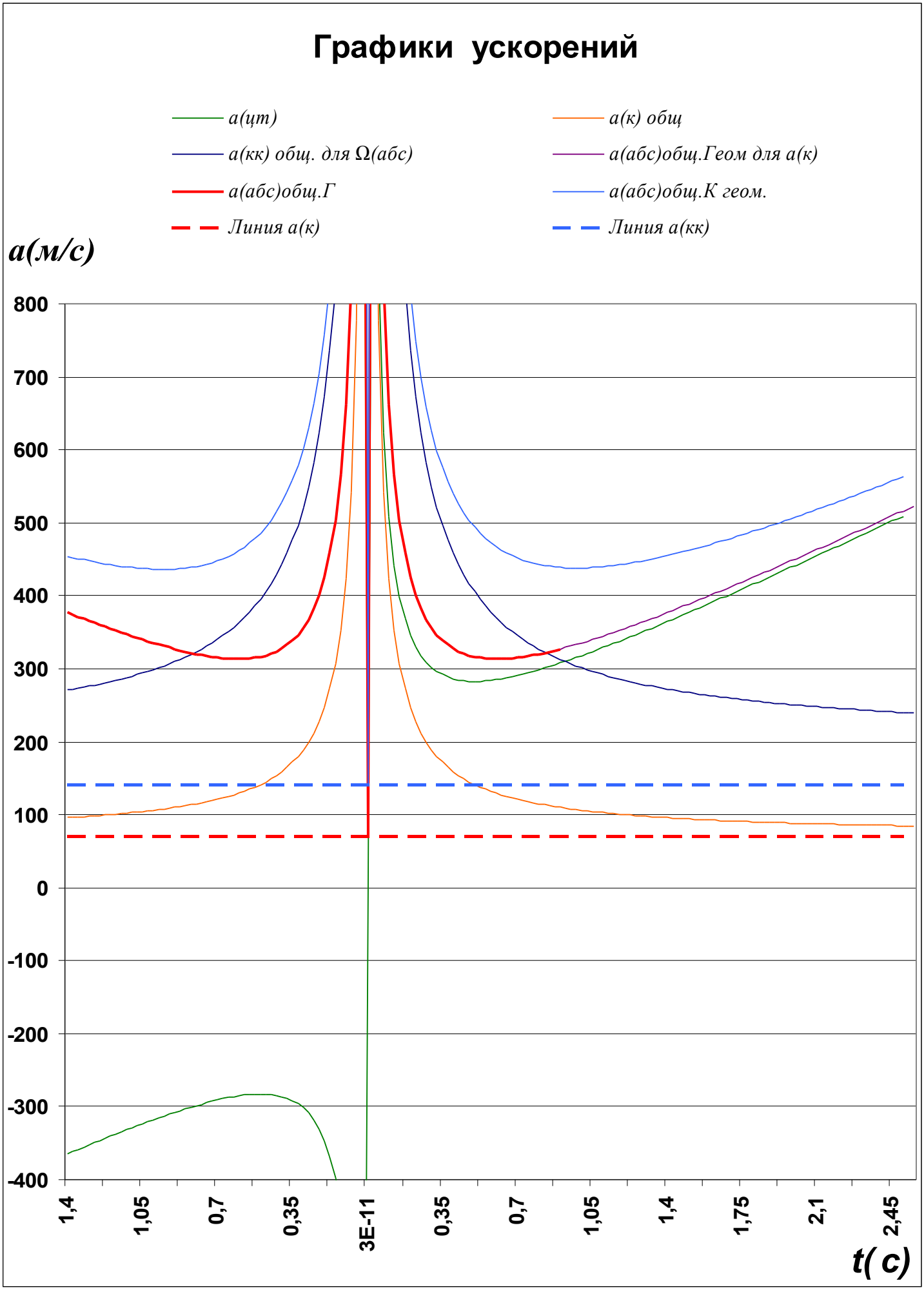


Рис.6.7

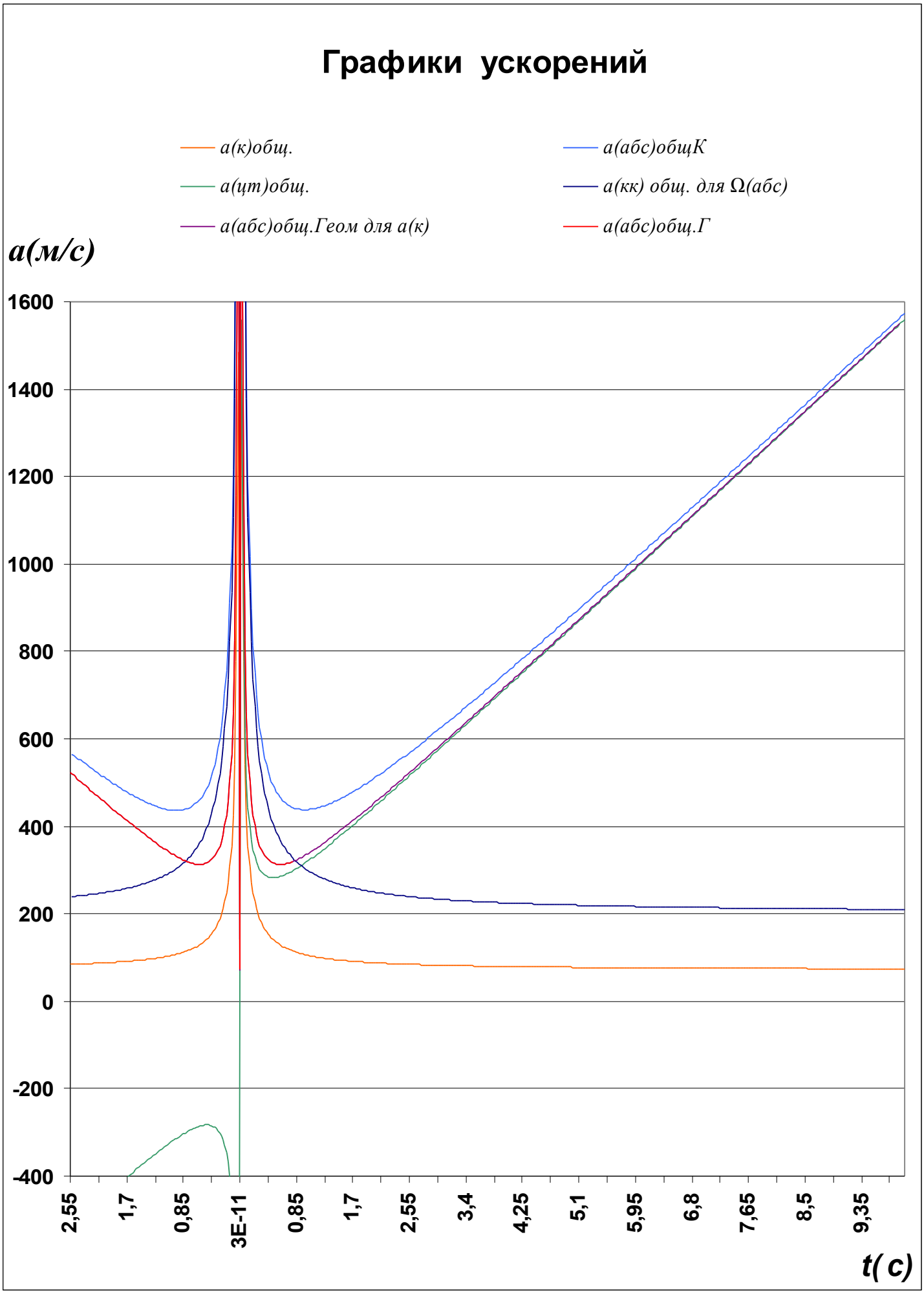

Графики ускорений
a(к)общ.
a(абс)общК
a(цт)общ.
a(кк) общ. для Ω(абс)
a(абс)общ.Геом для a(к)
a(абс)общ.Г
a(м/с)
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
-200
-400
2,55
1,7
0,85
3E-11
0,85
1,7
2,55
3,4
4,25
5,1
5,95
6,8
7,65
8,5
9,35
t(c)

Рис.6.8

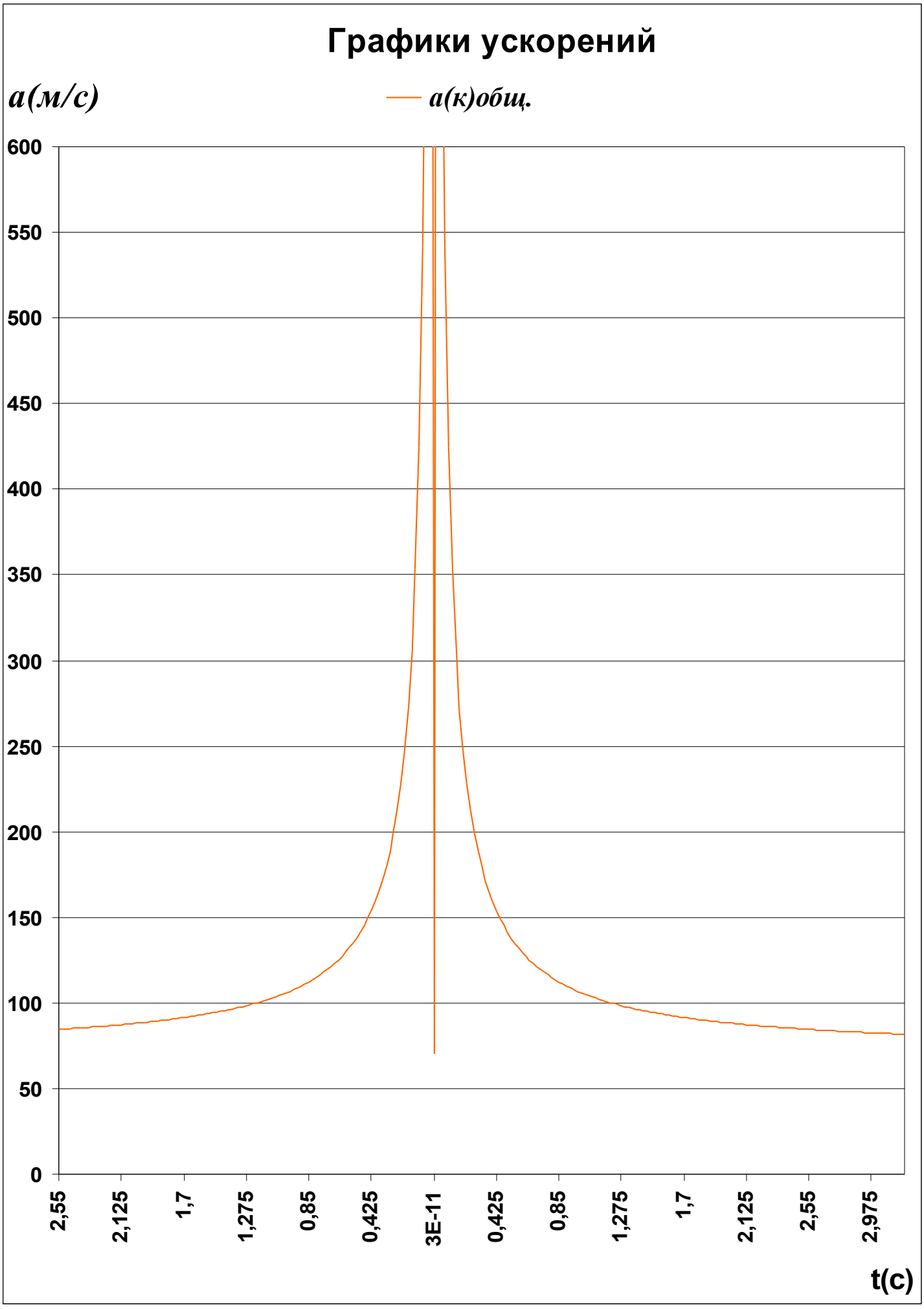

Графики ускорений
a(м/с)
a(к)общ.
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
2,55
2,125
1,7
1,275
0,85
0,425
3E-11
0,425
0,85
1,275
1,7
2,125
2,55
2,975
t(c)

Рис. 6.9

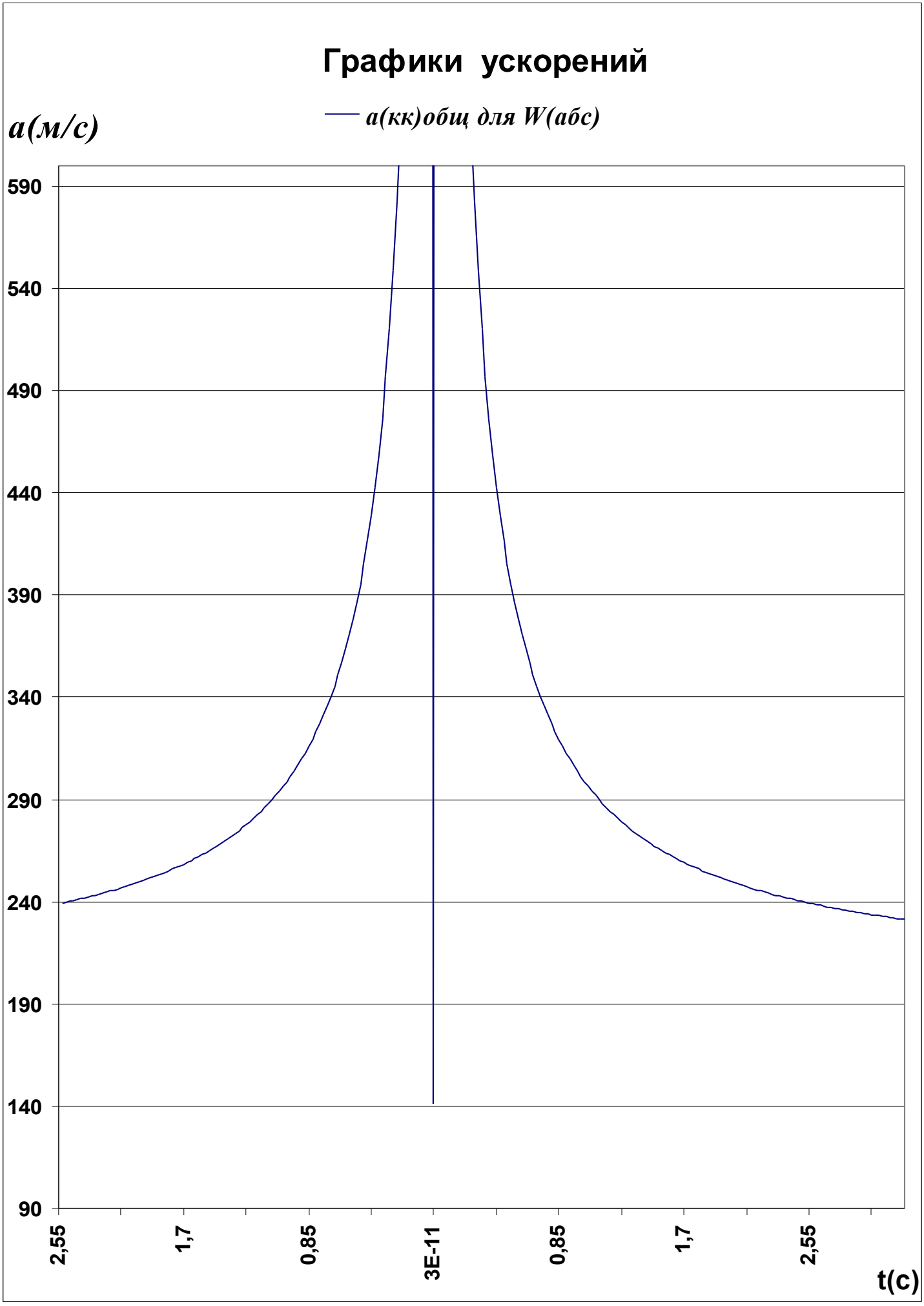

Графики ускорений
a(кк)общ для W(абс)
a(м/с)
590
540
490
440
390
340
290
240
190
140
90
2,55
1,7
0,85
3E-11
0,85
1,7
2,55
t(c)

Рис. 6.10

Как видно из рисунка 6.7 и 6.8 абсолютное ускорение, рассчитанное по формуле (6.14) с учётом классического ускорения Кориолиса **значительно** превышает абсолютное ускорение, рассчитанное по формуле (6.12) с учётом нашей версии ускорения Кориолиса, а также текущее переносное ускорение. Причем это наблюдается даже в областях достаточно удаленных от центра вращения, где переносная угловая скорость текущая меняется незначительно. Это косвенно подтверждает нашу версию ускорения Кориолиса, в соответствии с которой дополнительное ускорение при нормальном к радиусу относительном движении не является ускорением Кориолиса, а входит в состав переносного ускорения вращательного движения. В классической версии ***дополнительное ускорение,*** которое фактически является частью переносного ускорения, рассматривается как ускорение Кориолиса, поэтому в классической версии сложного движения при наличии относительного движения, перпендикулярного радиусу ***дополнительное ускорение учитывается дважды***: один раз автоматически в составе переносного ускорения и второй раз в составе абсолютного ускорения, как ускорение Кориолиса.

Несовпадение графика абсолютного ускорения, определенного через годограф абсолютной скорости (6.10) с графиком абсолютного ускорения по формуле (6.9) с учётом классического ускорения Кориолиса (формула 6.14), точно так же как несовпадение графиков абсолютных ускорений в разных версиях при радиальном относительном движении (Рис.6.4;6.5;6.7;6,8) свидетельствует о противоречии между теоремой Жуковского: *«Скорость соответственной точки годографа равна полному ускорению точки, движущейся по траектории»* и его же теоремой *«О сложении ускорений»*, а также теоремой Кориолиса. С одной стороны по Жуковскому (формула 6.7) полное ускорение любой движущейся точки равно скорости соответственной точки годографа. Однако с другой стороны ускорение Кориолиса, определенное в соответствии с его теоремой о сложении скоростей и с его же аналитическим выводом ускорения Кориолиса, не соответствует ускорению Кориолиса, которое является минимумом абсолютного ускорения, в центре переносного вращения, вычисленного через годограф абсолютной скорости.

Классические методы определения абсолютного ускорения по формулам (6.2;6.4;6.7;6.10) противоречат классическим методам определения абсолютного ускорения по формуле (6.9) только при подстановке в формулу (6.9) классического выражения для ускорения Кориолиса. Причем при подстановке в формулу (6.9) поворотного ускорения Кориолиса в той или иной версии она идеально подтверждает каждый из методов определения абсолютного ускорения по формулам (6.2;6.4;6.7;6.10). Следовательно, классические методы определения абсолютного ускорения по формулам (6.2;6.4;6.7;6.10) противоречат не классическому методу определения абсолютного ускорения по формуле (6.9), а классическому ускорению Кориолиса и классической модели поворотного движения.

7. УСКОРЕНИЕ КОРИОЛИСА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЧЕРЕЗ ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ.

При переходе через центр вращения ускорение Кориолиса, проявляющееся при радиальном относительном движении и отсутствии нормальной к радиусу составляющей относительной скорости в неинерциальной системе отсчёта, которая связана с точкой, движущейся по абсолютной траектории, не изменяет ни величины, ни направления действия по отношению к движущейся вдоль радиуса точке. При постоянных параметрах относительного и переносного движения ускорение Кориолиса, обусловленное радиальным относительным движением постоянно на любом расстоянии от центра вращения. Для того чтобы наглядно проиллюстрировать независимость направления действия силы и ускорения Кориолиса на движущееся радиально тело от расстояния до центра вращения в неинерциальной системе отсчёта, рассмотрим три последовательных положения тела, движущегося в радиальном направлении на вращающемся диске. На Рис. 7.1 видно, что в неинерциальной системе координат сила Кориолиса, действующая на тело со стороны направляющей, не изменяет направления по отношению к телу.

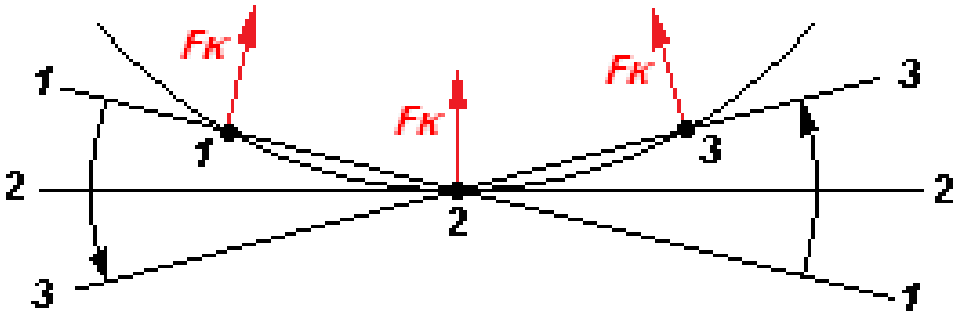


Рис.7.1

Конечно, в инерциальной абсолютной системе отсчёта ускорение Кориолиса при радиальном относительном движении изменяет своё направление в процессе вращательного движения, как и любое

ускорение во вращательном движении. Однако изменение направления ускорения Кориолиса происходит равномерно в соответствии с изменением фазы вращательного движения. Процесс изменения направления ускорения Кориолиса при радиальном относительном движении в точке центра вращения ничем не отличается от процесса изменения направления ускорения Кориолиса в любой другой точке траектории движения. Резкого изменения направления ускорения Кориолиса на 180^0 в какой-то одной точке траектории, означающего смену знака физической величины в любой системе отсчёта, не происходит ни в одной точке траектории движения тела при радиальном относительном движении. В то время как переносное ускорение при переходе через центр вращения изменяет знак на противоположный.

В общем случае при произвольном направлении относительного движения присутствуют обе составляющие относительной скорости. Поскольку радиус переносного вращения при движении к центру непрерывно уменьшается, а линейная относительная скорость при этом остаётся неизменной, то в области близкой к центру вращения резко возрастает относительная угловая скорость. Увеличение относительной угловой скорости приводит к увеличению общей угловой скорости абсолютного движения и как следствие к увеличению относительного и абсолютного ускорений. Кроме того, с увеличением абсолютной угловой скорости увеличивается и ускорение Кориолиса по первому варианту, т.к. радиальная составляющая относительной скорости вращается с абсолютной угловой скоростью.

На графиках, изображённых на Рис (6.7;6.8) при приближении к центру вращения за счёт нормальной к радиусу составляющей относительной скорости относительное ускорение, абсолютное ускорение и ускорение Кориолиса по первому варианту возрастают до бесконечности. На практике увеличение ускорений, конечно же, не достигает бесконечной величины. Бесконечность это понятие философско-математическое. Реальные тела имеют конечные геометрические размеры. Радиус относительного вращения не может быть меньше радиуса тела (если для простоты предположить, что тело имеет форму шара), что ограничивает рост относительной угловой скорости. Тем не менее, тело, движущееся с относительной скоростью произвольного направления в сторону центра вращения при наличии радиальной и нормальной к радиусу составляющей относительного движения вблизи центра вращения, действительно может испытывать резкое увеличение абсолютного ускорения подобно резкому увеличению ускорения, испытываемому телом при встрече с неподвижным препятствием.

Резкое увеличение угловой скорости вблизи центра вращения означает увеличение инерционного сопротивления прямолинейному движению в процессе преобразования его во вращательное движение. Следовательно, поддержание вращательного движения в таких условиях в конечном итоге требует резкого увеличения центростремительного ускорения в абсолютной системе координат, а значит и абсолютного ускорения в целом. Однако это не является спецификой исключительно вращательного движения в условиях относительного движения в сторону центра вращения, имеющего радиальную и тангенциальную составляющие. Любое тело, движущееся с большой скоростью в произвольном направлении и с произвольным ускорением при встрече с неподвижным препятствием, оказывающим большое сопротивление движению, испытывает значительное ускорение, которое может привести к разрушению тела.

Переход через центр переносного вращения можно смоделировать следующим образом. Тело, находящееся на радиальной направляющей движется по внутренней поверхности сжимающейся сферы в одном направлении со сферой, которая совершает переносное вращение. Для того чтобы тело достигло центра переносного вращения, сфера должна сжаться в точку. При этом происходит резкое увеличение ускорения, связанное с увеличением относительной угловой скорости, а также с увеличением сопротивления движению в направлении перпендикулярном радиусу непосредственно в точке центра вращения вплоть до полной остановки тела в центре вращения в этом направлении. Сопротивление линейному движению в направлении перпендикулярном радиусу в центре вращения эквивалентно сопротивлению, испытываемому телом при встрече с неподвижным препятствием в направлении перпендикулярном направлению движения.

Для смены знака ускорений переносного и относительного вращательного движений при переходе через нуль телу необходимо сообщить нормальное к радиусу относительное движение в обратном направлении и продолжить радиальное движение тела в прежнем направлении, что эквивалентно отражению тела от отражающей поверхности. Таким образом, при переходе через нуль происходит обычное отражение тела от центра вращения. При этом после отражения тело вновь получает абсолютное ускорение, равное по величине абсолютному ускорению до отражения, но нормальная к радиусу составляющая отражённого движения имеет противоположный знак. Следовательно, ускорения переносного и относительного вращательного движений при переходе через центр вращения изменяют знак на противоположный. При этом ускорение Кориолиса по первому варианту в центре вращения не уменьшается до нуля, т.к. при отражении скорость движения вдоль отражающей поверхности остаётся

неизменной, а угловая скорость вращения радиальной составляющей вектора скорости относительного движения в центре вращения не равна нулю.

Существует иллюзия, что в центре вращения угловая скорость радиальной составляющей вектора скорости относительного движения равна нулю, однако уменьшение до нуля угловой скорости в центре вращения относится только к математической точке, не имеющей геометрических размеров. Переход физического тела через центр вращения, как бы ни были малы его размеры, не приводит к изменению угловой скорости вектора радиальной составляющей относительного движения. Любая физическая величина переходит через нулевое значение только при смене знака физической величины. По отношению к угловой скорости смена знака означает изменение направления вращения. Поскольку при переходе через центр вращения радиально движущегося тела направление вращения системы не изменяется, то и смены знака угловой скорости вектора радиальной составляющей относительного движения не происходит. Следовательно, в центре вращения угловая скорость вектора радиального относительного движения не равна нулю. На всём протяжении радиального движения происходит равномерное изменение направления скорости радиального движения, в том числе и при пересечении центра переносного вращения.

В нашей модели при переходе через центр переносного вращения тела, движущегося по относительной траектории вместе с отражением тела от центра вращения должно произойти и отражение воображаемой сферы от центра вращения, которая после отражения должна начать расширяться. При этом радиальное движение в неизменном виде продолжится в направлении от центра вращения, а нормальная к радиусу составляющая относительного движения сменит знак на противоположное значение, то есть направление вектора линейной скорости всех вращательных движений поменяется на противоположное.

Полное ускорение в центре вращения по абсолютной величине равно ускорению Кориолиса по первому варианту, т.к. все составляющие абсолютного ускорения в центре вращения, кроме ускорения Кориолиса по первому варианту равны нулю. Следовательно, минимумом функции абсолютного ускорения от радиуса переносного вращения при произвольном направлении относительного движения является ускорение Кориолиса, обусловленное радиальным относительным движением. Таким образом, величина абсолютного ускорения и общего ускорения Кориолиса при переходе через центр вращения никогда не снижается до нулевого значения и не переходит через нуль, т.е. смены знака абсолютного ускорения и общего ускорения Кориолиса при переходе движущегося тела через центр вращения не происходит.

8. ОТКЛОНЕНИЕ СВОБОДНО ПАДАЮЩИХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ЗЕМЛИ.

Часто для подтверждения формулы ускорения Кориолиса необоснованно ссылаются на результаты экспериментов с бросанием тел с большой высоты, считая, что отклонение падающих тел происходит под действием силы Кориолиса. При этом ускорение Кориолиса находят исходя из измеренного линейного отклонения, что свидетельствует на наш взгляд о неправильном понимании природы ускорения Кориолиса.

Известен классический эксперимент, в котором на экваторе тело падает в шахту с высоты 80 метров и отклоняется при этом на **2,3 см** к востоку. *(Учебник физики Л.Д. Ландау, А.И. Китайгородского, Наука, 1974 г.).*

Исходные данные:

Радиусы $\mathbf{R_1 = 6380080}$ **м** и $\mathbf{R_2 = 6380000}$ **м.**
Время падения тела с высоты **80 м - 4 сек.**
Линейная скорость вращения Земли для указанных радиусов:
$\mathbf{V_{лс} = 463,7314815}$ **м/сек и** $\mathbf{V_{лб} = 463,7372963}$ **м/сек** соответственно.
Начальная радиальная скорость тела – **Vp = 0.**

Ускорение, вычисленное по классической формуле Кориолиса, с такими исходными данными дает результат:

$$a_к = 2 * \omega * Vp = \mathbf{2 * (463,7372963/6380080) * (9,8*4/2) = 0,00288\ м/с^2}$$

Если подставить полученный результат в формулу (3.10) для пути, пройденного с ускорением, то получим отклонение равное 2,3 см

$$\mathbf{S = a_{ко} * t^2 / 2 = 0,0028 * 4^2 / 2 = 0,023\ м = 2,3\ см}$$

Соответственно, зная отклонение, измеренное в эксперименте, можно из формулы (3.10) определить ускорение, с которым, как предполагается, двигалось тело. Оказывается, что это ускорение численно равно ускорению, найденному по классической формуле для ускорения Кориолиса:

$a = 2 * S/ t^2 = \mathbf{2 * 0{,}023 / 16 = 0{,}00288\ м/с^2}$.

На первый взгляд это блестящее подтверждение теории на практике. Но вот только **ускорения Кориолиса в этом опыте нет!** Как уже отмечалось выше, классическое ускорение Кориолиса это изменение абсолютной скорости радиально движущегося тела одновременно участвующего во вращательном движении. Тело, находящееся на поверхности Земли участвует во вращательном движении только за счет механической связи с вращающейся Землей. После потери механического контакта с Землей на сброшенное в шахту тело перестает действовать механизм преобразования движения по направлению в составе вращающейся системы, связанной с Землей, а механизм вращательного движения «небесного» тела, сброшенного в шахту, не может быть сформирован из-за недостаточной тангенциальной скорости «небесного» тела. Таким образом, движение тела в шахте соответствует движению тела, брошенного горизонтально, которое с точки зрения классической физики представляет собой комбинацию двух движений, взаимно перпендикулярных друг другу: - горизонтального равномерного движения и вертикального движения (свободного падения).

В связи с этим отклонение к востоку тела, брошенного в шахту, происходит не под действием силы Кориолиса, а под действием инерции движения тела со скоростью равной по величине линейной (окружной) скорости тела до броска. Дно шахты, имеющее радиус вращения на 80 м меньше, чем радиус вращения тела до броска, имеет линейную скорость меньшую, чем линейная скорость тела. **За счет разницы скоростей тело, приближаясь ко дну шахты, одновременно движется вдоль его поперечника**, причем эта разница скоростей не изменяется во времени, т.е. какое-либо ускорение тела отсутствует. Линейная скорость тела перед встречей с дном шахты по величине осталась такой же, как и на ее поверхности. При этом можно пренебречь изменением скорости за счет сопротивления воздуха (как материального тела, движущегося вместе с Землей), скорость которого будет немного меньше у дна шахты. Таким образом, отклонение тела, брошенного в шахту, происходит не под действием силы и ускорения Кориолиса, а в некотором приближении за счет разницы горизонтальной скорости равномерного и прямолинейного движения тела и линейной скорости вращательного движения дна шахты.

Сила Кориолиса – это, безусловно, проявление сил инерции. Но обратное утверждение неверно. Проявление сил инерции не всегда связано с проявлением силы Кориолиса.

Если тело бросить в шахту не посредине ствола шахты, а вдоль ее восточной стенки, которая при этом будет играть роль направляющей, то тело не отклонится от вертикали на 2,3 см. Его линейная скорость плавно уменьшится от значения, которое она имела в момент броска до значения линейной скорости дна шахты. В этом случае замедление будет происходить с ускорением Кориолиса.

Рассчитаем ускорение Кориолиса по формулам (3.12), (3.8), (3.25):

$a_к(3.12) = (V_{лс} - V_{лб})/t = (463{,}7372963 - 463{,}7314815)/4 = \underline{\mathbf{0{,}0014\ м/с^2}}$

$\omega \qquad V_ц$

$a_к(3.8) = \omega * V_ц = (463{,}7372963/6380080) * (9{,}8 + 0{,}033706831 + 0{,}033706409) * 4/2 = \underline{\mathbf{0{,}00143443\ м/с^2}}$

$\omega \qquad Vp_н \qquad \omega \qquad t$

$a_к(3.25) = \omega * Vp_н + \omega * t * (a_{цс} + a_{цб})/2 = (463{,}7372963/6380080) * (0) + (463{,}7372963/6380080) * 4 *$

$(a_{рс} + a_{рб})$

$* (0 + 0{,}033706831 + 9{,}8 + 0{,}033706409)/2 = \underline{\mathbf{0{,}00143443\ м/с^2}}$

Таким образом, получили хорошо согласующиеся между собой значения ($a_к$) по трем различным формулам (3.12), (3.8), (3.25). Ускорение Кориолиса по (3.8) и (3.25) получилось несколько больше, чем по (3.12). При вычислении среднего значения радиальной скорости падения тела (Vц) необходимо знать точное значение радиуса Земли, точное значение ускорения тяготения на поверхности Земли и на уровне дна шахты, а также учитывать изменение ускорения тяготения при уменьшении радиуса во время падения.

Составляющую окружных участков пути, пройденную телом по дуге окружности с переменным радиусом под действием ускорения Кориолиса, можно рассчитать по формуле (3.10)

$S(3.10) = \boldsymbol{a_{ко}} * t^2 / 2 = \mathbf{0{,}0116296\ (м/с^2)}$

Этот путь не равен отклонению тела от вертикали при свободном падении. Это совершенно разные вещи. При свободном падении отклонение тела от вертикали (от радиуса Земли) происходит за счет разности скоростей тела и дна шахты. Линейная скорость вдоль поверхности Земли свободно падающего тела не изменяется. Под действием же силы Кориолиса, возникающей при взаимодействии падающего тела с восточной стенкой шахты, линейная скорость тела уменьшается от значения линейной скорости тела на поверхности до линейной скорости дна шахты. Поэтому путь, пройденный за счет ускорения Кориолиса, эквивалентный пути, пройденному со средней линейной скоростью переносного вращения при

радиальном движении тела в два раза меньше, чем путь, пройденный за счёт разницы скоростей тела на поверхности и у дна шахты. Соответственно и ускорение Кориолиса будет в два раза меньше, чем гипотетическое ускорение, найденное по результатам отклонения от вертикали свободно падающего тела. Опыт с падением тел не может служить критерием правильности формулы Кориолиса, поскольку в этом опыте проявления силы Кориолиса нет.

Отклонение тела от радиуса Земли при свободном падении в классической физике видимо связывают с движением с отложенным ускорением Кориолиса, т.е. с девиацией поворотного движения. Возможно, что этот опыт и лег в основу вывода классической формулы ускорения Кориолиса. Однако, как показано в главе (3.1 ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА), девиация поворотного движения может быть определена в отсутствие только поворотного ускорения, но с учетом переносного вращения, той точки вращающейся системы, в которой в данный момент находится тело. Отклонение же свободно падающего тела в шахте происходит, в том числе и за счет отсутствия переносного вращения. Это линейная разница двух линейных движений, осуществляющихся с разными линейными скоростями, которая вообще не связана с какими-либо ускорениями.

9. КРАТКИЙ АНАЛИЗ ВЗГЛЯДОВ СОВРЕМЕННЫХ АВТОРОВ НА ЯВЛЕНИЕ КОРИОЛИСА.

Кандидат технических наук Степан Георгиевич **Тигунцев** в своей статье (*«Эффект Кориолиса – это просто» от 29 апреля 2005г.* ***stiguncev@yandex.ru***.) утверждает, что **ускорение Кориолиса – это разность ускорений инерции двух широт во времени**. Приведем достаточно обширные выборки из его работы.

*«Есть некое ускорение инерции, которое определяется по формуле (1). «Из (6) выразим отрезок времени **dt**, получим (7). Подставим (7) в (2) получим (8). Выражение (8) позволяет получить ускорение Кориолиса по параметрам равномерного движения по меридиану при вращении Земли. Сила Кориолиса определяется по выражению (9)».*

$$dg = g * V * dt / R \qquad (1)$$

$$dg_{(мер)} = g * V_{(мер)} * dt / R \qquad (2)$$

$$dg_{(пар)} = g * V_{(пар)} * dt / R \qquad (3)$$

$$dg_{(пар)} = g * V_{(экв)} * \cos(f_{(пар)}) * dt / R \qquad (4)$$

$$V_{экв} = 2 * 3{,}14 * 6380000\ (м) / 24 * 3600\ (сек) = 463{,}7\ м/сек \qquad (5)$$

$$dg_{(пар)1} - dg_{(пар)2} = g * dt * (V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) / R = g_{(кор)} \qquad (6)$$

$$dt = g_{(кор)} * R / (V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) * g \qquad (7)$$

$$g_{(кор)} = dg_{(мер)} * (V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) / V_{(мер)} \qquad (8)$$

$$F_{(кор)} = g_{(кор)} * m_{(тела)} \qquad (9)$$

Далее С. Г. Тигунцев предлагает проверить свои формулы на практике (приведем оригинальный текст):

«Для проверки правильности методики рассмотрим соответствие расчёта эксперименту. В учебнике физики (авторы Л. Д. Ландау, А. И. Китайгородский, Наука, 1974 г.) показан эксперимент, в котором на экваторе падает тело в шахту с высоты 80 метров и отклоняется при этом на 2,3 см к востоку.

Сначала определим линейную скорость вращения Земли для радиусов 6380080 м и 6380000 м по выражениям (10) и (11), соответственно, 463,7372963 м/сек и 463,7314815 м/сек. Затем определим ускорения инерции для указанных радиусов по выражениям (12) и (13) для отрезка времени 4 сек (время падения тела с высоты 80 м), соответственно, 0,002849295 м/сек^2 и 0,002849259 м/сек^2».

Ниже приводится фотокопия формул и расчетов автора и наше их отображение с исправлением явных опечаток.

$V_{(пар)1} = 2 * 3,14 * R_1 / T = 6,28 * 6380080 / 86400 = 463,7372963$ м/сек (10)

$V_{(пар)1} = 2 * 3,14 * R_1 / T = 6,28 * 6380080 / 86400 = 463,7314815$ м/сек (11)

$dg_1 = g * V_{(пар)1} * dt / R = 9,8 * 463,7372963 * 4 / 6380000 = 0,002849295$ м/сек^2 (12)

$dg_2 = g * V_{(пар)2} * dt / R = 9,8 * 463,7314815 * 4 / 8380000 = 0,002849259$ м/сек^2 (13)

$g_{(кор)} = dg_1 - dg_2 = 3,573*10^{-8}$ м/сек^2 (14)

$dt * (V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) = g_{(кор)} * R / g$ (15)

$dt * (V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) = 4 * 0,005814815 = 0,023259$ м (16)

$g_{(кор)} * R / g = 3,573*10^{-8} * 6380000 / 9,8 = 0,023259$ м (17)

$V_{(пар)1} = 2 * 3,14 * R_1 / T = 6,28 * 6380080 / 86400 = 463,7372963$ м/сек *(10)*

$V_{(пар)2} = 2 * 3,14 * R_1 / T = 6,28 * 6380000/86400 = 463,7314815$ м/сек *(11)*

$dg_1 = g * V_{(пар)1} * dt / R = 9,8 * 463,7372963 * 4 / 6380000 = 0,002849295$ м/сек^2 *(12)*

$dg_2 = g*V_{(пар)2} * dt / R = 9,8 * 463,7314815 * 4 / 6380000 = 0,002849259$ м/сек^2 *(13)*

$g_{(кор)} = dg_1 – dg_2 = 3,573 * 10^{-8}$ м/сек^2 *(14)*

$dt*(V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) = g_{(кор)} * R / g$ *(15)*

$dt*(V_{(пар)1} - V_{(пар)2}) = 4 * 0,005814815 = 0,023259$ м *(16)*

$g_{(кор)} * R /g = 3,573*10^{-8} * 6380000 / 9,8 = 0,023259$ м *(17)*

*«Определяем ускорение Кориолиса, как разность ускорений инерции для указанных радиусов по выражению (14) 3,573*10^{-8}.*

Преобразуем (7) в (15), где в левой части показано произведение разницы линейных скоростей вращения Земли на отрезок времени (4 сек), которое является расстоянием, на которое сместится тело под действием силы Кориолиса.

Получаем по (16) отклонение тела на 2,326 см. И получаем по (17) отклонение тела на 2,326 см. Более точный результат получим, если разобьём путь 80 м на участки и определим отклонения для каждого участка».

Выше уже отмечалось, что по нашему мнению, свободное падение тел под действием силы тяготения не сопровождается действием силы Кориолиса. Если бы отклонение от вертикали происходило под действием ускорения, полученного по формуле Тигунцева, то расхождение с опытными данными, полученными при свободном падении тел на землю, было бы просто огромным. Действительно, подставив ускорение Кориолиса (aк), полученное по формуле (14) по Тигунцеву в формулу для пути, пройденного с ускорением (3.10) получим:

S (с учетом $a_к$ по Тигунцеву - ($g_{(кор)}$)) = $ак * t^2 / 2 = 3,573 * 10^{-8} * 4^2 / 2 =$ **0,000000286 м**

Чтобы согласовать формулу Тигунцева (14) с опытными данными понадобился бы дополнительный множитель не «2», а около «80 000».

Авторы из Удмуртии (***maholet.aero.ru***) утверждают, что «*формула ускорения Кориолиса при движении по направляющей завышена в два раза*», но соглашаются, что «*сила Кориолиса количественно верна*», а также считают, что для небесной механики в **два раза завышено не только ускорение Кориолиса, но и сила Кориолиса.** Мы солидарны с авторами по всем перечисленным выше позициям, кроме утверждения о том, что сила Кориолиса при движении *«в трубке»* (по направляющей) количественна верна. На наш взгляд при движении по направляющей сила Кориолиса в классической физике также завышена вдвое.

Приведем оригинальный текст:

«3.4.1. Замечания о силе Кориолиса

Ошибка заключается в том, что применяется теорема Кориолиса, которая годится лишь для грубого описания случаев движения тела в «жёсткой» трубке. Эта трубка (или канал) движутся с постоянной угловой скоростью ω, что неприемлемо для свободного движения тела, когда угловая скорость изменяется, как и в данном случае со стулом.

Теорему Кориолиса ошибочно применяют при анализе отклонений падения тел на землю, например, в шахту. Опытные данные подгоняют под теорему, как и аналогичные задачи в учебниках.

Сила Кориолиса определяется по формуле (жирным шрифтом выделяем вектора):

$\boldsymbol{F_к} = - \boldsymbol{a_к} \cdot m = -2 \boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{V_r} \cdot m$,

где V_r *– радиальная скорость движения тела массой m,* ω *– его угловая скорость. Это в 2 раза больше, чем при свободном движении тела. Направления ускорения и силы Кориолиса противоположны. При свободном же движении сила и ускорение имеют одно направление.*

Применение теоремы Кориолиса для свободного движения (например, планеты) не соответствует закону сохранения энергии.

Ускорение у Кориолиса завышено в 2 раза ошибкой при взятии производной вектора переносной скорости, из-за отрыва от физики.

Сила Кориолиса (при движении в трубке) количественно верна, но не обоснована физически. Половина силы Кориолиса, действительно, является силой инерции: при приближении к центру вращения тело тормозится трубкой, при удалении – разгоняется. Другая же половина силы обусловлена действием центробежной силы, точнее, её проекцией на направление, перпендикулярное радиусу движения в плоскости орбиты (о ней будем говорить далее). Эта половина силы не даёт ускорения – не позволяет трубка. Сила Кориолиса – это сумма двух различных сил».

Авторы не приводят поясняющий рисунок, поэтому, чтобы прокомментировать приведенный выше оригинальный текст, проиллюстрируем точку зрения авторов графически на Рис. 9.1. Центробежная сила (Fц), по мнению авторов, направлена вдоль радиуса кривизны (O1,B) дуги (BC). Авторы полагают, что вторая половина силы Кориолиса, обусловлена силой Fц1 (см. Рис.9.1). Однако центробежная сила это **не самостоятельная активная сила,** которая действует вдоль радиуса кривизны. В соответствии с изложенным механизмом вращательного движения центробежная сила это всего лишь радиальная составляющая результирующей силы, действующей в направлении переносного вращения. Среднее направление результирующей силы совпадает с вектором линейной скорости криволинейного движения, т.е. с касательной к кривой (BC). Вектор результирующей силы может иметь проекцию на любое попутное направление в полуплоскости, ограниченной линией, перпендикулярной к среднему положению вектора результирующей силы и не может иметь проекцию ни в одном из направлений в обратной полуплоскости, поскольку это бы означало изменение направления вращения на противоположное.

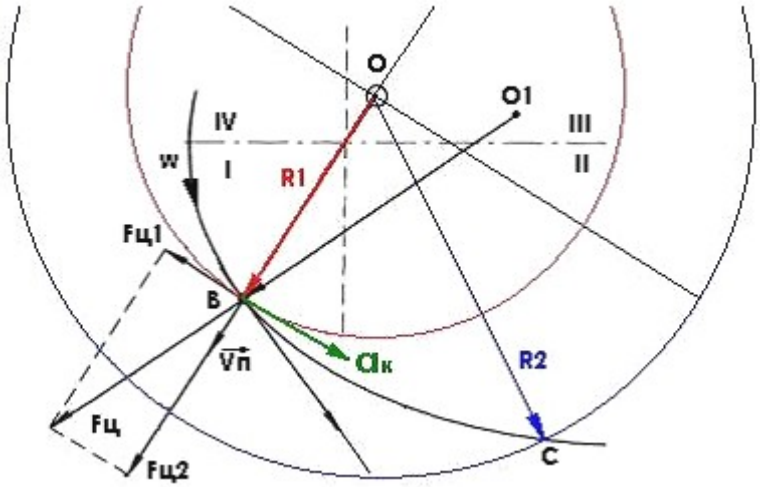


Рис. 9.1

Авторы утверждают, что: «*Направления ускорения и силы Кориолиса противоположны».* Здесь авторы, наверное, противоречат сами себе. Ведь, по их мнению (см. ниже) ускорение это скалярная величина: «*Как уже отмечалось в нашей работе (пар.3.3),* ***ускорение – это изменение скалярной величины скорости (или просто – величины скорости).*** *Направление ускорения определяется направлением ускоряющей силы».* В связи с этим не понятно, как сила и вызванное ей ускорение могут иметь противоположные направления? Ведь сила Кориолиса является ускоряющей силой для тела, движущегося с ускорением Кориолиса в направлении от центра вращения. Другое дело, что сила реакции, действующая со стороны тела на «трубку» направлена противоположно ускорению Кориолиса.

Далее авторы рассматривают движение свободнолетящего тела под действием центральной силы. Приведем еще одну цитату*:*

«3.4.2. Свободное движение

На рис.8 тело массы m под действием центральной силы $\boldsymbol{F}$ *(с центром в точке O) движется по кривой L переменного радиуса кривизны* $\boldsymbol{R'}$ *с центром кривизны O' со скоростью* $\boldsymbol{V}$*. Точка П – перицентр орбиты L. Скорость тела, находящегося в точке* ***в****, разложим на 2 составляющие:* V_R *–радиальная,* $\boldsymbol{V_{окр}}$ *– перпендикулярно радиусу обиты* $\boldsymbol{R}$ *.*

На тело m, помимо сил инерции, действуют 2 силы: центральная $\boldsymbol{F}$ *(или центростремительная) и центробежная сила* $\boldsymbol{F_ц}$*. Эту последнюю силу нельзя отнести к силам инерции (см. предыдущий параграф*

3.3). В небесной механике считается, что планеты движутся под действием одной центральной силы, что окружное (азимутальное, трансверсальное) ускорение равно нулю (спис. лит.- 46), что планеты имеют только центростремительное ускорение (с.л. 59, 76), направленное <u>всегда</u> к центру тяготения по радиусу. Однако, вечно «ускоряясь», ни одна из них не приблизилась к Солнцу.

Что же это за алхиметрия?! Если планета не имеет окружного ускорения, то, что же заставляет тогда её изменять окружную и угловую скорость, например, при переходе от апоцентра к перицентру?

*Итак, центробежную силу **Fц** , действующую по радиусу кривизны, разложим на 2 составляющие: **F'** – по радиусу орбиты (радиальная составляющая), **Fокр** – перпендикулярно этому радиусу – окружная составляющая.*

*С противоположной стороны от центра О в точке **a** движется центральное тяготеющее тело **M** (например, Земля, если m – Луна) с меньшим радиусом орбиты R_M = Oa.*

На рис. 9 представлены ускорения, действующие на тело m. О них поговорим позднее.

*Угол ψ – это угол между вектором орбитальной скорости **V** и вектором окружной скорости **Vокр**. Он положителен, если V_R – положительна. Угловая скорость ψ' положительна, если угол ψ растёт. При движении в I четверти (как на рисунках) и в IV четверти центробежная составляющая **F'** по модулю больше центральной силы **F** на величину кс. Они равны при углах истинной аномалии θ = 90° и 270°, что следует из расчётов. Во II и III четвертях F'<F. За счёт разницы этих сил и возникает радиальное ускорение $\boldsymbol{a}_r$, которое два раза меняет свой знак за 1 оборот тела по орбите. В I и IV четвертях это ускорение положительно – направлено от центра. Скорость положительна также при направлении от центра.*

*В I и II четвертях тело m, удаляется от центра О, окружная сила **Fокр** направлена назад – тело тормозится (в окружном и орбитальном направлениях). В III и IV четвертях (движение от апоцентра к перицентру) - ускоряется. Эту окружную силу **Fокр** и заменяют в небесной механике и в ряде земных задач ошибочно силой Кориолиса.*

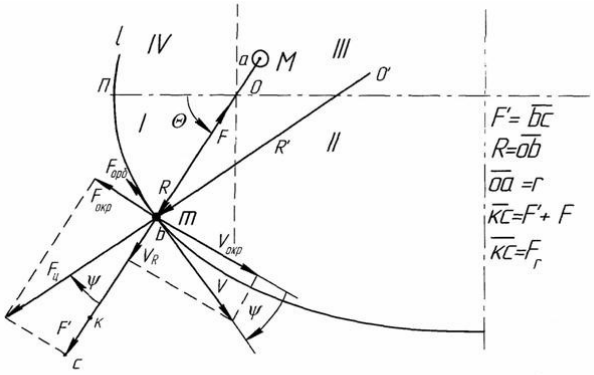


Рис. 8. Движение под действием центральной силы F

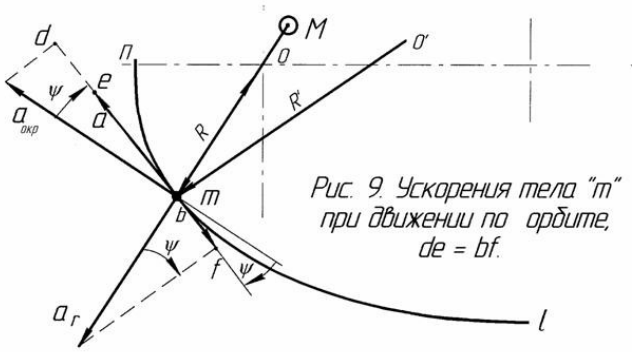


Рис. 9. Ускорения тела "m" при движении по орбите, de = bf.

Определим величину окружной силы и окружного ускорения .

<u>1 вариант вывода</u>. Величина этой силы была определена из сравнения работ центральной и орбитальной сил. Производилось также сравнение работы орбитальной силы с изменением кинетической энергии тела m (например, для случая на рис.10) с учётом того, что при отсутствии момента внешних сил момент количества движения постоянен (есть теорема), то есть в скалярном виде

$L = m \cdot V \cdot R \cdot \cos\psi = const.$

Задача решена на частных примерах и в квадратурах. Получилось, что все три энергии равны, если окружная сила (в скалярном виде):

$F_{окр} = a_{окр} \cdot m = -V_R \cdot \omega \cdot m.$

Здесь: окружное ускорение $a_{окр} = -V_R \cdot \omega$,

ω- *угловая скорость.*

Знак минус (-) означает, что при положительной радиальной скорости V_R *(движение от перицентра к апоцентру - подъём) ускорение и сила отрицательны, то есть тело тормозится.*

2 вариант. Величину окружной силы можно определить из 2 закона Кеплера, который запишем в скалярной форме:

$\acute{S} = ½ R V \cos \psi = ½ R V_{окр} = const.$

Секториальная скорость $\acute{S}$ *постоянна, поэтому её производная по времени равна нулю:*

$\acute{S}'_t = ½ [R'_t \cdot V_{окр} + R \cdot (V_{окр})'_t] = 0.$

Здесь:

$R'_t = V_R$ *- радиальная скорость, поскольку* R *- скаляр;*

$(V_{окр})'_t = a_{окр}$ *- окружное ускорение;*

$V_{окр} = \omega \cdot R_{окр} = \theta' \cdot R_{окр}$.

Тогда уравнение можно записать так:

$V_R \cdot \omega \cdot R_{окр} + R_{окр} \cdot a_{окр} = 0$.

Сократив на Rокр, получим :

$a_{окр} = -V_R \cdot \omega.$ *(формула 3.4.2.1)*

Окружная сила, с учётом 2 закона динамики, будет равна:

$F_{окр} = a_{окр} \cdot m = - V_R \cdot \omega \cdot m$. *(форм.3.4.2.2)*

Вновь получили такое же выражение окружного ускорения и окружной силы, что и в 1 варианте.

Ньютон, Лагранж и их последователи до наших дней допускают ошибку при выражении секториальной скорости:

$\acute{S} = ½ R V_{окр}.$

Её просто заменяют геометрическим выражением:

$S = ½ R^2_{окр} \omega,$

где радиус $R_{окр}$ *- фиксированная величина (в действительности* $R \neq R_{окр}$ *) .*

При взятии производной это даёт другой результат – окружное ускорение $a_{окр}$ *получается с двойкой, как у Кориолиса, но с другим знаком.*

3 вариант. Вместо 2-го закона Кеплера (во втором варианте вывода) можно взять закон постоянства момента количества движения в скалярной форме: $M = m V R \cos\psi$. *Результат опять будет таким же.*

Таким образом, при орбитальном свободном движении тело имеет окружное (азимутальное) ускорение $a_{окр}$ ***под воздействием окружной силы эфира***

$F_{окр} = -V_R \cdot \omega \cdot m.$

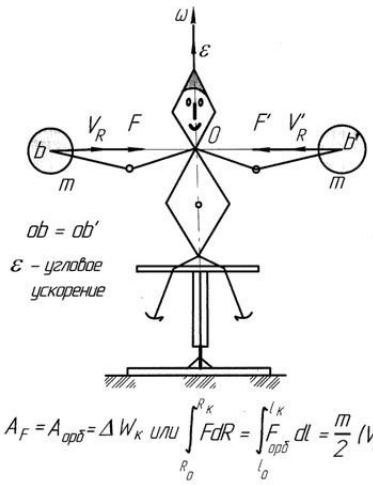


Рис. 10. Вращение на стуле– скамье Жуковского

Когда человек с гантелями вращается на стуле (рис.10), подтягивая их к себе, он ускоряется этой окружной силой. Этой силе приходится здесь разгонять не только гантели, но и человека со стулом. Поэтому ускорение разгона будет меньше, чем ***аокр****. Следовательно, в общем случае тело испытывает напряжённость окружной силы:*

$a_{окр}^{н} = F_{окр} / m$

А само ускорение тела будет

$a_{окр} = F_{окр} : m_{пр}$,

где $m_{пр}$ *- приведённая масса тела (стандартное понятие).*

Определим связь между ускорениями свободного тела m (согласно рис.8 и 9).

Продифференцируем по времени скорости:

$V_{окр} = V\cos\psi$, $V_R = V\sin\psi$.

Получим значения окружного и радиального ускорений:

$a_{окр} = (V_{окр})' = V'\cos\psi - V\sin\psi \cdot\psi' = a\cos\psi - V\psi'\sin\psi$,

где $a = V'$ *- орбитальное ускорение;*

$a_r = (V_R)' = V'\sin\psi + V\cos\psi\cdot\psi' = a\sin\psi + V\psi'\cos\psi$

- радиальное ускорение, направлено по радиусу орбиты; оно положительно, если направлено от центра.

После исключения произведения $V\psi'$ *из обоих выражений и несложных преобразований получим соотношение ускорений (в общем случае при несвободном движении - напряжений):*

$a = a_{окр}\cos\psi + a_r\sin\psi$ *(формула 3.4.2.3).*

Орбитальное ускорение равно сумме проекций окружного и радиального ускорения на направление касательной к траектории.

Орбитальная сила имеет направление ускорения и равна:

$F_{орб} = ma$ *(3.4.2.4).*

Для вычисления радиального ускорения надо сумму центробежной составляющей и центральной (центростремительной) сил (с учётом их знака) разделить на массу тела:

$a_r = (F' + F)/m = (F' - |F|)/m = F_r/m$ *(3.4.2.5).*

Здесь F_r *является радиальной силой, под действием которой и происходят радиальные перемещения и изменения скорости.*

Умножим равенство 3.4.2.3 на массу тела m, получим:

$ma = ma_{окр}\cos\psi + ma_r\sin\psi$.

Или, учитывая предыдущие соотношения и определения:

$F_{орб} = F_{окр}\cos\psi + F_r\sin\psi$ *(3.4.2.6).*

Орбитальная сила равна сумме проекций окружной и радиальной сил на направление касательной к траектории.

Таковы реальные физические ускорения и силы, действующие на движущееся тело под действием центральной силы.

Заметим, что при определении ускорений производная бралась не от вектора скорости (как принято в классической механике), а от величины скорости. Как уже отмечалось в нашей работе (пар.3.3), ***ускорение – это изменение скалярной величины скорости (или просто – величины скорости).*** *Направление ускорения определяется направлением ускоряющей силы.*

Как видно, мы не обнаружили центростремительного ускорения и в данной задаче. Есть радиальное ускорение, которое может быть направлено как к центру, так и от центра. Оно соответствует реальным перемещениям и изменениям скоростей тела. Нет центростремительных ускорений, есть центростремительные напряжения, вызванные центральной силой. И это следовало бы различать. Но физико-математики с этим не считаются. И складывают ускорения с напряжениями. И иногда получают теоремы.

Ускорение – это результат действия напряжений.

Следует обратить внимание, что окружные и орбитальные силы и ускорения дают проекцию на ось апсид (большая ось орбиты), всегда направленную к перицентру.

Справедливость полученных выражений можно проверить простым численным примером движения Земли вокруг Солнца. Нами проводились различные эксперименты по вращению тел с переменным радиусом. Под действием орбитальной силы эфира раскачиваются качели, падают тела, движутся планеты, спутники и т.д..

В литературе по баллистике и небесной механике в уравнениях орбитального движения, составленных в полярных или сферических координатах, присутствуют компоненты ускорения и силы Кориолиса, что даёт погрешность в расчётах траекторий.

Лишь то, что движется по Земле (поезда, реки…) или в «трубке» с постоянной угловой скоростью, испытывает действие сил Кориолиса с учётом замечаний подпараграфа 3.4.1.

В случае свободного движения тела в поле центральной силы работает схема сил и ускорений, представленная в данном подпараграфе 3.4.2. По данной схеме раскачиваются качели, падают тела, движутся по орбитам спутники, планеты и т.д.. Маятник Фуко испытывает действие орбитальной силы, но оно не влияет на суточный период обращения плоскости качаний, поскольку действие этой силы за полупериод качания компенсируется её противоположным действием за следующий полупериод».

Авторы считают, что все силы вращательного движения обусловлены движением тел в мировой среде эфире, т.е. все силы вращательного движения возникают под действием внешних сил.

«…*Она* (центробежная сила - авт.) *является обычной силой, подобной силам аэрогидродинамики, как, например, подъёмная сила крыла», «…центробежная сила есть результат сквозного обтекания тела эфирной средой».*

Мы не против признания эфира, как мировой среды и в этом отношении полностью согласны с В. А. Ацюковским (*см. «ОБЩАЯ ЭФИРОДИНАМИКА»)*. Но речь может идти только о влиянии эфира, как дополнительного фактора, а не как фактора, образующего вращательное движение. Ведь выталкивающая сила эфира появится только при разности скоростей обтекания эфиром движущегося тела. Скорость обтекания эфиром тела движущегося равномерно и прямолинейно со всех сторон одинаковая. Для получения разности скоростей необходимо иметь установившееся вращательное движение, когда скорость обтекания со стороны центра вращения будет отличаться от скорости с внешней стороны. Значит вначале должно возникнуть вращение со всеми вытекающими последствиями, а уже потом начнет сказываться влияние эфира. Поэтому представленная авторами схема образования сил вращения правомерна только для установившегося вращения в эфирной среде. При этом описанные силы, ни какого заметного влияния на параметры движения не окажут. Силы сопротивления эфирной среды для движения макротел настолько малы, что их проявление можно обнаружить только точными экспериментами или длительными наблюдениями. Силы воздействия эфирной среды на движение макротел можно рассматривать как дополнительный фактор, который в некоторых случаях необходимо учитывать, а не как основной фактор, определяющий движение тел.

Из приведенных цитат следует, что тело тормозится и ускоряется не за счет силы тяготения, а за счет составляющей центробежной силы (Fц1) (см. Рис.9.1). А сила, не позволяющая планетам упасть на Солнце, по мнению авторов, это составляющая центробежной силы (Fц2). Попробуем разобраться *«Что же это за алхиметрия?!…»,* говоря языком первоисточника, что же на самом деле заставляет разгоняться и тормозиться планеты и что удерживает их на своих орбитах? Удаляясь от Солнца планеты, тормозятся, т.к. ускорение тяготения направлено противоположно скорости движения. То есть сила тяготения направлена против проекции линейной скорости движения планет на направление действия силы тяготения. При приближении к Солнцу, скорость планет совпадает с ускорением тяготения, так как проекция линейной скорости движения на физический радиус и сила тяготения имеют одно направление. На круговых орбитах средняя скорость движения постоянна.

Ответ на второй вопрос, что удерживает планеты на своих орбитах, и почему они не падают на Солнце еще проще. Это, конечно же, центробежная сила инерции. Только сила инерции это не сила (Fц2), которая является проекцией центробежной силы (Fц) в представлении авторов. Центробежная сила инерции является проекцией результирующей силы криволинейного движения небесного тела по орбите на радиальное направление.

Относительно мнения авторов, что в небесной механике в два раза завышено не только ускорение, но и сила Кориолиса, можно сказать следующее. По нашему мнению в небесной механике **классическая** (см. 4.5 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЫВОД УСКОРЕНИЯ КОРИОЛИСА Р. ФЕЙНМАНА) сила Кориолиса не действует, поскольку сила тяготения не передает вращательного движения. При криволинейном движении любую силу математически можно выразить через угловую и радиальную скорость, но это еще не значит, что она является классической силой Кориолиса. Небесное тело, вращающееся относительно центрального тяготеющего тела по круговой (для простоты) орбите является вращающейся системой переносного вращения только для тел, движущихся относительно этого небесного тела, причем в непосредственном механическом контакте с ним. Небесное тело, движущееся по орбите не получает никакого вращательного движения в «чистом виде» от какой-то посторонней для него вращающейся системы. Оно само является участником вращательного движения, которое образуется в результате обычных взаимодействий небесного тела с внешней для него силой тяготения. Причем сила тяготения действует непосредственно вдоль прямой, соединяющей центры масс взаимодействующих тел и вращательного движения источника тяготения не передает.

Говоря о свободном движении тел, авторы видимо имеют в виду ненаблюдаемую силу Кориолиса, проявляющуюся в соответствии с законом сохранения момента количества движения. Мы солидарны с ними, в том, что такая сила Кориолиса реально существует и что ее величина вдове меньше силы Кориолиса, определяемой в соответствии с классической формулой. Однако в таком случае классическая сила Кориолиса *«в трубке»* не может быть вдвое больше ненаблюдаемой силы Кориолиса, т.к. эти силы должны быть равны по абсолютной величине и противоположны по направлению в соответствии с третьим законом Ньютона. Мы также не согласны с методом определения ненаблюдаемой силы Кориолиса через проекцию центробежной силы (Fц2), представленным авторами, о чем говорилось выше.

Ряд авторов, с которыми мы не согласны относительно природы силы Кориолиса, предлагают, совершенно несостоятельные, на наш взгляд, идеи, например, движитель кориолисового типа.

Так Сергей **Макухин** (***makss59@mail.ru*** *дата публикации 28.10.2003 г. источник* ***SciTecLibrary.ru***) пишет:

«Космическое "антигравитационное" – левитирующее средство, на мой взгляд, возможно. Если его выполнить в виде контурной трубчатой равнобедренной трапеции, направленной малым основанием вниз, а большим вверх, так чтобы ее стороны совпадали с нормалями, например на экваторе, к поверхности Земли или иначе служили продолжениями радиусов, направленных к центру планеты. Понятно, что чем больше масштабы конструкции и скорость жидкости в этом замкнутом контуре, тем больше подъемная сила или если ток в контуре-трапеции сменить на обратный – она будет утяжеляться. Заметим, что основания трапеции будут располагаться параллельно поверхности земли. Для этой цели может подойти проводящий контур-трапеция, в котором течет электрический ток. Конструкция может иметь и объемный вид при каркасно-контурном расположении в пространстве. Механика этого процесса такова, что "противоположные" векторы силы Кориолиса на перевернутой трапеции перпендикулярны радиусам-нормалям Земли, совпадающими со сторонами контурной трапеции и поэтому их сложение не дает в сумме нуль по вертикали, так как нормали находятся под углом друг к другу. Что и обеспечивает подъем конструкции или ее утяжеление за счет суммы "противоположных" сил Кориолиса в контуре».

Куда бы ни была направлена сила Кориолиса со стороны потока в замкнутой системе: трапеция-Земля, она будет уравновешена реакцией системы. Сила Кориолиса ни к чему, кроме напряжения конструкции не приведет. Может быть, в зависимости от жесткости материала трапеции, центр тяжести трапеции несколько отодвинется от поверхности за счет деформации, но только без полного отрыва трапеции от земли.

Воздействие на замкнутую систему сил отталкивания или притяжения не противоречит физике, например, за счет электромагнетизма, если в системе протекает электрический ток. Но это не есть воздействие через пустоту. Воздействие через пустоту, или дальнодействие, вообще не возможно. Носители магнитного поля имеют непосредственный контакт с током, протекающим в системе. Сила же Кориолиса не может действовать на расстоянии, подобно магнитному полю, поскольку сила Кориолиса это сила, возникающая при непосредственном прямом взаимодействии тел внутри вращающейся системы. **Носителей силы Кориолиса, действующих на расстоянии, в природе не существует**, а сила тяготения вращательного движения не передает. Поэтому через некоторое время, обусловленное инерцией трапеции и инерцией рабочего тела, после предполагаемой автором потери трапецией прямого контакта с Землей, движущийся поток приведет к выравниванию линейных скоростей нижнего и верхнего оснований трапеции относительно центра вращения Земли.

С потерей прямого контакта с Землей перестанет действовать сила, разгоняющая движущийся внутри трапеции поток от линейной скорости, соответствующей радиусу уровня нижнего основания, до линейной скорости радиуса уровня верхнего основания. Выражаясь словами автора, когда «боковые стороны трапеции» перестанут быть «продолжением радиусов планеты», сила Кориолиса перестанет действовать. При этом вся конструкция подобно телу, брошенному в шахту, упадет на землю с отклонением на восток. И то, что внутри контура при этом будет циркулировать поток жидкости или ток, нисколько этому не помешает.

Приходовский Михаил Анатольевич *(Приходовский Михаил Анатольевич (канд. физ.-матем.наук, г.Томск) prihod1@mail.ru, 07.04.04 www.INAUKA.ru*) так же поддерживает идею полетов с использованием силы Кориолиса. Он предлагает использовать силу Кориолиса, действующую на тело со стороны, вращающейся вселенной. Даже люди с учеными степенями полагают, что сила Кориолиса может действовать на расстоянии. Сила Кориолиса действует только внутри вращающейся системы, и далекие полеты за ее пределы с помощью силы Кориолиса по нашему мнению, вряд ли возможны.

Другой автор, **Суханов** Владимир Николаевич предложил вывод полной формулы ускорения Кориолиса (*Зарегистрировано во ВНТИЦ 01 декабря 2000 года под номером 72200000039 статья опубликована в книге "Изобретательское Творчество"* в 2003):

« 2.1. Вывод полной формулы ускорения Кориолиса

В статье представлен вывод формулы Кориолиса ускорения с использованием закона сохранения энергии.

Полная формула Кориолиса ускорения (см. Приложение п. 2.2 "Ускорение относительного движения, возникающее в центре вращения системы отсчета") имеет вид:

$$X''_1 = \omega X'(2X-dX) / (X-dX) ;$$
$$X''_2 = \omega X'(2X+dX) / (X+dX) ,$$

Где: ***ω*** *- угловая скорость вращения системы отсчета,*

X' *- линейная относительная скорость материальной точки, направление которой пересекает центр вращения системы отсчета,*

X *- расстояние между центром вращения системы отсчета и материальной точкой,*

dX *- величина приращения* ***X****, стремящаяся к нулю,*

X''_1 *- ускорение Кориолиса при приближении материальной точки к центру вращения,*

X''_2 *- ускорение Кориолиса при удалении материальной точки от центра вращения.*

2.2. Ускорение относительного движения, возникающее в центре вращения системы отсчета.

Известна формула Кориолиса ускорения ***X''*** *материальной точки:*

$$X'' = 2\omega V ,$$

Где: ***ω*** *- угловая скорость вращения системы отсчета,*

V *- линейная относительная скорость материальной точки, направление вектора которой пересекает центр вращения системы отсчета.*

Если материальная точка, при своем движении, пересекает центр вращения системы отсчета, то

$$X'' = \omega V .$$

То есть Кориолиса ускорение изменяется от обычного в два раза. Полная запись формулы Кориолиса ускорения (см. Приложение п. 2.1 "Вывод полной формулы ускорения Кориолиса"), при приближении к центру, может быть представлена в виде:

$$X'' = \omega V(2X - dX) / (X - dX),$$

Где: ***X*** *- расстояние между центром вращения системы отсчета и материальной точкой,*

dX *- величина приращения* ***X****, стремящаяся к нулю.*

В большинстве случаев ***X*** *не стремиться к нулю, следовательно:*

$$(2X - dX) / (X - dX) = 2 .$$

Следует отметить, что при приближении к центру на расстояние несколько ***dX,*** ***X''*** *начинает возрастать и при* ***X*** *стремящемся к* ***dX,*** ***X''*** *стремиться к бесконечности и меняет свой знак на противоположный. Кориолиса ускорение начинает действовать в противоположном направлении по сравнению с обычным. Далее,* ***X''*** *резко снижается до нуля (при* ***X,*** *стремящемся к* ***0,5dX****) и снова возрастает. При прохождении через центр (****X****=0)* ***X'' = ωV****. При удалении от центра* ***X''*** *стремиться к* ***2ωV*** *и при* ***X*** *достигшим нескольких* ***dX,*** ***X''*** *- практически уже равно* ***2ω V****.*

Полная запись формулы при удалении от центра:

$$X'' = \omega V(2X+dX) / (X+dX)$$ *(см. график).*

Графические зависимости двух приведенных формул для ***X''****, имеют зеркальную симметрию по вертикали (относительно оси* ***X''****).*

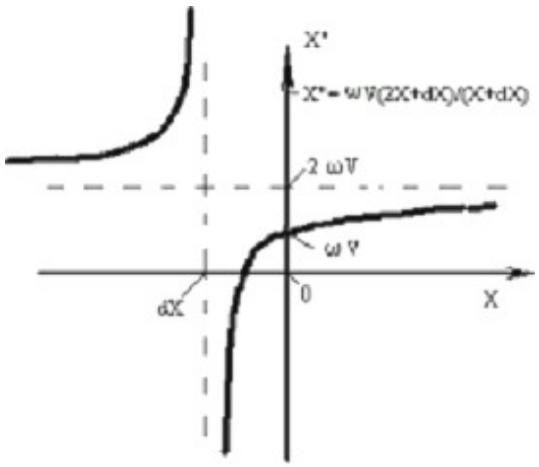


График.
Ускорение относительного движения,
возникающее в центре вращения системы отсчета.

Режим приближения к центру может быть опасным для механизма (и перемещения в целом) из-за броска величины ускорения от нормального до нуля через бесконечность с изменением знака. При этом не исключены разрушения. Предложенное уточнение может объяснить неожиданности, возникающие при полетах летательных аппаратов в турбулентной атмосфере и у географических полюсов.

С некоторыми выводами автора можно согласиться, но далеко не со всеми. При приближении к центру вращения за счёт резкого увеличения угловой скорости вращения абсолютное ускорение, в том числе и ускорение Кориолиса действительно резко увеличиваются и теоретически стремятся к бесконечности. Однако при приближении к центру вращения увеличивается только ускорение Кориолиса, обусловленное радиальным относительным движением, т.к. дополнительное ускорение за счёт относительного движения, перпендикулярного радиусу является частью центростремительного ускорения. В центре же вращения ускорение Кориолиса действительно равно половине классического ускорения Кориолиса. Однако это происходит вовсе не потому, что формула ускорения Кориолиса, представленная автором при ***X,*** равном нулю *(**X**=0)* приобретает, по мнению автора, вид ***(X''=ωV),*** а потому что ускорение Кориолиса при неизменной радиальной и угловой скорости всегда равно половине классического ускорения Кориолиса.

Кроме того, при наличии переносного вращения и ненулевой радиальной скорости ускорение Кориолиса никогда не равно нулю ни на расстоянии до центра вращения (X), стремящемся к (**0,5dX)**, ни непосредственно в центре вращения, ни на любом другом расстоянии от центра вращения. Ни в одной точке на радиусе переносного вращения параметры изменения направления вектора радиальной скорости не меняются. В центре вращения в нуль обращается только радиус переносного вращения, а, следовательно, и центростремительное ускорение в составе абсолютного движения, в том числе и ***дополнительное ускорение*** при нормальном к радиусу относительном движении, что ещё раз подтверждает, что ***дополнительное ускорение*** не является ускорением Кориолиса, а является условной составной частью центростремительного ускорения.

У Суханова при значении (**X**), стремящемся к (**0,5dX)** ускорение Кориолиса стремится к нулю, а затем снова возрастает до ***(X''=ωV)*** в центре переносного вращения и до ***(X''=2ωV)*** при достижении радиуса переносного вращения нескольких (**dX).** На графике видно, что при (X=–0,5*dX**)** ускорение Кориолиса равно нулю, а при положительных значениях (X) в симметричной точке (X=+0,5*dX**)** ускорение Кориолиса равно промежуточному значению между (***ωV***) и (***2ωV***). Из этого следует, что точки радиуса, соответствующие (X=|0,5*dX|**)** при разных направлениях радиального движения имеют разные физические свойства. Если сменить направление радиального движения, то, следуя логике автора точки (X=|0,5*dX|**)** поменяют свои свойства с точностью до «наоборот», что необъяснимо с физической точки зрения.

К сожалению, автор не приводит обоснования своих взглядов с физической точки зрения, что стало традиционным для современной физики явлением. По-видимому, все свои выводы автор сделал исключительно на основе математического анализа предложенной им формулы. Поэтому физический смысл ускорения Кориолиса в видении автора, а также наличие множителя «2» в приведённой формуле вдали от центра вращения остаётся, как и следовало ожидать по традиции современной физики, без физического объяснения.

10. БЕЗОПОРНОЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.

10.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПОРНОГО ДВИЖЕНИЯ.

Рассматривая вопросы вращательного движения нельзя обойти стороной явление безопорного движения, которое напрямую связано с силами инерции, проявляющимися во вращательном движении. Во второй трети двадцатого столетия в физике появился «феномен» безопорного движения, которое демонстрировали устройства под названием инерцоиды. Наука долгое время игнорировала это явление. Официальная физика до сих пор считает, что такое движение противоречит основным законам природы и в частности третьему закону Ньютона, закону сохранения энергии и закону сохранения импульса.

Так В. Околотин на сайте N-T.ru с иронией пишет: «*При конструировании инерцоидов не забывайте, чем это грозит. Ведь если подобное удастся, содрогнется не только техника, а и вся наука, ибо на сохранении импульса базируются все знания человечества. А раз так, то не лучше ли, прежде чем браться за очередной инерцоид, проштудировать соответствующую литературу?*»

Наиболее очевидное объяснение движения инерцоида это **взаимодействие с окружающей средой** в условиях, когда сумма сил инерции и сопротивления среды за цикл, равный полному обороту каждого груза не равна нулю. При этом никакого нарушения закона сохранения импульса не происходит. Однако такое объяснение устраивает далеко не всех. Сторонники безопорного движения считают, что основной движущей силой инерцоидов является центробежная сила инерции, а не взаимодействие инерцоида с окружающей средой. В настоящее время изобретателями разных стран созданы многочисленные модели устройств, способных двигаться поступательно без видимого взаимодействия с внешней средой. В нашей стране наиболее известен инерцоид В. Н Толчина (Рис.10.1.1). Сам Толчин и его последователи считают, что инерцоид должен двигаться и без взаимодействия с опорой. По утверждению Г. И. Шипова, такое движение действительно происходит, причем объясняется оно существованием сил инерции как самостоятельного физического феномена, определяемого вводимой физиком характеристикой -

"кручением пространства" (по аналогии с определяющей гравитацию "кривизной пространства"). - («Теория физического вакуума» М., Наука, 1997 г.)

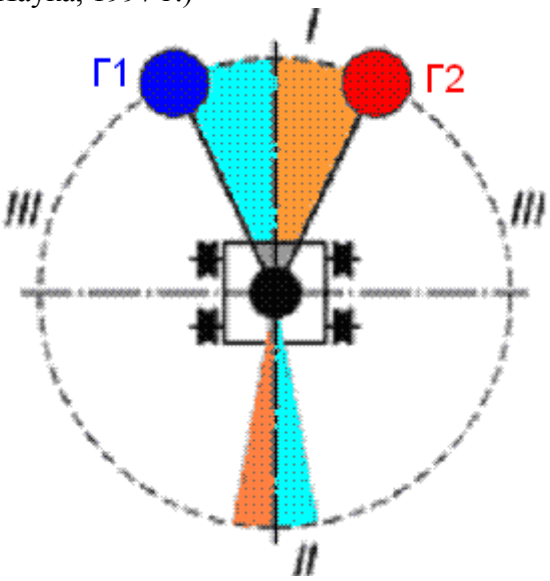


Рис. 10.1.1 Инерцоид Толчина.

В тележках В. Толчина грузы ускоряются (зона I), замедляются (зона II) или двигаются по инерции (зона III).

Инерцоид Толчина представляет собой тележку, на которой смонтированы вращающиеся грузы (Рис.10.1.2). Грузы соединены с осями вращения жесткими рычагами. Вращение грузов осуществляется синхронно во встречных направлениях. Если скорость вращения грузов в разных полуплоскостях относительно поперечной оси симметрии разная, то система тележка - грузы осуществляет поступательное движение в сторону полуплоскости, в которой угловая скорость вращения грузов больше. При этом привод на колеса отсутствует. Внешне все выглядит так, как будто инерцоид совершает безопорное движение.

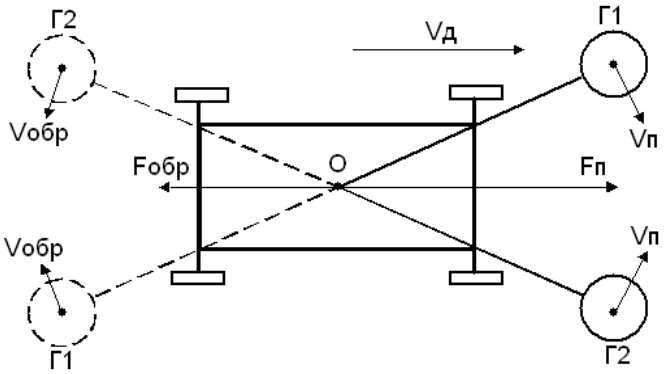


Рис. 10.1.2

Закон сохранения импульса гласит, что векторная сумма всех изменений импульсов внутри замкнутой системы равна нулю. Если грузы в результате реактивного взаимодействия с тележкой получат импульс движения в каком-то направлении, то в соответствии с законом сохранения импульса тележка должна получить такой же по величине импульс в обратном направлении. При этом общее количество движения всей системы не изменится. Для того чтобы изменить импульс движения замкнутой системы, необходим внешний импульс. Замкнутая система может изменить импульс движения, только получив, или передав часть своего импульса другому телу, не входящему в замкнутую систему или изменив свою массу, что также эквивалентно изменению импульса системы. Таким образом, основное возражение против безопорного движения заключается в том, что замкнутая система не может изменить количество своего движения без взаимодействия с окружающей средой.

Вполне реально наблюдаемое поступательное движение инерцоидов скептически настроенные исследователи пытаются объяснить за счет сопротивления внешней среды. При более быстром вращении грузов в передней полуплоскости инерцоида создается более интенсивный, т.е. более сконцентрированный во времени импульс силы тяги, чем в противоположной полуплоскости. Если сила трения колес инерцоида с опорной поверхностью в некотором диапазоне скоростей не зависит от скорости движения и одинакова в обоих направлениях, как, например, при движении по сухой твердой поверхности, то инерцоид легче преодолевает сопротивление движению в прямом направлении. В результате откат инерцоида назад оказывается меньше, чем его продвижение в прямом направлении, поэтому инерцоид рывками передвигается в прямом направлении. При движении по водной поверхности сила сопротивления

пропорциональна скорости движения, поэтому на водной поверхности в зависимости от параметров инерцоида он может совершать либо только возвратно-поступательные движения без изменения общего положения центра масс в пространстве, либо двигаться в сторону силы тяги с наименьшей интенсивностью. Однако не исключено, что роль силы трения в поступательном перемещении инерцоидов несколько преувеличена.

Во-первых: инерцоиды передвигаются поступательно, даже если принять меры по максимально возможному снижению трения в осях колес и в местах соприкосновения колес с твердой поверхностью опоры. Более того, при снижении трения эффект поступательного движения инерцоидов по твердой поверхности проявляется в еще большей степени. Это отмечают даже противники безопорного движения, которые объясняют поступательное движение инерцоида только за счет его взаимодействия с окружающей средой. Однако инерцоид Толчина, например, преодолевает поперечные преграды, закручивает нить подвешенного коромысла, на котором уравновешены два инерцоида, поднимая все конструкцию вверх, передвигается по качели, не вызывая реакции отдачи и тому подобное. Следовательно, поступательное движение инерцоидов нельзя объяснить только за счет силы трения, сдерживающей его движение в одном из направлений больше чем в другом. Кроме того, количественные расчеты поступательного движения только за счет сил трения значительно отличаются от реальных параметров движения инерцоидов.

Во-вторых: в поступательном движении инерцоида кроме механизма несимметричного влияния на движение инерцоида сопротивления внешней среды (в условиях проявления в противоположных направлениях одинакового импульса силы разной интенсивности) задействован механизм движения за счет разности центробежной силы инерции в противоположных направлениях по абсолютной величине. Простой расчет показывает, что при разной угловой скорости вращения грузов в разных полуплоскостях импульс силы тем больше, чем больше их угловая скорость. Поскольку центробежная сила инерции пропорциональна квадрату угловой скорости, а линейная скорость движения грузов по окружности только первой степени угловой скорости, то при увеличении скорости вращения грузов происходит не только концентрация импульса силы во времени, но и его увеличение по абсолютной величине прямо пропорциональное угловой скорости вращения ($k=\omega_2/\omega_1$).

При превышении инерционной составляющей движения, являющейся основной для инерцоида, он может двигаться в прямом направлении не только по суше, но и по водной поверхности. При этом силы сопротивления среды только препятствуют поступательному движению инерцоида. Поэтому ситуация в которой инерцоид передвигается по воде и по суше в разных направлениях не может свидетельствовать об исключительной роли сил сопротивления внешней среды в поступательном движении инерцоида.

В-третьих, поскольку в поступательном движении инерцоида в среде в общем случае задействованы два разных физических механизма, то силами внешнего сопротивления можно объяснить только движение инерцоида в среде. Не вызывает сомнений, что в безопорном пространстве перемещение центра масс замкнутой системы за счет реактивного взаимодействия ее составных частей без учета силы инерции их движения до взаимодействия, невозможно (см. ниже). Однако не следует забывать про вторую составляющую движения инерцоида. К сожалению, до настоящего времени опыты с инерцоидами в безопорном пространстве не проводились, по крайней мере, официальных сведений об этом не существует. Поэтому однозначно утверждать, что движение за счет силы инерции в принципе невозможно, по меньшей мере, некорректно. Кроме того, природа сил инерции современной физикой не установлена, следовательно, утверждения скептиков о невозможности движения за счет силы инерции на сегодняшний день является абсолютно голословным. (Безопорным пространством здесь и далее будем условно считать вакуум (в его традиционном понимании), в котором также отсутствует и сила тяготения).

Импульс двух тел, взаимодействующих между собой, остается неизменным только в том случае, если их взаимодействие осуществляется без воздействия внешних сил. Если изменить импульс движения частей одного из взаимодействующих тел, например, грузов без изменения суммарного импульса этого тела и суммарного импульса всей системы (инерцоид) в целом, то при определенных обстоятельствах импульс, полученный частями одного из взаимодействующих тел (грузами), может стать внешним для всей системы (см. ниже). Если предположить, что явление инерции связано с взаимодействием материальных тел с мировой материальной средой, то замкнутой системой в чистом виде является только вся вселенная в целом. Поэтому никаких принципиальных запретов на поступательное движение инерцоидов в природе не существует (см. главу 1.2.ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ).

Г. И. Шипов в работе «Теория физического вакуума» М., Наука, 1997 г., а также в ряде своих статей предложил теоретическое обоснование безопорного движения. К сожалению, как и в большинстве современных теорий, упор сделан на феноменологическое и математическое (количественное описание явления). В работах Шипова есть ссылки на обнаруженные отклонения от механики Ньютона без разъяснения сути и причины этих отклонений. Введены некоторые небесспорные понятия, такие как «кручение пространства» и другие. «Кручение пространства» наряду с эйнштейновской «кривизной пространства» является скорее философским и математическим понятием, чем физическим. Любое явление, которое пытаются объяснить, основываясь на математических понятиях, не добавляют понимания физической сущности явления. Во всяком случае, большинством современных исследователей безопорное движение по-прежнему не признается даже после выхода в свет теории Г. И. Шипова.

10.2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ИНЕРЦОИДЕ БЕЗ УЧЕТА ИНЕРЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВ ПО ОКРУЖНОСТИ

Для того чтобы обосновать или опровергнуть безопорное движение, как реально наблюдаемое в природе явление, недостаточно голословного отрицания со ссылкой на закон сохранения импульса. Не вызывает также доверия и обоснование безопорного движения с помощью феноменологических теорий. Грузы и тележка совершают сложное движение, в котором не легко разглядеть причину реально наблюдаемого поступательного перемещения инерцоидов. Необходима детальная проработка механизма движения инерцоида с точки зрения фундаментальных законов природы. И только взвесив все «за» и «против» можно сделать какие-то выводы.

В процессе вращения грузов под действием привода инерцоида между грузами и тележкой происходит реактивное взаимодействие. Рассмотрим реактивное взаимодействие грузов и тележки только с точки зрения взаимодействия их реальных масс без учёта инерции их движения. Причем под реактивным движением будем понимать не только классическое движение с отбрасыванием масс, но и движение по сближению материальных тел при взаимодействии друг с другом. Будем считать, что энергия взаимодействия распределяется между взаимодействующими телами и полностью преобразуется в кинетическую энергию движения взаимодействующих тел по линии взаимодействия со скоростями обратно пропорциональными соотношению их масс (Рис. 10.2.1). При этом будем считать, что линия взаимодействия это оси (OX) и (OY), а реактивное взаимодействие происходит между двумя телами: тележкой и телом под названием «грузы», масса которого равна массе тележки. Когда «грузы» находятся по одну сторону от поперечной оси (OY) такое допущение в плане реактивного взаимодействия «грузов» и тележки вдоль оси (OX) вполне правомерно.

Полный цикл реактивного взаимодействия грузов и тележки вдоль каждой из осей координат происходит на отрезке их максимального сближения или максимального расхождения вдоль выбранных осей в зависимости от фазы процесса. Максимальное сближение и максимальное расхождение между грузами и тележкой определяется размерами радиуса вращения грузов. Поэтому законченным циклом реактивного взаимодействия будем считать взаимодействие грузов и тележки вдоль осей координат в пределах величины радиуса окружности, описываемой грузами. Рассмотрим реактивное взаимодействие грузов и тележки в правой полуплоскости относительно оси (OY) на примере одной первой (I) четверти вращательного движения. На рисунке 10.2.1 изображена эквивалентная схема инерцоида с приводом вращения грузов, поясняющая действие сил, возникающих в процессе реактивного взаимодействия грузов и тележки.

Инерцоид на Рис. 10.2.1 представлен в виде жесткой балки на колесах (Т) и рамки привода (П), между которыми расположены две пружины. Внутри рамки привода находится еще одна пружина, установленная между грузами. Пусть изначально пружины между (Т) и (П) находятся в растянутом состоянии, а пружина между грузами в сжатом состоянии. Пружины приводят в движение грузы (Г1), (Г2) посредством рамки привода (П). На Рис.10.2.1 инерцоид находится в фазе, когда пружины между (Т) и (П) сжимаются, а пружина между грузами расправляется. Чтобы смоделировать вращение грузов, после того как их центр тяжести окажется на одной линии с центром тяжести тележки вдоль оси (OУ) можно представить, что при переходе грузами оси (OУ) пружины мгновенно заменяются другими аналогичными пружинами, но работающими в противоположном направлении. После достижения «грузами» крайней левой относительно рисунка точки, можно опять представить соответствующую замену пружин и т. д. до завершения полного оборота грузов. Таким образом, получим эквивалентную схему реального привода вращения грузов в инерцоиде.

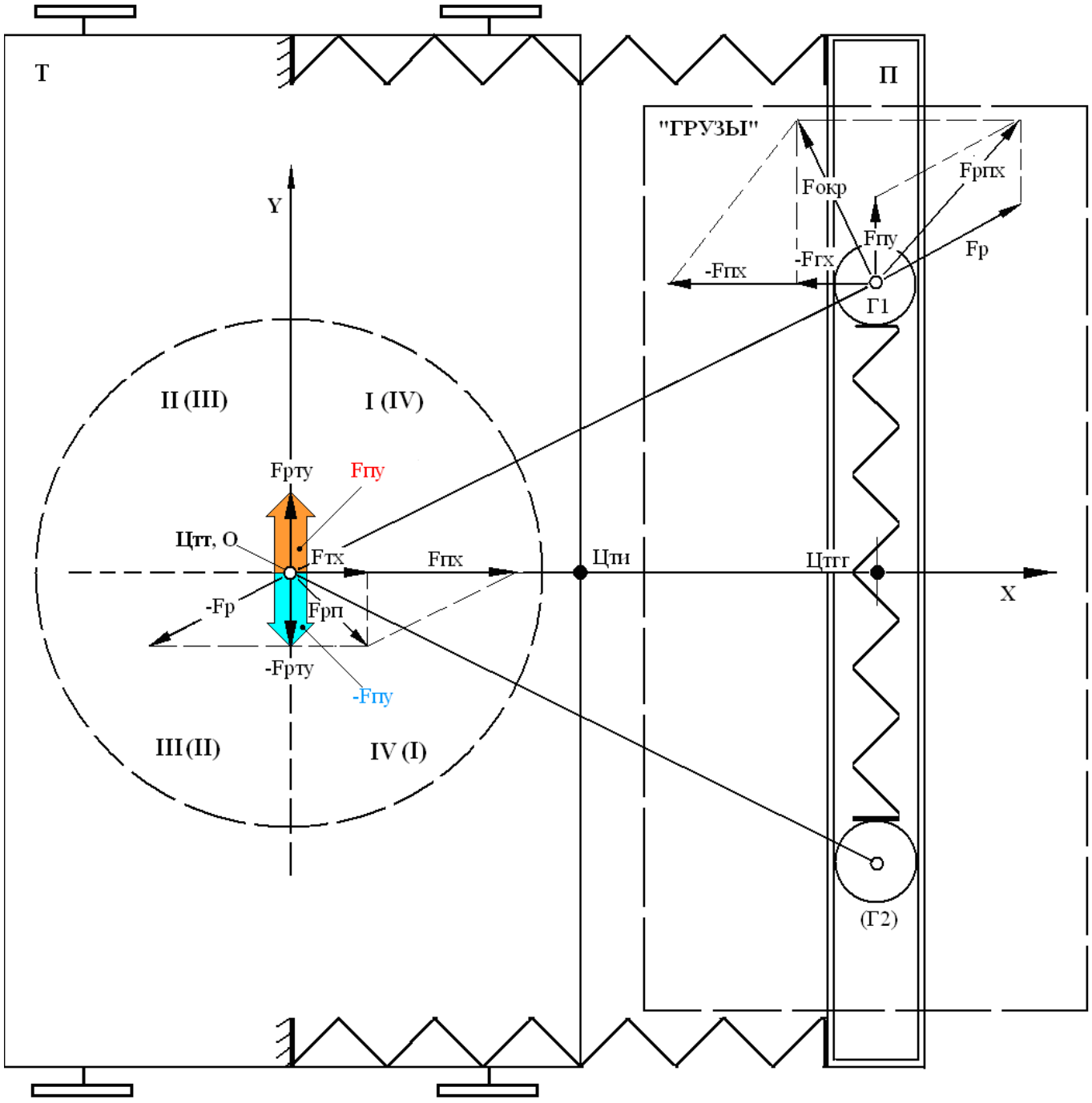


Рис. 10.2.1

Привод обычно установлен на тележке и входит в общую массу тележки, поэтому будем считать, что масса рамки привода (П) и пружин, которые вместе собственно, и являются эквивалентом привода, сосредоточена в центре тяжести тележки (Цтт), т.е. будем считать, что привод, который изображен на рисунке отдельно от тележки, не имеет массы. Чтобы не загромождать рисунок схема действия сил показана на примере одного груза (Г1) и сил реакции, проявляющихся в процессе реактивного взаимодействия груза (Г1) и тележки (Т). Поскольку схема инерцоида абсолютно симметрична, то силы действующие на груз (Г2) и реакция на них тележки и рычагов зеркально симметричны относительно оси (ОХ) показанным силам. Нумерация четвертей выполнена по ходу движения груза (Г1) основным текстом. Учитывая, что груз (Г2) движется в противоположную сторону симметрично грузу (Г1) относительно оси (ОХ), то для груза (Г2) первой четвертью будет четвертая четверть на рисунке. Далее по ходу движения груза (Г2) нумерация четвертей для груза (Г2) обозначена в скобках.

На груз (Г1) действует **сила привода вдоль продольной оси** (-Fпх). Кроме того, со стороны рычага и части рамки (П), заключенной между грузами, на груз (Г1) действуют **сила реакции рычага** (Fр) и **сила привода (Fпу) вдоль поперечной оси (ОУ).** Чтобы определить результирующую силу, действующую вдоль оси (ОХ) на груз (Г1) сначала найдем равнодействующую сил реакции рычага (Fр) и привода (Fпу). Сложив их по правилу параллелограмма определим равнодействующую этих сил – **суммарную силу привода и реакции** (Fпрх). Затем определим равнодействующую всех сил, действующих на груз (Г1). Сложив по правилу параллелограмма силу (Fпрх) с силой (-Fпх) получим **силу окружную** (Fокр). Проекция силы (Fокр) на ось (ОХ) действует на груз (Г1) вдоль оси (ОХ) с **силой груза вдоль продольной оси** (Fгх). На общий центр тяжести грузов (Цтт) вдоль оси (ОХ) действует удвоенная сила грузов (2Fгх).

На тележку со стороны одного груза (Г1) действует **сила привода** (Fпх) и **сила реакции рычага** (-Fр). Кроме того, рычаги воздействуют на тележку с **силой привода** (±Fпу). Ответные на это воздействие силы реакции со стороны тележки это **силы реакции тележки** (Fрту) и (-Fрту). Эти силы равны по величине и противоположны по направлению и действуют вдоль одной линии. Следовательно, все силы, действующие на тележку вдоль оси (OY) со стороны грузов под действием привода или инерции грузов, взаимно компенсируются и их можно не учитывать.

По правилу параллелограмма определим равнодействующую силы реакции рычага и силы привода в центре тяжести тележки, т.е. **суммарную силу реакции и привода** (Fрп). Проекцией силы (Fрп) на ось (OX) является **сила тележки** (Fтх). Это сила, действующая на тележку при ее взаимодействии с одним грузом (Г1). Если учесть второй груз (Г2), то суммарная сила, действующая на тележку со стороны грузов будет равна удвоенной силе, действующей на тележку (Fтх) вдоль оси (OX), т.е. сила (2Fтх).

В соответствии с третьим законом Ньютона:

$-2F_{хг} = +2F_{хт}$

Время взаимодействия время (t) является общим для действия каждой из этих сил. Следовательно, импульсы сил, полученные тележкой и грузами вдоль оси (OX) в результате их реактивного сближения в первой четверти вращения грузов равны по величине и противоположны по направлению:

$-\ t*2F_{гх} = +\ t*2F_{тх}$

или:

$-\ t*2F_{гх} + t*2F_{тх} = 0$

Таким образом, в фазе реактивного сближения грузов и тележки в первой четверти вращения для каждого из грузов суммарное изменение импульса движения инерцоида относительно оси (OX) равно нулю. Это означает, что если остановить движение грузов и тележки при пересечении грузами поперечной оси (OY), жестко связанной с осью вращения грузов, то импульс замкнутой системы инерцоида также будет равен нулю.

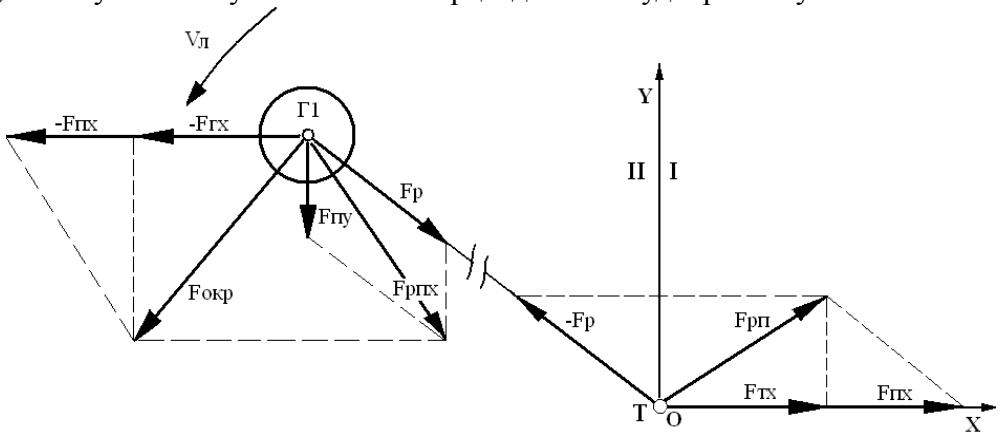


Рис. 10.2.2

Когда грузы пересекают ось (OX) и оказываются во второй четверти, наступает фаза реактивного расхождения грузов с тележкой. В механизме их реактивного взаимодействия с тележкой принципиально ничего не меняется. Поэтому суммарное изменение импульса движения инерцоида вдоль продольной оси при прохождении грузами второй четверти кругового движения также равно нулю (см. Рис. 10.2.2). В третьей четверти вновь наступает фаза реактивного сближения, а в четвертой – фаза реактивного расхождения.

Совершенно аналогично можно показать, что в каждой последующей четверти кругового движения тела «грузы» суммарный импульс движения инерцоида относительно оси (OX) за счет реактивного взаимодействия реальных масс без учёта инерции их движения не изменится. Следовательно, за полный оборот грузов в процессе их реактивного взаимодействия с тележкой без учёта влияния инерции кругового движения грузов, изменения импульса движения инерцоида вдоль оси (OX) не происходит, что соответствует классическому закону сохранения импульса. Что касается сохранения импульса при реактивном взаимодействии грузов и тележки относительно оси (OY), то здесь все гораздо проще.

По сути дела вдоль поперечной оси грузы через тело тележки и связующие рычаги взаимодействуют только **между собой**. В соответствии с классическим законом сохранения импульса общий импульс системы из двух одинаковых грузов при взаимодействии грузов между собой не изменяется. Следовательно, движение грузов вдоль оси (OУ) не оказывает никакого влияния на движение тележки и инерцоида в целом в этом направлении. Рычаг груза (Г1) под действием силы привода (+Fпу) стремится переместиться вдоль поперечной оси в положительном направлении (см. Рис.10.2.1). Поэтому на левый конец рычага (Г1) действует ответная сила реакции тележки (-Fрту). Соответственно на левый конец рычага (Г2), который под действием силы привода (-Fпу) стремиться переместится вдоль поперечной оси (OY) в отрицательном направлении, действует сила реакции тележки (+Fрту). При этом силы привода (±Fпу) компенсируются силами реакции тележки (±Fрту). Общий импульс движения инерцоида вдоль поперечной оси при этом не изменяется. На рисунке 10.2.1 легко видеть, что все поперечные составляющие сил,

действующих между грузами, взаимно компенсируются через общее тело тележки, т.к. они равны по величине и имеют противоположные направления относительно продольной оси симметрии инерцоида.

Силы, связанные с инерцией движения грузов на Рис. 10.2.1 не показаны. Однако с какой бы силой ни взаимодействовали между собой грузы, и какую бы инерцию они при этом ни приобретали - полная симметрия относительно оси (OX) при синфазном движении грузов по окружности в противоположных направлениях гарантирует полную взаимную компенсацию их воздействия на импульс движения инерцоида вдоль поперечной оси (OY). Таким образом, силы привода (±Fпу) и силы инерции движения грузов по окружности, действующие на тележку вдоль поперечной оси (OY) не приводят к реактивному движению тележки и изменению импульса движения инерцоида в целом вдоль поперечной оси (OY).

10.3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПОРНОГО ДВИЖЕНИЯ

С учётом инерции движения по окружности каждого груза в отдельности характер взаимодействия между отдельными грузами и соответствующими им частями тележки изменяется. Дополнительная инерция движения грузов по окружности при взаимодействии с соответствующими им частями тележки приводит к изменению импульса движения инерцоида вдоль оси (OX). Рассмотрим взаимодействие двух тел одинаковой массы (см. Рис. 10.3.1), в котором одно из тел (T2) имеет дополнительную инерцию движения по сравнению с другим телом (T1). Пусть до взаимодействия скорость тела (T1) в абсолютной системе отсчёта (XOY) равна нулю, а скорость тела (T2) равна (V2). При взаимодействии тела (T1) и (T2) в ходе реактивного сближения или простом объединении тел (T1) и (T2) в общую систему тел силе привода при реактивном сближении или силе упругости связующего тела при объединении тел (T1) и (T2) в единую систему приходится преодолевать **разную** инерцию тел (T1) и (T2), хотя и имеющих одинаковую массу. Рассмотрим простое объединение тел (T1) и (T2) в общую систему через связующее тело., которое для простоты на Рис. 10.3.1 не показано.

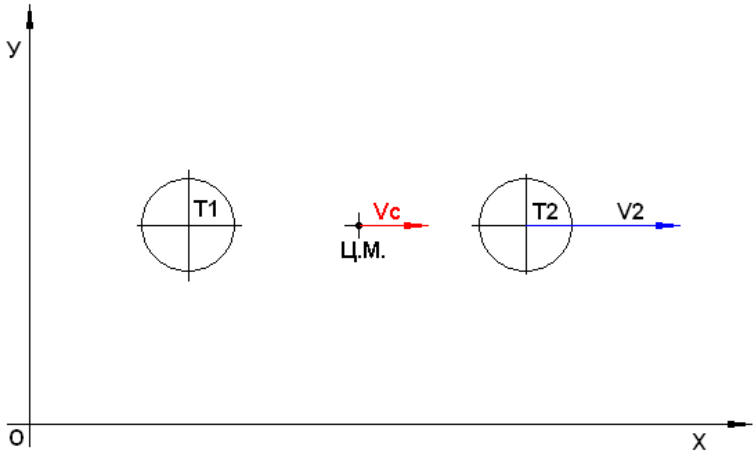


Рис. 10.3.1

В отношении тела (T1) силе упругости связующего тела противодействует только инерция массы покоя тела (T1), а в отношении тела (T2) – ещё и дополнительная инерция движения тела (T2), движущегося со скоростью (V2). Сила инерции массы покоя тела (T1) при взаимодействии с телом (T2) через связующее тело не может в полной мере противостоять суммарной инерции тела (T2), включающей в себя кроме инерции массы покоя тела (T2) ещё и инерцию движения тела (T2). Поэтому часть инерции движения тела (T2) через связующее тело передаётся телу (T1) и, следовательно, всей системе (Ц. М.) за счёт большего инерционного сопротивления тела (T2) при взаимодействии силам упругости связующего тела. При этом скорость системы равна половине скорости тела (T2), т.е. (Vc=V2/2), т.к. массы покоя взаимодействующих тел (T1) и T2) равны между собой.

Инерция, как свойство сопротивления всякому изменению состояния движения тел зависит не только от количества вещества в теле, но и от сил противодействующих изменению движения, в том числе и от инерции движения в направлении противоположном воздействующей силе. То есть взаимодействие с телом, движущимся в направлении, противоположном оказываемому на него воздействию, эквивалентно взаимодействию с телом, имеющим большую эквивалентную массу, чем масса, эквивалентная только количеству вещества этого тела. Полная эквивалентная масса движущегося тела определяется массой покоя тела и инерционного сопротивления, которое оказывается внешнему силовому воздействию на тело за счет инерции собственного движения тела. Таким образом, система из двух тел в полном соответствии с законом сохранения импульса всегда движется в сторону тела имеющего большую суммарную инерцию, в направлении, противоположном силе взаимодействия, действующей на это тело.

Для образного представления **эквивалентности** дополнительного движения одного из взаимодействующих тел **увеличению** инерциальной массы тела, движущегося в направлении противоположном силе взаимодействия рассмотрим систему тел (T1) и (T2), имеющих до начала взаимодействия нулевую скорость движения в абсолютной системе координат (XOY). При этом пусть масса тела (T2) имеет возможность гипотетическим образом изменяться

относительно первоначальной массы, которая равна массе тела (Т1). Рассмотрим вначале изменение положения общего центра масс тел (Т1) и (Т2), не связанных между собой.

Если масса покоящегося тела (Т2) будет увеличиваться, то центр масс неподвижных тел (Т1) и (Т2) будет смещаться в сторону более массивного тела (Т2). Тот же самый эффект наблюдается и в отношении центра масс одинаковых по массе тел (Т1) и (Т2) при движении тела (Т2) со скоростью (V2) относительно неподвижного тела (Т1). За счёт движения тела (Т2) со скоростью (V2) центр масс тел (Т1) и (Т2) перемещается в направлении движущегося тела (Т2) со скоростью (Vc=V2/2), как и в случае с увеличивающейся массой тела (Т2) при неподвижном положении обоих тел. Гипотетическое увеличение массы тела (Т2) в первом случае заменяется дополнительной инерцией движения тела (Т2) во втором случае. Таким образом, импульс движения одного из тел эквивалентен дополнительной массе этого тела, т.е. дополнительное количество движения эквивалентно дополнительному количеству вещества в плане противодействия дестабилизирующим их состояние движения силам.

При объединении в общую систему неподвижных тел объединяются их массы покоя. При взаимодействии движущихся тел, кроме объединения их масс покоя, в общую систему объединяется и количество движении тел, которое в процессе выравнивания скоростей равномерно распределяется по всей массе объединённой системы. Кинетическая энергия движения взаимодействующих тел, проявляющаяся в начале процесса взаимодействия как дополнительная масса взаимодействующих тел, после объединения тел в единую систему вновь преобразуется в кинетическую энергию движения теперь уже всей системы. В этом и заключается физический смысл закона сохранения импульса. Полная **инерциальная** масса движущегося тела при возможном взаимодействии тела с другим телом, как мы уже отмечали, равна сумме массы, эквивалентной количеству вещества в теле и «массы», эквивалентной инерциальному сопротивлению движущегося тела силам взаимодействия между телами. Однако в отсутствии взаимодействий масса любого тела эквивалентна только количеству вещества в теле, с какой бы скоростью оно не двигалось, т.е. «дополнительная масса» движущегося тела проявляется только при взаимодействии тел, точно также как и перераспределение импульса в соответствии с законом сохранения импульса происходит только при взаимодействии тел.

Схема движения объединённой системы тел (Т1) и (Т2) с точки зрения полных инерциальных масс взаимодействующих тел полностью эквивалентна движению системы тел (Т1) и (Т2) в классическом представлении или по крайней мере ни в чём не проигрывает классической модели. Обе модели опираются на один и тот же принцип – закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Однако в нашей модели предпринята попытка объяснить физический механизм перераспределения импульса за счёт полного инерциального сопротивления взаимодействующих тел силам, вызывающим эти взаимодействия. Таким образом, если возможно в замкнутой системе получить дополнительную кинетическую энергию частей системы без изменения импульса системы, то при взаимодействии неподвижной части системы с её подвижными частями можно изменить импульс всей системы в полном соответствии с законом сохранения импульса. Рассмотрим физический механизм образования импульса движения инерцоида в результате реактивного взаимодействия грузов и тележки, имеющих **разную** суммарную инерцию движения, а, следовательно, и разную инерциальную массу на примере модели инерцоида, изображённого на Рис. 10.3.2. Чтобы наиболее наглядно смоделировать процесс получения грузами дополнительной инерции движения без изменения импульса инерцоида предположим, что движение грузам сообщено кратковременным взрывом.

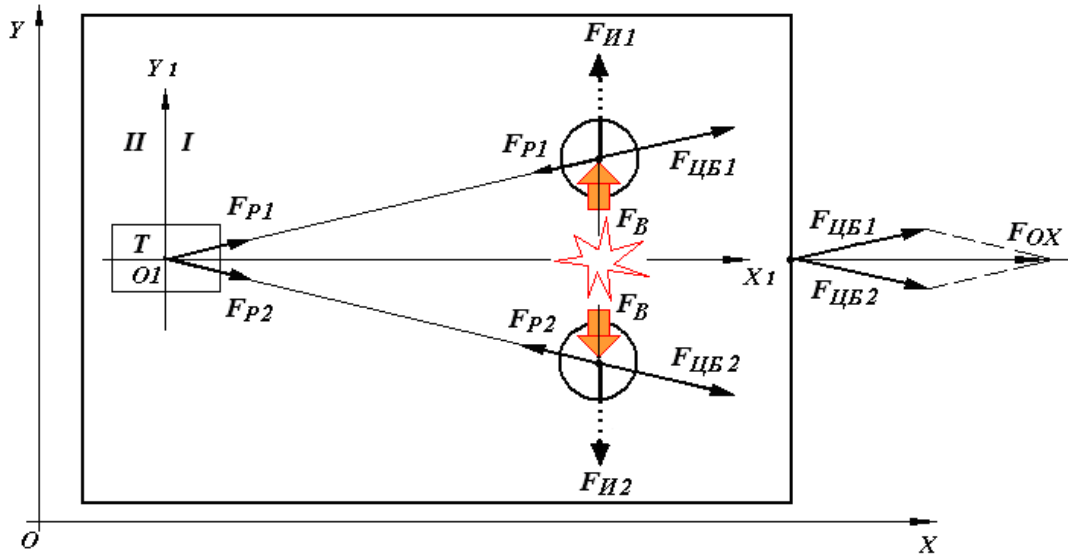


Рис. 10.3.2

Для корректного моделирования влияние внешних сил необходимо исключить. На рисунке 10.3.2 силы взрыва (Fв) имеют проекцию на радиальные направления вдоль рычагов, что изначально задаёт импульс инерцоиду в положительном направлении вдоль оси (OX) за счёт внешней по отношению к

инерцоиду силе взрыва. Однако длительность взрыва можно рассчитать таким образом, что через разошедшиеся рычаги с грузами за счёт воздействия взрыва, инерцоид получит отрицательный импульс вдоль оси (OX) такой силы, при которой он скомпенсирует положительный импульс, полученный инерцоидом в начале взрыва. Чтобы исключить влияние взрыва на импульс инерцоида через тележку предположим, что взрыв вдоль продольной оси далеко не распространяется и на тележку не воздействует. Технические решения для этого реально существуют. Например, можно поставить на пути «взрыва» к тележке защитный экран и т.п.

Таким образом, во время взрыва на каждый груз действует сила взрыва (Fв), направленная вдоль оси (OY) во взаимно противоположных направлениях. Поэтому импульс инерцоида вдоль оси (OY) без учёта инерции движения грузов под действием взрыва (привода) не изменится. Поскольку взаимодействие грузов осуществляется вдоль оси (OY), то импульс инерцоида вдоль оси (OX) также не изменится. То есть дополнительная инерция движения грузов в предложенной модели получена грузами без изменения общего импульса инерцоида. После окончания действия взрыва (привода) дальнейшее движение грузов происходит только по инерции. При этом взаимодействие грузов, имеющих дополнительную инерцию движения с соответствующими им неподвижными частями тележки, приводит к изменению импульса инерцоида «без вмешательства» внешних по отношению к системе инерцоида сил.

Действительно. Прямолинейное движение грузов вдоль оси (ОУ), полученное грузами в результате действия взрыва (привода) в условиях взаимодействия грузов с центром вращения через связующие рычаги преобразуется в движение грузов по окружности относительно их общего центра вращения, находящегося на тележке. В процессе образования вращательного движения возникает центробежная сила (Fцб), т.е. проекция силы инерции дополнительного движения грузов по окружности на радиальное направление, которая и является **движущей силой** поступательного движения инерцоида. Поскольку первоначальное прямолинейное движение получено грузами без изменения импульса всей системы инерцоида, то центробежная сила является внешней силой по отношению к инерцоиду, подобно внешней силе взрыва, которая могла бы сообщить импульс инерцоиду в положительном направлении оси (OX), если бы не было принято оговоренных выше мер.

Изменение импульса движения инерцоида за счёт центробежной силы происходит в процессе реактивного взаимодействия грузов и тележки через силу упругости рычагов. За счёт центробежной силы грузы оказывают дополнительное сопротивление силам упругости рычагов, осуществляющих реактивное сближение грузов и тележки. В то время как в отношении тележки силе упругости рычагов противодействует только инерция массы покоя тележки. Дополнительное инерционное сопротивление грузов за счёт центробежной силы эквивалентно увеличению инерциальной массы грузов. Следовательно, при реактивном взаимодействии движущихся грузов и неподвижной тележки грузы получат меньшую скорость движения в сторону тележки, чем тележка в сторону грузов. В результате до максимального сближения грузов и тележки вдоль оси (OX) тележка пройдёт большее расстояние, чем грузы, т.е. общий центр масс инерцоида сместится в положительном направлении вдоль оси (OX).

Конечно же, при аналогичном взаимодействии неподвижного тела эквивалентного по массе двум грузам с неподвижной тележкой импульс системы не изменится, т.е. поступательного движения не произойдёт. Источником дополнительного импульса движения инерцоида является дополнительный импульс движения по окружности каждого груза в отдельности, который они приобретают без изменения общего импульса движения инерцоида. Тележка взаимодействует одновременно с двумя одинаковыми грузами, поэтому на каждый груз во взаимодействии с тележкой условно приходится только половина массы тележки равная по величине массе одного груза. Благодаря некоторой степени свободы движения грузов относительно друг друга каждая часть тележки соответствующая отдельному грузу в узком смысле взаимодействует только со своим грузом, а не со всей системой грузов в целом, в которой внутреннее движение взаимно скомпенсировано. Таким образом, условные части тележки реально взаимодействуют с движущимися грузами.

Определяющим фактором в каждом из этих взаимодействий является превышение за счёт центробежной силы суммарной инерции каждого движущегося по окружности груза по отношению к инерции соответствующей ему ответной неподвижной части тележки, определяющейся только количеством вещества ответной части. Следовательно, импульс движения каждой условной половины инерцоида, состоящей из одного груза и соответствующей ему части тележки изменяется в сторону груза, имеющего большую суммарную инерцию. Поскольку грузы в любой момент времени одновременно находятся по **одну сторону** от поперечной оси инерцоида симметрично его продольной оси за исключением момента пересечения поперечной оси, то в **эту же сторону** изменяется и импульс инерцоида в целом, который равен геометрической сумме импульсов условных половинок инерцоида.

Таким образом, система тел инерцоида и система тел (Т1) и (Т2), представленная на Рис. 10.3.1, с физической точки зрения совершенно аналогично движутся в сторону тела, имеющего наибольшую суммарную инерцию.

Движение системы тел (Т1) и (Т2) в схеме взаимодействия тел, представленной на Рис. 10.3.1, в которой избыточная инерция движения тела (Т2) по сравнению с телом (Т1) сообщена телу (Т2) за счёт внешнего импульса ничем принципиально не отличается от движения инерцоида, хотя избыточная инерция движения грузов формально приобретена внутри системы инерцоида. И в том и в другом случае система тел движется в сторону тела, имеющего наибольшую суммарную инерцию. Единственное отличие заключается в способе получения дополнительной инерции движения одного из взаимодействующих тел в каждой из рассматриваемых систем.

Дополнительная инерция тела (Т2) в системе тел (Т1) и (Т2) получена за счёт внешнего импульса, поэтому считается, что система тел (Т1) и (Т2) движется на законном основании. В то время как дополнительная инерция грузов инерцоида получена за счёт взаимодействия грузов между собой внутри замкнутой системы инерцоида, поэтому в движении инерцоида за счёт дополнительной инерции грузов усматривается нарушение закона сохранения импульса. Однако, как мы выяснили, дополнительный импульс движения грузов фактически является внешним по отношению к тележке, т.к. разгон грузов происходит внутри практически независимой подсистемы, состоящей только из самих грузов. Внутренним для системы инерцоида в целом дополнительный импульс грузов является только формально. Грузы и тележка объединяются в общую систему только с началом преобразования прямолинейного движения грузов в движение по окружности, когда тележка взаимодействует с уже движущимися грузами. Реально грузы и тележка механически жестко связаны между собой, поэтому описанный механизм достаточно сложно представить, как движение системы за счет внешних по отношению к ней сил инерции грузов.

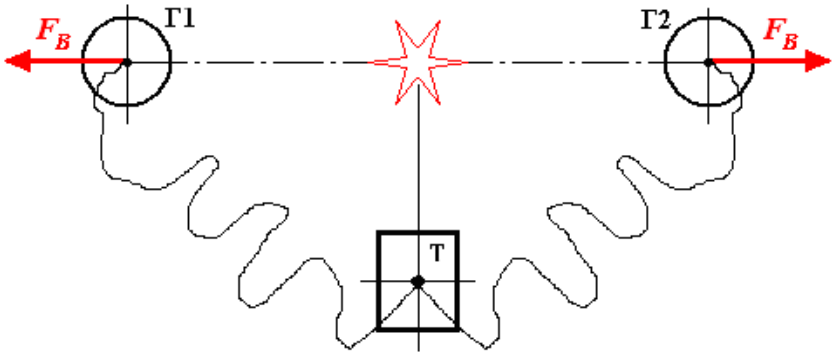


Рис. 10.3.3

Рассмотрим взаимодействие тел, изображённых на Рис. 10.3.3, который практически аналогичен Рис. 10.3.2 с той лишь разницей, что на Рис. 10.3.3 подвижные тела второй подсистемы связаны с неподвижным первым телом гибкими тягами верёвочного типа. В такой схеме легко видеть, что разгон грузов происходит в независимой системе «грузы», а взаимодействие с тележкой начинается только в момент изменения направления прямолинейного движения грузов, когда кроме масс покоя взаимодействующих тел во взаимодействие вмешивается внешняя для системы инерцоида центробежная сила. До тех пор, пока верёвочные тяги не выберут слабину за счёт прямолинейного движения грузов, полученного при взрыве, тележка остаётся неподвижной. Однако когда слабина выбрана, тележка через натянутые тяги вступает во взаимодействие с уже движущимися грузами, в результате чего импульс всей системы изменяется в сторону грузов. Таким образом, импульс движения, рождённый внутри единой механической системы, может оказаться **внешним** для этой же системы, в результате чего импульс движения замкнутой системы может изменяться без видимого взаимодействия с внешней средой и без нарушения закона сохранения импульса. Конечно же, жесткие рычаги практически мгновенно передают воздействие на тележку, что снижает эффективность разгона грузов, но физический механизм взаимодействия при этом принципиально не изменяется. Зато при помощи жестких рычагов можно легко управлять угловой скоростью вращения грузов.

Закон сохранения импульса, безусловно, является фундаментальным базовым законом природы, и ни о каких нарушениях его в физическом мире не может быть и речи. Однако движение инерцоида происходит не вопреки закону сохранения импульса, как утверждают скептики, а в полном соответствии с законом сохранения импульса и только благодаря существованию закона сохранения импульса. Некоторые специалисты придерживаются мнения, что «безопорное» движение осуществляется за счёт взаимодействия с пространством (с физическим вакуумом), т.е. в реальной действительности безопорное движение вовсе таковым не является. На наш взгляд такое предположение не лишено основания. В главе 1.2. ИНЕРЦИЯ И СИЛЫ ИНЕРЦИИ инерционное сопротивление также объясняется за счет сопротивления мировой материальной среды перераспределению энергии взаимодействия между взаимодействующими телами.

Кроме того мы предложили считать силами инерции все силы возникающие при взаимодействии материальных тел в соответствии с третьим законом Ньютона. Таким образом, импульс замкнутой системы можно изменить и за счет дополнительной энергии взаимодействия, которую можно добавить в замкнутую систему извне. Внешняя энергия будет перераспределяться между взаимодействующими телами в полном соответствии с законом сохранения импульса, но уже на новом энергетическом уровне вновь образованной замкнутой системы с учетом внешнего влияния мировой материальной среды.

Изменение импульса инерцоида под действием центробежной силы грузов проявляется настолько выражено, что вряд ли может вызвать у кого-либо какие-либо серьёзные возражения. Возвратно-поступательные колебания инерцоида вдоль продольной оси, которые отмечают все без исключения специалисты, это и есть изменение импульса инерцоида за счёт центробежной силы в пределах каждого полуоборота грузов. Таким образом, вопрос поступательного безопорного движения инерцоида заключается лишь в возможности или невозможности неполной компенсации центробежной силы относительно продольной оси (OX) в противоположных полуплоскостях по ходу движения в пределах каждого полного оборота грузов. Однако, если изменение импульса замкнутой системы инерцоида за счёт внутренних взаимодействий, всё же возможно, хотя бы в пределах одного полуоборота грузов, что достаточно очевидно, то возможность управления этим импульсом это уже дело техники.

При неизменной угловой скорости вращения грузов сила инерции, возникающая при изменении направления движения грузов по окружности, оказывает одинаковое суммарное воздействие на тележку в противоположных полуплоскостях вдоль любого направления в пределах каждого оборота грузов. Однако центробежная сила инерции зависит от угловой скорости вращения грузов. Следовательно, величина изменения импульса инерцоида также зависит от скорости движения грузов вдоль окружности или от угловой скорости их вращения. Изменяя угловую скорость вращения грузов в противоположных полуплоскостях относительно выбранного направления, можно управлять изменением импульса инерцоида вдоль выбранного направления. Увеличивая угловую скорость вращения грузов в передней полуплоскости относительно выбранного направления, и снижая ее в противоположной полуплоскости, можно получить устойчивое изменение импульса инерцоида в заданном направлении. Таким образом, для поступательного движения инерцоида необходимо лишь соответствующим образом управлять угловой скоростью движения грузов по окружности в пределах каждого оборота грузов.

При этом, как показано выше (см. Рис. 10.2.1; 10.2.2, а также пояснения к ним) реактивное взаимодействие грузов и тележки любой интенсивности, т.е. реактивное взаимодействие грузов и тележки на уровне масс покоя в полном соответствии с законом сохранения импульса и законом сохранения энергии не приводит к изменению импульса инерцоида. Причем, поскольку вектор силы реактивного взаимодействия грузов и тележки на уровне масс покоя дважды меняет свое направление за каждый полуоборот грузов, то интенсивность этого взаимодействия не оказывает влияния на перемещение центра масс инерцоида в безопорном пространстве. Таким образом, и в «безопорном» пространстве и в материальной среде основной движущей силой инерцоида, не зависящей от внешних сопутствующих условий является центробежная сила инерции. Хотя в материальной среде при соответствующих условиях поступательное движение инерцоида происходит, в том числе и за счет силы сопротивления среды, основную роль в образовании этого движения играет именно сила инерции, т.е. реактивное взаимодействие грузов и тележки с учетом дополнительной инерции движения грузов. Причем направление поступательного движения инерцоида в среде при прочих равных условиях зависит от вида сопротивления, оказываемого средой и соответственно от вида среды и от соотношения инерционной тяги и тяги, формирующейся за счет разной интенсивности проявления инерционной тяги в среде.

При движении по твердой поверхности сила трения почти постоянна и мало зависит от скорости. Поэтому по суше инерцоид движется в прямом направлении, в котором сила взаимодействия грузов и тележки с участием силы инерции проявляется с большей интенсивностью, т.к. при этом легче преодолевается импульс силы сопротивления сухого трения. На воде сила сопротивления пропорциональна скорости. Поэтому по водной поверхности инерцоид может двигаться поступательно в направлении, в котором интенсивность проявления центробежной силы инерции минимальная, т.е. в направлении, противоположном, чем по суше. Однако в любом случае, как было отмечено выше, сила сопротивления в конечном итоге только препятствует основной движущей силе инерцоида. Опыты с уменьшением силы трения при движении инерцоида по суше показывают, что при минимально возможном трении поступательное движение инерцоида проявляется в еще большей степени. Таким образом, изменение направления движения инерцоида в зависимости от вида среды вовсе не доказывает, что его поступательное движение объясняется исключительно только силами трения и силами сопротивления среды.

В современной физике центробежную силу часто называют фиктивной. Возможно, это объясняется тем, что центробежная сила действует только в процессе изменения направления движения, но сама центробежная сила с классической точки зрения не сообщает радиального движения вращающемуся телу на макроуровне. Если разорвать связь движущегося по окружности тела с центром вращения во время вращательного движения, то с классической точки зрения вращающееся тело будет продолжать прямолинейное движение не в радиальном направлении, в котором действовала центробежная сила, а по касательной к траектории движения грузов. Наверное, поэтому вызывает недоверие возможность увлечения инерцоида центробежной силой. Однако представленная выше модель вращательного движения

с учетом представленного выше взгляда на явление инерции позволяет объяснить возможность увлечения вращающегося тела в сторону от центра вращения за счет силы инерции, т.к. сила инерции это не только сила реакции ответного тела, но и «обычная» сила взаимодействия.

Из рассмотренного выше механизма вращательного движения с жестко закрепленным или уравновешенным центром вращения следует, что энергия вращения не расходуется, а только претерпевает преобразование из кинетической энергии в потенциальную энергию и обратно. Поэтому в отсутствии трения вращение должно осуществляться бесконечно долго. Инерцоид же без подвода энергии очень быстро останавливается, т.к. энергия движения грузов по окружности расходуется на реактивное движение грузов и тележки и изменение импульса инерцоида в целом.

Поскольку энергия вращения грузов расходуется, импульс движения инерцоида вдоль оси (OX), полученный за счет силы инерции грузов, по абсолютной величине в каждой последующей точке кругового движения грузов будет меньше импульса движения инерцоида в предыдущей точке взаимодействия. Замедление вращения грузов и как следствие уменьшение центробежной силы по абсолютной величине происходит, прежде всего, за счет потери кинетической энергии вращения грузов, потраченной на поступательное движение инерцоида. Таким образом, изменение импульса инерцоида за счет силы инерции грузов при вращательном движении по инерции без подпитки энергией будет постоянно убывать. Однако замедление вращения грузов приводит к самостоятельному поступательному движению инерцоида в сторону, в которую в зависимости от фазы кругового движения будет первоначально изменен его импульс при наибольшей скорости движения грузов.

Если, например, наибольшая скорость движения грузов была в правой полуплоскости, то до полной остановки вращательного движения инерцоид будет двигаться поступательно вправо по следующей причине. В первой четверти кругового движения грузов скорость вращения наибольшая. Изменение импульса инерцоида направлено в сторону грузов, т.е. вправо. В следующей четверти кругового движения изменение импульса инерцоида направлено влево. Однако скорость вращения во второй четверти меньше скорости вращения в первой четверти. Значит, общее изменение импульса инерцоида будет по-прежнему вправо. В третьей и четвертой четвертях кругового движения грузов, т.е. в нижней полуплоскости изменение импульса инерцоида будет влево, т.к. скорость движения грузов в третьей четверти больше чем в четвертой четверти. Однако скорость движения грузов в нижней полуплоскости в целом меньше скорости движения груза в верхней полуплоскости. Поэтому за каждый оборот грузов инерцоид будет передвигаться поступательно вправо.

Таким образом, вращательное движение двух синхронно вращающихся навстречу друг другу грузов с незакрепленным в пространстве центром вращения преобразуется в прямолинейное поступательное движение естественным образом.

Ранее мы выяснили, что вращательное и прямолинейное движения обратимы. При «захвате» тела связующим телом с закрепленным концом прямолинейное движение преобразуется во вращательное движение. При освобождении «захвата» движение тела вновь становится прямолинейным. Из сказанного выше следует, что вращательное движение с незакрепленным в пространстве центром вращения синхронно вращающихся навстречу друг другу тел так же обратимо. В пассивном инерцоиде, т.е. в инерцоиде без подвода дополнительной энергии вращательное движение естественным образом преобразуется в прямолинейное поступательное движение.

Переход от вращательного движения к прямолинейному движению и в том и в другом случае сопровождается потерей энергии вращательного движения. При переходе от равномерного вращательного движения с закрепленным центром вращения к прямолинейному движению теряется энергия остаточной деформации. В инерцоиде с «незакрепленным» центром вращения при переходе к прямолинейному движению большая часть энергии вращения расходуется на реактивное колебательное движение. Т.е. коэффициент полезного действия пассивного инерцоида очень низок. А с учетом подчас не горизонтальности и не плоскостности поверхности под инерцоидом и сил трения, которые не только не участвуют в создании поступательного безопорного движения, а наоборот препятствуют ему, перемещение пассивного инерцоида вообще сложно зафиксировать.

Поступательное перемещение пассивного инерцоида сложно осуществимо ещё и потому что скорость движения грузов по окружности без принудительного вмешательства изменяется достаточно равномерно, а не в наиболее эффективных для этого зонах. Для повышения эффективности поступательного движения инерцоидов необходимо увеличивать скорость вращения грузов в передней полуплоскости и уменьшать скорость вращения грузов в задней полуплоскости инерцоида. Теоретически разгонять и тормозить грузы можно во всей зоне соответствующей полуплоскости разгона или торможения. Практически же при управлении вращением грузов необходимо учитывать следующие обстоятельства:

Во-первых: в областях близких к поперечной оси инерцоида эффективность влияния инерции движения грузов на изменение импульса движения инерцоида очень низкая, поэтому в областях, находящихся в непосредственной близости к оси (OY) изменение импульса инерцоида вдоль оси (OX) незначительно. В момент пересечения грузами оси (OY) влияние инерции движения грузов на импульс инерцоида вообще равно нулю, т.к. равнодействующая центробежных сил двух грузов вдоль оси (OУ) и вдоль оси (OX) при этом равна нулю. Напротив, при небольших углах между рычагами и осью (OX) результирующая центробежная сила инерции грузов (Fox), направленная вдоль оси (OX) имеет наибольшее значение, следовательно, при движении грузов в зоне, непосредственно прилегающей к оси (OX) происходит наибольшее изменение импульса инерцоида вдоль оси (OX). Поэтому разгон необходимо производить в центральной части передней полуокружности разгона, а торможение в центральной части задней полуокружности торможения, где действие силы инерции грузов на изменение импульса движения инерцоида наиболее эффективно. Равнодействующая центробежных сил двух грузов вдоль оси (OУ) при любом угловом расположении грузов относительно любой оси равна нулю и не влияет на изменение импульса инерцоида.

Во-вторых: высокую или низкую скорость грузов в полуплоскостях разгона и торможения соответственно из-за инерционности движения грузов будет очень сложно изменить при переходе из полуплоскости разгона в полуплоскость торможения и наоборот. Тем более что в наиболее эффективной части зоны торможения скорость вращения должна быть не просто равна скорости вращения до начала разгона, а по возможности значительно меньше скорости вращения грузов в зоне разгона. То же самое можно сказать и об изменении скорости при переходе из зоны торможения в зону разгона, где скорость вращения должна быть по возможности значительно больше, чем в зоне торможения. Поэтому, учитывая инерционность грузов, разгон и торможение необходимо осуществлять в достаточно узких секторах, прилегающих непосредственно к продольной оси (OX), что при больших угловых скоростях вращения и больших массах грузов достаточно сложно обеспечить.

В-третьих: активный разгон или торможение в областях близких к поперечной оси инерцоида приводит к наиболее сильному реактивному взаимодействию грузов и тележки вдоль оси (OX), т.к. скорость движения грузов в этих областях имеет наибольшую проекцию на продольную ось (OX). При этом сильные реактивные колебания будут мешать поступательному движению. Поэтому желательно, чтобы эту зону грузы проходили по инерции, с не самой большой скоростью вращения. Практически сектор разгона и сектор торможения составляет около 30^0. Примерно в таких же по величине секторах управляется и инерцоид В. Н. Толчина (см. Рис.10.1.1). Г. И. Шипов экспериментально установил оптимальные значения секторов разгона и торможения, которые примерно совпадают с указанными значениями. Такой размер и расположение реальных зон разгона и торможения обеспечивает наибольшую разность скоростей движения грузов в полуплоскостях разгона и торможения в наиболее эффективных их областях и, следовательно, наибольшую тягу инерцоида. Однако Шипов теоретически не обосновал причину такого выбора секторов разгона и торможения.

Относительную эффективность активного инерцоида можно проиллюстрировать на следующем примере. Пусть величина скорости вращения грузов в передней полуплоскости инерцоида увеличилась в среднем вдвое по сравнению со скоростью вращения грузов в задней полуплоскости. Соответственно центробежное ускорение и центробежная сила в передней полуплоскости увеличатся в четыре раза, а время воздействия уменьшится только в два раза, что эквивалентно увеличению центробежной силы вдвое при неизменном времени воздействия. Следовательно, за каждый оборот грузов дополнительный импульс движения инерцоида в передней полуплоскости будет вдвое превышать дополнительный импульс движения инерцоида в противоположную сторону по сравнению с импульсом, полученным инерцоидом при неизменной скорости движения грузов.

Движущей силой инерцоида (сила тяги инерцоида Fти) является разность центробежных сил в передней и задних по ходу поступательного движения полуплоскостях вращения грузов. Сила тяги инерцоида зависит от выбранного режима разгона и торможения грузов, массы грузов ($m_г$) и радиуса вращения грузов (R). Определим среднюю силу тяги инерцоида за каждый оборот грузов, как разницу средних значений центробежных сил, действующих на инерцоид в период разгона и в период торможения грузов.

$$Fти_{сред} = \left(\int_{t_{нр}}^{t_{кр}} Fp_{мги}\right)/t_р - \left(\int_{t_{нт}}^{t_{кт}} Fт_{мги}\right)/t_т \qquad (1)$$

где:
Fр – центробежная сила при разгоне грузов
Fт – центробежная сила при торможении грузов
$t_р$ – время разгона грузов
$t_т$ – время торможения грузов
Мгновенные значение силы разгона и торможения равны:

$$Fр_{мгн} = Fр_{max}*\cos(\omega_р*t_р) \quad (2)$$

$$Fт_{мгн} = Fт_{min}*\cos(\omega_т*t_т) \quad (3)$$

где:

$$Fр_{max} = m_г*(\omega_р^2*R) \quad (4)$$

$$Fт_{min} = m_г*(\omega_т^2*R) \quad (5)$$

$\omega_р$ – угловая скорость разгона
$\omega_т$ – угловая скорость торможения
Подставляя (4) и(5) в (2) и (3) соответственно получим:

$$Fр_{мгн} = m_г*(\omega_р^2*R)*\cos(\omega_р*t_р) \quad (6)$$

$$Fт_{мгн} = m_г*(\omega_т^2*R)*\cos(\omega_т*t_т) \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (1) получим для средней за один оборот грузов силы тяги инерцоида:

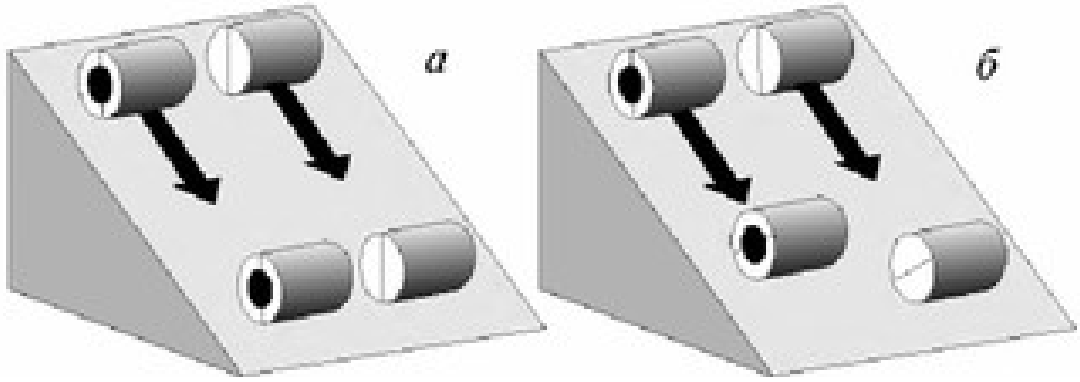
$$Fти_{сред} = \left(m_г*(\omega_р^2*R)*\int_{t_{нр}}^{t_{кр}} \cos(\omega_р*t_р)\right)/t_р - \left(m_г*(\omega_т^2*R)*\int_{t_{нт}}^{t_{кт}} \cos(\omega_т*t_т)\right)/t_т \quad (8)$$

или окончательно:

$$\mathbf{Fти_{сред} = \left(m_г*R\right)*\left(\omega_р^2*\left(\int_{t_{нр}}^{t_{кр}}\cos(\omega_р*t_р)\right)/t_р - \omega_т^2*\left(\int_{t_{нт}}^{t_{кт}}\cos(\omega_т*t_т)\right)/t_т\right)} \quad \mathbf{(9)}$$

Импульс инерцоида с двумя грузами, вращающимися в противоположных направлениях, в соответствии с рассмотренным механизмом изменяется за счет увеличения эквивалентной инерциальной массы грузов, имеющих большую кинетическую энергию движения по сравнению с тележкой. Увеличение инерциального сопротивления движению грузов, а, следовательно, и эквивалентной массы грузов при их реактивном взаимодействии с тележкой, происходит за счет центробежной силы (Fцг), возникающей при движении грузов по окружности. В инерцоиде с двумя грузами центробежная сила действует только по отношению к грузам. Симметричное движение грузов относительно продольной оси (OX) приводит к компенсации центробежной силы относительно оси (OY). Центробежная сила, действующая на грузы, вдоль оси (OX) остается не скомпенсированной, т.к. грузы одновременно находятся по одну сторону относительно оси (OY), что приводит к изменению импульса движения инерцоида с двумя вращающимися грузами за счет силы инерции движения грузов.

Основной смысл движения замкнутой системы за счет работы внутренних сил заключается в том, что за счет инерции осуществляется связь замкнутой системы с мировой материальной средой, в результате чего система перестает быть замкнутой. При этом все существующие на сегодняшний день противоречия с законами механики возникают из-за неправильной позиции, которую занимает классическая физика по отношению к природе инерции. Однако в классической физике существует понятие эквивалентности массы и энергии. Основываясь на этом понятии движение замкнутых систем за счет работы внутренних сил можно непротиворечиво объяснить и с позиции классической физики. Инерционное сопротивление эквивалентно дополнительной массе движущихся тел. Следовательно, изменяя инерцию движения тел можно изменять эквивалентную массу тел и таким образом управлять импульсом «замкнутой» механической системы. Движение инерцоидов с вращающимися грузами не имеет описанных в классической механике аналогов, поэтому воспринимается ей как нарушение закона сохранения импульса. Тем не менее, в классической механике есть хорошо изученное явление, на основе которого возможна реализация движения замкнутых систем за счет работы «внутренних» сил.



а) Цилиндры скользят по наклонной поверхности;
б) Цилиндры катятся по наклонной поверхности без проскальзывания
Рис. 10.3.4

Все лекции и курсы механики включают качение тел по наклонной поверхности. В частности рассматриваются полые и сплошные тела с равными массами (масса определяется взвешиванием) и диаметрами. Как известно, при качении без проскальзывания, сплошной цилиндр достигает конца наклонной плоскости быстрее полого, в то время как при скатывании на оба цилиндра одновременно действуют равные силы (см. Рис. 10.3.4). На основе этого явления можно наглядно проиллюстрировать движение замкнутой системы за счет работы внутренних сил. При взаимодействии между сплошным и полым цилиндрами импульс замкнутой системы изменяется в сторону сплошного цилиндра (Рис.10.3.5). Развернув всю систему на 180^0 можно вернуть цилиндры в исходное состояние, в котором они находились до взаимодействия. При этом импульс замкнутой системы вновь изменится в ту же самую сторону, т.к. сам разворот системы на 180^0 не влияет на ее суммарный импульс. После этого весь цикл можно многократно повторять, сообщая, таким образом, непрерывное поступательное движение замкнутой системе за счет работы внутренних сил. Таким образом, явление, лежащее в основе безопорного движения давно известно в теоретической механике. Однако, даже не смотря на это, классическая физика считает, что движение замкнутых систем противоречит закону сохранения импульса, хотя если рассматривать такое движение во взаимосвязи массы, энергии и мировой материальной среды, то ни одна классическая замкнутая система, кроме вселенной в целом таковой не является.

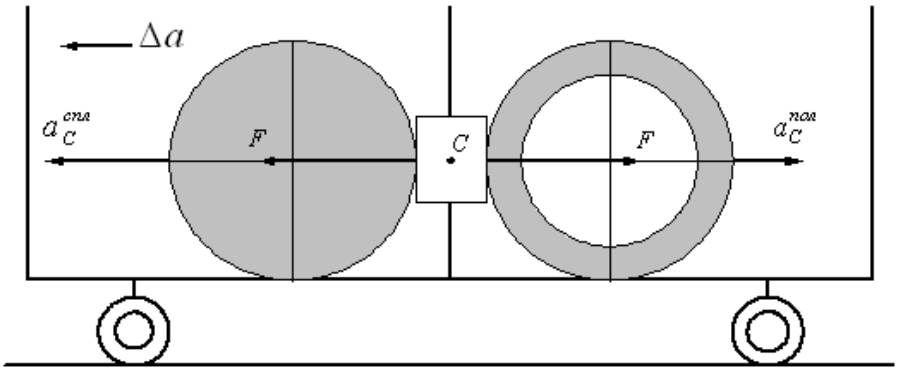


Рис. 10.3.5

Движение замкнутой механической системы за счет внутренних сил и явление неравного разгона сплошного и полого цилиндров при их качении под действием одинаковой силы, на котором может быть основано безопорное движение очень подробно и доступно излагается в перечисленных ниже работах Турышева М.В.и его коллег:

1. О движении замкнутых систем, или при каких условиях не выполняется закон сохранения импульса. «Естественные и технические науки», №3(29), 2007, ISSN 1684-2626, с.28-41. http://ivanik3.narod.ru/ObschPhiz/Inerciod/Turyshev/DvigZamkSistem.doc.
2. Экспериментальная проверка закона сохранения импульса. В.А. Кучин, М.В. Турышев, В.В. Шелихов http://ivanik3.narod.ru/ObschPhiz/Inerciod/Turyshev/NewExper/ExpProvImpRuss.doc.
3. Энергия или импульс? В.В. Шелихов, М.В. Турышев, В.А. Кучин http://ivanik3.narod.ru/ObschPhiz/Inerciod/Turyshev/EnergyorPulse.doc.
4. Новые открытия в механике (динамике). © М.В. Турышев, В.В. Шелихов, В.А. Кучин, В.И. Каширский, В.Г.Чичерин, 2008 http://www.shaping.ru/congress/download/cong06(030).pdf

http://ivanik3.narod.ru/linksTuryshevNewExper.html

Рисунки (10.3.4; 10.3.5) заимствованы из приведенных выше работ. Работа Турышева: «О движении замкнутых систем, или при каких условиях не выполняется закон сохранения импульса» наиболее отвечает рассматриваемой в настоящей главе теме, поэтому ниже мы приводим достаточно обширные выдержки из этой работы:

«Рассмотрим общий случай действия силы на тела вращения, обладающие симметрией вращения относительно геометрической оси C. Движение однородных тел вращения радиуса R и массы m происходит по горизонтальной плоскости без скольжения. В начальный момент тело покоится. Найдем линейное ускорение центра масс (инерции) a_c и угловое ускорение ε тела. Применим уравнение моментов относительно мгновенной оси вращения, проходящей через точку К (Рис. 10.3.6).

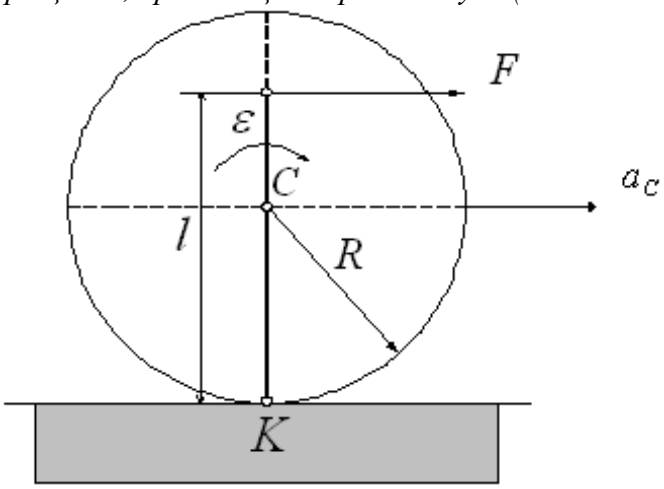


Рис. 10.3.6

Поскольку эти точки в каждый момент времени неподвижны, то сила трения будет силой трения покоя Fтр. Уравнение моментов имеет простую форму

$I_к * d\omega/dt = F * l,$ (2)

где:

$I_к = I_c + mR^2$ *– момент инерции тела относительно мгновенной оси, проходящей через точку К;*

I_c *– момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс С;*

l *– плечо силы F.*

Поскольку тело катится по поверхности без проскальзывания, то можно записать дополнительные уравнения связи между линейными и угловыми величинами:

$v_c = \omega * R$ *и* $a_c = R * d\omega/dt$ (3)

Подставим в уравнение (2) величину углового ускорения из (3) и получаем

$(I_c + mR^2) * a_c/R = F * l$ *или* $F = a_c * (I_c + mR^2)/(l * R)$ (4)

откуда для линейного ускорения центра масс тела имеем:

$a_{c=} F * (l * R)/(I_c + mR^2) = (a_n * m * l * R)/(I_c + mR^2)$ (5)

где:

a_n *– ускорение поступательного движения тела в случае действия силы F приложенной к его центру масс.*

Из условия (3) можно найти угловое ускорение, которое получит тело в результате действия силы F, используя выражение (5):

$\varepsilon = a_c/R = F * l/I_c + mR^2$ (6)

При качении тел под действием силы F линейные и угловые ускорения тел имеют существенную зависимость от плеча силы l и более мягкую от пространственного распределения массы тел относительно их центров инерции (от момента инерции тела $l_c = \gamma * m * R^2$) (Рис. 10.3.7).

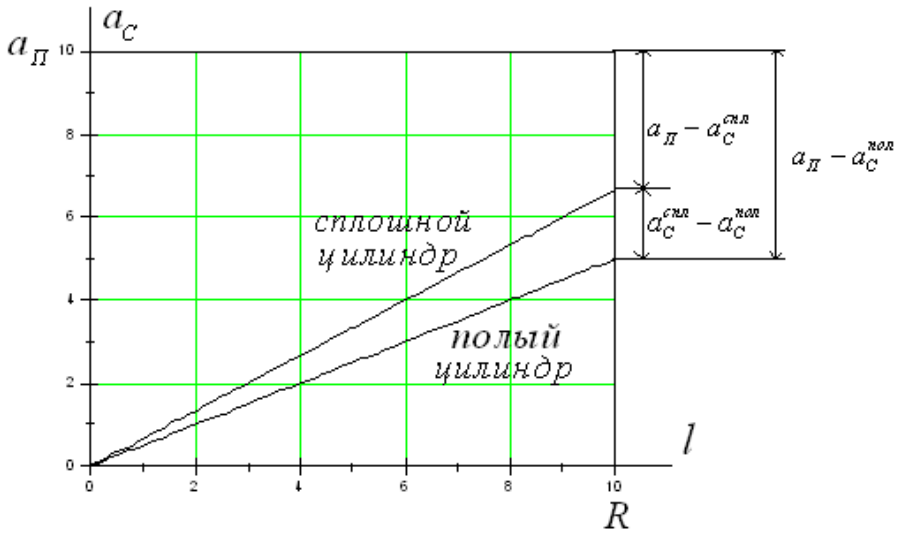


Рис. 10.3.7

Как видно на Рис. 10.3.7 наибольшая разница линейных ускорений цилиндров ($a_c^{спл}$ - $a_c^{пол}$) будет при значении плеча силы l=R. Уравнение движения можно записать в виде:

$$F = a_c*(Ic+mR^2)/(l*R) = a_c* m* (Ic+R^2)/(m*l*R) \quad (7)$$

Линейную и угловую скорости находим из (4) и (5), получаем:

$$v_c = a_{c*}\Delta t = F*\Delta t*(l*R)/(Ic+mR^2) \quad (8)$$

$$\omega = \varepsilon*\Delta t = (F*\Delta t*l*)/(Ic+mR^2) \quad (9)$$

Откуда для кинетической энергии поступательного и вращательного движения тела имеем:

$$E_n^{кач} = 0,5(m*F^2*\Delta t^2*l^2*R^2)/(Ic+mR^2)^2 \quad (10)$$

$$E_{Bp}^{кач} = 0,5(Ic*F^2*\Delta t^2*l^2)/(Ic+mR^2)^2 \quad (11)$$

и их отношение:

$$E_n^{кач}/E_{Bp}^{кач} = mR^2/Ic = 1/\gamma \quad (12)$$

где:

$Ic = \gamma*m*R^2$,

где:

γ – число, характеризующее степень инертности тел при их вращении вокруг центра инерции.

Момент инерции Ic является постоянным для данного тела и зависит только от пространственного распределения массы тела.

Определим теперь результат действия внутренних сил $\Delta F = F_{спл} - F^{пол} = m*(a_c^{спл} - a_c^{пол})$ на тележку (замкнутую систему). Линейные ускорения для полого и сплошного цилиндров, согласно (5), равны:

для сплошного цилиндра ($I_{спл} = 0,5mR^2$, $\gamma = 0,5$):

$$a_c^{спл} = F/(1,5*m) = 0,67F/m \quad (13)$$

для полого цилиндра ($I_{пол} = mR^2$, $\gamma = 1$):

$$a_c^{спл} = F/(2*m) = 0,5F/m \quad (14)$$

Откуда следует, что:

$a_c^{спл} > a_c^{пол}$.

Здесь и далее для простоты мы приняли момент инерции полого цилиндра равным $I_{пол} = mR^2$, хотя точное значение равно $I_{пол} = 0,5m*(R^2+r^2)$,

где:

r - это внутренний радиус цилиндра, который мы считаем равным внешнему R = r.

И так, в результате действия внутренних сил равных F цилиндры, имеющие равные массы, за один и тот же промежуток времени приобретают разные по величине линейные ускорения центров масс, а соответственно и скорости. Причина такого взаимодействия – разное пространственное распределение массы вещества тел. Получив не равные линейные скорости и перемещаясь в противоположные стороны, цилиндры при ударе о бортики передают тележке результирующий импульс отличный от нуля и направленный в сторону движения сплошного цилиндра. Результирующая сила, действующая на замкнутую систему (тележку) с учетом (13) и (14) будет равна:

$$\Delta F = m*(a_c^{спл} - a_c^{пол}) = m*(0,67F/m - 0,5F/m) = 0,17F \quad (15)$$

Неравнозначное действие цилиндров на бортики тележки создает внутреннюю силу тяги ΔF равную 17% от внутренней силы F.

Еще большего эффекта мы добились, когда один из цилиндров перемещался только поступательно (без вращения), а другой – полый катился по поверхности тележки. В этом случае разница линейных ускорений (a_n - $a_c^{пол}$) будет максимальной для данной системы (Рис. 10.3.6) и ускорения центров масс (инерции) цилиндров для катящегося полого цилиндра:

$a_c^{пол} = F/(2*m) = 0,5F/m$ *(14)*

и для двигающегося поступательно:

$a_n = F/m$ *(16)*

Разница между ускорениями существенно возросла ($a_{пост} = 2a_c^{пол}$) и соответственно не скомпенсированная сила, действующая внутри на замкнутую систему равна:

$\Delta F = m*(a_n - a_c^{пол}) = m*(F/m - 0,5F/m) = 0,5F.$ *(17)*

Неравнозначное действие цилиндров на бортики тележки создает внутреннюю силу тяги ΔF равную 50% от величины внутренней силы F.

Таким образом, основываясь только на результатах эксперимента, втором законе механики и уравнении моментов, мы получили результат, противоречащий закону сохранения импульса – движению замкнутой системы за счет работы внутренних сил.

Как известно из классической механики, отношение масс двух разных тел равно обратному отношению их ускорений, сообщаемых им равными силами F:

$m_1/m_2 = a_1/a_2$ *или* $F = m_{1*} a_1 = m_2*a_2$ *(18)*

Следовательно, сравнение масс тел m_1и m_2, на которые действует одна и та же сила F, сводится к сравнению ускорений a_1 и a_2. В рассматриваемом случае тела имеют равные массы и размеры. На них действуют равные силы. Согласно (18) и второму закону классической механики при равных массах тел мы должны получить в расчетах и опытах равные ускорения тел, но как было показано экспериментально и выведено теоретически это не выполняется.

При поступательном движении используется известное выражение – второй закон Ньютона:

$F = m*dv_c/dt = m*a_c.$

Попробуем сравнить его с уравнением движения для качения тел (7):

$F = a_c*(Ic+mR^2)/(l*R).$

Преобразуем, последнее уравнение для случая l = R:

$F = m*a_c + m*a_c*I_c/(m*R^2)$ *(19)*

В этом уравнении кроме инертной массы m (проявляющейся при линейном ускорении тела под действием силы F приложенной к центру масс тела) имеется «дополнительная» масса равная: ($m*I_c/(m*R^2)$), которую мы назовем динамической, т.к. она проявляется только при вращении тел.

В общем случае момент инерции тела определяется следующим выражением:

$I_c = \gamma*(m*R^2)$ *(20)*

где:

γ – число, характеризующее степень инертности тел при их вращении вокруг центра инерции.

Подставим (20) в (19) и получим иную формы записи второго закона Ньютона:

$F = (1 + \gamma)*m* a_c,$ *(21)*

где:

$\gamma = I_c/m*R^2 > 0.$

Полученное выражение имеет привычную форму записи второго закона механики и отличается коэффициентом (1+γ), от которого существенно зависит ускорение центра масс (инерции) тел. Он наравне с инертной массой m характеризует степень влияния пространственного распределения массы в телах на их инертность при вращении. Проведенные опыты свидетельствуют о том, что действие равных сил на тела, имеющие равные массы и размеры, но разное пространственное распределение массы, вызывает не равные линейные ускорения этих тел.

В замкнутых системах, содержащих два (или более) тела, имеющих разную степень инертности (1+γ), возможен дисбаланс внутренних сил (импульсов), который проявляется в виде самодвижения систем (движения за счет внутренних сил). Если степени инертности (1+ γ) тел будут равны, то дисбаланс внутренних сил будет отсутствовать, а центр масс системы останется в покое.

При качении тел во время их разгона, тела приобретают линейное и угловое ускорения одновременно, и мы наблюдаем для тел равных по массе (весу) и размерам, разные (не равные) линейные и угловые ускорения от действия одной и той же силы. Это связано с тем, что у тел, имеющих разные пространственные распределения массы (вещества), относительно своего центра масс, появляется новое свойство – при ускоренном вращении проявляется их разная динамическая масса (Δm), и общая масса тела ($m_{общ} = m + \Delta m$) так же будет разной, например, при (l = R) и (F = const) для сплошного цилиндра:

$\Delta m_{спл} = m*I_c/(m*R^2) = (0{,}5\ m*R^2/(m*R^2))* m = 0{,}5m$

и для полого цилиндра:

$\Delta m_{пол} = (I_c/(m*R^2))*m = m$

Понятно, что общие массы этих тел ($m_{общ} = m + \Delta m$) не равны:

$m_{общ}^{пол} > m_{общ}^{спл}$

Дополнительную инертность телу, при одновременном ускоренном поступательном движении и вращении тела, по сравнению с его поступательным движением придает динамическая масса:

$\Delta m = m_{общ} - m.$

Как известно из курса теоретической механики работа внешней силы над свободным телом в общем случае выражается следующим образом:

$A = A_{пост} + A_{вращ} = F*x_c + F*l*\varphi$ *(22)*

где:

$A_{пост}$ *– работа силы F, затраченная на поступательное перемещению тела на расстояние* Δx_c;

$A_{вращ}$ *– работа силы F, затраченная на поворот тела на угол* φ;

φ *– угол поворота тела;*

x_c *– линейное смещение тела за время действия силы F;*

– плечо силы F , линия действия которого не проходит через центр масс (инерции) тела.

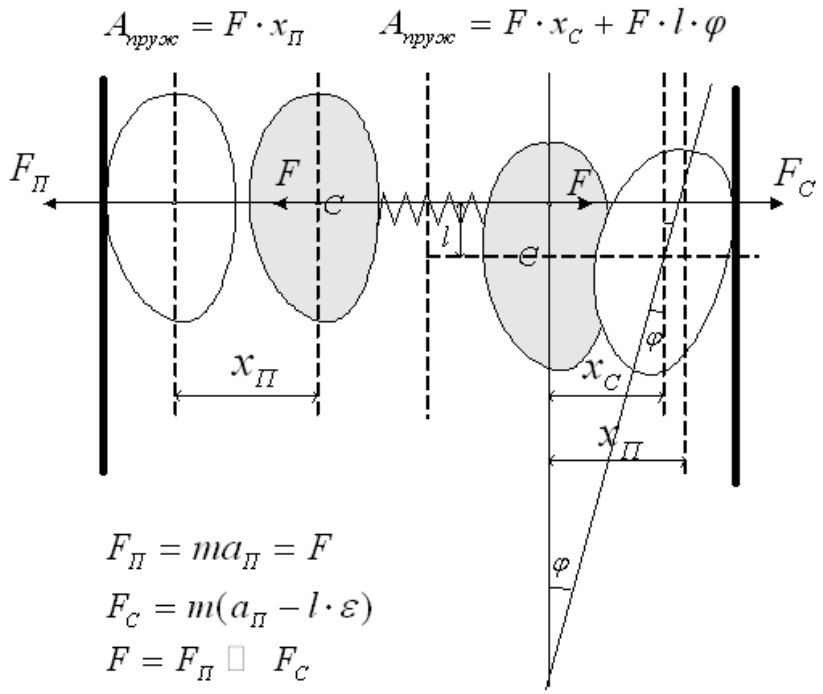


Рис. 10.3.8

На (10.3.8) показаны два идентичных тела, на которые действуют равные силы, но имеющие разные линии действия. Положим, что сила F действует на тело через его центр масс (инерции). Тогда над телом совершается работа:

$A = F*x_n$ *(23)*

Уравнение (22) можно записать как: $F*x_n = F*x_c + F*l*\varphi$ *(24)*

и продифференцировав его по времени, получаем уравнение мощностей:

$F*v_n = F*v_c + F*l*\omega$ *(25)*

где:

v_n *– скорость поступательного движения тела, приобретенная в результате действия силы F через его центр масс (инерции);*

v_c *– скорость центра масс тела, полученная в результате действия силы F, линия действия которой не проходит через его центр масс (инерции);*

ω *– угловая скорость тела, полученная в результате действия силы F, линия действия которой не проходит через его центр масс (инерции).*

Делим левую и правую части уравнения (25) на F и получаем:

$v_n = v_c + l*\omega$ *(26)*

и продифференцировав это уравнение по времени, получаем выражение:

$a_n = a_c + l*\varepsilon$ *(27)*

Перемножив, левую и правую части этого выражения на m *, мы получим уравнение движения:*

$m*a_n = m*a_c + m*l*\varepsilon$ *или* $F = F_c + m*l*\varepsilon$ *(28)*

*Из выражения для мощностей (25) можно так же получить уравнение импульсов. Для этого вместо силы F подставим ее значение (a_n*m) в (25) и получим:*

$a_n*m*v_n = a_n*m*v_c + a_n*m*l*\omega$ *(29)*

и далее сократим это выражение на a_n и получим уравнение импульсов:

$m*v_n = m*v_c + m*l*\omega = m*v_c + m*v_l$ *(30)*

Как видим импульс $m*v_n$ тела, который придается силой F, с линией действия проходящей через его центр масс, явно не равен импульсу ($m*v_c$) (на величину $m* l*\omega$) того же тела, на который подействовала та же сила F, но с линией действия не проходящей через его центр масс (плечо силы равно l). Таким образом, имеем:

$P_n = m*v_n \neq P_c = m*v_c$,

т.е. закон сохранения импульса в данном случае не выполняется».

В работах Турышева приводится вывод уточненных формул второго и третьего законов Ньютона, закона сохранения импульса и закона сохранения энергии с учетом вращательного движения, совершаемого телами вращения при их качении во время линейного взаимодействия. Мы поддерживаем автора и его коллег по существу вопроса. Однако нам кажется, нет никаких оснований заявлять о нарушении закона сохранения импульса, а также второго и третьего законов Ньютона. Упомянутые фундаментальные законы сформулированы для общего случая взаимодействий материальных тел, и их можно без каких-либо ограничений применять для любого частного случая взаимодействий с учетом особенностей этих взаимодействий. Уточнения, внесенные Турышевым, как раз и учитывают вращение и пространственное распределения массы по объему вращающихся тел при их линейном взаимодействии. Заявлением о нарушении фундаментальных законов в безопорном движении можно добиться только дальнейшей конфронтации с классической физикой вместо стимулирования дальнейших исследований в области динамики взаимодействия тел, о чем высказывает пожелания Турышев. Тем более что никаких нарушений в действительности не происходит. Начнем с закона сохранения импульса.

В работе Турышева получено следующее выражение для закона сохранения импульса: ($mv_п=mv_c+m*l*\omega$). Уточненное выражение отличается от классического ($mv_п=mv_c$) только членом ($m*l*\omega$), который учитывает импульс вращательного движения, образующийся при качении взаимодействующих тел вдоль линии их взаимодействия. Сегодня сложно судить, что конкретно имел в виду Р. Декарт, формулируя закон сохранения импульса. Но, по нашему мнению, закон сохранения импульса по определению предполагает сохранение полного импульса всех движений, проявляющихся при взаимодействии физических тел. Это само собой разумеется, как и то, что суммарная энергия тел до взаимодействия равна их суммарной энергии после взаимодействия. Иначе закон сохранения импульса просто не имеет смысла.

Современные последователи Декарта упорно не хотят замечать связь материальных тел с мировой материальной средой, проявляющейся в виде явления инерции. Однако для того чтобы обратить на это внимание научной общественности, тем для кого эта связь сегодня очевидна не обязательно объявлять фундаментальные законы физики недействительными только на основании их исторически сложившегося неверного или неточного толкования. Распространение частного случая, который связан только с линейными взаимодействиями вдоль линии, проходящей через центр масс взаимодействующих тел, на полные взаимодействия вовсе не означает невыполнения закона сохранения импульса в природе, которое автоматически влечет за собой и невыполнение закона сохранения энергии. Это говорит только о том, что общие принципы закона сохранения импульса нельзя подменять его частными случаями ограниченными конкретными частными условиями.

Турышев признает, что в классической механике заложена возможность учитывать реакции тел вращения при их взаимодействии между собой вдоль линии, не проходящей через их центр масс: *«Даже, аппарат традиционной механики давно позволяет учитывать при действии тел друг на друга их реакции, которые не соответствуют традиционной механике, но существуют в природе».* Однако традиционной механике не соответствует не реакция тел вращения при их действии друг на друга, как пишет Турышев, а субъективные ошибки людей, которые традиционно неправильно применяют законы традиционной механики для описания этой реакции. Противопоставлять друг другу частные случаи проявления одних и тех же законов природы как отдельные законы, противоречащие друг другу, по меньшей мере, не корректно.

Этому, конечно же, способствует сложившееся в современной физике отношение к силам инерции, как к фиктивным, т.е. несуществующим силам. Тем не менее, незнание природы силы инерции объективно не может оправдать игнорирование хорошо изученного и проверенного экспериментально явления замедления линейного движения тел вращения при их качении без проскальзывания. Турышев, например, вывел свои уточненные формулы только в рамках традиционной механики без ссылки на силы инерции:

*«В данной работе, **в рамках традиционной классической механики**, будет показано что, возможно движение замкнутой механической системы за счет внутренних сил…».* Честь ему за это, как говорится, и хвала. Однако уточненные формулы законов механики по признанию самого же автора получены на основе общих формулировок фундаментальных законов классической механики и не несут в себе ничего принципиально нового, требующего пересмотра существующих законов.

Закон сохранения импульса базируется на явлении инерции, втором и третьем законе Ньютона и на законе сохранения энергии. Чем большее количество элементарных носителей массы содержит физическое тело, тем меньшее ускорение, а значит и скорость получает каждая элементарная масса и физическое тело в целом под действием общей для всех взаимодействующих тел силы взаимодействия, которая определяется третьим законом Ньютона. При этом закон сохранения энергии указывает на неизменность суммарной энергии взаимодействующих тел до и после взаимодействия. Из этих обстоятельств собственно и вытекает закон сохранения импульса. Ничего принципиально нового в эту схему уточненные Турышевым формулы не вносят. Экспериментаторы сделали только то, что и должны были сделать, - кроме энергии поступательного перемещения учли в составе энергии взаимодействия энергию вращательного движения ($\mathbf{A_{пруж}=F*x_c+F*l*\varphi}$), а в составе импульса движения учли импульс вращательного движения ($\mathbf{mv_п=mv_c+m*l*\omega}$). То же самое сделано и в отношении второго закона Ньютона, в котором учтено ускорение вращательного движения ($\mathbf{F=m(}\boldsymbol{a}_c\mathbf{+l*\varepsilon)}$).

Представление же третьего закона Ньютона в виде равенства мгновенных мощностей действия и противодействия ($\mathbf{F_д*V_д=-F_р*V_р}$ **или** $\mathbf{D_д=-D_р}$) непосредственно вытекает из его физической сущности. Смирнов А.П., на которого ссылается Турышев, пишет в статье «Осознание знания – откровение XXI века» следующее: *«В динамике И.Ньютона причиной изменения состояния является не сила, а действие, необходимое для свершения элементарного акта изменения состояния, которое оценивается произведением действующей силы F на скорость ее действия V, то есть мгновенной мощностью F*V. **Ибо сила сама по себе ничего не может совершить, не будучи приложенной с определенной скоростью»***. Однако **с**корость приложения силы характеризуется собственно самой величиной приложенной силы ($\mathbf{F=m*}\boldsymbol{a}$). Что же касается силы, проявляющейся в процессе действия, то сила не прикладывается с определенной скоростью, как предлагает считать А. П. Смирнов, - а вызывает движение определенной массы с определенной мгновенной скоростью, что не совсем одно и то же.

Обозначения в приведенных выше формулах:

x_c: перемещение центра масс;

ε: угловое ускорение тела;

д: действие;

р: реакция на действие.

Спор же о том, что является «мерой движения»: импульс (mv) или кинетическая энергия ($mv^2/2$) не может быть разрешен ни в пользу только импульса, ни в пользу только кинетической энергии, т.к. такое категорическое противопоставление не имеет физического смысла. Это взаимосвязанные физические понятия, которые не подменяют, а дополняют друг друга. В работе «Энергия или импульс?» Турышев с коллегами на основании своих опытов делают вывод: *«Величины импульсов **не имеют корреляции** с тем действием, которое производят тела друг на друга, в то время как величина кинетическая энергия пропорциональна такому действию. Исходя из опытных данных, полученных в этой и предыдущих работах, можно утверждать, **что импульс и количество движения в механических процессах не могут быть использованы как меры механического движения».*** Однако, по нашему мнению, это, мягко говоря, не совсем так. Кинетическая энергия действительно определяет действие физических тел друг на друга, но через импульс, т.е. через количество движения, и наоборот импульс определяет действие физических тел друг на друга через кинетическую энергию.

Кинетическая энергия свободно движущегося тела это не само действие, а результат уже законченного состоявшегося в прошлом действия. Собственная кинетическая энергия физических тел до взаимодействия пропорциональна действию, которое каждое свободно движущееся физическое тело получило независимо друг от друга в предыдущих взаимодействиях. Текущее действие тел друг на друга начинается только с началом нового взаимодействия и определяется не собственной кинетической энергией тел, а энергией взаимодействия, которая равна разнице собственных кинетических энергий тел. Причем перераспределение энергии взаимодействия между вновь образующимися движениями происходит в соответствии с законом сохранения импульса ($m_1*V_1=m_2*V_2$). Реальное действие, по перераспределению энергии взаимодействия между взаимодействующими телами в общем случае осуществляется в соответствии с типом взаимодействий (см. гл. 1.2.2 Формированием сил взаимодействия). В конкретном случае в опытах Турышева энергия взаимодействия прямо пропорционально скорости движения и обратно пропорционально массам взаимодействующих тел (V_1/

$V_2=A_1/A_2=m_2/m_1$, откуда: $V_2*A_1=V1*A_2=A_1*m_1=A_2*m_2$). Эти соотношения непосредственно вытекают из выражения для кинетической энергии, в котором корреляция массы и скорости определяется законом сохранения импульса. Именно этот факт и подтвердили опыты Турышева.

Таким образом, величина импульсов имеет непосредственную корреляцию *«с тем действием, которое производят тела друг на друга»*, т.к. *«кинетическая энергия, пропорциональная такому действию»* формируется в ходе взаимодействия в соответствии с законом сохранения импульса. После прекращения взаимодействия кинетические энергии свободно движущихся тел не равны между собой и не равны их кинетической энергии до взаимодействия, зато равны их импульсы, т.е. количество движения. При новых взаимодействиях с другими телами ситуация принципиально повторяется. Собственная энергия и импульсы взаимодействующих тел могут иметь любое соотношение друг с другом, но во время взаимодействия тела приобретают новые, причем одинаковые импульсы, что в свою очередь определяет новое соотношение кинетических энергий тел после их взаимодействия. То есть импульс определяет энергию и наоборот энергия определяет импульс. Собственная энергия определяет прошлое действие, а импульс определяет новую энергию и, следовательно, новое действие. Если первично яйцо, то вторична курица, и наоборот если первична курица, то вторично яйцо.

Кинетическую энергию можно математически выразить через импульс:

$A = (1/2)*m*V*V = (1/2)*P*V$,

Где P: импульс (количество движения).

Из приведенного выражения следует, что кинетическая энергия тесно взаимосвязана с импульсом. Безусловно, каждая из этих физических величин определяет механическое движение. Однако кинетическая энергия определяет движение через импульс, т.е. опосредованно, а импульс является непосредственной «мерой механического движения». Физический смысл меры механического движения состоит в следующем. Импульс движения (mv) определяет количество движения, распределенного между элементарными массами физического тела в виде их скорости, являющейся непосредственной характеристикой движения элементарной массы. Количество движения единичной элементарной массы равно ее скорости, а количество движения физического тела равно сумме количества движения элементарных масс. Кинетическая энергия движущихся масс определяется скоростью движения материальных тел, которая в свою очередь в соответствии с законом сохранения импульса определяется массой взаимодействующих тел. Следовательно, кинетическая энергия взаимодействующих тел распределяется в соответствии с законом сохранения импульса.

Таким образом, мерой движения все-таки в первую очередь наверно является импульс. Энергия же – есть запас количества движения. Хотя энергия движения строго взаимосвязана со скоростью движения, - суть энергии в ее потенциальной возможности вызывать определенное количество движения, выражающееся через импульс. В случае неизменной массы, т.е. в отношении одного и того же материального тела кинетическая энергия однозначно соответствует вполне определенному и неизменному импульсу движения тела. В этом случае и кинетическая энергия и импульс в равной степени однозначно определяют количество движения, хотя и в разных физических единицах, т.е. с разных физических позиций.

Таким образом, и безопорное движение инерцоидов с вращающимися грузами, и поступательное движение замкнутой системы, с вращающимися при качении цилиндрами разной наполненности происходит не вопреки законам природы, а в соответствии с ними. Теоретически оба рассмотренных вида безопорного движения основаны на одном и том же принципе - на инерции вращения, которая может проявляться как дополнительная масса. Динамическая масса, которая по Турышеву является новым свойством тел, имеющих разное пространственное распределение массы, фактически представляет собой не новое свойство физических тел, а разную инерционную связь этих тел с мировой материальной средой, только и всего. Поскольку эта связь является внешней по отношению к замкнутой системе, то никакого нарушения закона сохранения импульса при поступательном движении такой системы, не происходит.

Разное пространственное распределение массы это только одно из необходимых условий, но и не истинная причина безопорного движения. Истинная причина связана с инерцией вообще и с инерцией вращательного движения в частности. Движение инерцоидов с вращающимися грузами рассмотрено достаточно подробно. Движение же замкнутой системы с вращающимися цилиндрами разной наполненности легко объяснить с учетом представленного выше механизма вращательного движения, из которого следует, что линейная скорость образовавшегося вращения всегда меньше скорости прямолинейного движения до его преобразования во вращательное. Разница энергий переходит в потенциальную энергию остаточной деформации, которая пропорциональна радиусу вращения, т.к. уровень энергий, задействованных при преобразовании движения по направлению пропорционален радиусу.

Образование вращательного движения требует определенных энергетических затрат, причем тем больших чем больше радиус вращения материального тела. В полом цилиндре вся масса сосредоточена в его оболочке, которая удалена от центра вращения на максимально возможный радиус. Поэтому скорость качения полого цилиндра меньше, чем сплошного, т.к. для вращения полого цилиндра требуется большие затраты энергии, чем сплошного. Причем дополнительная «масса» полого цилиндра объясняется его дополнительным инерционным сопротивлением, т.е. дополнительной связью с мировой средой по сравнению со связью с мировой средой его массы покоя. Следовательно, с учетом мировой материальной среды никаких нарушений законов природы при осуществлении безопорного движения не происходит, т.к. замкнутая система в связи с перечисленными выше обстоятельствами испытывает внешнее воздействие со стороны мировой материальной среды, преодоление которого требует дополнительной энергии. Таким образом, энергия «внутренних» взаимодействий расходуется и на образование движения «замкнутой» системы.

Аналогичное взаимодействие, при котором вращательное движение взаимодействующих тел может вносить дисбаланс в общую сумму импульсов линейного движения вдоль линии взаимодействия, описывает в работе «Теория и факты о возможности “без опорного” механического движения», г. Москва, май 2002 г. (TON@DATELINE.RU) Илья Сухарев. Причем Сухарев не ниспровергает законы механического движения. Автор пишет: *«ЗАКОНЫ НЬЮТОНА и так же ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ остаются в новой теории* ***неизменными и не подвергаются сомнению!»***. Сухарев признает, что: *«По своей сути (что и будет доказано ниже), эти законы являются частными физическими закономерностями»*. Однако Сухарев все же не до конца последователен. Свой труд, в котором по сути дела речь идет об одном из дополнений к частному случаю проявления фундаментальных законов природы, Сухарев, тем не менее, считает - **новой** теорией и, таким образом, противоречит сам себе в том, что *«ЗАКОНЫ НЬЮТОНА и так же ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ остаются в новой теории* ***неизменными»***.

Теоретическое обоснование безопорного движения заложено в самих фундаментальных законах природы, которые давно открыты в классической физике. Однако, как это ни парадоксально, классическая физика пытается опровергнуть возможность безопорного движения именно на основании фундаментальных законов природы. Между тем, безопорное движение не только не противоречит фундаментальным законам природы, но и непосредственно вытекает из закона сохранения энергии и закона сохранения импульса, на которых и построено все современное знание человечества. При этом недостающим звеном, которое может снять все противоречия современной физики и в области «безопорного» движения является мировая материальная среда, с которой связаны все взаимодействия материальных тел.

Выразив массу одного из взаимодействующих тел через массу другого тела в соответствии с законом сохранения импульса можно получить соотношение кинетических энергий, получаемых материальными телами при их взаимодействии.

$A_1 = (1/2)*m_1*V_1*V_1$

$A_2 = (1/2)*m_2*V_2*V_2$

Из закона сохранения импульса следует:

$m_1 = (m_2*V_2)/ V_1$

тогда:

$A_1 = (1/2)*m_2* V_2*V_1$

Найдем соотношение кинетических энергий взаимодействующих тел:

$A_1/A_2 = ((1/2)*m_2* V_2*V_1)/((1/2)*m_2*V_2*V_2) = V_1/ V_2$

Таким образом, чем меньше масса и больше скорость материального тела, тем больше его кинетическая энергия при одинаковом количестве движения, получаемого материальными телами при их взаимодействии.

Определим разность кинетических энергий взаимодействующих тел ($\Delta A = A_2 - A_1$) при сохранении их суммарного импульса, который они имели до взаимодействия:

$\Delta A = ((1/2)*m_2*V_2*V_2) - ((1/2)*m_2* V_2*V_1) = (1/2)*m_2*V_2*(1 - V_1/V_2)$

или

$\Delta A = (1/2)*m_2*V_2*(1 - m_2/m_1)$

При

$(m_1= m_2=m)$ и $(V_1=V_2=V)$

$A_1 = - A_2 = (1/2)*m_1*V_1*V_1 = - (1/2)*m_2*V_2*V_2$

Таким образом, одинаковую кинетическую энергию в противоположных направлениях получают только тела с одинаковой массой. Материальные тела с разной массой получают разную кинетическую

энергию. Причем разностная энергия направлена в сторону движения тела с меньшей массой и большей скоростью. Теоретически разностная энергия может быть сообщена суммарной массе взаимодействующих тел. При упругих взаимодействиях происходит перераспределение энергии между разными телами, которые получают одинаковый импульс и разную кинетическую энергию в противоположных направлениях. При этом импульс всей системы в целом всегда остается неизменным. Однако существуют еще неупругие взаимодействия, при которых взаимодействующие тела соединяются в одно общее тело без их отражения друг от друга. Как известно из классической физики, если соединить два тела с разной кинетической энергией без их отражения в единую систему, то за счет разностной энергии вся система получит импульс движения в сторону разносной кинетической энергии. Это и есть основа механизма безопорного движения.

Можно предположить, что при упругих взаимодействиях энергия взаимодействия для материальных тел с большей массой встречает большее инерционное сопротивление со стороны мировой материальной среды, чем тело с меньшей массой. Поэтому энергия взаимодействия распространяется предпочтительно в сторону тела с меньшей массой и соответственно с меньшим инерционным сопротивлением распространению энергии взаимодействия, что выражается в разной скорости движения тел с разной массой. В связи с этим при сохранении выброшенной массы в составе единой системы возможны два варианта поведения системы. Если при сохранении выброшенной массы при повторном взаимодействии с выброшенной массой вновь происходит упругое взаимодействие, то система в целом сохраняет свой первоначальный импульс, несмотря на большую кинетическую энергию тела с меньшей массой в составе общей системы. Это объясняется тем, что при новом упругом взаимодействии с выброшенной массой все в точности повторяется, как и в первоначальном взаимодействии только с противоположным знаком. Однако при равномерном распределении энергии нового взаимодействия с выброшенной массой возможен вариант, когда вся система в целом получит импульс движения в сторону движения тела с меньшей массой, т.к. избыточная энергия тела с меньшей массой по всем законам физики должна сообщить движение всей системе в сторону движения меньшего тела.

Таким образом, разностная кинетическая энергия, образующаяся при упругом взаимодействии тел с разной массой, теоретически в полном соответствии с классической физикой и фундаментальными законами природы может сообщить импульс движения всей системе взаимодействующих тел. Причем в этом нет никакого противоречия с законом сохранения импульса и законом сохранения энергии. Энергия объединенной системы в точности равна разностной энергии упругого взаимодействия, которая является частью общей энергии взаимодействия, воздействующей на взаимодействующие тела, а изменение импульса происходит через взаимодействие с мировой материальной средой, в соответствии со свойствами которой меньшая масса получает большую скорость и соответственно большую кинетическую энергию. Механизм передачи энергии взаимодействующим телам через мировую материальную среду на сегодняшний день неизвестен. Однако многочисленные опыты по получению так называемого «безопорного» движения свидетельствуют в пользу того, что такой механизм в природе существует, как существует и мировая материальная среда.

Опыты по изменению импульса двух взаимодействующих тел разной массы в линейном взаимодействии проводились *С.Д. Ивановым и Г.Н. Чернышевым,* о чем сообщается в их статье «**ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОДТВЕРЖДЕНИИ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПРОТОТИПА РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ БЕЗ ВЫБРОСА ВЕЩЕСТВА».** (см. журнал «Проблемы машиностроения и автоматизации», № 3/2004, http://v1100.net/stat/prototype/prototype.shtml). Принципиально изменение суммарного импульса системы за счет разностной кинетической энергии, полученной в неупругом линейном взаимодействии с выброшенной массой, не отличается от изменения импульса системы за счет изменения угловой скорости вращательного движения двух грузов, рассмотренного выше. Каждый из этих способов получения безопорного движения может быть реализован только на основе явления инерции, т.е. за счет взаимодействия материальных тел с мировой материальной средой. С учетом мировой материальной среды следует признать, что классических замкнутых систем в природе не существует, следовательно, никаких запретов на изменение суммарного импульса системы взаимодействующих между собой материальных тел в природе не существует.

10.4. ОБЗОР КОНСТУКЦИЙ ИНЕРЦОИДОВ.

Кроме рассмотренной конструкции инерцоида с двумя грузами существует еще одна реально действующая конструкция инерцоида с одним вращающимся грузом, в которой в отличие от рассмотренной конструкции компенсации сил взаимодействия относительно поперечной оси (OY) внутри системы не происходит (см. Рис.10.4.1).

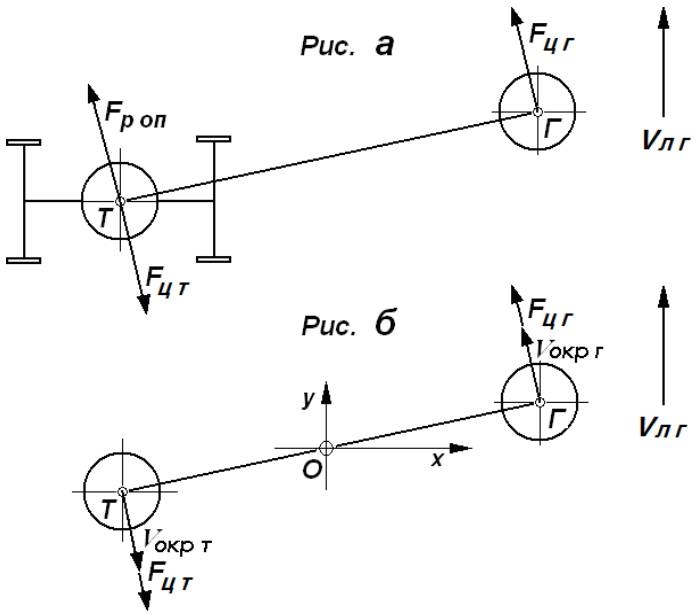


Рис. 10.4.1

На рисунке 10.4.1(а) изображен инерцоид с одним грузом. Эквивалентная схема инерцоида представлена на Рис. 10.4.1(б). Как и в предыдущем случае, масса груза равна массе тележки. Предположим, что груз (Г) приобрел инерцию движения с линейной скоростью (Vлг) вдоль поперечной оси (OY). Тележка (Т) при этом остаётся неподвижной. При движении какого-либо тела относительно другого в отсутствии третьего тела, нет смысла определять какое из тел движется. Если связать систему отсчета с тележкой, то движется груз. Если система отсчета связана с грузом, то движется тележка. В общем случае есть только относительное движение между грузом и тележкой, которое одинаково относится как к грузу, так и к тележке. Кинетическая энергия относительного движения является общей для груза и тележки. Если груз и тележку соединить во время относительного движения рычагом, то в соответствии с законом сохранения импульса на каждое из взаимодействующих тел будет действовать половина общей кинетической энергии. В соответствии с третьим законом Ньютона на каждое из тел будет действовать одинаковая центробежная сила:

Fц г = - Fц т

При условии равенства масс груза и тележки каждое из тел получит одинаковую окружную скорость относительно геометрического центра вращения (О), находящегося посредине рычага, равную половине скорости (Vлг):

Vокр г = - Vокр т = $|^1/_2$Vлг|

Следовательно, на каждое из тел будет действовать одинаковая по величине, но противоположная по направлению центробежная сила. Импульс движения инерцоида при реактивном взаимодействии груза и тележки не изменится, т.к. суммарная инерция движения груза и тележки одинакова. Движение инерцоида в этом случае может осуществляться только за счет внешней силы. Внешней силой, сообщающей движение инерцоиду, является сила реакции опоры (сила трения). В идеальном случае сила реакции опоры (Fр оп) равна по величине и противоположна по направлению центробежной силе тележки:

Fр оп = - Fц т

Поскольку:

Fр оп + (- Fц т) = 0,

то окружная скорость тележки также равна нулю:

Vокр т = 0

Следовательно, эквивалентная масса груза с учетом инерции его движения будет больше реальной массы груза, в то время как масса тележки остается неизменной, что приведет к изменению импульса движения инерцоида при реактивном взаимодействии груза и тележки. В дальнейшем механизм движения инерцоида с одним вращающимся грузом аналогичен механизму движения инерцоида с двумя грузами. Разница состоит лишь в том, что поступательное движение инерцоида с одним грузом будет осуществляться за счет внешней для системы силы трения, в то время как движение инерцоида с двумя грузами осуществляется за счет подводимой извне энергии одновременно к двум грузам. Причем полная компенсация окружной силы тележки в инерцоиде с одним грузом необязательна. Любое уменьшение (Fц т) за счёт силы трения приведет к изменению импульса такого инерцоида.

Рассмотрим работу некоторых предложенных разными конструкторами схем инерцоидов с учетом изложенного механизма безопорного движения:

На Рис.10.4.2 изображен инерцоид К. Э. Циолковского. В 1873 году у К.Э. Циолковского, 16-летнего подростка, учившегося самостоятельно, появилась идея центробежного механизма, который состоял из привода и двух перевернутых маятников, принудительно циркулирующих вверх-вниз. При дальнейшем размышлении будущий основоположник современной космонавтики отказался от своей идеи.

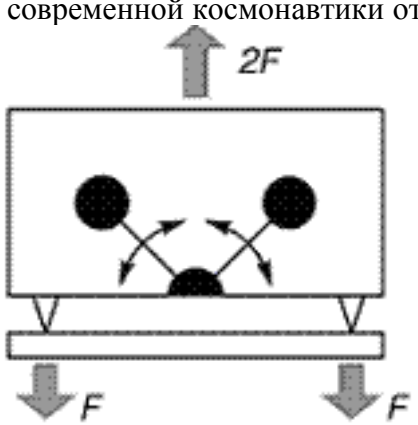


Рис. 10.4.2

В 1899 году подобный аппарат все же был построен 17-летним американцем Р. Годдардом, впоследствии одним из пионеров ракетной техники. Однако его модель не заработала. Возвращаясь к машине подобного типа, П. Колосов из Томской области полагает, что центробежные силы реальны и устройства, работающие на их основе, смогут заменить самолеты.

Против такой модели инерцоидов есть стандартные возражения противников. В инерцоиде К. Э. Циолковского не учтено равное действие сил, прижимающих аппарат к земле при ускорении грузов. Противники считают, что аппарат может только подпрыгнуть, оттолкнувшись от земли, но в воздухе опоры нет. В соответствии с изложенным механизмом работы инерцоидов разгон и торможение не влияют на изменение суммарного импульса инерцоидов. Реактивное взаимодействие реальных масс грузов и тележки взаимно компенсируется. Поэтому теоретически центробежная сила в инерцоиде Циолковского все же будет создавать тягу, хотя сама конструкция очень не эффективна.

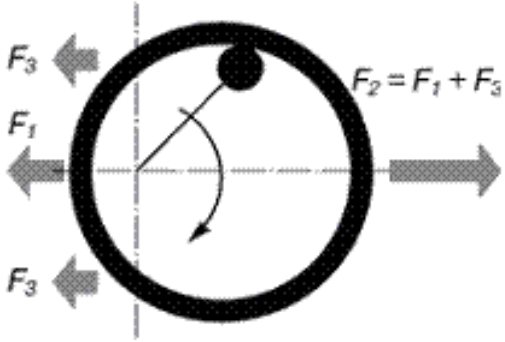


Рис.10.4.3

На Рис.10.4.3 изображен инерцоид с изменяемой длиной рычагов. В. Околотин комментирует такую конструкцию следующим образом: «При росте длины плеча и постоянных оборотах центробежные силы вырастут, но их уравновесят силы реакции в приводе». Это стандартный аргумент противников безопорного движения или пример голословного отрицания в отсутствии понимания сути проблемы и какого-либо желания разобраться в ней. В. Околотин хорошо знает школьный курс физики. Силы реакции реактивного взаимодействия реальных масс, конечно же, уравновешивают друг друга, причем не только в данной конструкции, а при любом реактивном взаимодействии в любой конструкции. В любом действующем инерцоиде силы реакции уравновешены, но при этом инерцоид, тем не менее, изменяет импульс своего движения за счет инерции движения грузов эквивалентной увеличению их инертной массы.

Изменение импульса инерцоида происходит за счет разницы центробежных сил в полуплоскостях, разделенных поперечной осью инерцоида. И в данной конструкции центробежные силы уравновешиваются не реакцией привода. Приведем простой количественный расчет. Пусть величина радиусов вращения грузов в передней полуплоскости инерцоида увеличилась вдвое по сравнению с радиусом вращения грузов в задней полуплоскости. Соответственно центробежное ускорение и центробежная сила в передней полуплоскости увеличатся вдвое, но при этом время воздействия центробежной силы также уменьшится ровно вдвое. Следовательно, за каждый оборот грузов импульс силы в обеих полуплоскостях будет одинаковый.

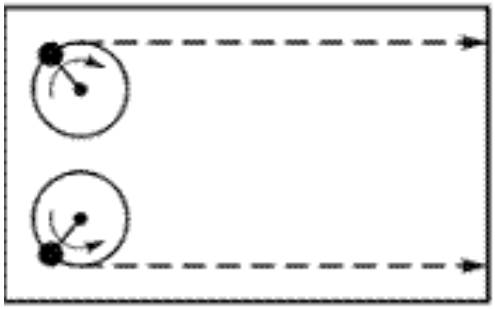


Рис. 10.4.4

В центрифугальном космолете Ф. Сулимкина (Рис.10.4.4) по мнению автора, тяга появляется при встречной раскрутке масс или при ударе брошенных масс в торец корабля. Можно использовать эти силы порознь или вместе. При ускоряющейся раскрутке тяга появится точно так же, как она появляется при замедлении вращения. Однако ускорение вращения должно происходить только в передней полуплоскости по ходу прямолинейного движения. Но замедлять или ускорять вращение в непрерывном режиме можно очень ограниченное время, так что космолет из данной конструкции не получится. А бросание масс это чисто реактивное взаимодействие, которое не влияет на изменение импульса движения системы. Брошенные массы, конечно же, сообщат импульс движения в сторону их полета, но он только скомпенсирует импульс, полученный ответной массой в противоположной полуплоскости.

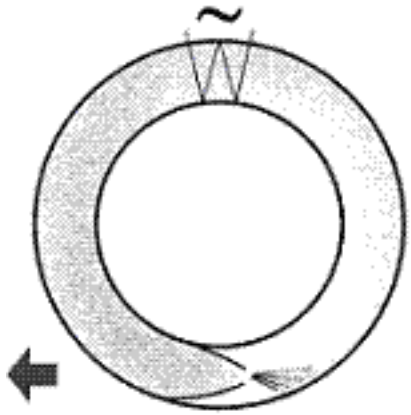


Рис.10.4.5

Р. Чуркин (Московская обл.) а.с. №365938 предложил создать параметрический инерционный привод в виде жесткого замкнутого трубопровода (Рис.10.4.5), частично заполненного вязкой электропроводной массой. Эта масса толкается электромагнитным полем и, проходя мембрану с пневматическим дросселем, должна создать направленное импульсное поступательное движение. Будет ли такой инерцоид реально двигаться, можно определить, только просчитав импульс центробежной силы в каждой полуплоскости в соответствии с описанным выше механизмом . В том виде как это задумал сам автор - это чисто реактивное движение внутри замкнутой системы, которое не изменяет импульс системы.

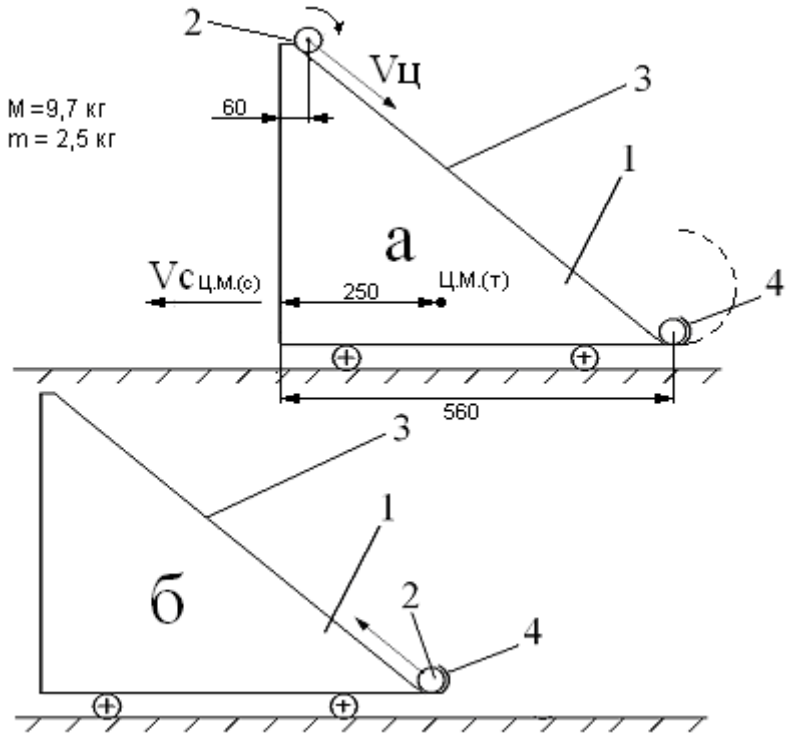


Рис. 10.4.6

Доцент, к.т.н. Воронков С.С. (vorss60@yandex.ru, http://www.vorss60.narod.ru) проводил опыты по проверке третьего закона Ньютона. На (Рис.10.4.6а) изображена тележка (1) с наклонной плоскостью (3), по которой скатывается цилиндр (2). В первом опыте цилиндр улавливается ловушкой (4), которая гасит поступательное и вращательное движение цилиндра. Во втором опыте цилиндр в конце наклонной плоскости движется по направляющей, обозначенной на Рис. 10.4.6 пунктиром. За положительное направление Воронцов принимает правое по рисунку направление, а нулевая точка отсчета у него связана с левым краем тележки. В первом опыте по замерам Воронцова положение центра масс остается неизменным: *«… в опыте 1 положение общего центра масс системы каток - тележка, с учетом погрешностей измерений, неизменно».* Во втором опыте Воронцов отмечает смещение центра масс вправо: *«В опыте 2 общий центр масс системы каток - тележка сместился в положительном направлении на 99 мм, и расхождение в положении центра масс системы до и после опыта составляет порядка 47%. Это расхождение трудно объяснить погрешностью измерений. Можно утверждать, что в опыте 2 произошло смещение общего центра масс системы под действием центробежной силы».* Это смещение Воронцов связывает с невыполнением третьего закона Ньютона.

На наш взгляд никакого нарушения третьего закона Ньютона не должно происходить. В первом опыте вращательное движение цилиндра в конце наклонной плоскости гасится, т.е. исключается из прямолинейного взаимодействия, поэтому вся система смещается влево. Во втором опыте за счет центробежной силы вся энергия вращения цилиндра вновь возвращается в линейное взаимодействие, следовательно, взаимодействие в целом должно происходить в полном соответствии с законом сохранения импульса. Во втором опыте Ц.М. системы должен получить дополнительное смещение вправо ровно настолько, насколько он сместился влево при скатывании цилиндра, т.е. в итоге положение центра масс системы должно оставаться неизменным. В первом опыте Воронцов совершенно справедливо отметил кажущееся невыполнение третьего закона Ньютона, но, во-первых, это только кажущееся невыполнение, а во-вторых, в соответствии с законом сохранения энергии, который Воронков, судя по всему, сомнению не подвергает, после высвобождения энергии вращения цилиндра все должно встать на свои места. Скорее всего, в опыте не учтены сопутствующие факторы.

Соотношение масс тележки и цилиндра:

$M/m = 9,7/2,5 = 3,88$

В первом опыте тележка по данным Воронкова смещается влево на 80 мм. Цилиндр при этом смещается вправо на расстояние:

560мм – 60мм = 500мм (см. Рис. 10.4.6а)

Соотношение расстояний не соответствует соотношению масс:

$500/80 = 6,25 > 3,88$

В соответствии с законом сохранения импульса без учета вращения цилиндра, а только с учетом соотношения масс тележки и цилиндра при смещении цилиндра вправо на 500мм, как в опыте Воронкова, тележка должна сместиться влево не на 80мм, а на значительно большее расстояние:

500/3,88 = 128,7(мм)

Следовательно, в опыте Воронкова тележка испытывала большое сопротивление, мешающее ее свободному движению. Это может быть связано как с трением качения и трением в подшипниках, так и с переходом части энергии взаимодействия во вращательную энергию колес тележки. Данных по массе колес довольно массивной тележки (9,7кг) Воронков, к сожалению не приводит. Кроме того, нет данных по горизонтальности поверхности, что также может влиять на результат. В общем, не делая пока никаких далеко идущих выводов отметим, что полученные результаты противоречат законам механики (не согласуются с законами механики) не только в их традиционном понимании, но и с учетом поправки на переход части энергии взаимодействия во вращательную энергию взаимодействующих тел. Скорее всего, это свидетельствует о некорректности эксперимента? Однако используя схему, предложенную Воронковым можно добиться изменения импульса системы цилиндр-тележка без видимого взаимодействия с внешней средой. Вращательная энергия цилиндра уменьшает энергию его прямолинейного импульса, следовательно при скатывании цилиндра центр масс системы должен сместиться влево (Vц.м.(с), см. Рис. 10.4.6а). Для повторения цикла без потери достигнутого смещения цилиндр необходимо вернуть на исходную позицию без вращения (см. Рис. 10.4.6*б*), тогда при обратном ходе Ц.М.(с) не изменит достигнутого положения. Для поступательного перемещения системы влево необходимо непрерывно повторять весь цикл.

Сергей Макухин, г. Ангарск (***makss59@mail.ru***) в статье «Неизвестные особенности механики» от 15.03.01г. выдвинул гипотезу о возможности движения замкнутой системы за счет изменения моментов инерции грузов, вращающихся на рычагах разной длины. Алгоритм взаимодействия внутри системы тележка – грузы представлен на (Рис. 10.4.7). Для большей наглядности мы несколько видоизменили схему устройства предложенного С. Макухиным, но суть его идеи полностью сохранена.

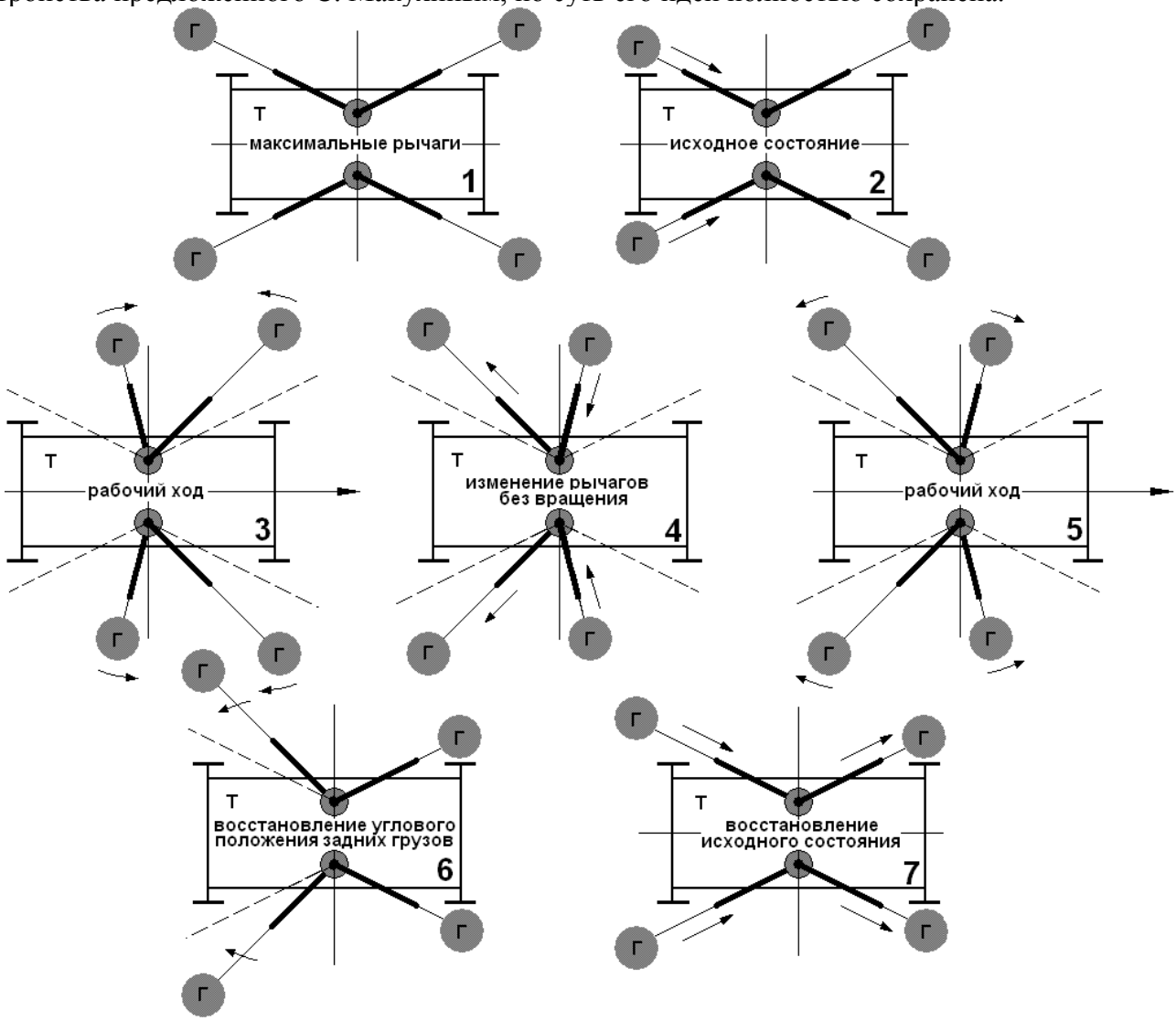


Рис. 10.4.7

Все грузы имеют одинаковый максимальный и минимальный радиус вращения (поз.1). В исходном состоянии рабочего цикла радиус вращения задних грузов минимален, а передних грузов максимален (поз.2). В первом рабочем ходе грузы вращаются навстречу друг другу (поз.3). Затем следует смена радиусов вращения, при которой радиус задних грузов увеличивается до максимального значения, а радиус передних грузов уменьшается до минимального значения (поз.4). Смена радиусов происходит в отсутствие вращательного движения грузов и не влияет на линейный импульс системы. После смены радиусов грузы вращаются в обратном направлении (поз.5). Это второй рабочий ход, после которого восстанавливается исходное состояние системы (поз.6,7). Возвращение длины рычагов в исходное состояние происходит без вращения (поз.7), т.е. без изменения линейного импульса системы. По предположению автора в каждом полном цикле взаимодействия грузов система получает нескомпенсированный линейный импульс, направленный вправо по рисунку.

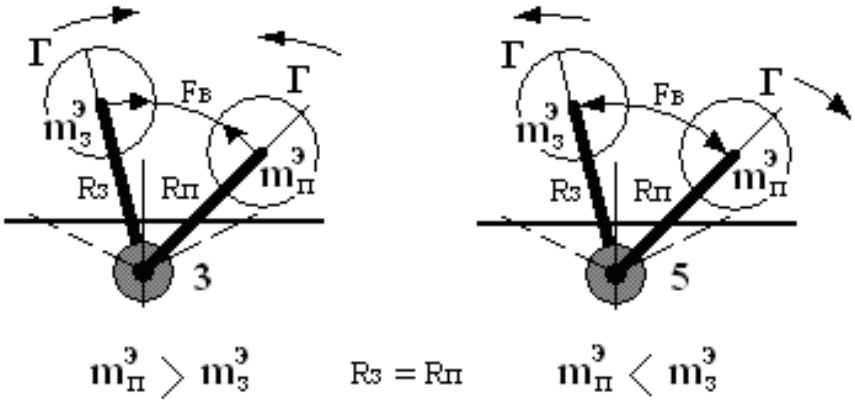
В соответствии с законом сохранения импульса распределение энергии взаимодействия осуществляется в соответствии с полным инерционным сопротивлением взаимодействующих тел, которое складывается из инерционного сопротивления изменению всех видов движения. Следовательно, в общем случае импульсы взаимодействующих тел складываются из импульсов всех видов движения, полученных телами в результате взаимодействия. Таким образом, в общем случае после взаимодействия линейные импульсы взаимодействующих тел могут быть не равны друг другу, т.к. в соответствии с законом сохранения импульса сохраняется полный импульс движения, а не импульс каждого вида движения. На этом принципе и основана возможность «безопорного» движения. Однако общее изменение линейного импульса замкнутой системы наступает только в том случае, когда образующееся при линейном взаимодействии вращательное движение не имеет собственного нескомпенсированного линейного импульса, который может быть возвращен в систему. В предложенной схеме реализации безопорного движения не учтен линейный импульс вращательного движения, который в общем случае может компенсировать импульс линейного взаимодействия при образовании вращательного движения грузов.

В линейных взаимодействиях вдоль линии, проходящей через центр масс взаимодействующих тел, закон сохранения линейного импульса выполняется неукоснительно, т.к. в таких взаимодействиях осуществляется только один вид движения. На этом основании классическая механика ошибочно распространяет условие обязательного сохранения линейного импульса на все без исключения взаимодействия материальных тел. В предложенной схеме реализации безопорного движения присутствует вращательное движение грузов, при образовании которого несимметрично затрачивается часть энергии взаимодействия, что на этапе ускоренного вращательного движения приводит к нескомпенсированному линейному импульсу. Однако в дальнейшем аккумулированная энергия вращательного движения практически одновременно преобразуется в линейный импульс в обратном направлении. В результате общий линейный импульс системы может быть определен только как геометрическая сумма этих импульсов. Рассмотрим импульс линейного взаимодействия вращающихся грузов на этапе ускоренного вращательного движения, т.е. на этапе его образования и на этапе преобразования аккумулированного вращения в линейный импульс.

Образование вращения можно для наглядности привести к эквивалентному линейному взаимодействию. Инерция вращательного движения неразрывно связана с плечом, т.е. с радиусом вращения. Поэтому для того чтобы привести взаимодействие вращающихся грузов к эквивалентному линейному взаимодействию необходимо привести все возникающие при этом силы к единому радиусу вращения. Это можно сделать двумя способами. Либо привести все силы взаимодействия к радиусу вращения одного из грузов, либо к радиусу, на котором реально осуществляется активное силовое воздействие, т.е. к радиусу активного привода вращения. Причем это два абсолютно равнозначных варианта, т.к. физическая сущность закона сохранения импульса определяется не общим количеством энергии взаимодействия или мощностью силового воздействия, которые могут меняться в зависимости от радиуса привода, а перераспределением энергии взаимодействия между взаимодействующими телами в соответствии с их инерционным сопротивлением. В общем случае энергия взаимодействия распределяется в соответствии с обратным соотношением общего инерционного сопротивления взаимодействующих тел изменению состояния их движения. Для линейных взаимодействий это соотношение равно обратному отношению их инертных масс.

Взаимодействие вращающихся грузов независимо от величины их радиусов вращения реально осуществляется в точке приложения активных сил взаимодействия. Очевидно, что точка приложения активных сил находится внутри привода вращения на границе соприкосновения внешней поверхности оси вращения и внутренней поверхности внешней втулки активного привода, на которых закреплены вращающиеся грузы. Однако на радиусе активного привода одинаковая в соответствии с третьим законом Ньютона активная сила привода (Fв) воздействует не на сами грузы, а на рычаги вращающихся грузов.

При этом в соответствии с динамикой вращательного движения реальное инерционное противодействие вращающихся грузов определяется не инертной массой грузов, а моментом инерции грузов, который передается в точку взаимодействия, расположенную в приводе через рычаги грузов. Поэтому в эквивалентном линейном взаимодействии вдоль линии окружности на уровне радиуса активного привода вращения взаимодействуют не инертные массы грузов, а грузы с эквивалентной массой, определяющейся с учетом динамики вращательного движения.



$m^э_п > m^э_з$ $\quad R_з = R_п \quad$ $m^э_п < m^э_з$

Рис. 10.4.8

Как отмечено выше абсолютные размеры привода не имеют принципиального значения для определения соотношения эквивалентных масс на уровне линейного взаимодействия вдоль линии окружности одного радиуса. Эквивалентное инерционное противодействие грузов можно привести к любому произвольному радиусу условного привода. При этом соотношение эквивалентных масс сохраняется на любом радиусе вращения. Поэтому для наглядности рассмотрим эквивалентное линейное взаимодействие на произвольном радиусе условного привода. На (Рис. 10.4.8) изображены фрагменты условного привода в фазах рабочих ходов (Рис. 10.4.7, поз.3,5), в котором силовое воздействие на эквивалентные грузы осуществляется на радиусе (Rз=Rп). Определим эквивалентные массы переднего и заднего грузов ($m_{экв\ п}$ и $m_{экв\ з}$) в эквивалентном линейном взаимодействии, приведенном к единому радиусу вращения условного привода из соотношений основного уравнения динамики вращательного движения. Поскольку все силовые взаимодействия во вращательном движении зависят от радиуса вращения, второй закон Ньютона в динамике вращательного движения записывается в виде уравнения моментов:

$I*d\omega/dt=M$ или $M = I*\varepsilon$,

где:

ω – угловая скорость вращения

ε – угловое ускорение вращения

M – момент силы

I – момент инерции, равный $(m*R^2)$

Пусть соотношение радиусов вращения грузов равно:

$x = Rп/Rз$

Инерционное сопротивление заднего груза равно:

$Fвз = Mз/Rз = (m*R^2*\varepsilon_з)/Rз$

С учетом выражения для углового ускорения ($\varepsilon_з=a_з/Rз$) для заднего груза получаем:

$Fвз = m*R*a_з$

Аналогично с учетом выражений ($Rп=x*Rз$) и ($\varepsilon_п=a_п/(x*Rз)$) для переднего груза получаем:

$Fвп = x*m*R*a_п$

Поскольку сила взаимодействия (Fв) для каждого эквивалентного груза одна, приравняем выражения для Fвз и Fвп:

$m*R*a_з = x*m*R*a_п$

После упрощения и замены линейного ускорения линейной скоростью получаем:

$m*Vз = (x*m)*Vп$

Полученное выражение имеет привычный вид закона сохранения импульса для линейных взаимодействий, в котором:

$m = m_{экв\ з}$

$x*m = m_{экв\ п}$

откуда:

$m_{экв\ п} = x*m_{экв\ з}$

При одинаковой массе грузов:

$m_{экв\ п} = x*m_{экв\ з} = x*m$

С учетом эквивалентных масс переднего и заднего груза окончательно запишем:

$m_{экв\ з}*Vз = m_{экв\ п}*Vп$

Таким образом, в эквивалентном линейном взаимодействии вращающиеся грузы оказывают тем большее инерционное сопротивление активной силе взаимодействия, чем больше их радиус вращения по отношению к радиусу приведенного линейного взаимодействия. Следовательно, соотношение эквивалентных масс, приведенных к единому радиусу эквивалентного линейного взаимодействия пропорционально прямому соотношению их инертных масс и прямому соотношению их радиусов вращения. Точно такой же результат может быть получен вторым способом при приведении линейного взаимодействия к реальному радиусу вращения любого из взаимодействующих грузов, т.е. соотношение эквивалентных масс линейного взаимодействия, как мы отмечали выше, не зависит от абсолютной величины приведенного радиуса линейного взаимодействия. Для грузов с равными массами, как в рассматриваемом случае, соотношение эквивалентных масс линейного взаимодействия определяется только прямым соотношением их радиусов вращения.

Таким образом, при взаимодействии вращающихся грузов на этапе образования ускоренного вращательного движения положение их центра масс может быть изменено по отношению к его положению до взаимодействия, т.к. эквивалентные массы грузов, приведенные к единому радиусу, зависят от фактического радиуса их вращения. Однако разница линейных импульсов взаимодействующих грузов, возникающая при накоплении вращательного движения, может быть скомпенсирована линейным импульсом, образующимся при реализации аккумулированного вращательного движения, направленным в противоположную сторону. Линейный импульс вращения грузов образуется за счет разницы центробежных сил инерции передних и задних грузов, т.к. центробежные силы реализующегося вращения представляют собой дополнительное инерционное сопротивление при взаимодействии вращающихся тел (см. 10.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПОРНОГО ДВИЖЕНИЯ). Рассмотрим линейный импульс системы при реализации аккумулированного вращательного движения. Дополнительную инерциальную массу можно оценить по величине центробежной силы передних и задних грузов. Центробежная сила определяется выражением:

$Fцб = m*\omega^2*R$

Из эквивалентного линейного взаимодействия с единым условным радиусом при образовании вращательного движения следует:

$\omega_{min}/\omega_{max} = R_{max}/R_{min} = x$

$m_{min}/m_{max} = R_{min}/R_{max} = 1/x$

откуда:

$Fцб_{max} = Rэ*x*m_{min}*(\omega_{min}/x)^2 = (m_{min}*\omega^2_{min})/x$

$Fцб_{min} = Rэ*m_{min}*(\omega_{min})^2$

Где:

ω_{min} и ω_{max} – угловая скорость груза с минимальным и максимальным радиусом соответственно

m_{min} и m_{max} – эквивалентная масса груза с минимальным и максимальным радиусом соответственно

$Fцб_{min}$ и $Fцб_{max}$ – центробежная сила грузов с минимальным и максимальным радиусом соответственно

Rэ – радиус эквивалентного линейного взаимодействия

Соотношение центробежных сил грузов с максимальным и минимальным радиусами равно:

$Fцб_{max}/Fцб_{min} = \left(Rэ*(m_{min}*\omega^2_{min})/x\right)/\left(Rэ*m_{min}*(\omega_{min})^2\right) = 1/x$

Центробежная сила эквивалентна инерционному сопротивлению грузов, а соотношение центробежных сил грузов определяет таким образом соотношение эквивалентных масс:

$Fцб_{max}/Fцб_{min} = m_{min}/m_{max} = \mathbf{1/x}$

При ускоренном вращении соотношение эквивалентных масс определялось следующим выражением (см. выше):

$m_{экв\ п}/m_{экв\ з} = \mathbf{x}$

Если учесть, что согласно обозначениям, принятым для реализующегося аккумулированного вращения и обозначениям для ускоренного вращения:

(m_{max}) - соответствует ($m_{экв\ п}$), а

(m_{min}) - соответствует ($m_{экв\ з}$),

то очевидно, что соотношение эквивалентных масс для аккумулированного вращения обратно соотношению приведенных эквивалентных масс для ускоренного вращения и имеет одинаковую абсолютную величину. Следовательно, образующиеся линейные импульсы, связанные с этими массами могут взаимно компенсировать друг друга, если они располагаются вдоль одной линии. Однако

необходимо еще учитывать проекции линейных импульсов, образующихся при ускоренном вращении и при реализации аккумулированного вращения на ось предполагаемого прямолинейного движения. Рассмотрим общий линейный импульс системы в проекции на ось предполагаемого прямолинейного движения.

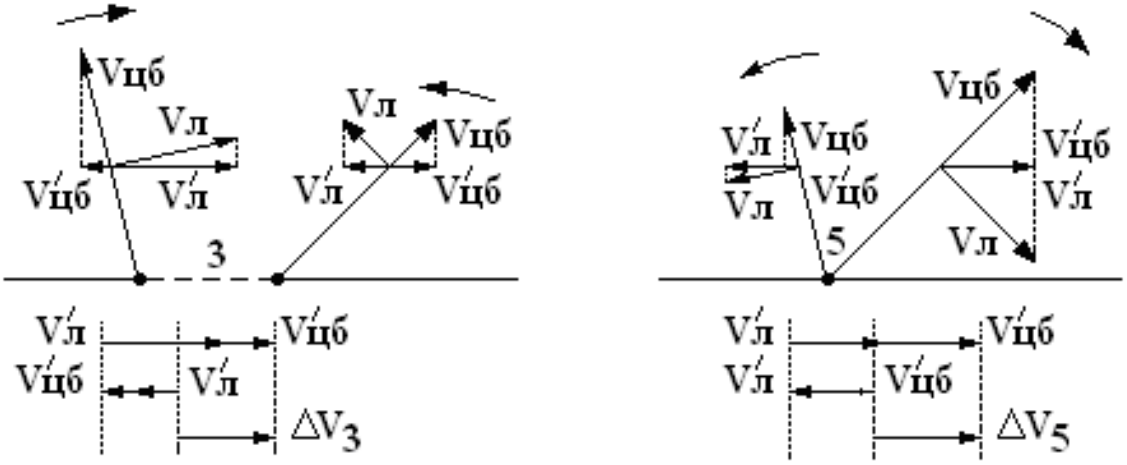


Рис. 10.4.9

На (Рис. 10.4.9) условно показаны линейные скорости, получаемые грузами при образовании вращения и при реализации аккумулированного вращения, а также их проекции на горизонтальную линейную ось, где:

Vл, V′л – линейные скорости грузов и их проекции соответственно, возникающие при образовании вращения с учетом приведенных эквивалентных масс

Vцб и V′цб – линейные скорости центра масс системы и их проекции соответственно, возникающие при реализации аккумулированного вращения грузов с учетом дополнительной инерциальной массы грузов, обусловленной центробежной силой инерции.

Ниже под схемой линейных скоростей на (Рис. 10.4.9) отдельно показаны их проекции и проекции результирующих линейных скоростей (ΔV_3 и ΔV_5), возникающих при взаимодействии грузов в фазах рабочих ходов. Взаимодействие показано для одинаковых угловых положений грузов в каждом из рабочих ходов. Эти положения можно условно принять за средние положения рабочих ходов. На рисунке видно, что средние результирующие линейные скорости (ΔV_3 и ΔV_5) в рабочих ходах, направлены вправо, хотя и незначительно отличаются друг от друга по абсолютной величине.

Предложенная Макухиным схема физически идентична схеме изменения линейного импульса системы при взаимодействии сплошного и полого цилиндров одинаковой массы подробно рассмотренного в работе Турышева «О движении замкнутых систем, или при каких условиях не выполняется закон сохранения импульса» (см. выше). Эта схема собственно является общей для всех рассмотренных способов реализации «безопорного» движения. Возможно при анализе взаимодействия в схеме, предложенной Макухиным, мы могли ошибиться в конкретных расчетах, однако принципы реализации изменения линейного импульса «замкнутой» системы за счет работы «внутренних» сил без нарушения общего закона сохранения импульса в предложенном анализе, на наш взгляд, соблюдены. Таким образом, на данном этапе мы склонны считать, что предложенная Макухиным схема реализации «безопорного» движения при определенных условиях может быть работоспособной.

10.5. ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ И ЗАКОНЫ ФИЗИКИ.

На наш взгляд, никакого противоречия законом сохранения импульса, с законом сохранения энергии и с законами Ньютона в безопорном движении нет. Вращательное движение само по себе представляет загадку. Оно одновременно является и равноускоренным движением и равномерным движением. Вращательное движение характеризуется центростремительным ускорением и в то же время движение к центру в нем отсутствует. Все эти кажущиеся на первый взгляд противоречия не у кого не вызывают вопросов, потому что вращательное движение существует и никто не может этого отрицать. Его худо-бедно описали, установили количественные зависимости и на этом успокоились. Однако никто не попытался установить физическую сущность вращательного движения.

Кинематика рассматривает законы движения без установления причин, вызывающих это движение. Динамика, казалось бы, должна установить причины и механизм возникновения вращательного движения, но в классической физике все опять ограничивается количественным описанием сил и моментов сил. Когда появился новый феномен вращательного движения, демонстрируемый инерцоидами, ученые-физики восприняли его как нарушение фундаментальных законов природы. Хотя феномен безопорного

движения не более противоречив, чем все остальные кажущиеся противоречия вращательного движения. Этот феномен трудно наблюдать в обычной повседневной действительности потому что:

Во-первых: устройств типа инерцоидов в природе в чистом виде не существует, хотя отдельные элементы безопорного движения, по-видимому, встречаются. Например, при падении вперед человек инстинктивно отбрасывает руки назад и сообщает им ускоренное вращательное движение.

Во-вторых: существующие в технике устройства довольно часто содержат механизмы, напоминающие конструкцию инерцоидов. Но разглядеть среди множества мешающих факторов преобразование вращательного движения в поступательное очень сложно. Действительно наблюдать явление безопорного движения в природе очень трудно, однако с появлением инерцоидов отмахиваться от этого явления нельзя.

Нарушения законов природы не может быть в принципе. Все, что происходит в природе, происходит только в соответствии с законами природы или не происходит вообще. Нарушения могут быть только в нашем понимании законов природы, а понимание бывает не всегда. Закон сохранения импульса справедлив и для реальных масс и для эквивалентных масс, но при определении общего изменения импульса необходимо рассматривать эквивалентные массы с учетом инерции движения взаимодействующих тел.

Вот что пишет по поводу инерцоидов и безопорного движения на сайте N-T.ru В. Околотин:

«Многие века люди относились к массивным телам как своеобразным складам движения – сколько в них вложишь, столько и вернешь. Но вот родилась дерзкая надежда превратить склады в источники: нельзя ли так пошевелить грузами на тележке, чтобы та поехала сама собой, за счет внутренних сил? Такие экипажи можно называть по-разному: инерцоидами, дебалансными механизмами, безопорными движителями... Заставить инерцию работать – дело полезное, ***однако сама возможность создания безопорных движителей предельно сомнительна.***

Сначала слово энтузиастам. Например, вот что говорит, обрисовывая сложное положение по нестандартной поисковой проблеме инерцоидов, Б. Романенко (г. Химки Московской обл.), организатор и руководитель общественной лаборатории механоинверсии: «Сейчас нас 120 человек. Мы не можем ждать, пока появится кто-то, кто нам все разъяснит и укажет истину. Тем более что пока ничего вразумительного по теории инерции слышать не приходилось. Одни говорят, что центробежные силы (ЦБС) есть, другие их отрицают. Теория эта запутанна, во многом непонятна. Поэтому приходится надеяться на свой инженерный опыт, на свои руки и головы. Мы работаем, думаем, строим модели вот уже в течение 15 лет...».

А вот как описывает состояние дел инженер М. Денисов из города Рудного Кустанайской области: «О силах инерции прошли две широкие дискуссии, опубликовано немало статей и книг, но ясность все еще не достигнута. Изобретатели не стали ждать решения спора: в 1926 году Г. Шиферштейн получил патент №10467 на повозку с колеблющимся грузом, которая может двигаться по снегу, земле и воде.

В 1934 году М. Колмаков из Челябинска предложил повозку (а.с. №45781), которая двинется, как считает автор, за счет ЦБС. А потому она не нуждается в дороге и в сцеплении с поверхностью пути, напоминая что-то вроде центробежной ракеты.

С. Купцов и К. Карпухин (1961 год, а.с. №151574) придумали плоскую самоходную систему с эксцентриками, создающими центробежные силы. Через десять лет похожие прыгающие механизмы построили М. Чернин и Ю. Подпругин...».

Что же можно сказать сегодня по существу дела? Ссылаясь на теоретическую механику, специалисты-преподаватели отрицают возможность работы безопорных движителей. Однако некоторые модели перемещаются, хотя причины движения теоретики видят в особенностях сцепления тележек с дорогой.»

Позиция В. Околотина и других исследователей, отрицающих безопорное движение несколько странная. Если они видят, в чем инерцоиды противоречат фундаментальным законам природы, то неплохо бы дать детальный теоретический разбор замеченных ими противоречий и поставить на этом точку. Неплохо бы так же привести свои соображения по поводу значительного расхождения количественного расчета поступательного движения инерцоидов с учетом взаимодействия с окружающей средой с практическими результатами действующих моделей. Если В. Околотин выступает только как обозреватель, то можно было привести конкретные детальные мнения ученых, которые занимаются проблемой безопорного движения. Если же серьезных трудов на эту тему нет, то нет и никакого смысла

голословно все отрицать. Феномен инерцоидов существует и пока что опровергает доводы всех скептиков на практике.

Напрасно В. Околотин иронизирует, что «***…если подобное удастся*** (имеется в виду осуществление «безопорного» движения)***, содрогнется не только техника, а и вся наука, ибо на сохранении импульса базируются все знания человечества».*** Подобное уже давно удалось. Инерцоиды существуют уже без малого целый век, но мир от этого не содрогнулся и не перевернулся, потому что:

Во-первых: инерцоиды движутся не вопреки законам природы, а в полном соответствии с ними, в том числе и с законом сохранения импульса. Паника, поднятая официальной наукой по поводу крушения физических законов и законов природы, носит чисто субъективный характер. Так называемое «безопорное» движение в реальной действительности вовсе таковым не является. В природе не существует ни замкнутых систем, ни исключительно внутренних сил. Все материальные образования в природе тесно взаимосвязаны между собой через мировую материальную среду. Об этом догадывались еще наши далекие предки. Замкнутые системы это математическая абстракция, на основе которой современная наука пытается судить о реальной действительности. Отрицая возможность изменения линейного импульса инерцоидов без видимого взаимодействия с окружающей средой, официальная наука отстаивает и защищает не законы природы, а собственные идеализированные представления о ней. Поэтому, «***…если подобное удастся…»*** никто кроме подобных теоретиков, которые принимают абстрактные математические модели за реальную действительность, не содрогнется. Все остальное человечество только вздохнет с облегчением, поскольку наметится выход из искусственного тупика, в котором сегодня находится современная физика по воле ее сегодняшних идеологов.

Во-вторых: практическое применение устройств типа инерцоидов, на наш взгляд, ограничено их невысокой на сегодняшний день тягой. Для повышения тяги инерцоидов необходимо либо увеличивать массу грузов и длину рычагов, либо увеличивать скорость вращения. Оба этих варианта трудноосуществимы. Управлять скоростью вращения достаточно больших масс на больших радиусах и скоростях вращения да еще дважды за один оборот очень затруднительно. Из-за большой инерции движения грузов начинать разгон и торможение нужно задолго до наиболее эффективных зон разгона и торможения, что само по себе снижает эффективность инерцоида. Как правило, на больших скоростях инерцоиды начинают работать значительно хуже из-за несоблюдения условий разгона и торможения вращающихся грузов. Однако эти трудности в определенной степени вполне могут быть преодолены, если официальная наука перестанет абстрагироваться от реальной действительности, и займется поиском соответствующих технических решений.

Сегодня по непонятным с научной точки зрения причинам отвергается реальное явление, которое можно увидеть глазами, потрогать руками, сделать необходимые замеры и наблюдения только потому, что это явление не вписывается в идеализированную абстрактную математическую модель замкнутых систем. В рамках этой модели изменение импульса замкнутых систем можно объяснить только силами трения, однако расчеты и практические исследования показывают, что одними только силами трения движение замкнутых систем объяснить невозможно. Тем не менее, влияние мировой материальной среды современной наукой отвергается, т.к. не признается сама материальная среда. Но зато в современной теоретической физике спокойно существуют и обсуждаются на самом высоком научном уровне такие понятия, как:

«искривление пространства»,
«кручение пространства»,
«пространство-время»,
«вибраторы-струны»,
«пятые, шестые и энные измерения»
и т. д., и т. п.

Ни один физик на Земле и даже авторы этих понятий не смогут доходчиво объяснить непосвященному человеку, что это такое, потому что эти понятия философские, а не физические. Их «понимают» только те, кто с ними заодно, то есть одной «веры». Но это уже не наука. На наш взгляд физику нужно разделить на две части. В первой части подробно, доходчиво и человеческим языком излагать суть всех явлений. И только после исчерпывающих объяснений переходить к количественным соотношениям, чтобы теорию не подменять количественным описанием. Если суть явлений объяснить не удается, то найденные эмпирическим путем количественные закономерности помещать во вторую часть физики с честным

пояснением, что природа вещей еще не установлена, но есть такие-то и такие-то гипотезы. Гипотез должно быть несколько – две три наиболее признанные.

Понятно, что на физику накладываются конъюнктурные соображения: желание получить признание, ученую степень и т. д. Но, сколько же можно «искривлять и закручивать пространство», а заодно и мозги себе и всему остальному миру? Почему нельзя непонятное назвать непонятным, а если что-то непонятно всем, кроме автора, подробнейшим образом разъяснить свою точку зрения, а не прикрываться математическими формулами, которые зачастую к физике не имеют никакого отношения.

Июнь 2006
Астахов А. А.