

# СУЩНОСТЬ ИНЕРЦИОННОЙ МАССЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ

Ву Хыу Тоан, Ханой, Вьетнам  
E-mail: [vuhuytoan@hn.vnn.vn](mailto:vuhuytoan@hn.vnn.vn)

(Удостоверение на регистрацию Авторского Права N: 899/2007/QTG)

## Резюме

*Инерция, характеризующаяся так называемой инерционной массой, издавна является одним из наиболее известных явлений в природе, но её сущность до сих пор ещё остается большой тайной для науки. На основе анализа развития понятия инерционной массы с давних пор, автор выбрал иной подход к выяснению сущности этого явления, а именно, ограниченность времени любого процесса обмена энергии. В механике это и является причиной, заставляющей тело двигаться с ограниченным ускорением. Было доказано, что отношение между силой потенциального поля и его напряженностью (или ускорением движения тела в таком поле) является постоянной величиной для каждого тела; это и есть инерционная масса, которая так долго не поддается познанию. Благодаря этому, было проведено уточнение закона свободного падения Галилея и принципа эквивалентности, который также является необъяснимым до сих пор явлением. Кроме того, был развит второй обобщенный закон динамики для произвольной системы отсчёта, не только для инерциальной, как в механике Ньютона или в специальной теории относительности. Раскрытие сущности инерционной массы дает новую основу для дальнейшего развития физики.*

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Инерция с одной стороны, понимается как внутреннее свойство тела, проявляющееся сопротивлением ускорению, вызванным некоторым действием, а с другой стороны, представлено сохранением состояния равномерного и прямолинейного движения этого тела. Она является одним из наиболее ранних из известных явлений в природе со времён Аристотеля [1], но её сущность до сих пор ещё остается тайной для науки. Попытки понять механизм инерции велись с давних пор и до начала этого, XXI-ого века, но никаких реальных результатов достигнуто не было [2-11]. Однако до настоящего времени для характеристики этого явления люди вынуждены удовлетворяться понятием “самоинерции”, характеризующимся инерционной массой  $\tilde{M}$ , починающейся второму закону Ньютона:

$$\mathbf{F} = \tilde{M}\mathbf{a}_F \quad (1)$$

где  $\mathbf{a}_F$  – ускорение, приобретенное телом под воздействием силы  $\mathbf{F}$ . Считается, что если имеется действующая извне сила, то у тела возникает как бы сила сопротивления, называемая *силой инерции*:

$$\mathbf{F}_q = -\tilde{M}\mathbf{a}_F. \quad (2)$$

Знак минус “–” в выражении (2) говорит о том, что направление силы инерции противоположно направлению ускорения движения тела;  $\tilde{M}$  – инерционная масса, характеризующая инерционность тела, численно равна его гравитационной массе  $M$ . Однако, само понятие “сила инерции”, употребляемое здесь, оказывается не удовлетворительным. Причина проста: в природе принято существование лишь 4х видов основных сил взаимодействия:

гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Другие силы, такие как сила трения, сила поверхностного натяжения, центробежная сила, и др., на самом деле являются просто различными проявлениями гравитационной или электромагнитной силы, введенные в механику только для удобства, и не имеют самостоятельной сущности. В то же время, сила инерции представляется близкой к гравитационной, родственной ей, однако она, как предполагается, имеет электромагнитное происхождение. Сказано «родственной» потому, что инерционная масса по неизвестной причине всегда равна гравитационной, подчиняющейся закону всемирного тяготения Ньютона:

$$F_h = \gamma \frac{M_A M_B}{r^2}, \quad (3)$$

это называется слабым принципом эквивалентности, из которого следует мнение об эквивалентности инерционных и гравитационных явлений – сильный принцип эквивалентности. Эйнштейн использовал этот аспект в качестве постулата для построения общей теории относительности. «Предполагается» – потому, что по исследованиям многих авторов именно электромагнитное взаимодействие вызывает явление инерции; но электромагнитные силы подчиняются третьему закону динамики, а сила инерции – нет. Кроме того, заряд многих частиц оказывается одинаковым притом, что они имеют различные массы. Были предположения о самостоятельном существовании силы инерции, подвергшиеся строгой критике Канта, или же силу инерции считали “виртуальной” по принципу Даламбера, и до сих пор продолжают нескончаемые споры...

В общем, хотя и классическая, и релятивистская механики были построены на основе явления инерции (с помощью инерциальных систем отсчёта), сущность этого явления остается совсем не ясной. Не поэтому ли физика вынуждена прибегать к метафизическому восприятию? Если сущность этого явления будет раскрыта, то, несомненно, много новых путей будет открыто для физики.

## II. СУЩНОСТЬ ЯВЛЕНИЯ ИНЕРЦИИ

### 1. Краткий анализ тенденций познания явления инерции.

Тщательно изучая все тенденции познания явления инерции до сегодняшнего дня, мы можем увидеть 3 главных:

а) По первой тенденции считают, что инерция тела имеет причину, заложенную в структуру тела – “самоинерция”, как было упомянуто в начале. Эта тенденция занимает преимущественное место с двумя разветвлениями:

- Инерционная масса это мера количества материи, содержащейся в теле; она и является причиной, вызывающей явление инерции – тем больше количество материи, чем труднее изменить состояние движения тела. Почти все известные учёные, с давних времён и до сих пор, соглашались с этой точкой зрения – Аристотель, Галилей, Ньютон, Максвелл, Эйнштейн, Хокинг...

- Инерционная масса – это мера инерционности или гравитации тела.

Хотя подобные подходы могут быть разными, все они являются умозрительными: в обыденной жизни, каждому видно, что чем тем тяжелее тело, тем труднее его сдвинуть. Эквивалентность инерционной и гравитационной масс представляется очевидной, но не является ли такая “очевидность” подобной той, что когда-то очевидным казалось вращение Солнца вокруг Земли?

б) По второй тенденции считают, что инерция тела имеет причину вне него. На этой тенденции был основан довольно известный в своё время, принцип Маха: инерция тела вызывается его взаимодействием с далёкими звёздами в космосе, благодаря чему объясня-

лось движение маятника Фуко – плоскость качания маятника совсем не зависит от вращения Земли. Хотя, говоря о внешней причине, связывая эту причину таинственным образом с “далёкими звёздами”, Мах забыл о том, что взаимодействие с небесными телами слишком мало по сравнению с силой тяготения Земли, и им можно пренебречь. Самая близкая к Земле звезда Альфа Центавра, имеющая массу порядка массы Солнца, вызывает гравитационную силу, равную  $10^{-13}$  от силы тяжести тела на Земле. Влияние других, более удаленных звезд, быстро падает с ростом расстояния. Как тогда можно говорить о решающем их влиянии? Так что взаимодействие с небесными телами слишком мало по сравнению со силой тяготения Земли, и им можно пренебречь.

Кроме того, существует мнение, что инерционная масса является результатом взаимодействия тел с эфиром – “специфическим сортом материи”, заполняющим пространство между космическими телами и имеющим фантастические свойства; и сейчас этот вопрос возрожден вновь с будто бы более “научными” основами. Но при этом не решен самый важный вопрос, это вопрос появления нового типа взаимодействия – взаимодействия тела с эфиром – пятый вид взаимодействия в природе? А раз так, то вопрос об объединении взаимодействий становится еще дальше.

в) Третья тенденция была выдвинута Сен-Венаном и заключается в отказе от самостоятельного существования инерции как внутреннего свойства тела, а именно: “масса тела есть отношение двух чисел – числа частей данного тела к числу частей стандартного тела. При этом части, будучи разделенными, при взаимном попарном столкновении сообщают друг другу равные и противоположные направленные скорости”. Однако, такой подход является лишь отступлением от решения вопроса: “что заставляет тела двигаться с ограниченным ускорением?”

Из приведенного выше анализа можно вывести несколько важных замечаний.

Хотя первая концепция получает преимущественное одобрение большинства учёных, её сущность оказывается наиболее неясной. Как известно, процесс познания происходит от живого созерцания до абстрактного мышления, и от абстрактного мышления до сознания. В обыденной жизни, инерцию ощущают через явления: падать, споткнувшись обо что-то, качаться сидя в автомобиле, передвигать тяжёлые вещи и т. д... Что будет, если мы не споткнулись, если автомобиль движется по прямой ровной дороге, если вещи не сопротивляются действию?” Отсюда следует принцип инерции Галилея или первый закон Ньютона: “если на тело не действует никакие силы со стороны других тел, то оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения”. Такое движение называется “движением по инерции”. При таком подходе механическое состояние материальной точки может быть определено тремя пространственными координатами  $(x, y, z)$ , одной временной координатой  $(t)$  и инерционной массой  $(M)$ . При этом, допускается существование “изолированной материальной точки”, не подвергающейся взаимодействию с любыми другими телами.

На самом деле, строго говоря, если бы никакого действия на тело не было (ни гравитационного, ни электромагнитного, ни сильного и ни слабого), и если бы само тело также не действовало ни на какое другое тело, то было бы безразлично, покоится тело или движется с бесконечной скоростью – по отношению к этому телу окружающий мир как бы не существует, и по отношению к окружающему миру оно также едва ли существует. И, в конце концов, такое тело просто не может существовать!

На практике обыденного наблюдения, все движения тел происходят в сфере влияния всемирного тяготения, в первую очередь Земли, а затем и других небесных тел. Такое идеальное условие, как было сказано выше, невыполнимо. А если так, то едва ли можно доверять тому, что инерция вызывается только внутренней причиной (из-за некоей заведомо присущей телу “инерционной массы”), а не является результатом взаимодействия с другими телами в глубоком космосе, как было предложено Махом. Однако Мах указывал причи-

ну – силу действия извне тела, надеясь лишь на дальние звёзды в космосе с чрезвычайно малыми воздействиями по сравнению с силой тяготения самой Земли; а если не так, то неужели предложенное Махом действие имеет другую сущность?

И того, до сих пор все усилия в понимании сущности инерции, грубо говоря, изолируют как внутреннюю причину от внешней, так и “личную” от “общей” – суть антидиалектический метод познания.

## 2. Другой подход к сущности явления инерции.

### а) Примечание.

Сначала, попробуем использовать доказательство от противного, а именно: что произойдет, если предположить существование тела, не имеющего инерционности? Но что значит “не иметь инерционности”? Значит ли, что после воздействия на тело силы, скорость его движения мгновенно изменится с текущего значения на другое – то есть, будет бесконечное ускорение? Однако, “воздействовать” это значит “передать энергию” – не так ли? И в таком случае, неужели время передачи энергии равно нулю? Это невозможно! Следовательно, глубокая причиной явления инерции является именно конечность времени обмена энергией между всеми телами в природе. Однако практика показывает, что обмен различной энергии происходит не одинаково по отношению ко времени; например, обмен тепловой энергии происходит намного медленнее, чем обмен электрической. Тогда можно сказать, что это время зависит именно от вида энергии, необходимой для обмена. Изменение скорости механического движения происходит постепенно, а не может быть скачкообразно, и является одним из многих результатов вышесказанного процесса обмена энергии. Для механического движения, это есть ускорение движения тела. Другими словами, каждому виду взаимодействия соответствует вполне определённая скорость обмена энергии, характерная для такого вида взаимодействия и вызывающая “ускорение” тела. С четырьмя основными взаимодействиями в природе имеем четыре различных вида ускорений соответственно. Однако необходимо отметить, что одно и то же тело в одном и том же виде взаимодействия может двигаться с различными ускорениями, в то же время, различные тела могут двигаться с одинаковым ускорением, поэтому само ускорение не может служить для того, чтобы охарактеризовать этот аспект. В общем, нужно искать величину, не зависящую от движения тела под действием рассматриваемой основной силы.

Из наблюдения свободного падения тел в гравитационном поле Земли, заметим, что тем больше сила гравитации  $\mathbf{F}$ , чем больше ускорение свободного падения  $\mathbf{g}$ . Этот момент наводит на мысль о возможности, что отношение между двумя этими величинами:

$$\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{g}} = \frac{F}{g} \quad (4)$$

может удовлетворять предъявленному выше требованию? Здесь отношение (4) в принципе можно называть *коэффициентом инерции* или чем-то в этом духе, не применяя обязательно термин “инерционная масса”, хотя оно имеет размерность, совпадающую с размерностью массы. Но чтобы не усложнять терминологию, в дальнейшем будем употреблять термин “инерционная масса” и обозначим ее буквой  $m$ , однако обратим внимание на то, что  $m$  не является “заведомо присущим” телу свойством, как предыдущая инерционная масса  $\tilde{M}$ , или как гравитационная масса, обозначенная буквой  $M$ . Попробуем проверить это.

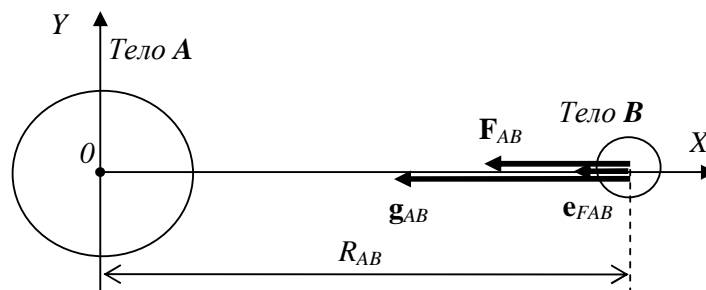
Прежде всего, поскольку здесь имеем отношение к так называемому “движению” тела, необходимо указать, относительно чего это тело “движется”, относительно какой системы отсчёта (СО)? Механика, до настоящего времени (пока не касаемся общей теории относительности), может изучать практически только движения, рассматриваемые в так

называемой “инерциальной СО”, т. е. СО, движущаяся равномерно и прямолинейно относительно другой... “инерциальной СО”!... – такое понятие чисто умозрительно, весьма туманно с точки зрения формальной логики – использовать само определяемое понятие (“инерция”) для определения этого же понятия! Постараемся не мыслить этими старыми категориями.

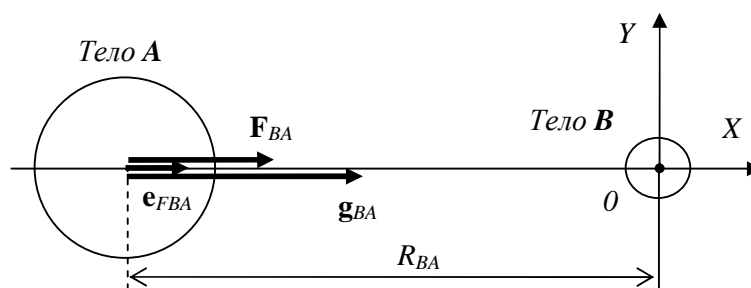
Для расположения СО имеем две возможности: либо на самих движущихся друг относительно друга телах, либо в их общем центре инерции. Выбор СО не влияет на основные силы взаимодействия (назовем их “основными” для отличия от других сил) – обмен энергией между телами отнюдь не зависит от того, наблюдаем мы его, или нет, знаем, или не знаем о нем. Однако, т. к. ускорение есть скорость изменения скорости движения тела, а последняя, естественно, зависит от выбора СО, относительно которой наблюдаем это движение, то ускорение также зависит от выбранной СО. Рассмотрим движение в обеих СО под действием силы гравитации, определяемой законом всемирного тяготения (3).

**б) СО расположена в центре взаимодействующих тел.**

Пусть имеется СО с началом координат, совпадающим с центром масс тела **A**, и с осью **OX** – прямой, проходящей через центры масс двух тел, как показано на Рис. 1а. Тогда, учитывая направления показанных векторов, перепишем выражение (3) в векторной форме:



а) СО расположена в центре масс тела **A**



б) СО расположена в центре масс тела **B**

Рисунок 1. СО расположена в центре масс тела

$$\mathbf{F}_{AB} = \gamma \frac{M_A M_B}{R_{AB}^2} \mathbf{e}_{FAB} \quad (5)$$

где  $\mathbf{e}_{FAB}$  – единичный вектор, совпадающий с направлением действующей силы  $\mathbf{F}_{AB}$ . Учитывая ускорение относительного движения тела **B**, равное:

$$\mathbf{g}_{AB} = \frac{d^2 R_{AB}}{dt^2} \mathbf{e}_{FAB}, \quad (6)$$

можем определить инерционную массу тела  $\mathbf{B}$  по формуле (5):

$$m_{AB} = \frac{F_{AB}}{g_{AB}}. \quad (7)$$

Если СО расположена в центре масс тела  $\mathbf{B}$  (см. *рис 1б*), можем написать выражения, аналогичные выражениям (5) ÷ (7), заменяя только нижние индексы “ $_{AB}$ ” на “ $_{BA}$ ”:

$$\mathbf{F}_{BA} = \gamma \frac{M_A M_B}{R_{BA}^2} \mathbf{e}_{FBA}, \quad (8)$$

$$\mathbf{g}_{BA} = \frac{d^2 R_{BA}}{dt^2} \mathbf{e}_{FBA}, \quad (9)$$

$$m_{BA} = \frac{F_{BA}}{g_{BA}}. \quad (10)$$

Сравнивая выражения (5) и (6) с выражениями (8) и (9), замечаем, что вопреки тому, что гравитационные массы двух тел различны ( $M_A \neq M_B$ ), их силы взаимодействия, а также относительные ускорения, тем не менее, оказываются равными по величине, только противоположными по направлению:

$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}, \quad (11)$$

$$\mathbf{g}_{AB} = -\mathbf{g}_{BA}, \quad (12)$$

а это приводит к равенству их инерционных масс, определяемых выражениями (7) и (10):

$$m_{AB} \equiv m_{BA} = m. \quad (13)$$

Назовем эти величины “связанными” инерционными массами двух движущихся тел в гравитационном поле. Возникает вопрос: как эти инерционные массы связываются с гравитационными массами двух тел (вот почему и называем их “связанными”)? И являются ли они постоянными, как мы рассчитывали? Для того чтобы это выяснить, используем вышеуказанную СО с общим центром инерции.

**в) СО расположена в общем центре инерции двух тел.**

Рассмотрим теперь случай, когда СО расположена в общем центре инерции или, что то же самое, в общем центре масс двух тел, как показано на *рис. 2*.

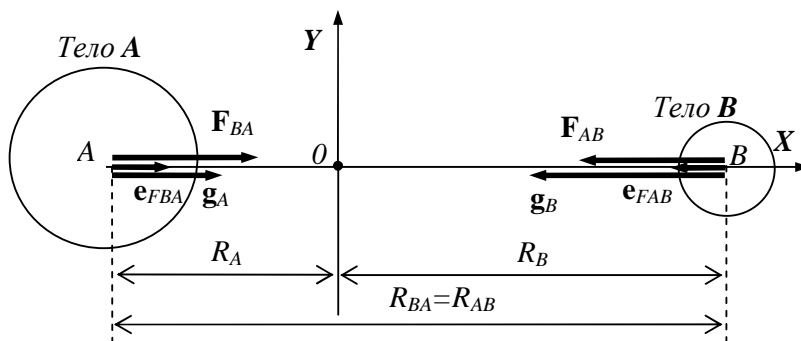


Рисунок 2. СО расположена в общем центре инерции двух тел.

Тогда, как известно, действующая на каждое тело сила не меняется и, следовательно, может быть определена по тем же формулам (5) и (8). Однако ускорения их движения в этой СО будут разными, здесь они обозначаются буквами  $\mathbf{g}_A$  и  $\mathbf{g}_B$ , и названы *абсолютными ускорениями*. Но поскольку относительное друг к другу ускорение в принципе не может зависеть от СО, то должно иметь место:

$$g_A + g_B = g_{AB} = g_{BA}. \quad (14)$$

Тогда для инерционных масс тел  $A$  и  $B$  в СО, расположенной в общем центре инерции, можно написать аналогичные (7) и (10) выражения, лишь заменяя относительные ускорения абсолютными:

$$m_A = \frac{\mathbf{F}_{BA}}{\mathbf{g}_A}; \quad m_B = \frac{\mathbf{F}_{AB}}{\mathbf{g}_B}, \quad (15)$$

назовем  $m_A$  и  $m_B$  “*собственными*” *инерционными массами* каждого тела. Можно переписать выражения (15) со скалярами, т. к. здесь, все векторы лежат на одной прямой, а знак ускорения уже учтен в выражении (14):

$$g_A = \frac{F_h}{m_A}, \quad g_B = \frac{F_h}{m_B}, \quad (16)$$

где 
$$F_h = F_{AB} = F_{BA}. \quad (17)$$

С одной стороны, из определения центра инерции имеем:

$$m_A V_A = m_B V_B, \quad (18)$$

поэтому можем переписать (18) в виде производной пути по времени:

$$m_A \frac{dR_A}{dt} = m_B \frac{dR_B}{dt}. \quad (19)$$

Сокращая  $dt$  в обеих частях (19), и интегрируя это выражение:

$$m_A \int dR_A = m_B \int dR_B,$$

получаем 
$$m_A R_A = m_B R_B. \quad (20)$$

С другой стороны, из определения центра масс двух тел имеем:

$$M_A R_A = M_B R_B \quad (21)$$

т.к. центр масс двух тел совпадает с их центром инерции. Деля обе части (21) на соответствующие части (20), получаем:

$$\frac{M_A}{m_A} = \frac{M_B}{m_B} = k. \quad (22)$$

Этот коэффициент  $k$  характеризует различие между гравитационными и *собственными* инерционными массами, которое ещё обсудим ниже. Вместе с этим, можно переписать (7) и (10) в виде:

$$\mathbf{F}_{AB} = M_B \left( \gamma \frac{M_A}{R_{AB}^2} \mathbf{e}_{FAB} \right) = M_B \mathbf{g}_{\gamma A}, \quad (23)$$

$$\mathbf{F}_{BA} = M_A \left( \gamma \frac{M_B}{R_{BA}^2} \mathbf{e}_{FBA} \right) = M_A \mathbf{g}_{\gamma B}, \quad (24)$$

где вводим обозначения:

$$\mathbf{g}_{\gamma B} = \gamma \frac{M_B}{R_{AB}^2} \mathbf{e}_{FAB}, \quad \mathbf{g}_{\gamma A} = \gamma \frac{M_A}{R_{BA}^2} \mathbf{e}_{FBA}, \quad (25)$$

и называем их *абсолютными* гравитационными напряжённостями полей соответствующих тел. Так как  $\gamma$  есть характеристика гравитационного поля, то используем это обозначение для нижнего индекса напряжённости поля –  $g_\gamma$ , с целью различения от ускорения движения тел в потенциальном поле –  $g$ ; а индексы “A” или “B”, лежащие рядом с  $\gamma$ , связываются непосредственно с соответствующими телами **A** и **B**. После замены выражения (23) и (24) в (16) и преобразования последнего, имеем:

$$\mathbf{g}_A = \left(\frac{M_A}{m_A}\right) \mathbf{g}_{\gamma B} = k \mathbf{g}_{\gamma B}, \quad (26)$$

$$\mathbf{g}_B = \left(\frac{M_B}{m_B}\right) \mathbf{g}_{\gamma A} = k \mathbf{g}_{\gamma A}. \quad (27)$$

Выражения (26) и (27) дают нам связь между ускорениями движения тел в СО, расположенной в их общем центре масс, (т. е. *абсолютными ускорениями*), и абсолютной напряжённостью самих гравитационных полей.

### г) *Определение связанной инерционной массы*

Подставив выражение (16) в (14), преобразуем его к виду:

$$g_{AB} = g_{BA} = F_h \left( \frac{m_A + m_B}{m_A m_B} \right). \quad (28)$$

После подстановки этого выражения (28) в (7) или (10), получаем:

$$m_{AB} = m_{BA} = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B}. \quad (29)$$

Формула (28) выражает связь между *связанной инерционной массой*, определяемой в СО, связанной с одним из тел, и *собственными инерционными массами*, определяемыми в СО, расположенной в их общем центре масс или в их общем центре инерции. После подстановки соответствующих величин в выражение (14), минуя их векторный характер, имеем:

$$g_{AB} = g_A + g_B = k g_{\gamma AB} = k g_{\gamma BA}, \quad (30)$$

$$c \quad g_{\gamma AB} = g_{\gamma BA} = g_{\gamma B} + g_{\gamma A}. \quad (31)$$

Назовем эти величины *относительной напряжённостью* общего поля двух тел. Подставим соответствующие величины из (25) в (31), и затем в (30), после сокращения получим формулу для определения относительного ускорения движения как функции гравитационных масс этих тел:

$$g_{AB} = g_{AB} = \frac{k \gamma (M_A + M_B)}{R_{AB}^2}. \quad (32)$$

Тогда, подставляя (32) в (7) и (10), имеем:

$$m_{AB} = m_{BA} = \frac{M_A M_B}{k (M_A + M_B)}. \quad (33)$$



Из формулы (32) видно, что тела с разными гравитационными массами падают по-разному, однако в земных условиях эта разница весьма мала. Конкретно, пусть  $M_B$  – гравитационная масса пробного тела, а  $M_A$  – гравитационная масса Земли, тогда имеем:

$$\delta g_{BA} = \frac{g_{BA} - g_B}{g_{BA}} \approx \frac{M_B}{M_A}. \quad (34)$$

Практически с погрешностью порядка  $10^{-24}$ , определяемой по формуле (34), в эксперименте Галилея (см. *рис 3а*) выше сказанная разница выявлена быть не может. Практически можно полагать  $k = 1$ , поскольку СО, расположенную в центре Земли, можно считать совпадающей с СО, расположенной в общем центре падающего тела (**B**) и Земли (**A**), с погрешностью порядка  $10^{-24}$ .

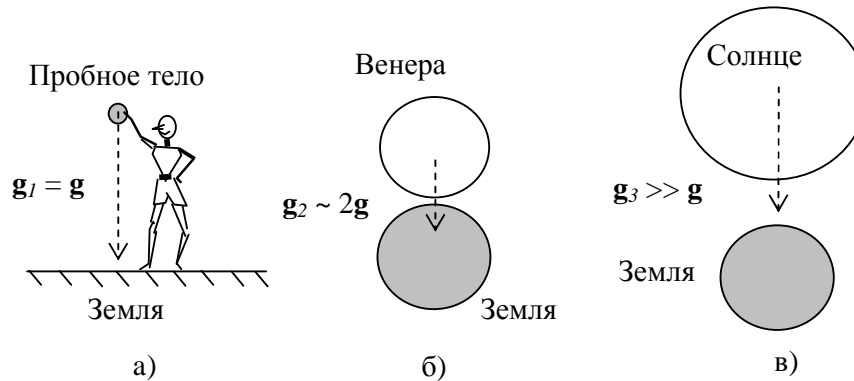


Рисунок 3. Разные тела падают по-разному

Было бы иначе, если бы в эксперименте, можно было “взять” другое тело с массой порядка массы Земли (см. Рис 3б), тогда измеряемое ускорение было бы вдвое больше того, что было измерено Галилеем на Башне в Пизе, как исследовало из формулы (32). Вопрос был бы полностью не воображаемым, если бы “пробное тело” было тяжелым, как Солнце (см. Рис. 3в), т. к. его ускорение свободного падения было бы гораздо больше. Значит, закон свободного падения Галилея в системе отсчета Земли справедлив только тогда, когда гравитационная масса пробных тел чрезвычайно мала по сравнению с гравитационной массой Земли; т. е. считается, что тело падает только с его *абсолютным ускорением*, и *принцип эквивалентности* – инерционная масса тела эквивалентна его гравитационной – справедлив только в СО общего центра масс тел (суть, виртуальная СО), т. е. справедлив только для *собственной инерционной массы*. В то же время, все динамические процессы, включая и энергетический обмен между телами, связаны только с СО, истинно расположенной на движущихся телах, а именно с *связанной инерционной массой*. Короче говоря, в дальнейшем, для точных вычислений следует заменить *собственную инерционную массу*, определяемую по формулам (7) или (10), *связанной массой* – по формуле (32) с учётом  $k = 1$ , опуская нижние индексы для обоих случаев, а именно:

$$m = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}. \quad (35)$$

И, соответственно, различаем *абсолютное ускорение*, определяемое по формулам (28) и (29), от *относительного*, определяемого по (32), также опуская нижние индексы:

$$g = \frac{\gamma(M_A + M_B)}{R_{AB}^2}. \quad (36)$$

Выражение (36) есть уточненный закон свободного падения, определяемый по формулам (28) или (29).

Следовательно, равенство (30) можно переписать в виде:

$$g = g_{AB}, \quad (37)$$

т. е. *относительное ускорение* движущегося в гравитационном поле тела в точности равно относительной напряжённости этого поля. Аналогично этому, выражения (7) и (10) можно заменить одним выражением:

$$m = \frac{F_h}{g}. \quad (38)$$

Итак, можно видеть, что инерционная масса, определяемая по (4) или (38) в виртуальной СО (см. выражение (24)) или в реальной СО относительно конкретного вида определенного потенциального поля, в данном случае – гравитационного, всегда есть вполне определённая величина, зависящая только от постоянных (в данном случае – гравитационные массы  $M_A$  и  $M_B$ ), несмотря на то, что величины для их определения – сила и ускорение – изменяются в ходе движения тел. Другими словами, использование понятия инерционной массы, определяемой по (4), является справедливым.

С другой стороны, выражения от (8) до (10) написаны в реальной СО, расположенной на любом из двух взаимодействующих тел, следовательно, в принципе их можно использовать для проверки результатов измерения экспериментов и, более того, поскольку всякий процесс взаимодействия тел может происходить только на самих этих телах, а не в зависимости от положения наблюдателя, то реальный физический смысл имеет только *связанная инерционная масса*, определяемая по (35), а *собственные инерционные массы* носят только вспомогательный характер.

Иначе говоря, для решения проблемы инерции понятие “сила взаимодействия” необходимо выдвинуть на первый план, – оно является “совместным порождением” взаимодействующих тел, а также фактором, подтверждающим существование тел в космосе, а “инерционная масса” является лишь производной величиной. С другой стороны заметим, что понятие инерции тела часто используется нами только для обозначения явления его сопротивления движению при отсутствии непосредственного контакта с другими телами (сопротивления трения, непосредственного соударения...), другими словами, инерция здесь связана только с косвенной (через пространство между телами) силой взаимодействия, которые называют *силами потенциального поля* в отличие от непосредственных сил. Последние можно называть *механическими силами*

При механическом движении, изменение энергетического состояния тела под действием силы  $\mathbf{F}$  всегда вынуждено преодолевать силу потенциального поля, поддерживающую это энергетическое состояние тела, в результате чего и появляется явление инерции – тело движется с ограниченным ускорением. Ускорение движения тела, следовательно, будет зависеть от этих величин. Отсюда, можно сформулировать **второй обобщённый закон динамики** в следующем виде:

*Ускорение движения тела прямо пропорционально суммарной действующей на него силе и обратно пропорционально модулю силы потенциального поля, связывающей его в таком энергетическом состоянии; направление ускорения совпадает с направлением суммарной силы.* Имеем математическое выражение:

$$\mathbf{a} = k_f \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{F_u} = k_f \frac{\mathbf{F} + \mathbf{F}_u}{F_u}, \quad (39)$$

где  $\mathbf{F}_\Sigma$  – суммарная сила всех других тел, действующая на рассматриваемое тело;  $\mathbf{F}$  – суммарная действующая сила при непосредственном соприкосновении данного тела с другими (или ещё называем силой соударения, механической силой);  $\mathbf{F}_\Pi$  – сила потенциального поля;  $k_f$  – некоторый коэффициент пропорциональности. Если сила удара (“механическая сила”)  $\mathbf{F} = 0$ , из выражения (39) видно, что ускорение движения тела остаётся лишь ускорением движения в потенциальном поле  $\mathbf{g}$ :

$$\mathbf{a} = \mathbf{g} = k_f \frac{\mathbf{F}_\Pi}{F_\Pi} = k_f \mathbf{e}_{F_\Pi}. \quad (40)$$

где  $\mathbf{e}_{F_\Pi}$  – единичный вектор, направление которого совпадает с направлением силы потенциального поля. Можем переписать выражение (40):

$$\mathbf{g} = g \mathbf{e}_g = k_f \mathbf{e}_{F_\Pi} \quad (41)$$

с  $\mathbf{e}_g$  – единичный вектор, направление которого совпадает с направлением ускорения  $\mathbf{g}$ , т. е.  $\mathbf{e}_g = \mathbf{e}_{F_\Pi}$ , то  $k_f = g$ ; следовательно, (40) можно переписать в виде:

$$\mathbf{a} = g \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{F_\Sigma} = g \frac{\mathbf{F} + \mathbf{F}_\Pi}{F_\Sigma}. \quad (42)$$

Обращая внимание на выражение (38), можем переписать (40) в знакомом виде:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{m} = \frac{\mathbf{F}}{m} + \frac{\mathbf{F}_\Pi}{m} = \mathbf{a}_F + \mathbf{g}, \quad (43)$$

здесь:

$$\frac{\mathbf{F}}{m} = \mathbf{a}_F \quad (44)$$

есть составляющая ускорения движения под действием механической силы  $\mathbf{F}$ . Из этого выражения следует знакомая формула:

$$m \mathbf{a}_F = \mathbf{F}. \quad (45)$$

Обратим внимание на то, что полученная формула (45) справедлива для любых СО, тогда как второй закон Ньютона (1), применим лишь для инерциальных СО. Причина же ясна: здесь инерционная масса определяется только выражением (38) а не является “заведомо заданной”, внутренне присущей каждому телу, она не имеет самостоятельной причины, поэтому не имеет никакого отношения к “движению по инерции, когда не действуют ни какие силы”, а наоборот, существует только тогда, когда действует сила – сила потенциального поля. Более того, опираясь на выражение (42), можем определить (связанную) инерционную массу  $m$  в поле потенциальных сил через суммарную силу  $F_\Sigma$  и суммарное ускорение  $a$ . Итак, соответственно 4-м силам взаимодействия известных видов сил, рассчитывая по (4), имеем 4 вида (связанных) инерционных масс со следующими обозначениями:

$m$  – инерционная масса в гравитационном поле;

$m_e$  – инерционная масса в электрическом поле;

$m_s, m_{sl}$  – инерционные массы в полях сильных и слабых взаимодействий, соответственно.

В некоторых случаях тело имеет и гравитационную массу, и электрический заряд, поэтому, в принципе, следует говорить о *комбинированной инерционной массе* в поле потенциальных сил гравитации-электростатики, поскольку для инерционных масс нет свойства аддитивности.

Итак, по формуле второго обобщённого закона динамики (42), вместо задания инерционной массы тела ( $A$ ), следует обязательно указать поле потенциальных сил другого тела ( $B$ ), определяющее силы взаимодействия с ним. Например, если поле – гравитационное, то необходимо задать обе гравитационные массы  $M_A$  и  $M_B$ , как показано на Рис. 4; а если поле – электростатическое, то нужно задать оба заряда,  $q_A$  и  $q_B$ .

В то время как в классической, так и в релятивистской динамике допускают существование “изолированной” материальной точки. Состояние этой точки считают вполне определённым, если пространственные координаты ( $x, y, z$ ) и время ( $t$ ) в некоторой СО вместе с “самоврождённой инерционной массой”  $\tilde{M}$  однозначно определены (см. Рис. 5). Тогда, если материальная точка подвергается действию силы  $\mathbf{F}$ , то можно записать уравнение его движения по второму закону Ньютона (1). Знак “=” в выражении (1) следует понимать как пропорциональность а не как “равенство”, т. к., обе части (1) принадлежат к двум разным самостоятельным объектам – левая часть есть внешняя сила, действующая на материальную точку; правая часть – содержит динамические параметры самой материальной точки.

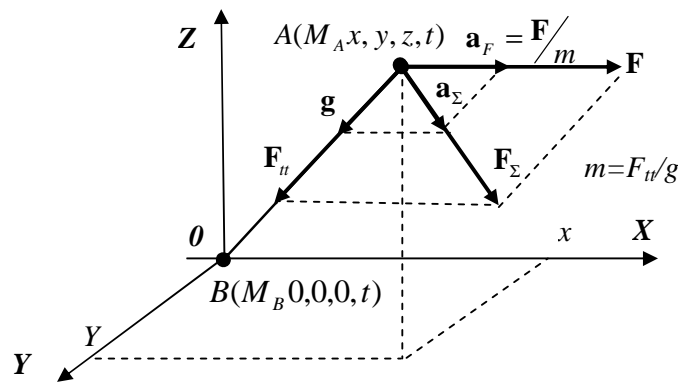


Рисунок 4. Демонстрация второго обобщённого закона динамики

Но если есть сила, то она должна быть в равновесии с силой, а не с какой-либо другой величиной, поэтому вынуждены выдвигать понятие, ломающее головы многих поколений физиков: это “сила инерции”, определяемая по выражению (2), где знак “=” уже можно понимать в прямом его смысле, поскольку обе части выражения (2) принадлежат одному и тому же объекту – рассматриваемой нами материальной точке.

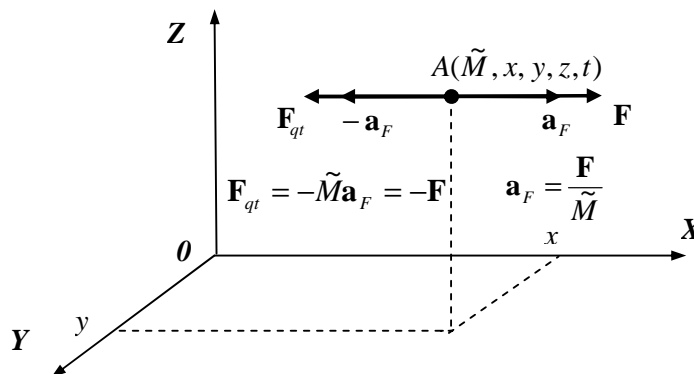


Рисунок 5. Демонстрация второго закона Ньютона и принципа Даламбера

### III. ВЫВОДЫ

1. Инерционная масса не является “готовой вещью”, чем-то врождённым, заведомо присущим телу, или так называемой “самоинерцией”, а представляется динамической характеристикой, определяемой при помощи взаимодействующей с телом силы в поле потенциальных сил и ускорения его движения в этом поле.

2. Нет никакой эквивалентности между инерционной массой и гравитационной, и принцип эквивалентности лишь применим в СО общего центра масс тел, а такая СО, суть, виртуальная, т. к. это только чисто геометрическая точка, а нет ни какого тела, чтобы можно было бы на нём расположить СО.

3. Закон свободного падения Галилея справедлив только для тел с малой гравитационной массой, движущихся в поле тяготения значительно более массивного тела. В общем случае разные тела падают по-разному.

4. Для произвольной СО нужно применять второй обобщенный закон динамики, при этом второй закон Ньютона является лишь частным случаем, когда силой потенциального поля можно пренебречь по сравнению с механической силой, действующей на пробное тело.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Max Jammer. Concepts of mass in classical and modern physics. Harvard University press. Cambridge -Massachusetts. 1961.
2. M. Chown. A Mass of Inertia. 2001
3. Е. И. Бутиков А. С. Кондратьев. Физика 1 – Механика. Физматлит. Москва – Санкт – Петербург – 2000.
4. Е. И. Бутиков А. С. Кондратьев. Физика 3 – Строение и свойства вещества. Физматлит. Москва – Санкт – Петербург – 2000.
5. Bergman D. “Forces on Moving Objects”. Common Sense Science **CO1**.
6. Bergman D. “Theory of Forces”. Common Sense Science **LN1** (1998).
7. Bergman D. “Inertial Mass of Charged Elementary Particles”. Common Sense Science **CR1** (1997).
8. D. Acosta. The Inertial Mass, 2003, <http://www.arrakis.es/~dacosta/masai.htm>
9. Окунь Л. Б. Понятие массы. Успехи физических наук. 1989, т.158.- с.512-530.
10. Origin of Inertial Mass. 2002. <http://www.commonssensescience.org/pdf/inetialmass.pdf#search=inertial%20mss>
11. Храбко Р. И. Что есть масса? Успехи физических наук. 2000, N12. Цс. 1363-1366.
12. А. Ейнштейн. Собрание научных трудов, Т. I, II, III. 1965.
13. A. Einstein, L. Infeld. Sự tiến triển của vật lý học. Dịch từ tiếng Anh. NXB KH&KT, Hà nội, 2005.
14. Vũ Huy Toàn. Khối lượng quán tính và cơ động lực học. Báo cáo poster tại Hội nghị Vật lý Lý thuyết Toàn quốc, Sầm sơn, 2003.
15. В. А. Угаров. Специальная теория относительности. Издат. “Наука”, Москва, 1977.
16. Б. М. Яворский А. А. Детлаф. Справочник по физике. Физматлит. “Наука”, Москва, 1996.