

Гравитация и Современная Физика

Эта глава вводная. В ней вкратце рассказывается об основных идеях, лежащих в фундаменте современной физики. При этом особое внимание уделяется нерешённым проблемам.

§ 1.1 Тяготение

Все тела притягиваются друг к другу. Чем больше масса тела, тем сильнее оно притягивает другие тела, то есть тем сильнее гравитационное поле, создаваемое им. Сила гравитационного притяжения между двумя телами пропорциональна их массам (M и m) и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними. Математически закон Всемирного тяготения выглядит так:

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1.1)$$

Здесь $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг}^{-1} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2}$ – гравитационная постоянная.

Второй закон Ньютона утверждает, что:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1.2)$$

Это означает, что под действием силы \vec{F} тело массы m будет двигаться с ускорением: $\vec{a} = \vec{F}/m$. Поэтому из уравнения (1.1) следует, что тело массы m будет двигаться навстречу телу массы M с ускорением \vec{a} , величина которого равна:

$$a = G \frac{M}{r^2} \quad (1.3)$$

То есть ускорение тела в гравитационном поле не зависит от его массы.

Вообще говоря, следует отличать массу, которая входит в закон Всемирного тяготения (она называется гравитационной, или тяжёлой массой), от массы, которая входит во Второй закон Ньютона (она называется инертной, или инерциальной массой). Но ещё Ньютон обнаружил, что для различных веществ эти массы с хорошей степенью точности пропорциональны друг другу. Такой вывод Ньютон сделал, основываясь на следующем наблюдении. Период колебаний ящика, подвешенного на верёвке, *не зависит* от его содержимого. А такое возможно только в том случае, если инертная масса ящика всегда пропорциональна его гравитационной массе. Существующие системы единиц измерения специально выбраны так, чтобы в них коэффициент пропорциональности между инертной и гравитационной массами был равен единице. Таким образом, в существующих системах единиц измерения инертная масса равна гравитационной массе.

В общем случае гравитационное поле, создаваемое массой M на расстоянии r , можно охарактеризовать тремя физическими величинами.

Во-первых, это ускорение \vec{g} , с которым будет двигаться любое тело в этом поле. Это векторная величина, и именно она обычно называется гравитационным полем.

Во-вторых, это скорость распространения гравитационного поля V_{grav} . Например, мы сдвинули массу M . Через какое время тело, находящееся на расстоянии r от этой массы, “почувствует” изменение гравитационного поля? В теории тяготения Ньютона предполагается, что гравитационное взаимодействие распространяется мгновенно. А в теории тяготения Эйнштейна предполагается, что скорость распространения гравитационного поля всегда и везде одинакова и равна скорости света:

$$V_{\text{grav}} = c \approx 300\,000 \text{ км/с} \quad (1.4)$$

И, наконец, третьей величиной, которая характеризует гравитационное взаимодействие, является гравитационный потенциал φ :

$$\varphi = -G \frac{M}{r} \quad (1.5)$$

Гравитационный потенциал имеет следующий физический смысл. Это работа, которую нужно совершить над единичной массой, чтобы удалить её из данного поля тяготения. Знак минус как раз говорит о том, что работу придётся совершать нам, а не полю, то есть потенциальная энергия тела U в гравитационном поле всегда отрицательна. Для тела массы m она равна: $U = m \varphi$. Обычно при изучении гравитации больше внимания уделяют гравитационным полям. Но в этой книге именно гравитационный потенциал будет играть самую важную роль.

Напомним, что гравитационный потенциал на поверхности однородного шара массы M и радиуса R равен: $\varphi = -GM/R$. А в центре шара потенциал равен: $\varphi = -3GM/2R$. То есть в полтора раза больше. В то время как гравитационное поле в центре шара равно нулю. В общем случае гравитационный потенциал внутри какого-нибудь объекта массы M с некоторым средним радиусом R можно приближённо (с точностью до численного коэффициента, который зависит от конкретного распределения плотности) оценить по формуле:

$$\varphi \approx -G \frac{M}{R} \quad (1.6)$$

§ 1.2 Гравитационный потенциал Вселенной

Все мы притягиваемся к Земле. Масса Земли по меркам человека огромна: $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг} = 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ кг}$. Для того чтобы преодолеть притяжение Земли, человеку понадобилось достичь скорости несколько километров в секунду! 8 км/с – это минимальная скорость, с которой тело должно двигаться вокруг Земли, чтобы не упасть на неё. Она называется первой космической скоростью. 11 км/с – это минимальная скорость, которую должно иметь тело, чтобы вылететь из гравитационного поля Земли. Это так называемая вторая космическая скорость. Но по космическим меркам масса Земли чрезвычайно мала!

Например, масса Солнца, вокруг которого вращается Земля, в триста тысяч раз больше и составляет $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ кг. Чтобы вылететь из гравитационного поля Солнца, нужно развить скорость более 40 км/с.

И чем дальше человек проникает в глубины Вселенной, используя мощнейшие телескопы, тем более грандиозные миры раскрываются перед ним. Например, наша Галактика состоит примерно из 100 миллиардов звёзд и имеет массу порядка $M_{Gal} \approx 10^{41}$ кг и размеры около 100 000 световых лет. Чтобы вылететь из её поля притяжения, нужно развить скорость более 200 км/с. Под действием сил гравитационного притяжения галактики образуют скопления. А скопления галактик, в свою очередь, под действием гравитационных сил образуют гигантские сверхскопления. Например, сверхскопление в созвездии Девы, куда входит наша Галактика, состоит примерно из 2 500 галактик. Оно имеет массу порядка $M_{Cl} \approx 10^{44}$ кг и размеры около 50 млн. световых лет. Чтобы вылететь из его поля притяжения, нужно развить скорость около 500 км/с. Но и масса такого сверхскопления ничтожна по сравнению с остальной массой Вселенной. Массу Вселенной M_{Un} можно приближённо оценить по формуле:

$$M_{Un} \approx \frac{4}{3} \pi \rho_{Un} R_{Un}^3 \quad (1.7)$$

где $\rho_{Un} \approx 10^{-26}$ кг/м³ – средняя плотность материи во Вселенной, а R_{Un} – радиус Вселенной. Для приближённой оценки радиуса Вселенной можно использовать величину: $R_{Un} \approx cT_{Un}$. Здесь c – скорость света, а $T_{Un} \approx 15$ млрд. лет $\approx 5 \cdot 10^{17}$ с – время жизни Вселенной, то есть время, прошедшее с того момента, когда материя во Вселенной находилась в сверхплотном состоянии. Таким образом, получаем: $R_{Un} \approx 10^{26}$ м. Подставляя это значение в уравнение (1.7), получаем:

$$M_{Un} \approx 4 \cdot 10^{52} \text{ кг} \quad (1.8)$$

Это составляет почти триллион галактик! Интересно, какую нужно развить скорость, чтобы вылететь из гравитационного поля Вселенной? В принципе, это нетрудно рассчитать. Гравитационный потенциал Φ_{Un} , создаваемый всей массой Вселенной (гравитационный потенциал, создаваемый всей массой Вселенной, здесь и далее мы будем обозначать как Φ_{Un}) можно оценить по формуле (1.6):

$$\Phi_{Un} \approx -GM_{Un}/R_{Un} \quad (1.9)$$

Подставляя в это уравнение значения для массы и радиуса Вселенной, получаем:

$$\Phi_{Un} \approx -3 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 \quad (1.10)$$

Чтобы тело массы m смогло вылететь из гравитационного поля Вселенной (за пределы Вселенной), ему нужно совершить работу: $A = -m\Phi_{Un}$. А для этого оно должно обладать кинетической энергией:

$$K = \frac{mV^2}{2} = -m\Phi_{Un}, \text{ и, следовательно, скоростью:}$$

$$V = \sqrt{-2\Phi_{Un}} \approx 2,5 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Мы получили, что для преодоления гравитационного притяжения Вселенной тело должно двигаться с околосветовой скоростью! Разумеется, в этом случае формула для кинетической энергии $K = mV^2/2$ уже не верна. Но для нас это не так важно, мы ведь сделали только качественные оценки. Ошибки в расчётах в данном случае вносит и значение средней плотности Вселенной, и значение её радиуса. Значение этих величин известно с очень плохой точностью. Но одно мы можем сказать наверняка: для того чтобы вылететь за пределы гравитационного поля Вселенной, нужна очень большая, околосветовая скорость.

Давайте возведём в квадрат скорость света: $c^2 = (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$. Получается, что гравитационный потенциал, создаваемый всей массой Вселенной (1.10), примерно равен квадрату скорости света!

А что если это не случайное совпадение? И квадрат скорости света, взятый со знаком минус, окажется в точности равным гравитационному потенциалу Вселенной? По крайней мере, точность современных данных о массе и размерах Вселенной не исключает такой возможности:

$$\Phi_{\text{Un}} = -c^2 \approx -10^{17} \text{ м}^2/\text{с}^2 \quad (1.11)$$

Гравитационная энергия тела массы m в поле с потенциалом Φ_{Un} равна: $U = m\Phi_{\text{Un}}$. С другой же стороны, согласно формуле Эйнштейна полная энергия тела равна: $E = mc^2$. И если $\Phi_{\text{Un}} = -c^2$, то окажется что:

$$E + U = 0 \quad (1.12)$$

В этом случае для любого тела сумма его полной и гравитационной энергии тождественно равна нулю! Похожие оценки приводил, например, Ричард Фейнман в своих лекциях по гравитации. Вот что он пишет об этом: “Пользуясь этой оценкой, мы получаем чрезвычайно интересный результат, что полная энергия Вселенной равна нулю. Почему так должно быть, является одной из величайших тайн – и, следовательно, одним из важнейших вопросов физики. После всего этого можно задать вопрос, что мы должны были бы изучать в физике, если подобные тайны не являются столь важными, чтобы их исследовать” [10;с.68]. Мы прислушаемся к совету Фейнмана, будем исследовать этот вопрос и во второй главе найдём на него ответ. Причём мы найдём такой ответ, истинность которого можно будет проверить экспериментально.

Гравитационные силы (гравитационные поля) быстро убывают с расстоянием – пропорционально квадрату расстояния (1.1). А из-за того, что материя во Вселенной распределена практически равномерно, гравитационные силы, создаваемые различными галактиками, уравновешивают друг друга. Например, силы гравитации, которые действуют на каждый атом нашего тела со стороны огромных масс Вселенной, находящихся, скажем, в направлении Полярной звезды, уравновешиваются гравитационными силами, создаваемыми массами, находящимися в противоположном направлении.

Совсем иное дело – гравитационный потенциал. Во-первых, гравитационный потенциал, создаваемый каким-нибудь телом, медленно убывает с расстоянием – пропорционально первой степени расстояния (1.5). Во-вторых, в отличие от гравитационной силы гравитационный потенциал является скаляром, а не вектором. Поэтому гравитационные потенциалы, создаваемые различными телами в какой-нибудь точке

пространства, просто складываются между собой. Всё это и приводит к тому, что величина гравитационного потенциала, создаваемого всей массой Вселенной в околоземном пространстве, такая огромная (1.10). В противоположность гравитационному полю Вселенной, которое в среднем равно нулю и существенно возрастает лишь вблизи больших масс.

Окружающее нас пространство можно образно назвать огромным гравитационным океаном, в который погружена наша Вселенная. Гравитационные поля можно сравнить с подводными течениями, а роль глубины в этом океане играет гравитационный потенциал, создаваемый всеми массами, существующими во Вселенной. Глубина этого океана огромна и составляет примерно (1.10): $\Phi_{\text{Un}} \approx -10^{17} \text{ м}^2/\text{с}^2$. Знак минус как раз показывает, что гравитационный потенциал является глубиной. Величина глубины имеет простой физический смысл – это энергия, которую должна иметь масса в 1 кг, чтобы вырваться из этого океана.

Итак, физическое тело, движущееся в пространстве, движется в гравитационном океане. То есть *оно взаимодействует со всеми остальными телами во Вселенной*. Гигантская глубина этого океана как раз и означает *огромную энергию гравитационного взаимодействия данного тела со всеми остальными телами во Вселенной*.

§ 1.3 Однородность гравитационного потенциала

Мы знаем, что движение тел можно описать с помощью физических законов. Это законы классической механики, теории относительности и квантовой механики. Но мы не знаем, почему движение тел подчиняется этим законам. Такой вопрос даже не принято задавать.

А что если наблюдаемое движение тела есть *результат гравитационного взаимодействия этого тела со всеми остальными массами Вселенной*? Тогда движение тела будет зависеть от его гравитационной энергии, то есть зависеть от величины гравитационного потенциала Вселенной в данной точке пространства. А это в свою очередь будет означать, что и законы физики зависят от величины гравитационного потенциала.

Из данных астрономических наблюдений мы знаем, что физические законы одни и те же во всей Вселенной. В далёких галактиках действуют те же самые (или, по крайней мере, почти те же самые) физические законы, что и на Земле. А гравитационный потенциал, как известно, сильно изменяется вблизи больших масс. Не противоречит ли это нашему предположению о том, что физические законы могут зависеть от величины гравитационного потенциала?

Давайте посмотрим, *как сильно* изменяется гравитационный потенциал вблизи больших масс. Изменение гравитационного потенциала $\Delta\varphi$ на поверхности Земли по сравнению с потенциалом окружающего пространства составит величину: $\Delta\varphi = -GM/R$, где $R \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ – радиус Земли, а $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ – её масса. В результате мы получаем:

$$\Delta\varphi \approx -6 \cdot 10^7 \text{ м}^2/\text{с}^2 \quad (1.13)$$

Гравитационный потенциал Вселенной на поверхности Солнца будет отличаться от гравитационного потенциала на поверхности Земли

примерно на величину: $\Delta\varphi_S \approx -GM_S/R_S$, где $R_S \approx 7 \cdot 10^8$ м – радиус Солнца, а $M_S \approx 2 \cdot 10^{30}$ кг – его масса. Прделав простые вычисления, мы получим:

$$\Delta\varphi_S \approx -2 \cdot 10^{11} \text{ м}^2/\text{с}^2$$

Это очень большая величина. Но она чрезвычайно мала по сравнению с величиной гравитационного потенциала Вселенной Φ_{Un} (1.10):

$$|\Delta\varphi_S| \ll |\Phi_{Un}| \text{ и } \Delta\varphi_S/\Phi_{Un} \approx 6 \cdot 10^{-6} \quad (1.14)$$

Это означает, что если условно принять среднюю глубину гравитационного океана Вселенной, скажем, за 1 км, то вблизи Солнца глубина увеличивается всего на 6 мм.

Рассчитаем, насколько гравитационный потенциал внутри нашей Галактики глубже, чем в межгалактическом пространстве: $\Delta\varphi_{Gal} \approx -GM_{Gal}/R_{Gal}$, здесь $R_{Gal} \approx 50\,000$ световых лет $\approx 5 \cdot 10^{20}$ м – радиус нашей Галактики, а $M_{Gal} \approx 10^{41}$ кг – её масса. В результате получаем:

$$\Delta\varphi_{Gal} \approx -10^{10} \text{ м}^2/\text{с}^2 \quad (1.15)$$

и

$$\Delta\varphi_{Gal}/\Phi_{Un} \approx 3 \cdot 10^{-7}$$

Если даже предположить, что значительная часть галактической массы приходится на её ядро, составляющее примерно 100 световых лет (то есть размеры ядра в тысячу раз меньше, чем размеры Галактики), то в этом случае изменение гравитационного потенциала вблизи галактического центра будет примерно в тысячу раз больше, чем $\Delta\varphi_{Gal}$ и составит величину: $\Delta\varphi_{GalC} \approx -10^{13} \text{ м}^2/\text{с}^2$. Но и эта величина также очень мала по сравнению со средней глубиной космического гравитационного океана:

$$\Delta\varphi_{GalC}/\Phi_{Un} \approx 10^{-4} \quad (1.16)$$

Гравитационный потенциал внутри галактического сверхскопления в созвездии Девы будет глубже, чем в пространстве между сверхскоплениями (сверхскопления разделены огромными расстояниями порядка 300 млн. световых лет) на величину: $\Delta\varphi_{Cl} \approx -GM_{Cl}/R_{Cl}$, где $R_{Cl} \approx 50$ млн. световых лет $\approx 5 \cdot 10^{23}$ м – размер сверхскопления, а $M_{Cl} \approx 10^{44}$ кг – его масса. Прделав вычисления, получим:

$$\Delta\varphi_{Cl} \approx -10^{12} \text{ м}^2/\text{с}^2 \quad (1.17)$$

И эта величина также очень мала по сравнению с величиной гравитационного потенциала Вселенной (1.10).

Итак, мы выяснили, что глубина гравитационного потенциала Вселенной **практически полностью определяется** удалёнными огромными массами Вселенной. В то время как близко расположенные к нам звёзды и галактики увеличивают глубину гравитационного океана на очень незначительную в процентном отношении величину. И если предположить, что физические законы зависят от величины гравитационного потенциала, то, по крайней мере, становится ясно, почему эти законы одни и те же во всей Вселенной. Это есть следствие того, что величина гравитационного потенциала с хорошей точностью одна и та же во всей Вселенной.

А что же всё-таки может означать наше предположение о том, что физические законы зависят от величины гравитационного потенциала? Какой физический смысл содержится в таком предположении?

Например, вблизи Солнца гравитационный потенциал, хоть и незначительно, но всё же изменяется. Какие изменения это может вызвать в физических законах? А на окраинах Вселенной (если, конечно, у Вселенной есть окраины) глубина гравитационного потенциала должна значительно уменьшаться. Какие в этом случае там будут действовать законы движения? А может быть физические законы там вообще не будут действовать?

В дальнейшем (гл. 2 и 3) мы найдём ответы на эти вопросы. И, что самое существенное, истинность этих ответов можно будет проверить экспериментально.

§ 1.4 Особенности гравитации

Гравитационное взаимодействие обладает определёнными характерными чертами, которые делают его непохожим на другие взаимодействия (например, на электромагнитное). И в этом параграфе мы вкратце рассмотрим наиболее важные особенности гравитации.

Во-первых, ускорение тела в гравитационном поле *не зависит* от его массы. Поэтому все тела движутся в гравитационном поле с одинаковым ускорением. С одной стороны, ускорение тела пропорционально действующей на него силе и, следовательно, пропорционально его гравитационной массе (1.1). Но с другой стороны, ускорение тела обратно пропорционально его инертной массе (1.2). Таким образом, как пишет Ричард Фейнман в своих лекциях по гравитации, “первый изумительный факт, связанный с гравитацией, заключается в том, что отношение инерциальной и гравитационной массы постоянно, где бы мы его не проверяли” [10;с.62].

“Второй изумительный факт, связанный с гравитацией, заключается в том, что это взаимодействие очень слабое” [10;с.62]. Рассмотрим в качестве примера два электрона. С одной стороны, между ними действует сила электрического отталкивания F_e . А с другой стороны, между ними действует сила гравитационного притяжения F_{gr} . Нетрудно посчитать:

$$\frac{F_e}{F_{gr}} \approx 4 \cdot 10^{42} \quad (1.18)$$

Теперь предположим, что в будущем будет построена физическая теория, объединяющая гравитацию и электричество (так называемая единая теория поля, над созданием которой работал ещё Эйнштейн). Такая теория должна будет также объяснить и происхождение гигантского числа (1.18). Например, для того чтобы объяснить происхождение этого числа, Поль Дирак постарался найти ещё одно такое же большое число. Он обратил внимание на то, что отношение возраста Вселенной ко времени, за которое свет проходит атомное ядро, примерно равно числу (1.18). Поэтому он предположил, что это число как-то связано с возрастом Вселенной и, следовательно, увеличивается вместе с ним. В связи с этим он даже выдвинул предположение о том, что гравитационная постоянная зависит от возраста Вселенной и уменьшается со временем. Но, по-видимому, это не верно (см. возражения Фейнмана в § 1.11).

К загадке гравитации можно отнести и то (об этом мы уже писали в § 1.2), что сумма полной энергии нашей Вселенной и её гравитационной энергии (в пределах точности астрофизических наблюдений) равна нулю.

Существенной особенностью гравитации является и её универсальный характер – *всё*, что существует в природе, участвует в гравитационном взаимодействии. Кроме того, гравитация – это всегда только притяжение, а гравитационного отталкивания просто не существует.

И, наконец, можно отметить следующее. Законы, управляющие нашим миром, в самой своей основе – это законы квантовой механики. Иначе говоря, *в фундаменте всех физических взаимодействий лежит принцип неопределённости*.

Но ни закон тяготения Ньютона, ни его модификация, сделанная Эйнштейном в общей теории относительности, совершенно не учитывают этот фундаментальный принцип. Вот что, к примеру, пишет об этом Ричард Фейнман: “для последовательности наших физических теорий было бы важно понять, должен ли закон Ньютона с внесённым Эйнштейном видоизменением быть изменён и дальше с тем, чтобы согласовываться с принципом неопределённости. Это последнее видоизменение пока не сделано” [7; с.141].

В дальнейшем, основываясь на “случайном” совпадении (1.11), мы построим *квантовую* теорию гравитации, которая позволит объяснить *все* перечисленные выше особенности гравитационного взаимодействия.

Но прежде чем приступить к построению новой теории, давайте вкратце рассмотрим основные законы, лежащие в фундаменте современной физики, а также связанные с ними проблемы.

§ 1.5 Закон инерции

Основой классической механики (механики Ньютона) является закон инерции, который гласит: скорость свободно движущегося тела остаётся постоянной. Иначе говоря, если на тело не действуют никакие силы (или хотя бы равнодействующая всех сил равна нулю), то тело будет двигаться в одном и том же направлении, с одной и той же скоростью сколь угодно долго. Например, обломок какой-нибудь звезды может двигаться в межгалактическом пространстве с одной и той же скоростью миллионы лет пока не столкнётся с каким-нибудь другим обломком.

На первый взгляд, закон инерции прост и очевиден. Но это не так. Если бы закон инерции был очевиден, его бы открыли задолго до Галилея. Насколько сейчас известно, Галилей был первым, кто не только размышлял над проблемой движения, но и проводил опыты с различными телами. Он заметил, что тела, движущиеся по земной поверхности, останавливаются под действием сил трения. Чем меньше трение, тем дольше тело движется. Галилей догадался, что в отсутствии трения тело может двигаться сколь угодно долго. И сделал вывод, что естественное состояние любого тела – это движение, а не покой. Однако до сих пор закон инерции не имеет никакого теоретического обоснования. Вот что пишет, например, Ричард Фейнман по этому поводу: “Но свободное

движение не имеет никакой видимой причины. Почему предметы способны вечно лететь по прямой линии, мы не знаем. Происхождение закона инерции до сих пор остаётся загадкой” [11;с.14].

Чтобы показать, что закон инерции не так прост, как кажется на первый взгляд, достаточно задать следующий вопрос. Относительно чего скорость тела остаётся постоянной? Очевидно, что скорость тела может оставаться постоянной только относительно другого тела, скорость движения которого также постоянна. Но откуда мы знаем, что скорость другого тела постоянна?

Для того чтобы вырваться из этого замкнутого круга, в физике вводится такое понятие, как инерциальная система отсчёта. По определению инерциальная система отсчёта – это такая система отсчёта, в которой выполняется закон инерции. То есть относительно инерциальной системы отсчёта свободно движущееся тело будет двигаться с постоянной скоростью. Подчеркнём, что это – всего лишь определение.

А затем даётся следующая формулировка закону инерции. *Существует хотя бы одна инерциальная система отсчёта.* А вот это – уже аксиома. Она носит название Первого закона Ньютона. Можно отметить, что любая система отсчёта, движущаяся с постоянной скоростью относительно инерциальной системы отсчёта, также является инерциальной.

Таким образом, свободно движущееся тело движется с постоянной скоростью относительно инерциальной системы отсчёта. Получается, что движение тела каким-то образом связано с инерциальной системой отсчёта. Но ведь инерциальная система отсчёта – это только абстрактное понятие! Оно введено в физику для удобства описания движения. Как же движение тела может быть связано с абстрактным понятием?

Конечно, инерциальную систему отсчёта можно реально создать. Например, космический корабль, летящий меж звёзд с выключенными двигателями, является инерциальной системой отсчёта с высокой степенью точности. В этом случае свободно движущееся тело будет двигаться с постоянной скоростью относительно этого корабля. Но это ещё более непонятно, так как теперь получается, что движение тела каким-то образом связано с движением корабля!

Первый закон Ньютона только утверждает, что существует хотя бы одна инерциальная система отсчёта. Но этот закон ничего не говорит нам о том, *почему* она существует. Он также ничего не говорит нам о том, как *физически* осуществляется связь между свободно движущимся телом и инерциальной системой отсчёта. Существование инерциальной системы отсчёта – это открытый вопрос в современной физике.

Из эксперимента также известно, что система отсчёта, связанная с неподвижными звёздами, является инерциальной с очень высокой степенью точности. Конечно, на самом деле, звёзды не являются неподвижными. Они движутся с очень большими скоростями – это сотни километров в секунду. Но из-за того, что они находятся очень далеко от нас, их движение практически не заметно.

Так может быть, *движение тела по инерции как-то связано с неподвижными звёздами?*

Обсуждению этой темы посвящён следующий параграф.

§ 1.6 Принцип Маха

Итак, тело в отсутствие действующих на него сил движется равномерно и прямолинейно. А чтобы оно отклонилось от своего пути, нужно приложить силу. Чем более массивным является тело, тем труднее изменить его движение. Для того чтобы телу массы m сообщить ускорение \vec{a} , нужно приложить силу: $\vec{F} = m\vec{a}$. Так утверждает Второй закон Ньютона. Таким образом, любая масса оказывает сопротивление ускорению. Опять возникает вопрос: ускорению относительно чего?

Правильный ответ такой (его можно прочесть в любом учебнике физики): относительно инерциальной системы отсчёта. Но как уже отмечалось, инерциальная система отсчёта – это всего лишь удобное понятие. Какая *физическая* связь может быть между телом и инерциальной системой отсчёта?

В конце 19-го века австрийский физик Эрнст Мах выдвинул следующую гипотезу (названную впоследствии принципом Маха). *Инерциальные системы отсчёта существуют только благодаря неподвижным звёздам – удалённым массам Вселенной.* При этом центр масс Вселенной является естественной инерциальной системой отсчёта. А свободно движущееся тело движется с постоянной скоростью относительно центра масс Вселенной – относительно удалённых массивных объектов. В этом случае *тело оказывает сопротивление ускорению только потому, что ускоряется относительно неподвижных звёзд.*

Здесь можно привести следующее сравнение. Существуют поля, действующие на тело независимо от того, движется оно или нет. Это, например, гравитационные и электрические поля. Но, скажем, магнитное поле действует только на движущийся заряд. Силы инерции можно в каком-то смысле сравнить с магнитными силами. Они возникают только в том случае, когда масса движется с ускорением относительно неподвижных звёзд. Звёзды своей огромной массой как бы создают поле инерциальных сил.

Физики спрашивали Маха: выходит, если убрать звёзды, то тело уже не будет оказывать сопротивление ускорению и потеряет свою инерцию? Но Мах уходил от прямого ответа.

Гораздо последовательней в этом вопросе был Альберт Эйнштейн, с большой симпатией относившийся к принципу Маха. В период создания общей теории относительности он надеялся, что принцип Маха найдёт своё воплощение в его теории. Вот что он писал в то время: «...в последовательной теории относительности нельзя определять инерцию по отношению к “пространству”, но можно определять инерцию масс относительно друг друга. Поэтому если я удалю какую-нибудь массу на достаточно большое расстояние от всех других масс Вселенной, то инерция этой массы должна стремиться к нулю. Попытаемся сформулировать это условие математически» [1;с.605]. То есть Эйнштейн утверждал, что на достаточно большом удалении от всех масс Вселенной тело не будет обладать инерцией. С этой позицией Эйнштейна был вполне солидарен и Паули: “Поскольку Мах ясно осознавал именно этот указанный выше недостаток механики Ньютона и заменил абсолютное ускорение ускорением относительно остальных масс Вселенной,

Эйнштейн [1;с.613] назвал этот постулат принципом Маха. Этот принцип, в частности требует, чтобы инерция материи определялась только окружающими его массами и таким образом исчезала, если все остальные массы будут устранены, так как с релятивистской точки зрения не имеет никакого смысла говорить о сопротивлении *абсолютному* ускорению (*относительность инерции*)” [49;с.250].

Тем не менее, когда общая теория относительности была построена, оказалось, что она не удовлетворяет принципу Маха. И на протяжении всего двадцатого века различными учёными предпринимались попытки построить физическую теорию на основе принципа Маха. Но эти попытки не увенчались успехом. Создаётся впечатление, что принцип Маха просто не вписывается в современную физику.

Вот, например, что написано об этом принципе в 15-м томе Большой Советской Энциклопедии, изданном в 1974 году: “...принцип Маха продолжает широко привлекаться в теоретических работах, ставящих целью выяснение строения и свойств Вселенной в целом; при этом проблема его согласования с выводами космологии, исходящей как из общей теории относительности Эйнштейна, так и из других теорий тяготения, сталкивается с серьёзными противоречиями, наводящими на мысль, что принцип Маха либо неверен, либо непроверяем экспериментально” [19;с.519].

А вот что написано по этому поводу в Берклеевском курсе физики: “Существование инерциальных систем отсчёта приводит к сложному вопросу, остающемуся без ответа: какое влияние оказывает вся прочая материя во Вселенной на опыт, производимый в лаборатории на земле?” [12;с.81]. И далее: “...точка зрения о том, что имеет значение только ускорение относительно неподвижных звезд, представляет собой гипотезу, обычно называемую принципом Маха. Хотя не имеется ни экспериментального подтверждения, ни опровержения этой точки зрения, некоторые физики, включая Эйнштейна, нашли, что этот принцип *a priori* представляет интерес. Другие физики придерживаются противоположного мнения. Этот вопрос имеет значение для теоретической космологии. Если считать, что среднее движение всей остальной части Вселенной влияет на состояние любой одиночной частицы, то возникает целый ряд, связанных с этим вопросов, и путей к ответу на них пока не видно. Имеются ли какие-либо другие взаимные связи между свойствами одиночной частицы и состоянием остальной части Вселенной? Изменится ли заряд электрона или его масса или энергия взаимодействия между нуклонами, если бы как-то изменилось число частиц во Вселенной или плотность их распределения? До настоящего времени нет ответа на этот глубокий вопрос о соотношении между далёкой Вселенной и свойствами отдельных частиц” [12;с.82].

Таким образом, в настоящее время неизвестно, справедлив или нет принцип Маха. Не ясно также, как проверить его экспериментально.

Тем не менее, всё-таки существует одно экспериментальное свидетельство в пользу принципа Маха. Это факт равенства нулю угловой скорости вращения Вселенной, который установлен с высокой степенью точности (по крайней мере, период вращения Вселенной больше чем 10^{17} лет) в опытах по измерению анизотропии реликтового излучения [20,21].

С точки зрения теории гравитации Ньютона (также как и с точки зрения общей теории относительности) этот факт является невероятной случайностью. А из принципа Маха сразу следует, что Вселенная не может вращаться относительно инерциальной системы отсчёта, потому что в этом случае инерциальные системы отсчёта вращались бы вместе с ней.

Следует также отметить, что принцип Маха был выдвинут в конце девятнадцатого века и поэтому сформулирован в рамках классической механики Ньютона. А в двадцатом веке появились такие фундаментальные разделы физики, как теория относительности и квантовая механика. Поэтому чтобы найти место принципу Маха в современной физике, нужно учесть достижения, как теории относительности, так и квантовой механики.

Давайте сейчас рассмотрим основы этих теорий. А затем, во 2-й главе снова вернёмся к обсуждению принципа Маха и посмотрим, какие выводы должны вытекать из него.

§ 1.7 Специальная теория относительности

Основой специальной теории относительности является принцип постоянства скорости света. Смысл его в том, что величина скорости света не зависит от движения наблюдателя. *Мы можем двигаться с любой скоростью навстречу свету или, наоборот, в противоположном направлении – в любом случае свет будет пронесётся мимо нас с одной и той же скоростью – 300 000 км/с!* И это – экспериментальный факт.

В начале двадцатого века многие учёные просто отказывались в это поверить. Загадку решил никому не известный в то время молодой человек Альберт Эйнштейн. До Эйнштейна негласно подразумевалось, что скорость течения времени всегда и везде одинакова. Поэтому было непонятно, каким образом скорость света может оставаться одной и той же в разных системах отсчёта.

Эйнштейн догадался, что время в движущейся системе отсчёта будет течь по-другому. Причём, скорость течения времени изменится таким образом, чтобы скорость света в ней оставалась той же самой! Поэтому Эйнштейн принял в качестве нового закона то, что скорость света одинакова во всех системах отсчёта. И, исходя из этого, рассчитал, как будет преобразовываться время и расстояние при переходе из одной системы отсчёта в другую. *Итак, масштаб времени и расстояния в движущейся системе отсчёта изменяется всегда таким образом, чтобы свет двигался относительно неё со скоростью 300 000 км/с.*

Здесь можно сделать следующее замечание. Эйнштейн догадался, что при переходе из одной системы отсчёта в другую будет меняться пространственно-временной масштаб, а скорость света – оставаться неизменной. Но он не объяснил, *почему* так происходит. Почему именно скорость света (скорость в 300 000 км/с) имеет такую привилегию в физическом мире, что *она не зависит* от скорости движения системы отсчёта. Ответ на вопрос, *почему скорость света не зависит от движения наблюдателя*, мы найдём во второй главе.

Закон, по которому преобразуется время и расстояние при переходе из одной системы отсчёта в другую, называется преобразованиями Лоренца. Преобразования названы в честь Лоренца, так как он их открыл раньше Эйнштейна, исследуя совершенно другой раздел физики (он нашёл преобразования, при которых уравнения Максвелла остаются инвариантными). Суть их в том, что с точки зрения неподвижной системы отсчёта, время в движущейся системе отсчёта течёт медленнее в γ раз, а длины всех тел сокращаются в направлении движения также в γ раз. Где γ – следующая величина:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}} \quad (1.19)$$

Здесь V – скорость движения системы отсчёта, а c – скорость света.

При этом необходимо подчеркнуть, что с физической точки зрения обе системы отсчёта (и “неподвижная” и “движущаяся”) абсолютно равноправны. И если мы будем находиться в движущейся системе отсчёта, то с нашей точки зрения будет двигаться “неподвижная” система отсчёта, и мы обнаружим, что уже в ней время замедляется в γ раз, а длины всех тел сокращаются в γ раз. Как видно из уравнения (1.19), если $V \ll c$, то значение γ практически равно единице. А все релятивистские эффекты (сокращение длины, замедление времени) существенны лишь при околосветовых скоростях.

Итак, в теории относительности (в отличие от классической механики) и время, и расстояние изменяются при переходе из одной системы отсчёта в другую. Тем не менее, в теории относительности всё-таки существует величина, которая остаётся одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта. Это интервал s между событиями. По определению квадрат интервала между событием, имевшим место в точке (x_1, y_1, z_1) в момент времени t_1 , и событием, имевшим место в точке (x_2, y_2, z_2) в момент времени t_2 , равен:

$$s^2 = c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2 \quad (1.20)$$

Исходя из того, что величина скорости света будет одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта, нетрудно показать, что и величина квадрата интервала будет одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта [5; §2].

С математической точки зрения интервал можно рассматривать как расстояние между двумя точками в воображаемом четырёхмерном пространстве (которое представляет собой обычное трёхмерное пространство, дополненное временной координатой, умноженной на

скорость света c). Геометрия такого четырёхмерного пространства называется псевдоевклидовой, так как она похожа на обычную евклидову геометрию, в которой квадрат расстояния r между двумя точками равен:

$$r^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

§ 1.8 Масса и энергия

Под действием силы \vec{F} тело массы m приобретает ускорение $\vec{a} = \vec{F}/m$. Но ускорение тела будет разным в разных системах отсчёта (так как масштаб времени и расстояния разные в разных системах отсчёта). Следовательно, и инертная масса тела (как мера сопротивления тела ускорению) будет разной в разных системах отсчёта. Используя преобразования Лоренца, Эйнштейн пришёл к выводу, что инертная масса тела m будет изменяться в зависимости от скорости тела V следующим образом:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad (1.21)$$

здесь m_0 – масса покоящегося тела.

Так как масса тела изменяется в зависимости от скорости тела, то Второй закон Ньютона в своём обычном виде (1.2) уже неприменим. Тем не менее, Второй закон Ньютона остаётся справедливым и в специальной теории относительности, если его представить в виде [7;с.264]:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} (m\vec{V}) = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \vec{V} \right)$$

Как видно из уравнения (1.21), при увеличении скорости тела его масса (инерция) возрастает. При этом часть энергии, направленной на ускорение тела, расходуется на увеличение массы тела. Иначе говоря, энергия может превращаться в массу, и наоборот. Поэтому Эйнштейн пришёл к выводу, что любая энергия обладает инертной массой, а любая инертная масса потенциально содержит в себе энергию.

Вот знаменитая формула Эйнштейна, которая связывает массу тела m с его полной энергией E :

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (1.22)$$

В общем случае полная энергия любого физического объекта (твёрдого тела, элементарной частицы, электромагнитного излучения и т. д.) будет равна:

$$E = m_{\text{in}} c^2 \quad (1.23)$$

где m_{in} – инертная масса данного объекта. Полная энергия покоящегося тела E_0 , соответственно, будет равна:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (1.24)$$

Из этой формулы, например, следует, что полная энергия тела массой в 1 кг примерно равна 100 000 000 000 000 000 Дж!

При этом возникает естественный вопрос, на который в рамках теории относительности ответа нет. Почему масса обладает такой колоссальной энергией? Ответ на этот вопрос мы найдём в третьей главе.

§ 1.9 Общая теория относительности

В теории тяготения Ньютона предполагается, что взаимодействие между телами происходит мгновенно. Однако после создания специальной теории относительности стало ясно, что любое взаимодействие передаётся с конечной скоростью. Таким образом, появилась необходимость видоизменить уравнения тяготения Ньютона.

Кроме того, в теории тяготения Ньютона предполагается, что гравитационная и инертная массы тела равны. Это видно хотя бы потому, что одна и та же масса входит и в Закон Всемирного тяготения (1.1) и во Второй закон Ньютона (1.2). Но из специальной теории относительности следует, что инертная масса тела возрастает с возрастанием его скорости. Поэтому естественным образом возникает следующий вопрос: возрастает ли гравитационная масса тела с возрастанием скорости тела?

Точность экспериментов во времена Эйнштейна не позволяла дать однозначный ответ на этот вопрос. Тем не менее, Эйнштейн предположил, что и в релятивистском случае гравитационная и инертная массы тела будут равны [1;с.167]. И оказался прав.

Используя равенство инертной и гравитационной масс, Эйнштейн сумел обобщить специальную теорию относительности на случай гравитационного поля и построил теорию гравитации – общую теорию относительности. Подробнее мы обсудим общую теорию относительности в 4-й и 12-й главах.

В настоящее время, благодаря многочисленным экспериментам установлено [18,т.5;с.192], что инертная m_{in} и гравитационная m_{gr} массы тела равны с очень высокой степенью точности: $|\frac{m_{in}}{m_{gr}} - 1| < 10^{-12}$. Поэтому общепринято, что инертная масса тела в точности равна его гравитационной массе:

$$m_{in} = m_{gr} \quad (1.25)$$

Но теоретического обоснования это равенство не имеет. То есть не известно, *почему* инертная масса тела всегда равна гравитационной массе. Теоретическое обоснование равенства (1.25) мы найдём в 3-й главе.

§ 1.10 Квантовая механика

Теория относительности внесла существенные изменения в классическую картину мира. Но всё-таки подлинную революцию в физике произвела именно квантовая механика.

Квантовая механика “основана на представлениях о движении, принципиально отличных от представлений классической механики. В

квантовой механике не существует понятия траектории частиц. Это обстоятельство составляет содержание так называемого *принципа неопределённости* – одного из основных принципов квантовой механики, открытого Гейзенбергом” [6, с.14].

Электрон (или любой другой квантовый объект) движется не по непрерывной линии (траектории), а как-то иначе. В каждый момент времени электрон не имеет ни определённого местоположения, ни определённой скорости. “Если в результате измерения электрон получил определённые координаты, то при этом он вообще не обладает никакой определённой скоростью. Наоборот, обладая определённой скоростью, электрон не может иметь определённого местоположения в пространстве” [6, с.17].

Как же он движется?

Движение электрона (как и движение любого другого квантового объекта) описывается комплексной волновой Ψ -функцией. В общем случае для одного электрона волновая Ψ -функция зависит от четырёх переменных – это три пространственные координаты и время. Допустим, мы хотим узнать, находится ли электрон в данный момент времени t_0 в данной точке пространства $(x_0; y_0; z_0)$. Если известна волновая функция электрона, то ответ такой: в момент времени t_0 плотность вероятности ρ_W обнаружить электрон в точке $(x_0; y_0; z_0)$ равна квадрату модуля волновой функции:

$$\rho_W = |\Psi(t_0; x_0; y_0; z_0)|^2 \quad (1.26)$$

Таким образом, квантовая механика, в отличие от классической, даёт только вероятностное описание движения.

В общем случае неопределённость в движении электрона можно охарактеризовать, во-первых, неопределённостью в его местоположении ($\Delta x; \Delta y; \Delta z$), а во-вторых, неопределённостью в его импульсе ($\Delta p_x; \Delta p_y; \Delta p_z$).

Так вот, для электрона (или любого другого квантового объекта) **всегда** выполняются следующие неравенства [6, с.68]:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2, \quad \Delta y \Delta p_y \geq \hbar/2, \quad \Delta z \Delta p_z \geq \hbar/2 \quad (1.27)$$

где $\hbar \approx 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка. Эти неравенства, или как их иначе называют “соотношения неопределённостей”, были установлены Гейзенбергом в 1927 году.

Иногда можно услышать мнение (кстати, весьма распространённое), что электрон движется по вполне определённой траектории. И в каждый момент времени находится в определённой точке пространства. Просто *мы* не знаем, где он находится. А когда мы хотим узнать его местоположение при помощи какого-нибудь физического прибора, то тем самым воздействуем на электрон, и в результате теряем возможность предсказать его дальнейшее движение. С этой точки зрения соотношения неопределённостей Гейзенберга отражают лишь *наше* незнание истинной траектории движения.

Это не так. Совершенно не важно, знаем ли мы, где находится электрон или не знаем. В любом случае движение электрона **принципиально** отличается от движения, скажем, камня. Дифракция электронов на кристалле – хорошо известный экспериментальный факт.

Но можно сколько угодно кидать камни случайным образом через открытые окна – никакой интерференционной картины при этом не будет. Очевидно, что наше незнание местонахождения электрона не может быть причиной его необычного поведения.

Вот, например, что писал о необычном поведении квантовых объектов Ричард Фейнман: “Поведение тела очень малого размера не похоже ни на что, с чем вы повседневно сталкиваетесь. Эти тела не ведут себя ни как волны, ни как частицы, ни как облака, или бильярдные шары, или грузы, подвешенные на пружинах, – словом, они не похожи ни на что из того, что вам хоть когда-нибудь приходилось видеть” [8;с.202]. И далее: “Раз поведение атомов так не похоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физики – всем оно кажется своеобразным и туманным. Даже большие учёные не понимают его настолько, как им хотелось бы, и совершенно естественно, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция – всё это обращено к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца и не поступают” [8;с.203].

Итак, движение частиц в микромире принципиально отличается от движения макроскопических тел. В микромире частицы движутся не по непрерывной траектории. В их движении есть неопределённость, из-за которой движение частиц носит случайный и непредсказуемый характер.

Мы ещё вернёмся к странному поведению квантовых объектов в 5-й главе, которая целиком посвящена описанию квантово-механических парадоксов. А в 6-й главе будет предложена новая модель движения квантового объекта, наглядно объясняющая эти парадоксы.

§ 1.11 Фундаментальные постоянные

В § 1.3 мы высказали предположение о том, что физические законы могут зависеть от величины гравитационного потенциала Вселенной $\Phi_{\text{Ув}}$, то есть зависеть от распределения всей остальной материи во Вселенной. Пока не совсем ясно, что может означать такое предположение. Например, при расширении Вселенной создаваемый ею гравитационный потенциал уменьшается. Какие изменения это может вызвать в физических законах?

С другой стороны, в формулы физических законов входят различные постоянные величины. Например, в закон Всемирного тяготения Ньютона входит гравитационная постоянная; в теории относительности важную роль играет скорость света; в квантовой механике – постоянная Планка и т. д. Так может быть *фундаментальные физические постоянные как-то зависят от распределения остальной материи во Вселенной?*

Предположения о том, что величины фундаментальных физических констант (скорости света, заряда электрона, гравитационной постоянной, постоянной Планка, постоянной тонкой структуры, массы электрона...) могут изменяться в зависимости от условий эксперимента, не раз высказывались на протяжении двадцатого века. Вот некоторые примеры.

В тридцатых годах двадцатого столетия Пётр Капица создал очень сильные магнитные поля, в десять раз сильнее тех, которые создавали до него. В связи с этим многие учёные советовали ему провести опыты по исследованию влияния сильного магнитного поля на скорость света. Настойчивей всех говорил с ним об этом Альберт Эйнштейн, так как он предполагал, что в сильном магнитном поле величина скорости света может измениться [22;с.317,318].

А вот что писал о постоянстве скорости света сам Эйнштейн: “Мне кажется невероятным, чтобы ход какого-нибудь процесса (например, распространения света в пустоте) можно было бы считать независимым от всех остальных процессов в мире” [1;с.319,320].

В 1999 году в журнале “Physical Review” были опубликованы статьи, в которых обсуждалась гипотеза о том, что на ранней стадии эволюции Вселенной скорость света была существенно больше, чем в настоящее время. По мнению авторов такое предположение позволило бы разрешить многие космологические проблемы [23,24].

Как уже отмечалось в § 1.4, Поль Дирак в своё время выдвинул гипотезу о том, что гравитационная постоянная может уменьшаться с течением времени. Он изложил это предположение в своей лекции “Космология и гравитационная постоянная” [25;с.178-188]. Ричард Фейнман возражал ему в своих лекциях по физике: “Вот один из способов проверить эту мысль. Зададим вопрос: что при этом должно было измениться за последние 10^9 лет (время появления жизни на Земле), то есть за 1/10 возраста Вселенной? Оказывается, что если рассмотреть структуру Солнца, – то при росте тяжести на 10 % Солнце оказалось бы не на 10 % ярче, а значительно больше: яркость его возросла бы как *шестая степень* постоянной тяготения! Можно подсчитать и то, на сколько при таком изменении тяжести Земля приблизится к Солнцу. В итоге выясняется, что Земля стала бы более чем на 100° горячее и, следовательно, вся вода из морей превратилась бы в пар. Поэтому мы сейчас *не верим*, что постоянная тяготения изменяется по мере того, как мир стареет. Всё же приведённый нами аргумент не очень убедителен, и вопрос до конца не выяснен” [7;с.139].

$$\text{По современным данным [18,т.5;с.193]: } \left| \frac{dG}{dt} \times \frac{1}{G} \right| < 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$$

Роберт Дикке считал, что огромные массы Вселенной могут как-то влиять на процессы в лаборатории. В связи с этим он подробно обсуждает вопрос о возможной зависимости фундаментальных констант от распределения вещества во Вселенной [26;с.31-42].

Однако, следует отметить, что существующие физические наблюдения (например, данные по тонкой структуре расщепления спектральных линий квазаров и радиогалактик) позволяют утверждать, что даже в далёком прошлом величина постоянной тонкой структуры α существенно не отличалась от современного значения [27,т.3;с.303]:

$$\alpha = \frac{e^2}{c\hbar} \approx \frac{1}{137}$$

где e – величина заряда электрона.

§ 1.12 Вопросы современной физики

В заключение этой главы перечислим наиболее важные вопросы современной физики, которые мы уже обсуждали ранее.

1. Влияет или нет распределение всей материи во Вселенной (например, величина гравитационного потенциала Φ_{Un}) на протекание физических процессов?

2. Является ли случайным тот факт, что квадрат скорости света равен (в пределах погрешности наблюдений) гравитационному потенциалу Вселенной:

$$c^2 = -\Phi_{\text{Un}}$$

3. Связано или нет существование инерциальных систем отсчёта с удалёнными массами Вселенной?

4. Почему при переходе из одной системы отсчёта в другую именно скорость света остаётся постоянной величиной?

5. Откуда в покоящемся теле взялась такая колоссальная энергия:

$$E_0 = m_0 c^2$$

6. Почему инертная масса тела с очень высокой точностью (точнее, чем 10^{-12}) равна его гравитационной массе?

7. Откуда взялась неопределённость в микромире, из-за которой движение субатомных частиц носит случайный и непредсказуемый характер?

8. Существует или нет какая-либо связь между гравитационным взаимодействием и принципом неопределённости?

Конечно, в современной физике существуют и другие вопросы, на которые пока нет ответа. В этом же параграфе перечислены те вопросы, на которые будут даны ответы в книге. *И из каждого ответа будут вытекать принципиально новые следствия, истинность которых можно будет проверить экспериментально.*

Можно также отметить следующее. В этом параграфе перечислено восемь вопросов. Но реально их меньше. Потому что как будет видно в дальнейшем, эти вопросы взаимосвязаны. Но об этом в следующих главах.