Исторические проблемы физики. Сила, масса, инерциальная система отсчета (Historical problems in physics. Force, mass, inertial frame of reference)

Сомсиков Александр Иванович (Aleksandr Ivanovich Somsikov)

Аннотация. Выявлен физический смысл (логическое содержание) исходных физических понятий – *силы, массы, инерционной системы отсчета*. Приложен перевод с русского языка на английский.

Abstract. The physical meaning (logical content) of the original physical concepts: *force, mass, inertial frame of reference* are revealed. Attached is the translation of the article from Russian into English.

Физическое определение силы и массы

В физике смысл каждой вновь вводимой величины, кроме первоначальных, считается выясненным в том случае, когда найдено уравнение, в котором эта величина выражается через ранее введенные, первоначальные же величины не выводимы и должны иметь словесные определения.

Например, *скорость* определяется как *отношение пройденного пути ко времени, в течение которого путь пройден* (путь и время – первоначальные понятия, не поддающиеся дальнейшему разложению); *ускорение* есть *отношение величины изменения скорости ко времени, в течение которого произошло изменение*; *работа* есть *произведение силы на пройденный путь*; *мощность* есть *отношение работы к промежутку времени, в течение которого она совершалась* и т.д.

Не все величины, однако, имеют столь ясно определенный *физический смысл* и прежде всего две фундаментальные величины классической механики – *сила и масса*.

Причина состоит в том, что Ньютон ввел одновременно обе эти величины в одном уравнении второго закона механики, вследствие чего одна неизвестная величина – сила определялась через другую неизвестную – массу и наоборот.

Логический круг может быть преодолен путем добавления второго уравнения, содержащего те же неизвестные, исключения одной из неизвестных и выражения второй неизвестной через известные.

Недостающее уравнение было также дано Ньютоном (закон всемирного тяготения для неподвижных и медленно движущихся относительно скорости света тел), так что полная система двух уравнений есть:

$$F_1 = k_1 m_1 a_1 \ ,$$

$$F_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \ ,$$

где F_1 – сила, действующая на тело 1,

m_1, m_2 – массы взаимодействующих тел 1, 2,

r – расстояние между телами,

$k_1 \, , k_2$ – коэффициенты, определяемые используемой системой единиц.

Для того чтобы выяснить физический смысл входящих величин F и m, нужно, как сказано, решить эту систему.

Итак, пусть сила, вызывающая ускоренное движение тела 1 с массой m_1 , является силой тяготения:

$$k_1 m_1 a_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \ .$$

После сокращения на m_1 получим: $k_1 a_1 = k_2 \frac{m_2}{r^2}$.

Откуда: $m_2 = \frac{k_1}{k_2} a_1 r^2 = k a_1 r^2$.

Положив теперь $k = 1$ (то есть $k_1 = k_2$) , приходим к следующему *определению массы*: $m_2 = a_1 r^2$.

Массой тела 2 *называется произведение ускорения* a_1, *приобретаемого другим телом* 1, *находящимся на заданном расстоянии* r *от него, на квадрат этого расстояния* r *между телами.*

Из формулы видно, что возможно как скалярное, так и векторное истолкование массы:

$$\bar{m}_2 = \bar{a}_1 r^2.$$

Второй закон механики является *определением силы* (если положить $k_1 = k_2 = 1$):

$$F_2 = m_2 a_2 = a_1 a_2 r^2.$$

Сила есть произведение ускорений a_1, a_2 *взаимодействующих тел* 1, 2 *на квадрат расстояния* r *между телами.*

Из определения следует, что правильно говорить «сила тел» вместо «сила, приложенная к телу», т.к. сила не является самостоятельной сущностью, могущей быть приложенной, но лишь указанным выше произведением.

Полная система уравнений ньютоновой динамики состоит из 4-х уравнений:

$$F_1 = m_1 a_1,$$

$$F_2 = m_2 a_2 ,$$

$$F_1 = \frac{m_1 m_2}{r^2} ,$$

$$F_2 = F_1 .$$

и содержит 4 неизвестных – F_1 , F_2 , m_1 , m_2 .

Решение этой системы есть:

$$m_1 = a_2 r^2,$$
$$m_2 = a_1 r^2,$$
$$F_1 = F_2 = a_1 a_2 r^2.$$

Заметим, что отсутствие или изменение любого из приведенных уравнений делает в первом случае невозможным однозначное определение силы и массы, т.к. при этом остается три уравнения с 4-мя неизвестными, а во втором равносильно полному изменению смысла силы F и массы m .

А потому, если где-нибудь равенство $F_1 = F_2$, например, заменяется равенством $F_1 = fF_2$ $(F_1 \neq F_2)$, то здесь следует начать с того, что неизвестно, что такое F и m, и то, что обозначено прежней буквой, является совершенно новым понятием.

Система отсчета

Система отсчета, в которой измеряются ускорения a_1, a_2, называется *инерциальной системой отсчета* (ИСО).

Основным свойством ИСО является независимость ускорения a_1 от самого тела 1 (постоянство массы m_2 тела 2 при изменении массы m_1 тела 1), точно так же ускорение a_2 тела 2 не зависит от самого тела 2 (постоянство массы m_1 тела 1 при изменении массы m_2 тела 2).

Это означает, что в ИСО приращение ускорения Δa с изменением тела 1 каждый раз относится к телу 2, соответственно с изменением тела 2 считается относящимся к телу 1.

Иными словами, при изменении тела 1 ускорение ИСО относительно тела 1 не изменяется (ИСО остается прежней), точно так же с изменением тела 2 ускорение ИСО относительно тела 2 не меняется.

Отсюда следует, что для любой пары 1', 2' ИСО остается той же самой, что и для 1, 2.

Действительно, произвольную пару 1', 2' можно получить из заданной пары 1, 2 путем последовательной замены вначале тела 1 на тело 1', при этом относительно тела 1' ИСО движется с прежним ускорением a_1 , т.е. не изменяется, а ускорение a_2' тела 2 измеряется в этой же ИСО; затем тела 2 на тело 2', при этом относительно тела 2' ИСО движется с прежним ускорением a_2' (не изменяется), а ускорение a_1' тела 1' измеряется относительно этой же ИСО.

В итоге, ускорения тел 1', 2' измеряются относительно той же ИСО, что и ускорения тел 1, 2, с точностью до любой другой системы отсчета, движущейся относительно первой без ускорения.

В ИСО ускорение тела 1 и связанной с ним системы отсчета CO_1 равно a_1 , соответственно ускорение тела 2 и его системы отсчета $\mathrm{CO}_2 - a_2$.

В CO_1 ускорение ИСО равно минус a_1 , а ускорение CO_2 равно: $(a_1 + a_2)$.

Присоединим к телу 1 некоторое тело 3.

При этом ускорение CO_2 в ИСО становится равным $a_2' = a_2 + \Delta a$ (a_1 от добавления тела 3 не меняется).

В CO_1 ускорение CO_2 становится равным $(a_1 + a_2 + \Delta a)$.

Таким образом, приращение Δa от добавления тела 3 в ИСО и в CO_1 имеет одинаковую величину и, следовательно, его можно определить измерением в CO_1.

Но это приращение в ИСО однозначно определяет массу тела 3!

Заметим, что как только найдена масса хотя бы одного из тел (в данном случае – тела 3), массы всех остальных тел находятся легко, для чего следует последовательно помещать исследуемые тела на заданном расстоянии от тела 3 и измерять ускорение исследуемых тел *относительно* тела 3.

При этом получим: $a = \Delta a + a_i$,

где a – ускорение i-го тела относительно тела 3,

a_i – ускорение i-го тела относительно ИСО,

Δa – ускорение тела 3 относительно ИСО.

Откуда: $a_i = a - \Delta a$, $m_i = a_i r^2$,

где m_i – масса i-го тела.

Вышесказанное является анализом исторически данного материала.

Правильный порядок построения феноменологической теории динамики следующий.

Начало построения

Геометрическое сравнение тел осуществляется путем сравнения их размеров; в физике тела сравнивают по их движениям, при этом характеристики движений служат характеристиками тел.

Опытным путем установлено, что тела, могущие свободно перемещаться друг относительно друга, самопроизвольно приходят в движение (*взаимодействуют*), причем в системе отсчета, связанной с телом 1 ($\mathrm{СО}_1$) тело 2 приобретает ускорение $a_{2\mathrm{СО}1}$, *зависящее* от тела 1 (соответственно в $\mathrm{СО}_2$ тело 1 имеет ускорение $a_{1\mathrm{СО}2}$, где $a_{1\mathrm{СО}2} = a_{2\mathrm{СО}1}$).

Однако это ускорение еще не может служить характеристикой тела 1 прежде всего потому, что это величина неоднозначная, а зависит еще и от расстояния: $a_{2\mathrm{СО}1} \sim \frac{1}{r^2}$.

Величиной, *не зависящей* от расстояния, является произведение: $a_{2\mathrm{СО}1} r^2$. Однако и эта величина еще не может служить характеристикой тела 1, т.к. она зависит не только от тела 1, но и от тела 2, иными словами с изменением тела 2 ускорение $a_{2\mathrm{СО}1}$ меняется:

$$a'_{2\mathrm{СО}1} = a_{2\mathrm{СО}1} \pm \Delta a.$$

Сделать это ускорение *не зависящим* от тела 2 можно путем перехода к другой системе отсчета (названной *инерциальной системой отсчета* ИСО), движущейся ускоренно относительно $\mathrm{СО}_1$, то есть самого тела 1 с некоторым ускорением $a_{1\mathrm{ИСО}}$.

Найти ИСО означает определить $a_{1\mathrm{ИСО}}$, зная $a_{2\mathrm{СО}1}$.

Пусть даны тело 1 совместно с его системой отсчета $\mathrm{СО}_1$ и тело 2.

В $\mathrm{СО}_1$ ускорение тела 2 равно $a_{2\mathrm{СО}1}$.

В искомой ИСО ускорения тел 1, 2 составляют: $a_{1\mathrm{ИСО}}, a_{2\mathrm{ИСО}}$.

При этом: $a_{1\mathrm{ИСО}} + a_{2\mathrm{ИСО}} = a_{2\mathrm{СО}1}$.

Неподвижно присоединим к телу 1 некоторое тело 3.

В искомой ИСО совместное ускорение тел (1 + 3) не зависит от тела 1 и составляет по-прежнему $a_{1\mathrm{ИСО}}$.

Ускорения тела 2 равны теперь: в ИСО – $a'_{2\mathrm{ИСО}}$, в $\mathrm{СО}_1$ – $a'_{2\mathrm{СО}1}$.

При этом: $a_{1\mathrm{ИСО}} + a'_{2\mathrm{ИСО}} = a'_{2\mathrm{СО}1}$.

Пусть: $a'_{2\mathrm{СО}1} = a_{2\mathrm{СО}1} + \Delta a$.

Имеем: $a_{1\mathrm{ИСО}} + a'_{2\mathrm{ИСО}} = a_{2\mathrm{СО}1} + \Delta a = a_{1\mathrm{ИСО}} + a_{2\mathrm{ИСО}} + \Delta a$, т.е. изменения ускорений тела 2 в $\mathrm{СО}_1$ и в ИСО *одинаковы*, равны Δa и могут быть найдены *измерениями* в $\mathrm{СО}_1$.

Уберем теперь тело 1.

В искомой ИСО ускорение оставшегося тела 3 *не изменится* и составляет по-прежнему $a_{1\text{ИСО}}$.

Ускорения тела 2 равны теперь: в ИСО – $a''_{2\text{ИСО}}$, в СО_1 – $a''_{2\text{СО}1}$.

При этом: $a_{1\text{ИСО}} + a''_{2\text{ИСО}} = a''_{2\text{СО}1}$.

Оба ускорения $a''_{2\text{ИСО}}$ и $a''_{2\text{СО}1}$ изменятся в сравнении с $a'_{2\text{ИСО}}$, $a'_{2\text{СО}1}$ на одинаковую величину, равную $a_{2\text{ИСО}}$:

$a''_{2\text{ИСО}} = a'_{2\text{ИСО}} - a_{2\text{ИСО}} = a_{2\text{ИСО}} + \Delta a - a_{2\text{ИСО}} = \Delta a,$

$a''_{2\text{СО}1} = a'_{2\text{СО}1} - a_{2\text{ИСО}} = a_{2\text{СО}1} + \Delta a - a_{2\text{ИСО}} = a_{1\text{ИСО}} + \Delta a.$

Зная $a''_{2\text{СО}1}$ и Δa , найдем теперь $a_{1\text{ИСО}}$:

$a_{1\text{ИСО}} = a''_{2\text{СО}1} - \Delta a$.

Зная $a_{1\text{ИСО}}$, найдем $a_{2\text{ИСО}}$:

$a_{2\text{ИСО}} = a_{2\text{СО}1} - a_{1\text{ИСО}}$.

При заданном r ускорение $a_{2\text{ИСО}}$ теперь уже не зависит от тела 2, а зависит только от тела 1.

В свою очередь произведение $a_{2\text{ИСО}}r^2$ уже не зависит ни от тела 2, ни от расстояния r и потому *может служить* однозначной *характеристикой* тела 1.

Эта характеристика получила наименование *массы*:

$$m_1 = a_{2\text{ИСО}}r^2.$$

Выбор ИСО, не связанной ни с одним из взаимодействующих тел, движущейся ускоренно относительно каждого из тел и притом с разными ускорениями объясняется именно тем, что при этом достигается *однозначность* характеристик каждого из этих взаимодействующих тел.

Коэффициенты

Исходные формулы при построении систем единиц динамики Ньютона следующие:

$$F_1 = k_1 m_1 a_1,$$
$$F_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

В системе единиц, предложенной В. Томсоном, оба коэффициента k_1, k_2 принимаются равными единице:

$$F_{1\text{Т}} = m_{1\text{Т}} a_1, \; F_{1\text{Т}} = \frac{m_{1\text{Т}} m_{2\text{Т}}}{r^2} ,$$

при этом сам эталон массы оказывается *вполне определенным* (~ 15 т, при единице длины – см и единице времени – с).

Покажем, как появляются коэффициенты в формулах Ньютона в случае, если эталон массы выбирается *произвольно*.

Пусть, например, *новый* эталон массы составляет γ томсоновых эталонов (γ имеет произвольное, отличное от единицы числовое значение).

Тогда: $m_{\text{Н}} = \frac{m_{\text{Т}}}{\gamma}$.

В системе единиц типа “динамической” $k_1 = 1$:

$$F_{1\text{Н}} = m_{1\text{Н}} a_1 = \frac{m_{1\text{Т}}}{\gamma} a_1 = \frac{F_{1\text{Т}}}{\gamma}, \text{ то есть } F_{1\text{Т}} = \gamma F_{1\text{Н}}.$$

Поскольку: $F_{1\text{Т}} = \frac{m_{1\text{Т}} m_{2\text{Т}}}{r^2}$, $F_{1\text{Т}} = \gamma F_{1\text{Н}}$ и $m_{1\text{Т}} = \gamma m_{1\text{Н}}$, $m_{2\text{Т}} = \gamma m_{2\text{Н}}$,

то получаем: $\gamma F_{1\text{Н}} = \frac{\gamma m_{1\text{Н}} \gamma m_{2\text{Н}}}{r^2}$ или $F_{1\text{Н}} = \gamma \frac{m_{1\text{Н}} m_{2\text{Н}}}{r^2}$, откуда $k_2 = \gamma$.

В системе единиц типа “гравитационной” $k_2 = 1$:

$$F_{1\text{Н}} = \frac{m_{1\text{Н}} m_{2\text{Н}}}{r^2} = \frac{m_{1\text{Т}}}{\gamma} \frac{m_{2\text{Т}}}{\gamma} \frac{1}{r^2} = \frac{F_{1\text{Т}}}{\gamma^2}.$$

Второй закон Ньютона: $F_{1\text{Т}} = m_{1\text{Т}} a_1$ в новой системе единиц:

$$\gamma^2 F_{1\text{Н}} = \gamma m_{1\text{Н}} a_1 \text{ или } F_{1\text{Н}} = \frac{1}{\gamma} m_{1\text{Н}} a_1, \text{ откуда: } k_1 = \frac{1}{\gamma}.$$

В частном случае, когда коэффициент γ в точности равен “гравитационной постоянной”, мы получаем собственно *гравитационную* или *динамическую* системы единиц.

Если новый эталон массы, измеряемый в долях от томсонова эталона массы, сохраняет прежнюю *размерность* [см^3/с^2], то коэффициент γ есть число, показывающее во сколько раз новый эталон больше или меньше томсонова эталона.

Если же новому эталону дано и новое название (например, грамм), то коэффициент γ приобретает размерность:

$$[\gamma] = \frac{[m_{\text{т}}]}{[m_{\text{Н}}]} = \frac{[\frac{\text{см}^3}{\text{с}^2}]}{[\text{г}]}.$$

Итак, *гравитационная* и *динамическая постоянные* появляются вследствие произвольности выбора эталона массы при построении систем единиц измерения и *не имеют собственного физического смысла*.

Случай больших скоростей

Если считать установленным существование предельной относительной скорости V перемещения взаимодействующих тел, при приближении к которой их ускорения a стремятся к нулю по формулам:

$$a = a_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}, \quad (a \to 0 \text{ при } V \to C),$$

где a_0 – ускорение при относительных скоростях V, много меньших скорости C света ($V \ll C$), то и сила взаимодействия

$$F = F_0\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\text{, то есть } F \to 0 \text{ при } V \to C .$$

Вообще говоря, $a \to 0$ может означать либо $F \to 0$ по формуле $F = F_0\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$, либо $m \to \infty$ по формуле $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$, поскольку $a = \frac{F}{m}$.

Математически оба варианта равноценны.

Однако *физически* $m \to \infty$ *невозможно*, т.к. это означает $ar^2 \to \infty$, то есть $a \to \infty$ и $V \to \infty$, что исключается, поскольку $a \to 0$ при $V \to C$.

Поэтому мы и говорим, что $a \to 0$ означает именно $F \to 0$.

Кроме того, поскольку $m = ar^2$, $a \to 0$ также означает $m \to 0$:

$$m = m_0\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}.$$

При приближении к предельной скорости C масса каждого из взаимодействующих тел *стремится к нулю*.

Масса одного и того же тела равна нулю для тел, достигших предельной относительной скорости C и не равна нулю для тел, не достигших предельной относительной скорости, иными словами значение массы является *относительной* величиной.

Определение заряда

Закон Кулона: $F = \frac{q_1q_2}{r^2}$, где q_1, q_2 – «заряды» тел.

По определению в физической (томсоновской) системе единиц: $F = a_1a_2r^2$, где a_1, a_2 – ускорения, приобретаемые взаимодействующими телами (в ИСО).

Откуда: $a_1a_2r^2 = \frac{q_1q_2}{r^2}$ или $a_1a_2r^2r^2 = kq_1q_2$.

Положив теперь $k = 1$, получим:

$$q_1 = a_2r^2.$$

$$q_2 = a_1r^2,$$

иными словами понятие “заряда” *тождественно* понятию массы.

Соответственно: $F = a_1a_2r^2 = a_1q_1 = a_2q_2$ – второй закон Ньютона в области электростатики.

По определению, *напряженность электростатического поля*

$E = \frac{F}{q_2} = a_2$ есть ускорение, приобретаемое пробным телом.

Векторное истолкование заряда: $\bar{q}_1 = \bar{a}_2r^2$.

Потенциальность поля

Если в направлении действия поля пробное тело движется с предельной относительной скоростью C, то его сила $F \to 0$ и, следовательно, работа $A \to 0$.

Если в обратном направлении тот же путь проходится с относительной скоростью меньшей предельной, то тогда $F \neq 0$, соответственно и работа A имеет конечное значение.

Суммарная работа по замкнутому пути оказывается *не равной нулю*.

То есть *потенциальность* поля, устанавливаемая по признаку равенства нулю работы при перемещении пробного тела по *замкнутому пути*, нарушается в общем случае, включающем предельную относительную скорость C перемещений.

Переход от ИСО **к** CO_1

Перенесем теперь тело 2 из CO_2 в CO_1 , неподвижно присоединив его к телу 1.

В ИСО до переноса тела 2: $m_1 > 0, m_2 > 0, a_{1\text{ИСО}} > 0, |a_{2\text{ИСО}}| > 0$.

В CO_1 до переноса тела 2: $a_{1\mathrm{CO}1} = 0,\ a_{2\mathrm{CO}1} = a_{1\text{ИСО}} + a_{2\text{ИСО}}$.

В ИСО после переноса тела 2:

$$m_1' \to m_1 + m_2,\ m_2' \to 0,\ a_{1\text{ИСО}}' \to 0,\ \ a_{2\text{ИСО}}' \to a_{1\text{ИСО}} + a_{2\text{ИСО}} .$$

При этом $a_{1\text{ИСО}}' \to 0$ означает: ИСО $\to \mathrm{CO}_1$.

В CO_1 после переноса тела 2:

$$a_{1\mathrm{CO}1}' = a_{1\mathrm{CO}1} = 0,$$

$$a_{2\mathrm{CO}1}' = ?$$

Поскольку ИСО $\to \mathrm{CO}_1$, $a_{2\text{ИСО}}' \to a_{2\mathrm{CO}1}'$, то, следовательно,

$$a_{2\mathrm{CO}1}' = a_{2\text{ИСО}}' = a_{1\text{ИСО}} + a_{2\text{ИСО}}.$$

Поэтому переход от ИСО к CO_1 равнозначен переносу в эту CO_1 тела 2, сопровождающемуся суммированием масс $m_1 + m_2 = m_1'$, а также переносу в CO_1 самой ИСО.

И обратно, переход от CO_1 к ИСО равнозначен выделению из тела 1, находящегося в CO_1, некоторого тела 2 с массой $m_2 = m_1' - m_1$.

После переноса тела 2 в CO_1 совместная масса тел, находящихся в CO_1:

$$m_1' = a_{2\text{ИСО}}' r^2 = a_{2\mathrm{CO}1}' r^2 .$$

Для тела, находящегося в CO_1, масса m_1тела 1 может быть найдена измерениями в самой CO_1, при использовании в процессе измерений тела 2 бесконечно малой (не возмущающей) массы m_2 (пробного тела).

Взаимодействие тел с существенно различными массами

В частном случае взаимодействия масса тела 2 может быть много меньше массы тела 1: $m_2 \ll m_1$, что означает: $a_{1\text{ИСО}} r^2 \ll a_{2\text{ИСО}} r^2$ или $a_{1\text{ИСО}} \ll a_{2\text{ИСО}}$.

Выполним переход от ИСО к СО_1 для данного случая.

В ИСО до перехода к СО_1 (переноса тела 2 в СО_1):

$$m_1 > 0, m_2 > 0 \,, a_{1\text{ИСО}} > 0 \,, |a_{2\text{ИСО}}| > 0 \,, m_2 \ll m_1 \,, a_{1\text{ИСО}} \ll a_{2\text{ИСО}} \,.$$

В СО_1 до переноса тела 2: $a_{1\text{СО}1} = 0,\; a_{2\text{СО}1} = a_{1\text{ИСО}} + a_{2\text{ИСО}}$.

Ввиду малости $a_{1\text{ИСО}}$ относительно $a_{2\text{ИСО}}$ имеем:

$$a_{1\text{СО}1} = 0, a_{2\text{СО}1} = a_{2\text{ИСО}} \,.$$

В ИСО после перехода к СО_1, соответствующего переносу в СО_1 тела 2 с массой m_2 : $m_1' = m_1 + m_2$, $m_2' = 0$, $a_{1\text{ИСО}}' = 0$, $a_{2\text{ИСО}}' = a_{1\text{ИСО}} + a_{2\text{ИСО}}$.

Ввиду малости m_2 относительно m_1 и $a_{1\text{ИСО}}$ относительно $a_{2\text{ИСО}}$, имеем: $m_1' = m_1$, $m_2' = 0$, $a_{1\text{ИСО}}' = 0$, $a_{2\text{ИСО}}' = a_{2\text{ИСО}}$.

В СО_1 после переноса в нее тела 2:

$$a_{1\text{СО}1}' = a_{1\text{СО}1} = 0,\; a_{2\text{СО}1}' = a_{2\text{ИСО}}' = a_{2\text{ИСО}} \,,$$

т.е. присоединение тела 2 малой массы m_2 к телу 1 большой массы m_1 не изменяет массу тела 1 и *ускорение* $a_{2\text{СО}1}'$, приобретаемое телом бесконечно малой массы относительно СО_1.

Эксперимент Галилея

Именно такой случай обнаружен в эксперименте Галилея, “опровергнувшим” тезис Аристотеля о неравенстве ускорений тел, обладающих различными массами.

Эксперимент, выполненный в СО_1, где тело 1 – Земля (объект с очень большой массой m_1), тело 2 – любой объект с малой массой m_2 , показал, что в пределах точности измерений ускорение тела 2 *не зависит* от массы m_2 .

В самом деле, при $m_1 \gg m_2$ присоединение массы m_2 к массе m_1 , задающее переход от ИСО к СО_1, ввиду малости m_2 практически не изменяет m_1 , т.е. ускорение $a_{2\text{ИСО}}'$, приобретаемое “галилеевским” пробным телом пренебрежимо малой массы m_2 относительно тела большой массы m_1 действительно не зависит от m_2 .

Итак, результат Галилея относится к ***частному*** случаю взаимодействия тел с существенно неравными массами.

Он устанавливает фактически способ определения СО_1 в качестве местной ИСО относительно некоторых, вполне определенных для данной СО_1 и данной точности измерений *галилеевских* объектов с помощью самих этих объектов.

Его заключение таково:

“*Данный эксперимент устанавливает, что для данных галилеевских объектов данное тело (Земля) является объектом достаточно большой массы*

m_1 *, чтобы его* СО_1 *для данных галилеевских объектов и при данной точности измерений могла быть принята в качестве местной* ИСО ”.

Для тела 1 с малой массой m_1 или тела 2 с большой массой m_2 он бы получил другой результат, чтобы констатировать в свою очередь:

“*Эксперимент устанавливает, что для данной пары объектов данная* СО_1 *с точностью, определяемой точностью измерений, не может считаться местной* ИСО” или иначе:

“*Данные объекты относительно* $\text{ИСО} = \text{СО}_1$ *с точностью, определяемой точностью измерений, не могут считаться галилеевскими объектами, имеющими бесконечно малую массу* m_2 *относительно* m_1 ”.

Если теперь выбрать в качестве тела 1 тело пренебрежимо малой массы $m_1 \ll m_2$, то при измерениях в такой СО_1 галилеевский объект массой $m_2' = 2m_2$ *действительно* обладает в 2 раза большим ускорением $a_{2\text{СО}1}' = 2a_{2\text{СО}1}$, в полном *соответствии* с “*опровергаемым*” положением Аристотеля.

Итак, положение Аристотеля относится к *другому частному случаю* обратного соотношения масс $m_1 \ll m_2$ при измерениях в СО_1.

Фактически результат Аристотеля реализуется в самом эксперименте Галилея при переходе от СО_1 к СО_2, образующем своего рода “инверсию” точки зрения.

Таким образом, оба положения: Аристотеля – “ускорение тела пропорционально массе тела” и Галилея – “ускорение тела не зависит от массы тела” действительно относятся к одному и тому же частному случаю взаимодействия тел 1, 2 с существенно неравными массами.

При этом, однако, для $m_1 \gg m_2$ результат Галилея реализуется в СО_1, а результат Аристотеля – в СО_2.

Оба “взаимоисключающие” положения оказываются *верными*, относятся к одному и тому же частному случаю взаимодействия и “подтверждаются” одним и тем же экспериментом, но только лишь в *разных СО*.

В общем же случае верным является положение Ньютона: “В ИСО, для данной пары 1, 2, ускорение объекта 2 не зависит от его массы m_2 ”.

Случай Ньютона

Пусть теперь оба тела 1 и 2 имеют не галилеевские большие массы.

Назовем их *ньютоновскими* объектами $1_\text{Н}$, $2_\text{Н}$:

$$m_{1\text{Н}} = k_1 m_{1\text{Г}},\ m_{2\text{Н}} = k_2 m_{2\text{Г}}$$

Где $k_1,\ k_2 \to \infty$.

Пусть по-прежнему $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$, а $r \to \infty$.

Тогда поскольку $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$, справедливо: $a_{1\text{ИСО}} \ll a_{2\text{ИСО}}$.

С учетом $a_{1\text{ИСО}} = \frac{m_{2\text{Н}}}{r^2}$, $a_{2\text{ИСО}} = \frac{m_{1\text{Н}}}{r^2}$ и $r \to \infty$, при некоторых $r > R$ оба ускорения $a_{1\text{ИСО}} \to 0$, $a_{2\text{ИСО}} \to 0$, все время оставаясь при этом $a_{1\text{ИСО}} \ll a_{2\text{ИСО}}$.

При некотором порядке малости, определяемом заданной точностью измерений, оба ускорения достигают значений, принимаемых за нулевые, причем $a_{1\text{ИСО}}$ достигает этого значения много раньше $a_{2\text{ИСО}}$: $a_{1\text{ИСО}} = 0$, $a_{2\text{ИСО}} > 0$, $r \to \infty$, $r > R$.

Поскольку при этом $a_{1\text{ИСО}} = 0$, то ИСО таким образом вновь совмещается с СО_1. Другими словами при взаимодействии тел с ньютоновскими массами $m_{1\text{Н}}$, $m_{2\text{Н}}$ начиная с некоторого минимального $r > R$ (назовем его минимальным *ньютоновским* расстоянием $R_\text{Н}$) ИСО вновь, как и в случае галилеевского объекта $m_{2\Gamma}$ приводится к СО_1.

Итак, при взаимодействии ньютоновского и галилеевского объектов $m_\text{Н}$, m_Γ:

$m_\text{Н} > 0$, $m_\Gamma > 0$, $m_\text{Н} = k m_\Gamma$, $k \to \infty$, $\text{ИСО} = \text{СО}_1$, при любом $r > 0$.

При взаимодействии двух ньютоновских объектов $m_{1\text{Н}}$, $m_{2\text{Н}}$, с существенно неравными массами $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$:

$m_{1\text{Н}} > 0$, $m_{2\text{Н}} > 0$, $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$, $a_{1\text{ИСО}} = 0$, $a_{2\text{ИСО}} > 0$, $\text{ИСО} = \text{СО}_1$, $r > R_\text{Н}$,

т.е. $\text{ИСО} = \text{СО}_1$ не при любом, а лишь начиная с некоторого ньютоновского расстояния $R_\text{Н}$, определяемого заданной точностью вычислений.

Определим теперь $R_\text{Н}$ как функцию от заданного соотношения масс $m_{1\text{Н}}$, $m_{2\text{Н}}$ и заданной точности вычислений.

Пусть $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$, $(\frac{m_{1\text{Н}}}{m_{2\text{Н}}} \gg 1)$.

В ИСО ускорения тел 1, 2 составляют:

$$a_{1\text{СО}1} = a_{1\text{ИСО}} - a_{1\text{ИСО}} = 0,\ \ a_{2\text{СО}1} = a_{2\text{ИСО}} + a_{1\text{ИСО}}.$$

Видно, что $a_{1\text{СО}1}$ и $a_{2\text{СО}1}$ отличаются от $a_{1\text{ИСО}}$ и $a_{2\text{ИСО}}$ только на величину $a_{1\text{ИСО}}$, т.е. сама СО_1 отличается от ИСО в пределах $\pm a_{1\text{ИСО}}$.

Если теперь $a_{1\text{ИСО}} \ll a_{2\text{ИСО}}$ (ввиду $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$), то при определенной точности вычислений ею можно пренебречь, т.е. принять:

$$a_{1\text{СО}1} = 0\ ,\ \ a_{2\text{СО}1} = a_{2\text{ИСО}}\ .$$

При этом: $\Delta a_{1\text{СО}1} = \Delta a_{2\text{СО}1} = a_{1\text{ИСО}}$, где $\Delta a_{1\text{СО}1}$, $\Delta a_{2\text{СО}1}$ – погрешность приближения, вносимая заменой истинной ИСО приближенной $\text{ИСО} \approx \text{СО}_1$.

Поскольку $a_{1\text{ИСО}} = \frac{m_2}{r^2}$, имеем: $\Delta a_{1\text{СО}1} = \Delta a_{2\text{СО}1} = \frac{m_2}{r^2}$.

Откуда минимальное ньютоновское расстояние $R_\text{Н}$, соответствующее допускаемой максимальной погрешности приближения $\Delta a_{1\text{СО}1} = \Delta a_{2\text{СО}1} = a_{1\text{ИСО}}$, составляет:

$$R_\text{Н} \geq (\frac{m_2}{\Delta a_{1\text{СО}1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2\text{СО}1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{a_{1\text{ИСО}}})^{0,5}.$$

Например, в ньютоновской системе 1, 2, где тело 1 – Земля, $m_1 = 5{,}978{\cdot}10^{27}$г, тело 2 –Луна, $m_2 = 7{,}35{\cdot}10^{25}$г, $r = 3{,}84{\cdot}10^{10}$см, имеем:

$$a_{1\text{ИСО}} = \frac{m_2}{r^2} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8} \times 7{,}35{\cdot}10^{25}}{(3{,}84{\cdot}10^{10})^2} = 3{,}32{\cdot}10^{-3}\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}\ ,$$

$$a_{2\text{ИСО}} = \frac{m_1}{r^2} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8} \times 5{,}978{\cdot}10^{27}}{(3{,}84{\cdot}10^{10})^2} = 0{,}27\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}\,.$$

Примем теперь СО_1 в качестве приближенной ИСО.

Получим: $a_{1\text{СО1}} = 0$, $a_{2\text{СО1}} = a_{2\text{ИСО}} = 0{,}27\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}$.

При этом погрешность приближения составляет:

$$\Delta a_{1\text{СО1}} = \Delta a_{2\text{СО1}} = a_{1\text{ИСО}} \le 3{,}32{\cdot}10^{-3}\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}\,.$$

При заданной погрешности приближения, например,

$\Delta a_{1\text{СО1}} = \Delta a_{2\text{СО1}} = 10^{-2}\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}$ имеем: $R_\text{Н} \ge (\frac{7{,}35{\cdot}10^{25} \times 6{,}67{\cdot}10^{-8}}{10^{-2}})^{0{,}5} = 2{,}2{\cdot}10^{10}$см.

Поскольку реальное $r = 3{,}84{\cdot}10^{10}$см удовлетворяет заданной погрешности приближения, принятие СО_1 в качестве приближенной ИСО в данном случае допустимо.

При меньшем допускаемом значении погрешности приближения, например, $\Delta a_{1\text{СО1}} = \Delta a_{2\text{СО1}} = 10^{-3}\,\frac{\text{см}}{\text{с}^2}$ минимальное ньютоновское расстояние для данной пары 1, 2 ньютоновских объектов составляет уже $R_\text{Н} \ge 7{\cdot}10^{10}$см, что не обеспечивается в реальной паре, т.е. в данном случае принятие СО_1 в качестве приближенной ИСО не допустимо.

Ньютоновский вопрос, обычно выражаемый примерно так:

> “*Является ли сила, действующая на расстоянии до Луны, силой того же рода, что и на поверхности Земли*”

или, в несколько уточненной формулировке:

> “*Является ли сила, действующая на ньютоновский “большой” объект, находящийся на расстоянии до Луны, силой того же рода, что и действующая на галилеевский “малый” объект, находящийся, вообще говоря, на любом расстоянии, в том числе и на расстоянии до Луны*”,

в форме наиболее отвечающей сути поисков Ньютона, может выглядеть еще и так:

> “*Является ли* ИСО *двух ньютоновских “больших” объектов, находящихся на ньютоновских “больших” расстояниях друг от друга, той же самой, что и* ИСО *ньютоновского и галилеевского объектов, для которых* $\text{ИСО} \equiv \text{С}$ *при любом (галилеевском или ньютоновском) расстоянии, где 1 - ньютоновский объект?*”.

Ответ такой:

“*Да, если масса одного ньютоновского объекта много больше массы другого* $m_1 \gg m_2$ *, а ньютоновское расстояние* $R_{\text{Н}}$ *удовлетворяет соотношению:*

$$R_{\text{Н}} \geq (\frac{m_2}{\Delta a_{1\text{СО}1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2\text{СО}1}})^{0,5},$$

т.е. достаточно велико, чтобы, в пределах точности вычислений, определяемой допускаемыми погрешностями $\Delta a_{1\text{СО}1}$, $\Delta a_{2\text{СО}1}$ *, можно было принять* $a_{1\text{ИСО}} = 0$ *, а саму* $\text{ИСО} \equiv \text{СО}_1$ ”.

С указанной выше точностью именно такой случай имеет место в ньютоновских окрестностях Земли, что и позволило самому Ньютону понять то обстоятельство, что взаимодействие тел простирается на ньютоновские расстояния.

Следует, однако, помнить и другие возможные варианты ответа:

“*Нет, если оба ньютоновских объекта близки друг другу по массе* $m_{1\text{Н}} \approx m_{2\text{Н}}$ *при любом расстоянии между ними, кроме* $r \to \infty$ *, когда оба ускорения* $a_{1\text{ИСО}}, a_{2\text{ИСО}} \to 0$ *, т.е. взаимодействие прекращается, вследствие чего в качестве местной* ИСО *может быть принята как* СО_1*, так и* СО_2”.

“*Нет, если массы ньютоновских объектов удовлетворяют условию* $m_{1\text{Н}} \gg m_{2\text{Н}}$ *, но ньютоновское расстояние* $R_{\text{Н}}$ *при заданной точности измерений, определяемой* $\Delta a_{1\text{СО}1}$, $\Delta a_{2\text{СО}1}$*, удовлетворяет соотношению:*

$$R_{\text{Н}} < (\frac{m_2}{\Delta a_{1\text{СО}1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2\text{СО}1}})^{0,5} \text{”.}$$

При наличии в ньютоновских окрестностях тела 1 с массой m_1 не одного тела 2, а множества тел $i \to \infty$ с массами m_i местная ИСО может быть найдена по отдельности для каждой пары $1,\ i$.

Если при этом тело 1 имеет массу $m_1 \gg m_i$, то его СО_1 с учетом $R_{i\text{Н}}$ и заданной точности приближения может быть принята в качестве местной ИСО для каждой заданной пары.

При этом СО_1 является совместной приближенной ИСО *системы,* образованной $i + 1$ ньютоновскими взаимодействующими объектами.

Система Коперника

Именно такой случай обнаружен в масштабе солнечной системы, где тело 1 – Солнце, что и зафиксировано в *гелиоцентрической* системе описания движений небесных тел.

Открытие Коперника, до сих пор выражаемое в логически противоречивой форме: “*Планеты обращаются вокруг Солнца*” (поскольку движение *относительно* и определяется выбранной СО), в свете законов Ньютона выглядит так: “*Солнце является ньютоновским объектом, масса* m_C *которого много больше массы* m_i *любой планеты, поэтому его* CO_1, *с известной погрешностью приближения, может быть принята в качестве совместной* ИСО *Солнечной системы*”.

Действительно, для пары Солнце-Меркурий, $m_{1C} = 1{,}99{\cdot}10^{33}$г, $m_{2M} = 3,3{\cdot}10^{26}$ г , $r = 5,8{\cdot}10^{12}$ см :

$$a_{1\text{ИСО}} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8}\times 3{,}3{\cdot}10^{26}}{(5{,}8{\cdot}10^{12})^2} = 0,6{\cdot}10^{-6}\ \frac{\text{см}}{\text{c}^2}\ ,\quad a_{1\text{ИСО}} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8}\times 1{,}99{\cdot}10^{33}}{(5{,}8{\cdot}10^{12})^2} = 39{,}46\ \frac{\text{см}}{\text{c}^2}\ .$$

Для пары Солнце-Земля, где $m_{2_З} = 5{,}978{\cdot}10^{27}$г , $r = 1{,}496{\cdot}10^{13}$ см , аналогичные вычисления дают: $a_{1\text{исо}} = 1,8{\cdot}10^{-6}\frac{\text{см}}{\text{c}^2}$, $a_{2\text{исо}} = 0{,}6\frac{\text{см}}{\text{c}^2}$; для пары Солнце-Юпитер, где $m_{2_Ю} = 1,9{\cdot}10^{30}$ г, $r = 7{,}783{\cdot}10^{13}$см: $a_{1\text{исо}} = 2,1{\cdot}10^{-5}\frac{\text{см}}{\text{c}^2}$, $a_{2\text{исо}} = 2,19{\cdot}10^{-2}\frac{\text{см}}{\text{c}^2}$, и т.д.

Для трех указанных пар принятие CO_1 в качестве приближенной местной ИСО сопровождается абсолютной погрешностью $\Delta a_{1\mathrm{CO}1} = \Delta a_{2\mathrm{CO}1} < 3{\cdot}10^{-5}\frac{\text{см}}{\text{c}^2}$.

При этом относительная погрешность δa_i для данной пары ньютоновских объектов $\delta a_i = (\frac{a_{1\text{исо}}}{a_{2\text{исо}}})_i$ составляет: для пары Солнце-Меркурий: $\delta a_{\text{М}} = \frac{0{,}6{\cdot}10^{-6}}{39{,}45} = 1,5{\cdot}10^{-8}$, для пары Солнце-Земля $\delta a_З = 3{\cdot}10^{-6}$; для пары Солнце-Юпитер $\delta a_Ю = 1{\cdot}10^{-3}$.

Однако, как бы ни была мала исходная погрешность приближения, соответствующая ей накопленная погрешность, например, при расчете текущего пространственного положения ньютоновских объектов определяется длительностью наблюдения и через определенный промежуток времени превысит погрешность определения фактического положения, что и обнаружится в виде несоответствия расчетному положению.

Поэтому истинная ИСО все же не является CO_1 и все планеты вовсе не “*обращаются вокруг Солнца*”, а вместе с ним – вокруг *общего центра масс* солнечной системы, как раз и образующего истинную ИСО.

А как это излагается в учебниках физики?

В работе [1] выявлена ошибочность понимания первого закона Ньютона (закона инерции), определяющего *траекторию* инерционных движений.

Посмотрим теперь, как физика понимает ИСО. Приведем всего лишь один пример, отражающий это понимание. Цитата:

“Из определения механического движения как простого перемещения явствует, что это перемещение может происходить лишь ***относительно*** *каких-либо других материальных тел. Поэтому для того, чтобы получить*

возможность характеризовать движение какого-либо тела, прежде всего следует условиться, относительно какого другого тела (или группы неподвижных друг относительно друга тел) мы будем отсчитывать перемещение данного тела. Это тело (или группа тел) образует ***систему отсчета****. Таким образом, каждое движение должно рассматриваться относительно какой-либо определенной системы отсчета. В разных случаях система отсчета* ***может выбираться*** *различным образом, но определенно характеризовать данное движение мы можем, только твердо выбрав систему отсчета. Например, бросив какой-либо предмет, мы можем рассматривать его движение относительно комнаты; в этом случае систему отсчета образуют стены, пол и другие части комнаты. Мы можем, однако, рассматривать движение того же тела и относительно Солнца или какой-либо определенной звезды, только мы должны вперед точно условиться, относительно чего именно мы рассматриваем движение нашего предмета"* [2] (с. 17).

Здесь ключевая фраза ***"перемещение может происходить лишь относительно каких-либо других материальных тел"***, а ключевое слово ***"лишь"***. Этим все сказано.

Другими словами, движение относительно ***нематериальной точки пространства*** в таком мировоззрении даже ***не мыслится***. И это сказано через 3 века после Ньютона! Что означает все еще не состоявшееся понимание смысла ньютоновского переворота. Не только самим Ньютоном, но даже и нашими современниками. Еще цитата:

"Останавливаясь более подробно на первом законе Ньютона, надо поставить вопрос: относительно какой системы отсчета (какой координатной системы) устанавливается тот покой или то равномерное и ***прямолинейное*** *движение, о котором идет речь в первом законе Ньютона. Сам Ньютон подразумевал, что речь идет о некотором абсолютном движении в абсолютном пространстве. Он писал: "Абсолютное пространство по всей своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным… Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое". Такая точка зрения метафизична и не соответствует действительности. Свойства объективно существующего реального пространства определяются самой материей. Положение тел и их движение, как мы уже подчеркивали, могут быть определены лишь*

относительно других материальных тел; по отношению к различным телам одно и то же тело может двигаться по-разному.

Наблюдения показывают, что первый закон Ньютона справедлив не по отношению к каждой системе отсчета. Рассмотрим несколько примеров. Положим, что системой отсчета является прямолинейно и равномерно движущийся вагон. Тогда, если отвлечься от сотрясений, первый закон Ньютона выполняется: покоящиеся относительно вагона тела не приходят в движение без воздействия на них со стороны других тел и т.д. Но стоит вагону начать заворачивать, тормозить или ускорять ход, как появятся явные нарушения первого закона Ньютона: покоившиеся до того тела могут отклониться или упасть без видимого воздействия на них со стороны окружающих тел. Возьмем в качестве системы отсчета земной шар; в этом случае первый закон Ньютона выполняется гораздо точнее, чем в случае движущегося вагона, где даже при равномерном движении сказывается тряска, но и здесь достаточно тонкие наблюдения над некоторыми процессами (качание маятников, распространение воздушных и океанских течений и т.д.) выявляют отклонения от первого закона Ньютона или, вернее, от следствий из него. Но если мы ***выберем*** *в качестве системы отсчета гелиоцентрическую систему, начало которой помещено на Солнце, а оси направлены на определенные звезды, то в таком случае первый закон Ньютона выполняется практически вполне точно. Система отсчета, по отношению к которой выполнен первый закон Ньютона, носит название* ***инерциальной системы****. Сам первый закон Ньютона иногда называется* ***принципом инерции.***

Как указано, инерциальной системой практически вполне точно является гелиоцентрическая система; инерциальной будет также и всякая система, движущаяся относительно нее равномерно и прямолинейно.

Всякая же система, имеющая относительно одной из инерциальных систем ускорение, сама не будет инерциальной” (там же, с. 45).

Отвлечемся от выбранного сомнительного примера ***прямолинейного движения***, образуемого ***двумя вращениями*** – относительно центра Земли и вместе с ней – относительно Солнца.

А также и от того, что является отрицательной чертой науки: еще не выяснив толком, что это такое, сразу же начинать вести речь о разных его *видах*. Применительно к ИСО – рассуждать о других ИСО. Как будто только о них еще и осталось что-то там еще выяснить. Этим намеренно затуманивается вопрос о незнании смысла самой ИСО, то есть ИСО как таковой. Хотя бы одной из них. Что и называется уходить от вопроса.

В рассматриваемом примере интересно принятие вагона *в качестве* ИСО.

Если бы дело происходило в открытом пространстве, то это, вообще говоря, могло бы быть допустимо. Если, например, масса вагона 10 т, а масса тела 1 кг и оба они представлены точечными телами, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга (а вовсе не помещением малого тела внутри большого, возможно, вблизи его центра масс). Только лишь в этом случае ИСО с известной точностью действительно может быть представлена СО вагона. Но дело-то в том, что это происходит вовсе не в открытом пространстве, а на поверхности Земли, роль которой полностью упущена. Она же такова, что ИСО является СО именно Земли. Как раз поэтому в отсутствие трения выдергивание вагона из-под тела не изменяет положение этого тела в ИСО. Что и образует перемещение тела, покоящегося в ИСО, относительно вагона.

Так же неверно принятие СО Солнца в качестве ИСО. Солнце, конечно, гораздо массивней Земли, но и расстояние до него настолько превышает земной радиус, что создаваемое им ускорение 0,6 см/с^2 пренебрежимо в сравнении с ускорением 980 см/с^2, создаваемым Землей.

Здесь правильный ответ может быть только один. ИСО в данном случае является только СО Земли, именуемой также птолемеевской СО.

Оба эти неверных утверждения остаются незамеченными лишь потому, что никому и в голову не приходит посмотреть на них повнимательней, а не вполглаза.

Вот что еще в этом тексте привлекает внимание. В качестве ИСО принимается то Земля, а вместе с ней, стало быть, и *система Птолемея*, вроде бы опровергнутая Коперником, то Солнце и вместе с ним *система Коперника*. При этом остается совершенно не ясным, как и когда совершается переход от одной системы к другой. Поскольку победившими коперниканцами строго табуировано даже упоминание о том, что “опровергнутая” система Птолемая и до сих пор вполне себе применяется в масштабе Земли, достигая даже и до Луны. Притом что и сама система Коперника верна лишь для планет солнечной системы, а вовсе не для звезд, взаимодействующих с Солнцем. Или Галактики, где Солнце само является такой же “планетой”. Не говоря уж об атомарных или внутриатомных движениях, в которых понятие ИСО и вовсе неясно. Тут даже придумано целое “объяснение”: в таком масштабе законы классической механики уже почему-то не действуют. Что попросту означает: *сие покрыто мраком тумана*.

И в заключение

Птолемей и Коперник имели, в сущности, *одинаковое* мировоззрение, свойственное своему времени. Принять ли Землю или же Солнце в качестве неподвижной СО в общем-то *не существенно*.

Но даже и сам Ньютон, фактически учредивший принципиально иную ИСО, тоже, конечно, не понимал радикального значения ее открытия. Понятно почему.

Первый из его законов просто *неверен,* второй есть всего лишь *определение* физической величины силы, а третий является тавтологией, сообщающей, что сила равняется самой себе. Закон же всемирного тяготения стоит и вовсе особняком, без понимания его теснейшей связи с тремя другими.

Из их совокупности вытекает, что ***истинная ИСО вовсе не является неподвижной, а наоборот движущейся, причем ускоренно, относительно каждого из взаимодействующих тел!***

В этом и состоит великое мировоззренческое открытие, понимание которого ***до сих пор еще не достигнуто***.

А “неподвижные” земная или же солнечная СО – это всего лишь частные случаи “правильного” соотношения взаимодействующих масс и пространственного масштаба.

Птолемеевская система образована частью пространства, примыкающей к любому материальному объекту.

Она имеется даже у галилеевских объектов, хотя и вырождается в пленку нулевой толщины, покрывающей их поверхность.

У ньютоновских объектов это уже не пленка, а окружающая их сферическая часть пространства. С птолемеевским радиусом $R_{\text{П}}$, определяемым массой $m_{\text{Н}}$ ньютоновского объекта. Расположенного в ее центре.

В масштабе $R_{\text{П}}$ действие ньютоновских объектов на галилеевские объекты превышает действие Солнца. Поэтому здесь по-прежнему верна система Птолемея. И в этом масштабе она никогда не была и не может быть опровергнута никакими Коперниками.

И точно так же в коперниковском большом масштабе $R_{\text{К}}$ (масштабе Солнечной системы), где солнечное воздействие превышает воздействие всех прочих ньютоновских объектов, с заданной точностью верна система Коперника. И ее тоже не опровергнет и не может опровергнуть никакой Птолемей. Но только за вычетом локальных частей пространства, примыкающих к самим ньютоновским объектам. Образующих множество птолемеевских зон.

Другими словами, система Коперника не является непрерывной. Охватываемое ею пространство напоминает головку сыра, содержащую множество планетарных “дыр” с центрами, образованными ньютоновскими объектами. Внутреннее пространство которых описывается системами Птолемея, независимыми между собой.

В этом и только лишь в этом смысле можно говорить о том, что система Коперника действительно опровергла систему Птолемея. Ошибочно экстраполируемую в чрезмерно большой для нее масштаб Солнечной системы. Вблизи же ньютоновских объектов система Птолемея нисколько не пострадала, и можно даже сказать, что в точности так же опровергает систему Коперника. Добавим, что система Птолемея образована множеством локальных фрагментов, примыкающих к каждому ньютоновскому объекту. Обстоятельство, возможно, и вовсе не замечаемое участниками физических споров.

В общем же случае *не правы оба*, т.к. истинная ИСО не является ни земной, ни солнечной СО.

Поэтому исторический спор Птолемея-Коперника остается не завершенным до выяснения диапазонов масс и пространственного масштаба, в пределах которых каждая из этих систем с известной точностью является справедливой.

Это выяснение ставит, наконец, точку в этом не в меру затянувшемся и не вполне адекватном историческом споре.

Литература:

1. Сомсиков А.И. «Закон инерции» http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8444.html
2. Фриш С.Э., Тиморева А.В. «Курс общей физики» Том I. Физические основы механики. Издание шестое, исправленное. Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, 1955.

Исторические проблемы физики. Сила, масса, инерциальная система отсчета (Historical problems in physics. Force, mass, inertial frame of reference)

Сомсиков Александр Иванович (Aleksandr Ivanovich Somsikov)

Аннотация. Выявлен физический смысл (логическое содержание) исходных физических понятий – *силы, массы, инерционной системы отсчета*. Приложен перевод с русского языка на английский.

Abstract. The physical meaning (logical content) of the original physical concepts: *force, mass, inertial frame of reference* are revealed. Attached is the translation of the article from Russian into English.

Physical definition of force and mass

In physics, the meaning of each newly introduced quantity, except for the original ones, is considered to be clarified when the equation in which this quantity is expressed through the previously introduced ones is found, while the original quantities are not deductible and must have verbal definitions.

For example, *velocity* is defined as *the ratio of the distance travelled to the time during which the distance was travelled* (distance and time are original concepts that cannot be further decomposed); *acceleration is the ratio of the amount of change in velocity to the time during which the change occurred; work is the product of the force by the distance travelled; power is the ratio of the work to the amount of time during which it took place,* etc.

Not all quantities, however, have such a clearly defined *physical meaning* and above all the two fundamental quantities of classical mechanics: *force* and *mass*.

The reason is that Newton introduced both these quantities simultaneously in one equation of the second law of mechanics, so that one unknown quantity, force, was defined through another unknown, mass, and vice versa.

The *vicious circle* can be broken by adding a second equation containing the same unknowns, eliminating one of the unknowns and expressing the second unknown through the known ones.

The missing equation was also given by Newton (the law of universal gravitation for stationary and slowly moving bodies relative to the velocity of light), so the complete system of the two equations is:

$$F_1 = k_1 m_1 a_1,$$

$$F_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

where F_1 is the force acting on body 1,

m_1, m_2 are masses of interacting bodies 1, 2,

r is the distance between the bodies,

k_1, k_2 are coefficients determined by the system of units used.

In order to find out the physical meaning of the incoming quantities F and m, it is necessary, as stated, to solve this system.

So, let the force causing the accelerated motion of body 1 with mass m_1 be the gravitational force:

$$k_1 m_1 a_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

After reducing by m_1, we get: $k_1 a_1 = k_2 \frac{m_2}{r^2}$.

Whence: $m_2 = \frac{k_1}{k_2} a_1 r^2 = k a_1 r^2$.

Now assuming $k = 1$ (i.e. $k_1 = k_2$), we arrive at the following *definition of mass*: $m_2 = a_1 r^2$.

The mass of body 2 is the product of the acceleration a_1 *gained by another body 1 at a given distance r from it by the square of that distance r between the bodies.*

The formula shows that both scalar and vector interpretation of mass is possible:

$$\bar{m}_2 = \bar{a}_1 r^2.$$

The second law of mechanics is the *definition of force* (assuming $k_1 = k_2 = 1$):

$$F_2 = m_2 a_2 = a_1 a_2 r^2.$$

Force is the product of the accelerations a_1, a_2 *of the interacting bodies 1, 2 by the square of the distance r between the bodies.*

It follows from the definition that it is correct to say 'body force' instead of 'force applied to a body', since a force is not an independent entity that can be applied, but only the above-mentioned product.

The complete system of equations of Newtonian dynamics consists of 4 equations:

$$F_1 = m_1 a_1,$$

$$F_2 = m_2 a_2,$$

$$F_1 = \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

$$F_2 = F_1.$$

and contains 4 unknowns: F_1, F_2, m_1, m_2.

The solution to this system is:

$$m_1 = a_2 r^2,$$
$$m_2 = a_1 r^2,$$
$$F_1 = F_2 = a_1 a_2 r^2.$$

Note that the absence or modification of any of the above equations makes it impossible to unambiguously determine the force and mass in the first case, since this leaves three equations with 4 unknowns, while in the second case it amounts to a complete change in the meaning of force F and mass m.

Therefore, if somewhere the equality $F_1 = F_2$, for instance, is replaced by the equality $F_1 = fF_2$ ($F_1 \neq F_2$), we should start here by saying that it is unknown what F and m and that what is denoted by the former letter is a completely new concept.

Frame of reference

The frame of reference in which the accelerations a_1, a_2 are measured is called an *inertial frame of reference* (IFR).

The main property of the IFR is that the acceleration a_1 is independent of body 1 itself (constancy of mass m_2 of body 2 when the mass m_1 of body 1 changes); similarly, the acceleration a_2 of body 2 is independent of body 2 itself (constancy of mass m_1 of body 1 when the mass m_2 of body 2 changes).

This means that in IFR the acceleration increment Δa with a change of body 1 is each time applied to body 2, respectively with a change of body 2 the acceleration increment is considered to be applied to body 1.

In other words, as body 1 changes, the IFR acceleration relative to body 1 does not change (IFR remains the same), similarly, as body 2 changes, the IFR acceleration relative to body 2 does not change.

It follows that for any pair 1', 2' the IFR remains the same as for 1, 2.

Indeed, an arbitrary pair 1', 2' can be obtained from a given pair 1, 2 by successively replacing first body 1 with body 1', with the IFR relative to body 1' moving with the same acceleration a_1, that is, it does not change, and the acceleration a_2' of body 2 being measured relative to the same IFR; then body 2 with body 2', with the IFR relative to body 2' moving with the same acceleration a_2' (not changing), and the acceleration a_1' of body 1' being measured relative to the same IFR.

As a result, the accelerations of bodies 1', 2' are measured with respect to the same IFR as the accelerations of bodies 1, 2, to the accuracy of any other frame of reference moving relative to the former without acceleration.

In IFR the acceleration of body 1 and its associated frame of reference FR_1 is equal to a_1, respectively the acceleration of body 2 and its frame of reference FR_2 is a_2.

In FR_1, the acceleration of IFR is equal to minus a_1, and the acceleration of FR_2 is $(a_1 + a_2)$.

Let's add some body 3 to body 1.

This makes the acceleration of FR_2 in IFR equal to $a_2' = a_2 + \Delta a$ (a_1 does not change from adding body 3).

In FR_1, the acceleration of FR_2 becomes equal to $(a_1 + a_2 + \Delta a)$.

Therefore, the increment Δa from adding body 3 to IFR and FR_1 is of the same magnitude and can therefore be determined by measuring it in FR_1.

But this increment in the IFR uniquely determines the mass of body 3!

Note that once the mass of at least one body (in this case, body 3) is found, the masses of all the other bodies can be easily found, for which one has to place the bodies under investigation successively at a given distance from body 3 and measure the acceleration of the bodies *relative* to body 3.

We obtain: $a = \Delta a + a_i$,

where a is acceleration of the i-th body relative to body 3,

a_i is acceleration of the i-th body relative to IFR,

Δa is acceleration of body 3 relative to IFR.

Whence: $a_i = a - \Delta a$, $m_i = a_i r^2$,

where m_i is the mass of the i-th body.

The above is an analysis of historically given material.

The correct order of construction of the phenomenological theory of dynamics is as follows.

Beginning of the construction

Geometric comparison of bodies is carried out by comparing their dimensions; in physics, bodies are compared by their motions, with the characteristics of motions serving as characteristics of bodies.

It has been established by experiment that bodies that can move freely relative to each other spontaneously come into motion (*interact*), and in the frame of reference related to body 1 (FR_1) body 2 acquires acceleration a_{2FR1}, which *depends* on body 1 (respectively, in FR_2 body 1 has acceleration a_{1FR2}, where $a_{1FR2} = a_{2FR1}$).

However, this acceleration cannot yet characterise body 1 primarily because it is an ambiguous quantity and also depends on distance: $a_{2FR1} \sim \frac{1}{r^2}$.

A quantity *independent* of distance is the product: $a_{2FR1} r^2$. However, even this quantity cannot yet characterise body 1 as it depends not only on body 1 but also on body 2, in other words, the acceleration a_{2FR1} changes as body 2 changes:

$$a'_{2FR1} = a_{2FR1} \pm \Delta a.$$

We can make this acceleration *independent* of body 2 by moving to another frame of reference (called the *inertial frame of reference*, IFR) moving accelerated relative to FR_1, i.e. body 1 itself with some acceleration a_{1IFR}.

To find the IFR, means to determine a_{1IFR} by knowing a_{2FR1}.

Let body 1 together with its frame of reference FR_1 and body 2 be given.

In FR_1, the acceleration of body 2 is a_{2FR1}.

In the desired IFR, the accelerations of bodies 1, 2 are: a_{1IFR}, a_{2IFR}.

Thus: $a_{1IFR} + a_{2IFR} = a_{2FR1}$.

Let's attach some body 3 to body 1.

In the desired IFR, the joint acceleration of bodies (1 + 3) is independent of body 1 and is still a_{1IFR}.

The accelerations of body 2 are now equal to a'_{2IFR} in IFR and a'_{2FR1} in FR_1.

Thus: $a_{1IFR} + a'_{2IFR} = a'_{2FR1}$.

Suppose: $a'_{2FR1} = a_{2FR1} + \Delta a$.

We have: $a_{1IFR} + a'_{2IFR} = a_{2FR1} + \Delta a = a_{1IFR} + a_{2IFR} + \Delta a$, i.e. the changes in the accelerations of body 2 in FR_1 and IFR are the *same*, equal to Δa and can be found by *measurements* in FR_1.

Let us now remove body 1.

In the desired IFR, the acceleration of the remaining body 3 *will not change* and is still a_{1IFR}.

The accelerations of body 2 are now equal to a''_{2IFR} in IFR and a''_{2FR1} in $FR_{1.}$

Thus: $a_{1IFR} + a''_{2IFR} = a''_{2FR1}$.

Both accelerations a''_{2IFR}, a''_{2FR1} will change compared to a'_{2IFR}, a'_{2FR1} by the same amount equal to a_{2IFR} :

$a''_{2IFR} = a'_{2IFR} - a_{2IFR} = a_{2IFR} + \Delta a - a_{2IFR} = \Delta a,$

$a''_{2FR1} = a'_{2FR1} - a_{2IFR} = a_{2FR1} + \Delta a - a_{2IFR} = a_{1IFR} + \Delta a.$

Knowing a''_{2FR1} and Δa, we now find a_{1IFR} :

$a_{1IFR} = a''_{2FR1} - \Delta a.$

Knowing a_{1IFR}, we find a_{2IFR}:

$a_{2IFR} = a_{2FR1} - a_{1IFR}.$

For a given r, the acceleration a_{2IFR} is no longer dependent on body 2, but only on body 1.

In turn, the product $a_{2IFR}r^2$ is no longer dependent on body 2 or distance r and *can* therefore *serve* as an unambiguous *characteristic* of body 1.

This characteristic is called *mass*:

$$m_1 = a_{2IFR}r^2.$$

The choice of the IFR, not related to any of the interacting bodies, moving accelerated relative to each of the bodies and, moreover, with different accelerations, is explained by the fact that it achieves the *uniqueness* of the characteristics of each of these interacting bodies.

Coefficients

The initial formulas for constructing Newton's systems of dynamical units are as follows:

$$F_1 = k_1 m_1 a_1,$$
$$F_1 = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

In the system of units proposed by W. Thomson, both coefficients k_1, k_2 are taken equal to one:

$$F_{1\mathrm{T}} = m_{1\mathrm{T}} a_1,\ F_{1\mathrm{T}} = \frac{m_{1\mathrm{T}} m_{2\mathrm{T}}}{r^2},$$

and the standard of mass turns out to be *quite definite* ~ 15 t, with length unit cm and time unit s).

Let us show how coefficients appear in Newton's formulas in the case when the standard of mass is chosen *arbitrarily*.

Suppose, for instance, that the *new* standard of mass is γ of Thomson standards (γ has an arbitrary, numerical value not equal to 1).

Then: $m_{\mathrm{H}} = \frac{m_{\mathrm{T}}}{\gamma}$.

In a 'dynamic' type unit system, $k_1 = 1$:

$$F_{1\mathrm{H}} = m_{1\mathrm{H}} a_1 = \frac{m_{1\mathrm{T}}}{\gamma} a_1 = \frac{F_{1\mathrm{T}}}{\gamma}, \text{ i.e. } F_{1\mathrm{T}} = \gamma F_{1\mathrm{H}}.$$

Since: $F_{1\mathrm{T}} = \frac{m_{1\mathrm{T}} m_{2\mathrm{T}}}{r^2}$, $F_{1\mathrm{T}} = \gamma F_{1\mathrm{H}}$ and $m_{1\mathrm{T}} = \gamma m_{1\mathrm{H}}$, $m_{2\mathrm{T}} = \gamma m_{2\mathrm{H}}$,

we get: $\gamma F_{1\mathrm{H}} = \frac{\gamma m_{1\mathrm{H}} \gamma m_{2\mathrm{H}}}{r^2}$ or $F_{1\mathrm{H}} = \gamma \frac{m_{1\mathrm{H}} m_{2\mathrm{H}}}{r^2}$, откуда $k_2 = \gamma$.

In a 'gravitational' type unit system, $k_2 = 1$:

$$F_{1\mathrm{H}} = \frac{m_{1\mathrm{H}} m_{2\mathrm{H}}}{r^2} = \frac{m_{1\mathrm{T}}}{\gamma} \frac{m_{2\mathrm{T}}}{\gamma} \frac{1}{r^2} = \frac{F_{1\mathrm{T}}}{\gamma^2}.$$

Newton's second law $F_{1\mathrm{T}} = m_{1\mathrm{T}} a_1$ in the new system of units:

$$\gamma^2 F_{1\text{H}} = \gamma m_{1\text{H}} a_1 \text{ or } F_{1\text{H}} = \frac{1}{\gamma} m_{1\text{H}} a_1, \text{ whence: } k_1 = \frac{1}{\gamma}.$$

In the particular case where the coefficient γ is exactly equal to the gravitational constant, we obtain a proper *gravitational* or *dynamical* system of units.

If the new standard of mass, measured in fractions of a Thomson's standard of mass, retains the same *dimension* [cm^3/s^2], then the coefficient γ is a number indicating how many times the new standard is greater or less than the Thomson's standard.

If the new standard is given a new name (for example, gram), then the coefficient γ acquires dimension:

$$[\gamma] = \frac{[m_{\text{T}}]}{[m_{\text{H}}]} = \frac{[\frac{cm^3}{s^2}]}{[g]}.$$

So, *gravitational* and *dynamic constants* appear as a consequence of arbitrariness of the choice of the standard of mass at construction of systems of units and *have no own physical sense*.

Case of high velocities

If we assume the existence of a limit relative velocity V of moving interacting bodies, at approaching which their accelerations a tend to zero according to the formulas:

$$a = a_0\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}, \ (a \to 0 \text{ if } V \to C),$$

where a_0 is the acceleration at relative velocities V much smaller than the speed of light C ($V \ll C$), then the interaction force is:

$$F = F_0\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}, \text{ i.e. } F \to 0 \text{ if } V \to C.$$

Generally speaking, $a \to 0$ can mean either $F \to 0$ by the formula $F = F_0\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$ or $m \to \infty$ by the formula $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$, since $a = \frac{F}{m}$.

Mathematically, both are equivalent.

However, *physically* $m \to \infty$ *is impossible,* since it means $ar^2 \to \infty$, i.e. $a \to \infty$ and $V \to \infty$, which is excluded since $a \to 0$ if $V \to C$.

Hence, we say that $a \to 0$ means exactly $F \to 0$.

Furthermore, since $m = ar^2$, $a \to 0$ also means $m \to 0$:

$$m = m_0\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}.$$

As we approach the limit velocity C, the mass of each of the interacting bodies *tends to zero.*

The mass of the same body is zero for bodies that have reached the limit relative velocity C and is not zero for bodies that have not reached the limit relative velocity, in other words the value of mass is a *relative* quantity.

Definition of charge

Coulomb's law: $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$, where q_1, q_2 are 'charges' of bodies.

By definition in the physical (Thomson's) system of units: $F = a_1 a_2 r^2$, where a_1, a_2 are accelerations acquired by interacting bodies (in IFR).

Whence: $a_1 a_2 r^2 = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ or $a_1 a_2 r^2 r^2 = k q_1 q_2$.

Assuming now $k = 1$, we obtain:

$$q_1 = a_2 r^2.$$

$$q_2 = a_1 r^2,$$

In other words, the concept of 'charge' is *identical* to the concept of mass.

Accordingly: $F = a_1 a_2 r^2 = a_1 q_1 = a_2 q_2$, that is Newton's second law of electrostatics.

By definition, the *electrostatic field strength* $E = \frac{F}{q_2} = a_2$ is the acceleration gained by a test body.

Vector interpretation of the charge: $\bar{q}_1 = \bar{a}_2 r^2$.

Potentiality of the field

If the test body moves in the direction of the field with a limit relative velocity C, then its force $F \to 0$ and hence the work $A \to 0$.

If the same distance in the opposite direction travels with a relative velocity smaller than the limit velocity, then $F \neq 0$, hence the work A has a finite value.

The total work along the closed path turns out *not to be equal to zero.*

That is, the *potentiality* of the field, established by the sign of equality of work when moving a test body along a *closed path* to zero, is violated in the general case involving the limit relative velocity C of the displacements.

Transition from IFR to FR_1

Let us now move body 2 from FR_2 to FR_1, joining it stationary to body 1.

In IFR before the transfer of body 2: $m_1 > 0$, $m_2 > 0$, $a_{1IFR} > 0$, $|a_{2IFR}| > 0$.

In FR_1 before the transfer of body 2: $a_{1FR1} = 0$, $a_{2FR1} = a_{1IFR} + a_{2IFR}$.

In IFR after the transfer of body 2:

$$m_1' \to m_1 + m_2,\ m_2' \to 0,\ a_{1IFR}' \to 0,\ a_{2IFR}' \to a_{1IFR} + a_{2IFR}.$$

Whereby $a_{1IFR}' \to 0$ means: $IFR \to FR_1$.

In FR_1 after the transfer of body 2:

$a'_{1FR1} = a_{1FR1} = 0$,

$a'_{2FR1} = ?$

Since $IFR \to FR_1$, $a'_{2IFR} \to a'_{2FR1}$, hence

$a'_{2FR1} = a'_{2IFR} = a_{1IFR} + a_{2IFR}$.

Therefore, transition from IFR to FR^1 is equivalent to transfer to this FR_1 of body 2 accompanied by summation of masses $m_1 + m_2 = m'_1$ and also transfer to FR_1 of IFR itself.

Conversely, the transition from FR_1 to IFR is equivalent to the separation of some body 2 with mass $m_2 = m'_1 - m_1$ from body 1 in FR_1.

After the transfer of body 2 to FR_1, the joint mass of the bodies in FR_1:

$m'_1 = a'_{2IFR}r^2 = a'_{2FR1}r^2$.

For a body in FR_1, the mass m_1 of body 1 can be found by measurements in FR_1, while using an infinitesimal (non–perturbing) mass m_2 (test body) in the measurement process of body 2.

Interaction of bodies with significantly different masses

In the special case of interaction, the mass of body 2 may be much smaller than the mass of body 1: $m_2 \ll m_1$, which means: $a_{1IFR}r^2 \ll a_{2IFR}r^2$ or $a_{1IFR} \ll a_{2IFR}$.

Let us perform a transition from IFR to FR_1 for this case.

In IFR before the transition to FR_1 (transfer of body 2 to FR_1):

$$m_1 > 0, m_2 > 0, a_{1IFR} > 0, |a_{2IFR}| > 0, m_2 \ll m_1, a_{1IFR} \ll a_{2IFR}.$$

In FR_1 before the transfer of body 2: $a_{1FR1} = 0$, $a_{2FR1} = a_{1IFR} + a_{2IFR}$.

Due to the smallness of a_{1IFR} with respect to a_{2IFR}, we have:

$$a_{1FR1} = 0, a_{2FR1} = a_{2IFR}.$$

In IFR, after the transition to FR_1, corresponding to the transfer to FR_1 of body 2 with mass m_2 : $m'_1 = m_1 + m_2$, $m'_2 = 0$, $a'_{1IFR} = 0$, $a'_{2IFR} = a_{1IFR} + a_{2IFR}$.

Due to the smallness of m_2 with respect to m_1 and a_{1IFR} with respect to a_{2IFR}, we have: $m'_1 = m_1$, $m'_2 = 0$, $a'_{1IFR} = 0$, $a'_{2IFR} = a_{2IFR}$.

In FR_1 after the transfer of body 2 into it:

$$a'_{1FR1} = a_{1FR1} = 0, a'_{2FR1} = a'_{2IFR} = a_{2IFR},$$

i.e. the addition of body 2 of small mass m_2 to body 1 of large mass m_1 does not change the mass of body 1 or the *acceleration* a'_{2FR1} gained by the infinitesimal body relative to FR_1.

Galileo's experiment

This is the case found in Galileo's experiment, which ‘disproved’ Aristotle's thesis about the inequality of accelerations of bodies with different masses.

The experiment performed in FR_1, where body 1 is the Earth (an object with a very large mass m_1) and body 2 is any object with a small mass m_2, showed that, within the accuracy of measurements, the acceleration of body 2 is *independent* of the mass m_2.

In fact, at $m_1 \gg m_2$, the addition of mass m_2 to mass m_1, setting the transition from IFR to FR_1, due to the smallness of m_2 practically does not change m_1, i.e. the acceleration a'_{2IFR}, acquired by a Galilean test body of negligibly small mass m_2 relative to a body of large mass m_1 is really independent of m_2.

So, Galileo's result refers to the ***special*** case of the interaction of bodies with essentially unequal masses.

It establishes in fact a way of defining FR_1 as the local IFR with respect to some, quite certain for a given FR_1 and a given accuracy of measurement, *Galilean* objects using those objects.

His conclusion is as follows:

‘This experiment establishes that a given body (Earth) is an object of sufficiently large mass m_1 for the given Galilean objects that its FR_1 for the given Galilean objects and for a given measurement accuracy can be accepted as a local IFR.’

He would have a different result for body 1 with a small mass m_1 or body 2 with a large mass m_2 to state in turn:

‘*The experiment establishes that a given FR_1 for a given pair of objects, with an accuracy determined by the accuracy of measurement, cannot be considered a local IFR*’ or else:

‘*These objects with respect to IFR=FR1 with an accuracy determined by the accuracy of measurements cannot be considered as Galilean objects having infinitesimal mass m_2 with respect to m_1.*’

If now one chooses as body 1 a body of negligibly small mass $m_1 \ll m_2$, then when measured in such FR_1 a Galilean object of mass $m'_2 = 2m_2$ *indeed h*as 2 times the acceleration $a'_{2FR1} = 2a_{2FR1}$ *in full accordance with the ‘disproved’ Aristotle statement.*

So, Aristotle's proposition refers to *another special case* of the inverse ratio of masses $m_1 \ll m_2$ in FR_1 measurements.

In fact, Aristotle's result is realised in Galileo's experiment in the transition from FR1 to FR2, forming a kind of inversion of the point of view.

Thus, both Aristotle's (acceleration of the body is proportional to the body mass) and Galileo's (acceleration of the body is independent of the body mass) statements really refer to the same special case of interaction of bodies 1, 2 with essentially unequal masses.

However, for $m_1 \gg m_2$ Galileo's result is realized in FR_1 and Aristotle's result in FR_2.

Both ‘mutually exclusive’ statements turn out to be *true*, refer to the same special case of interaction and are confirmed by the same experiment, but only in *different* FR.

In the general case, however, Newton's statement is true: ‘The acceleration of object 2 in IFR for a given pair 1, 2 is independent of its mass m_2.’

Newton's case

Now let both bodies 1 and 2 have non-Galilean large masses.

Let us call them *Newtonian* objects 1_{H}, 2_{H} :

$$m_{1\mathrm{H}} = k_1 m_{1\Gamma}, m_{2\mathrm{H}} = k_2 m_{2\Gamma}$$

Where $k_1, k_2 \to \infty$.

Let still $m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}$, a $r \to \infty$.

Then since $m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}$, it is true: $a_{1IFR} \ll a_{2IFR}$.

Given $a_{1IFR} = \frac{m_{2\mathrm{H}}}{r^2}$, $a_{2IFR} = \frac{m_{1\mathrm{H}}}{r^2}$ and $r \to \infty$, at some $r > R$ both accelerations $a_{1IFR} \to 0$, $a_{2IFR} \to 0$, all the while remaining $a_{1IFR} \ll a_{2IFR}$.

In some order of smallness determined by a given measurement accuracy, both accelerations reach values taken as zero, with a_{1IFR} reaching this value much earlier than a_{2IFR} : $a_{1IFR} = 0, a_{2IFR} > 0, r \to \infty, r > R$.

Since in this case $a_{1IFR} = 0$, the IFR thus coincides with FR_1 again. In other words, at interaction of bodies with Newtonian masses $m_{1\mathrm{H}}, m_{2\mathrm{H}}$, starting from some minimal $r > R$ (let us call it minimal *Newtonian* distance R_{H}), IFR again, as in the case of Galilean object $m_{2\Gamma}$, is reduced to FR_1.

So, during the interaction of Newtonian and Galilean objects $m_{\mathrm{H}}, m_{\Gamma}$:

$$m_{\mathrm{H}} > 0, m_{\Gamma} > 0, m_{\mathrm{H}} = k m_{\Gamma}, k \to \infty, IFR = FR_1, \text{at any } r > 0.$$

In the interaction of two Newtonian objects $m_{1\mathrm{H}}, m_{2\mathrm{H}}$ with essentially unequal masses $m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}$:

$$m_{1\mathrm{H}} > 0, m_{2\mathrm{H}} > 0, m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}, a_{1IFR} = 0, a_{2IFR} > 0, IFR = FR_1, r > R_{\mathrm{H}},$$

i.e. IFR = FR_1 not at any, but only starting from some Newtonian distance R_{H} determined by a given accuracy of calculations.

Let us now define R_{H} as a function of a given mass ratio $m_{1\mathrm{H}}, m_{2\mathrm{H}}$ and a given accuracy of calculations.

Let $m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}$, $(\frac{m_{1\mathrm{H}}}{m_{2\mathrm{H}}} \gg 1)$.

In IFR, the accelerations of bodies 1, 2 are:

$$a_{1FR1} = a_{1IFR} - a_{1IFR} = 0,\ a_{2FR1} = a_{2IFR} + a_{1IFR}.$$

It can be seen that a_{1FR1} and a_{2FR1} differ from a_{1IFR} and a_{2IFR} only by the value of a_{1IFR}, i.e. FR_1 differs from IFR within $\pm a_{1IFR}$.

If now $a_{1IFR} \ll a_{2IFR}$ (in view of $m_{1\text{H}} \gg m_{2\text{H}}$), it can be neglected with a certain accuracy of calculation, i.e. accept:

$$a_{1FR1} = 0,\ a_{2FR1} = a_{2IFR}.$$

Thus: $\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = a_{1IFR}$, where $\Delta a_{1FR1}, \Delta a_{2FR1}$ is approximation error, introduced by replacement of true IFR by approximation $IFR \approx FR_1$.

Since $a_{1IFR} = \frac{m_2}{r^2}$, we have: $\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = \frac{m_2}{r^2}$.

Whence the minimum Newtonian distance R_H corresponding to the permissible maximum approximation error $\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = a_{1IFR}$ is:

$$R_\text{H} \geq (\frac{m_2}{\Delta a_{1FR1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2FR1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{a_{1IFR}})^{0,5}.$$

For example, in Newtonian system 1, 2, where body 1 is Earth, $m_1 = 5{,}978 \cdot 10^{27} g$, body 2 is Moon, $m_2 = 7{,}35 \cdot 10^{25} g$, $r = 3{,}84 \cdot 10^{10} cm$, we have:

$$a_{1IFR} = \frac{m_2}{r^2} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-8} \times 7{,}35 \cdot 10^{25}}{(3{,}84 \cdot 10^{10})^2} = 3{,}32 \cdot 10^{-3} \frac{cm}{s^2},$$

$$a_{2IFR} = \frac{m_1}{r^2} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-8} \times 5{,}978 \cdot 10^{27}}{(3{,}84 \cdot 10^{10})^2} = 0{,}27 \frac{cm}{s^2}.$$

Let us now take FR_1 as an approximation of the IFR.

We get: $a_{1FR1} = 0$, $a_{2FR1} = a_{2IFR} = 0{,}27 \frac{cm}{s^2}$.

The approximation error is:

$$\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = a_{1IFR} \leq 3{,}32 \cdot 10^{-3} \frac{cm}{s^2}.$$

For a given approximation error, e.g.,

$\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = 10^{-2} \frac{cm}{s^2}$, we have:

$$R_\text{H} \geq (\frac{7{,}35 \cdot 10^{25} \times 6{,}67 \cdot 10^{-8}}{10^{-2}})^{0,5} = 2{,}2 \cdot 10^{10} cm.$$

Since the real $r = 3{,}84 \cdot 10^{10} cm$ satisfies the given approximation error, accepting FR_1 as the approximate IFR in this case is acceptable.

At smaller admissible value of approximation error, e.g, $\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} = 10^{-3} \frac{cm}{s^2}$, minimal Newtonian distance for given pair of 1, 2 Newtonian objects is already $R_\text{H} \geq 7 \cdot 10^{10} cm$, which is not ensured in real pair, i.e. in this case taking FR_1 as approximate IFR is not admissible.

The Newtonian question, usually expressed roughly as follows:

‘*Is the force acting at a distance from the Moon of the same kind of force as on the surface of the Earth?’*

or, in a slightly refined formulation:

'Is the force acting on a Newtonian 'large' object at a distance to the Moon a force of the same kind as that acting on a Galilean 'small' object at any distance, generally speaking, including the distance to the Moon?',

in the form most appropriate to the essence of Newton's search, may also look as follows:

'*Is the IFR of two Newtonian 'large' objects at Newtonian 'large' distances from each other the same as the IFR of a Newtonian and a Galilean object, for which* $IFR \equiv \mathrm{C}$ *at any (Galilean or Newtonian) distance, where 1 is a Newtonian object?*'

The answer is:

'*Yes, if the mass of one Newtonian object is much larger than the mass of the other* $m_1 \gg m_2$ *and the Newtonian distance* R_{H} *satisfies the relation:*

$$R_{\mathrm{H}} \geq (\frac{m_2}{\Delta a_{1FR1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2FR1}})^{0,5},$$

i.e. is large enough so that, within the accuracy of calculations determined by tolerable errors $\Delta a_{1FR1}, \Delta a_{2FR1}$, *one can take* $a_{1IFR} = 0$ *and* $IFR \equiv FR_1$.'

With the aforementioned precision, this is the case in the Newtonian vicinity of the Earth, which allowed Newton to understand the fact that the interaction of bodies extends over Newtonian distances.

Other possible answers, however, should be kept in mind:

'*No if both Newtonian objects are close to each other in mass* $m_{1\mathrm{H}} \approx m_{2\mathrm{H}}$ *at any distance between them except* $r \to \infty$, *when both accelerations* $a_{1IFR}, a_{2IFR} \to 0$, *i.e. the interaction ceases, due to which both* FR_1 *and* FR_2 *can be taken as local IFR.*'

'*No, if the masses of Newtonian objects satisfy the condition* $m_{1\mathrm{H}} \gg m_{2\mathrm{H}}$ *but the Newtonian distance* R_{H} *at a given accuracy of measurement determined by* $\Delta a_{1FR1}, \Delta a_{2FR1}$ *satisfies the ratio:*

$$R_{\mathrm{H}} < (\frac{m_2}{\Delta a_{1FR1}})^{0,5} = (\frac{m_2}{\Delta a_{2FR1}})^{0,5}.'$$

If there is not a single body 2 in the Newtonian vicinity of body 1 with mass m_1, but a set of bodies $i \to \infty$ with masses m_i, the local IFR can be found separately for each pair $1, i$.

If body 1 has mass $m_1 \gg m_i$, then its FR_1, given $R_{i\mathrm{H}}$ and a given approximation accuracy, can be taken as the local IFR for each given pair.

In this case, FR_1 is a joint approximation of the IFR system formed by $i + 1$ Newtonian interacting objects.

Copernican system

This is the case found on the scale of the solar system, where body 1 is the Sun, which is recorded in the *heliocentric* system of describing the motions of celestial bodies.

Copernicus' discovery, hitherto expressed in a logically contradictory form ‘The planets revolve around the Sun’ (since the motion is *relative* and determined by the chosen FR), in the light of Newton's laws looks like this: ‘*The Sun is a Newtonian object whose mass m_C is much larger than the mass m_i of any planet, so its FR*$_1$*, with a known approximation error, can be taken as the joint IFR of the solar system*.’

Indeed, for the Sun-Mercury pair, $m_{1C} = 1{,}99{\cdot}10^{33} g$, $m_{2M} = 3,3{\cdot}10^{26}\, g$, $r = 5,8{\cdot}10^{12}$ cm:

$$a_{1IFR} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8} \times 3{,}3{\cdot}10^{26}}{(5{,}8{\cdot}10^{12})^2} = 0,6{\cdot}10^{-6}\ \frac{cm}{s^2}, \quad a_{1IFR} = \frac{6{,}67{\cdot}10^{-8} \times 1{,}99{\cdot}10^{33}}{(5{,}8{\cdot}10^{12})^2} = 39{,}46\ \frac{cm}{s^2}.$$

For the Sun-Earth pair, where $m_{2_З} = 5{,}978{\cdot}10^{27} g$, $r = 1{,}496{\cdot}10^{13}\, cm$, similar calculations give: $a_{1IFR} = 1,8{\cdot}10^{-6}\frac{cm}{с^2}$, $a_{2IFR} = 0{,}6\frac{cm}{с^2}$; for the Sun-Jupiter pair, where $m_{2_Ю} = 1,9{\cdot}10^{30}$ г, $r = 7{,}783{\cdot}10^{13} cm$: $a_{1IFR} = 2,1{\cdot}10^{-5}\frac{cm}{с^2}$, $a_{2IFR} = 2,19{\cdot}10^{-2}\frac{cm}{с^2}$, etc.

For these three pairs, the adoption of FR$_1$ as an approximation of the local IFR is accompanied by an absolute error $\Delta a_{1FR1} = \Delta a_{2FR1} < 3{\cdot}10^{-5}\frac{cm}{с^2}$.

The relative error δa_i for a given pair of Newtonian objects $\delta a_i = (\frac{a_{1исо}}{a_{2исо}})_i$ is: $\delta a_{\text{М}} = \frac{0{,}6{\cdot}10^{-6}}{39{,}45} = 1,5{\cdot}10^{-8}$ for the Sun-Mercury pair; $\delta a_{З} = 3{\cdot}10^{-6}$ for the Sun-Earth pair; $\delta a_{Ю} = 1{\cdot}10^{-3}$ for the Sun-Jupiter pair.

However, however small the initial error of approximation may be, the corresponding accumulated error, for example, when calculating the current spatial position of Newtonian objects, is determined by the duration of observation and after a certain interval of time will exceed the error of actual position determination, which will appear as a mismatch with the calculated position.

Therefore, the true IFR is not FR1 and all planets do not *‘orbit around the Sun’* at all, but together with it around the *common centre of mass* of the solar system, which is precisely what forms the true IFR.

And how is it stated in physics textbooks?

In [1], a misunderstanding of Newton's first law (law of inertia) defining the *trajectory* of inertial motions is revealed.

Let us now see how physics understands IFR. Here is just one example that reflects this understanding. Quote:

'From the definition of mechanical motion as simple motion it is clear that this motion can only occur ***in relation to*** *some other material bodies. Therefore, in order to be able to characterise the motion of a body, we must first agree on which other body (or group of bodies stationary relative to each other) we are going to count the motion of this body. This body (or group of bodies) forms a* ***frame of reference****. Every motion must therefore be considered in relation to a specific frame of reference. The frame* ***may be chosen*** *in different ways in different cases, but we can only definitively characterise a given motion by firmly choosing a frame of reference. For example, by throwing an object, we may consider it moving about a room, in which case the walls, the floor and other parts of the room will form a frame of reference. We may, however, consider the motion of the same body with respect to the Sun or any particular star, only we must first precisely stipulate in relation to what exactly we consider the motion of our object'* [2] (p. 17).

The key phrase here is ***'motion can only occur in relation to some other material bodies'***, and the key word is ***'only'***. That says it all.

In other words, motion relative to an ***immaterial point in space*** is not even ***conceivable*** in this worldview. And this is said three centuries after Newton! Which means a still incomplete understanding of the meaning of the Newtonian upheaval, not only by Newton, but even by our contemporaries. Another quote:

'Stopping in more detail on Newton's first law, it is necessary to put a question: relative to which frame of reference (which coordinate system) there is that rest or that uniform and ***linear*** *motion, which is referred to in Newton's first law. Newton meant that we are talking about some absolute motion in absolute space. He wrote: "Absolute space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable... Absolute motion is the translation of a body from one absolute place into another." This point of view is metaphysical and does not correspond to reality. The properties of objectively existing real space are determined by matter. The position of bodies and their motion, as we have already emphasised, can only be determined in relation to other material bodies; the same body can move differently in relation to different bodies.*

Observations show that Newton's first law is not true for every frame of reference. Consider a few examples. Let us assume that the frame of reference is a wagon moving linearly and uniformly. Then, apart from the shaking, Newton's first law of motion is satisfied: bodies at rest relative to the wagon do not move without being affected by other bodies, etc. But as soon as the wagon begins to turn, slow down or speed up, a clear violation of Newton's first law will appear: the resting bodies can deviate or fall without any visible influence on them by the surrounding bodies.

Let's take a globe as a frame of reference; in this case Newton's first law is executed much more precisely than in the case of a moving wagon, where even the uniform motion is affected by shaking, but even here quite delicate observations of some processes (swinging of pendulums, spread of air and ocean currents, etc.) reveal deviations from Newton's first law or, rather, from its consequences. But if we ***choose*** *a heliocentric system as the frame of reference, the origin of which is placed on the sun and the axes pointing towards certain stars, then Newton's first law of motion is fulfilled almost exactly. The frame of reference in relation to which Newton's first law is satisfied is called the* ***inertial system****. Newton's first law is sometimes called the* ***principle of inertia.***

As indicated, the heliocentric system is almost certainly an inertial system; any system moving uniformly and linearly relative to it will also be inertial.

Any system having acceleration relative to one of the inertial systems will not itself be inertial' (ibid, p. 45).

Let us take away the dubious example of ***linear motion*** formed by ***two rotations***: relative to the centre of the Earth and together with it, relative to the Sun.

And also from that what is a negative feature of a science: not having found out at once what it is, to speak at once about its various kinds. In relation to IFR, to talk about other IFR. As if only there is still something left to find out about them. This deliberately obfuscates the question of ignorance of the meaning of IFR, i.e. IFR itself. At least one of them. Which is what is called avoiding the question.

In the example in question, it is interesting to take the wagon *as* the IFR.

If the case were in open space, this could, generally speaking, be acceptable. If, for example, a wagon has a mass of 10 t and a body has a mass of 1 kg and they are both represented by point bodies located at a small distance from each other (rather than by placing a small body inside a large one, perhaps near its centre of mass). It is only in this case that the IFR can really be represented by the FR of the wagon with a certain accuracy. But the point is that it happens not in open space at all, but on the surface of the Earth, the role of which is completely missed. It is that the IFR is the FR of the Earth. Just for this reason, in the absence of friction, pulling a wagon out from under a body does not change the position of this body in the IFR. Which forms the displacement of the body resting in the IFR relative to the wagon.

It is also incorrect to take the Sun's FR as the IFR. The Sun is of course much more massive than the Earth, but its distance is so much greater than the Earth's radius that the 0.6 cm/s^2 acceleration it creates is negligible compared to the 980 cm/s^2 acceleration created by the Earth.

There can only be one correct answer here. The IFR in this case is only the FR of the Earth, also called the Ptolemaic FR.

Both of these incorrect statements go unnoticed only because it never occurs to anyone to look at them more closely, rather than with half an eye open.

Here is what else in this text attracts attention. The Earth, and consequently the *system of Ptolemy*, seemingly refuted by Copernicus, and then the Sun and the *system of Copernicus* are accepted as IFR. Meanwhile, it remains completely unclear how and when the transition from one system to the other takes place, because the victorious Copernicans strictly taboo even mentioning that the ‘disproved’ system of Ptolemy is still quite applicable on the scale of the Earth, reaching even to the Moon. While the Copernican system is only true for planets in the solar system, not for stars interacting with the Sun, or the Galaxy, where the Sun itself is the same "planet". Not to mention atomic or intra-atomic motions, where the concept of IFR is not clear. There is even a whole "explanation" invented: the laws of classical mechanics do not work anymore on such a scale for some reason, which simply means: *this is shrouded in mystery*.

Conclusion

Ptolemy and Copernicus had essentially the *same* worldview, characteristic of their time. Whether one accepts the Earth or the Sun as a fixed FR *is generally not important.*

But also Newton, who actually established a fundamentally different IFR, certainly did not understand the radical significance of its discovery. It is clear why.

The first of his laws is simply *wrong*, the second is only a *definition* of the physical value of the force, and the third is a tautology, informing that the force is equal to itself. The law of universal gravitation stands apart without understanding its close connection with three others.

It follows from their totality that ***the true IFR is not stationary but, on the contrary, is moving and accelerating, relative to each of the interacting bodies!***

This is the great worldview discovery, the understanding of which ***has not yet been achieved.***

And the ‘stationary’ earth or solar FR are only special cases of the ‘correct’ relation of the interacting masses and the spatial scale.

The Ptolemaic system is formed by the part of space adjacent to any material object.

Even Galilean objects have it, although it degenerates into a film of zero thickness covering their surface.

For Newtonian objects, it is no longer a film but a spherical part of space surrounding them with a Ptolemaic radius R_{Π} determined by the mass m_{H} of the Newtonian object located in its centre.

On the scale R_{Π}, the action of Newtonian objects on Galilean objects exceeds that of the Sun, so the Ptolemaic system is still true here. And on this scale, it has never been and cannot be refuted by any Copernicus.

And similarly, on the Copernican large scale R_{K} (the scale of the solar system), where the solar action exceeds the action of all other Newtonian objects, the Copernican system is faithful with a given accuracy. And it too will not and cannot be refuted by any Ptolemy. But only after deduction of local parts of space, adjacent to the Newtonian objects, forming a set of Ptolemaic zones.

In other words, the Copernican system is not continuous. The space it encompasses resembles a cheese head containing a multitude of planetary 'holes' with centres formed by Newtonian objects, the inner space of which is described by Ptolemaic systems independent of each other.

In this and only in this sense we can say that the Copernican system really disproved the Ptolemaic system, erroneously extrapolated to the excessive scale of the solar system. In the vicinity of the Newtonian objects, however, the Ptolemaic system has not suffered, and one can even say that it disproves the Copernican system in exactly the same way. Let us add that the Ptolemaic system is formed by many local fragments adjacent to each Newtonian object. A circumstance, perhaps, not noticed at all by the participants of the physical disputes.

In the general case, however, *both are wrong*, since the true IFR is neither Earth nor solar FR.

Therefore, the historical Ptolemy-Copernicus dispute remains incomplete until the ranges of masses and spatial scales, within which each of these systems is fair with a certain accuracy, are clarified.

This elucidation finally puts an end to this inordinately protracted and inadequate historical dispute.

References:

3. A. I. Somsikov. Law of Inertia
   http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8444.html
4. S. E. Frisch, A. V. Timoreva. General Physics. Volume I. Physical Fundamentals of Mechanics. Edition 6, revised. State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, Moscow, 1955.