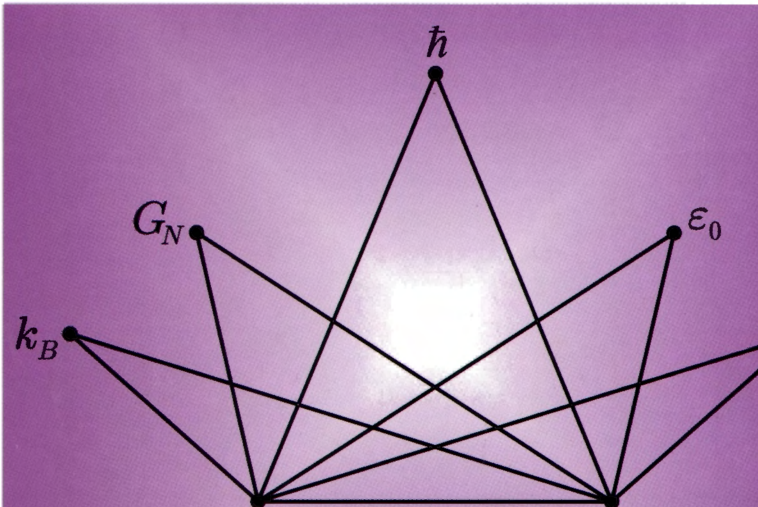
Г. Г. Филиппов

ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ И ХАРАКТЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ



URSS

Г. Г. Филиппов

ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ И ХАРАКТЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

URSS
МОСКВА

ББК 22.311 22.3я73

Филиппов Григорий Григорьевич

Естественные системы единиц и характерные параметры физических взаимодействий: Учебное пособие. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. — 80 с.

Различного рода соотношения между фундаментальными физическими постоянными, такие как константы связи, большие числа Дирака, энтропия Бекенштейна—Хокинга и др., — непременные участники современных теоретических исследований практически во всех областях физики. Однако они обычно появляются как «бог из машины», оставляя читателя в немом изумлении. В настоящей книге представлен простой подход к систематическому выводу физически осмысленных комбинаций фундаментальных постоянных, основанный на использовании естественных систем единиц специального вида, включающих в качестве масштабов основных величин элементарную длину и скорость света.

Книга будет полезна всем изучающим курс общей физики, преподавателям, а также широкому кругу читателей, интересующихся основными концепциями современного естествознания.

Издательство «Книжный дом "ЛИБРОКОМ"».
117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56.
Формат 60×90/16. Печ. л. 5. Бумага офсетная. Зак. № ГУ-85.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-397-02289-7

Оглавление

Предисловие

Различного рода количественные соотношения между фундаментальными физическими постоянными, такие как константы связи или характерные пространственно-временные и энергетические масштабы, — непременный атрибут современных теоретических исследований. Обычно каждое такое соотношение — это «штучный товар», являющийся результатом изучения конкретной проблемы конкретным ученым и часто носящий его имя: постоянная тонкой структуры Зоммерфельда, гипотеза больших чисел Дирака, энтропия Бекенштейна—Хокинга и др. Между тем, как было показано в опубликованной ранее монографии автора «Теория размерностей и *LTM*-физика»[1] (2-е изд. М.: URSS, 2009), существует регулярный метод получения таких соотношений, основанный на использовании естественных систем единиц специального вида.

Однако в *Книге* материал, относящийся к этой важной проблеме, содержался как в основном тексте, так и в приложениях и в примечаниях. Поэтому автор посчитал целесообразным выделить его в отдельную публикацию, благо, как первоначально предполагалось, такое структурирование текста не предвещало

---

[1] Далее цитируется как *Книга*.

никаких трудностей. Но действительность оказалась «еще шикарней», и на задуманную переработку ушло три года.

Самое главное — это то, что пришлось полностью пересмотреть концепцию объединения физических взаимодействий на основе присущих им естественных систем единиц. Если в *Книге* был рассмотрен только один вариант объединения взаимодействий, для которого характерные параметры находились как среднее геометрическое из параметров исходных взаимодействий, то теперь число вариантов существенно увеличилось. Сейчас, кроме квантово-предметных взаимодействий, возникающих при объединении квантового и основного взаимодействий (глава 3), рассмотрены и объединения самих квантово-предметных взаимодействий на примере гравитеплового взаимодействия (приложение 3).

Читателя не должны смущать эти громкие названия, так как они просто отражают набор фундаментальных постоянных, соответствующих данному взаимодействию, а изложение материала в настоящей книге находится на уровне элементарной алгебры. В списке литературы фигурируют лишь вполне доступные монографические издания. Ссылки на периодические издания и электронный ресурс www.arxiv.org[2] помещены непосредственно в тексте по мере необходимости.

Наконец, нужно сказать, что эта книга создавалась в очень непростой для семьи автора период жизни, и без каждодневной поддержки самого близкого человека — жены Ирины Львовны Шаханиной — она никогда не была бы написана.

[2] Например, ссылка [hep-ph/1001.5374 (2010)] означает, что нужно искать препринт 5374, помещенный в arxiv в 2010 г., в разделе hep-ph (физика высоких энергий — феноменология).

Глава 1

Естественные системы единиц

Необходимость использования конкретных единиц измерения расстояния, длительности и веса была осознана еще в глубокой древности. Так, за три тысячи лет до н. э. в Египте уже существовали узаконенные единицы длины, площади и веса. Однако объединение разрозненных единиц измерения в различные системы единиц было осуществлено лишь в XIX в. Тогда же было установлено, что любая система должна строиться на некотором числе основных единиц, а все остальные единицы — это производные основных. Например, в абсолютной системе единиц Гаусса (1832) в качестве основных единиц были выбраны сантиметр, миллиграмм и секунда [1].

В настоящее время общепринятой в мировом сообществе системой единиц является SI (фр. Système international) (Международная система), в которой насчитывается семь основных единиц. Помимо СИ в исследованиях научного характера часто используют систему СГС (сантиметр, грамм, секунда), а в специальных разделах физики — профессиональные системы с одной размерной основной единицей.

В профессиональных системах формальное исключение двух и более основных единиц достигается за счет привлечения в качестве масштабов одноразмерных с ними *фундаментальных физических постоянных*, таких как скорость света c_0, постоянная Планка $\hbar$ и др. Логическим завершением такого рода элиминирования являются *естественные системы единиц*, в которых все основные единицы безразмерны.

Естественные системы интересны тем, что с их помощью можно найти характерные единицы длины, массы и времени, соответствующие используемому набору фундаментальных постоянных. Например, при выборе $c_0, \hbar$ и ньютоновской гравитационной постоянной G_N из $(c_0, \hbar, G_N)$-системы следуют такие широко известные характерные параметры квантовой релятивистской гравитации как длина Планка $l_{pl} = 1{,}61 \times 10^{-35}$ м, масса Планка $m_{pl} = 2{,}18 \times 10^{-8}$ кг и время $t_{pl} = 5{,}39 \times 10^{-44}$ с [2].

В этой главе в разделе 1.1 подробно рассмотрен алгоритм построения естественных систем единиц с точки зрения теории размерностей физических величин. Последовательность изложения здесь частично соответствует *Книге*. В разделе 1.2 приведены основные сведения о фундаментальных физических постоянных, используемых для построения естественных систем.

1.1. От абсолютных – до естественных: системы единиц в физике

Изучение любой области физических явлений, будь то механика, электродинамика или термодинамика, начинается с выявления набора величин, характерных для этой области, и выбора единиц измерения, с помощью которых можно установить численные значения величин. Называя это число для конкретной величины, необходимо добавить и название соответствующей единицы измерения, например, «пять сантиметров».

Располагая численными значениями величин, отвечающих различным состояниям объекта исследования, можно установить количественные соотношения между этими величинами. Наличие такого рода соотношений позволяет вычислить значения одного ряда величин по известным значениям величин другого ряда, что дает основание для разделения всей совокупности физических величин на два класса: основных — A_i и производных — B_j. Соответственно этому делению принятые для основных величин единицы измерения называются основными, а все остальные — производными единицами. В целом, оба указанных набора единиц образуют систему единиц, соответствующую системе величин, присущих данному объекту исследования и тем количественным соотношениям, которые их связывают.

Важный этап в развитии теоретических представлений о физических величинах и единицах измерения был достигнут в первой четверти XIX в., когда наряду с конкретными единицами измерения (фунт, фут, дюйм, грамм и др.) стали использовать символьные единицы измерения (Фурье, 1822). Обозначение основной величины A_i одновременно стало и обозначением основной символьной единицы измерения. Например, символ длины L охватывает любые единицы измерения этой величины.

Формальное математическое выражение единицы измерения производной величины через символьные единицы основных величин получило название *размерности* производной величины. Для обозначения размерности в настоящее время обычно используют *скобку Максвелла* — $\left[B_j\right]$. Размерность единицы измерения основной величины совпадает с ее символьной размерностью — $[A_i] = A_i$.

Общий вид размерности любой производной величины или ее *формула размерности* представляет собой степенной одночлен символьных единиц измерения:

$$[B_j] = \prod_i A_i^{a_{ij}} .$$

Здесь a_{ij} — отвлеченные числа, называемые показателями размерности. Если все они равны нулю, то производная величина считается *безразмерной.*

В ходе развития физики как науки количественные соотношения были установлены первоначально в геометрии, для которой основной символьной единицей измерения является длина L. Затем в кинематике потребовались как длина L, так и время T. Наконец, в механике к этим двум единицам добавилась масса M. Выяснилось также, что структура количественных соотношений в механике такова, что показатель размерности при массе всегда равен единице. Поэтому формула размерности любой производной величины в механике имеет вид:

$$[B_j] = L^{l_j} T^{t_j} M .$$

Например, сила имеет размерность $LT^{-2}M$.

Далее будем называть совокупность символьных единиц измерения, входящих в формулу размерности, *базисом размерностей* и обозначать фигурной скобкой. В механике это $\{L,T,M\}$-базис. Конкретные системы единиц, реализующие данный базис, будем обозначать круглой скобкой с указанием единиц измерения, например, (сантиметр, секунда, грамм)-система.

Изучение физических явлений, выходящих за рамки механики, сопровождалось расширением $\{L,T,M\}$-базиса. Так при рассмотрении электромагнитных явлений появилась еще одна основная величина — сила электрического тока I. Конкретной системой единиц реализующей $\{L,T,M,I\}$-базис является (метр, секунда, килограмм, ампер)-система. Для тепловых явлений также пришлось ввести новую основную величину — температуру θ с единицей измерения кельвин (K). Современная официальная система единиц СИ содержит семь основных физических величин и соответственно семь символьных единиц измерения [1].

Необходимость введения дополнительных к $\{L,T,M\}$-базису символьных единиц измерения объясняется, например, для электродинамики, следующим образом. При рассмотрении электромагнитных явлений к уравнениям механики добавляются три новых: уравнение связи между током и зарядом, законы Ампера и Кулона. Эти уравнения содержат четыре новые физические величины: заряд q, силу тока I, электрическую и магнитную постоянные ε_0 и μ_0, соответственно.

Однако, при такого рода подсчетах часто бывает, что либо не все определяющие соотношения известны, либо часть их сознательно не учитывается с целью увеличения числа основных величин. В нашем случае добавление к трем указанным выше уравнениям соотношения

$$\varepsilon_0\mu_0 c_0^2 = 1$$

уравнивает число уравнений и число величин, вследствие чего необходимость расширения $\{L,T,M\}$-базиса отпадает. Действительно, как показано в приложении 1 существует универсальная система единиц, реализующая в этом базисе размерности всех величин, участвующих в механических, электромагнитных и тепловых явлениях.

По-видимому, число основных величин в физике является характерным числом нашего Мира, таким как число пространственных измерений или число основных цветов. Это число не может быть определено теоретическими рассуждениями, а дается нам как опытный факт и равно трем. Поэтому в дальнейшем мы будем исходить из предположения, что для представления размерностей всех производных физических величин достаточно трех основных символьных единиц измерения, в качестве которых можно использовать длину, время и массу.

Системы единиц с большим или меньшим чем в $\{L,T,M\}$-базисе числом основных единиц — это чисто искусственные конструкции. В некоторых отношениях такие системы могут быть удобны, но все они в конечном счете связаны с $\{L,T,M\}$-базисом, так как полученные в рамках этих систем результаты численных расчетов всегда могут быть представлены в размерностях и единицах измерения той или иной системы единиц, реализующих данный тернарный базис.

Далее в этом разделе в п. а) при помощи LTM-диаграммы, отображающей все допустимые размерности $\{L,T,M\}$-базиса, будут рассмотрены абсолютные и профессиональные системы единиц, обычно используемые в физике; в п. б) — естественные системы единиц.

а) *Абсолютные и профессиональные системы единиц.*

Как показано в *Книге* (глава 1) все допустимые размерности, принадлежащие $\{L,T,M\}$-базису, можно представить графически в виде LTM-диаграммы: системы пересекающихся под прямым углом и равноотстоящих друг от друга прямых, соответствующих различным степеням двух образующих L и T кинематической группы D_{∞}^{2}.

В принципе, число различных размерностей в $\{L,T,M\}$-базисе бесконечно, но в физике используется лишь очень небольшая их часть — группирующиеся вокруг размерностей энергии $L^2T^{-2}M$ и импульса $LT^{-1}M$. Именно эта область LTM-диаграммы отображена на рис. 1. Следует отметить, что

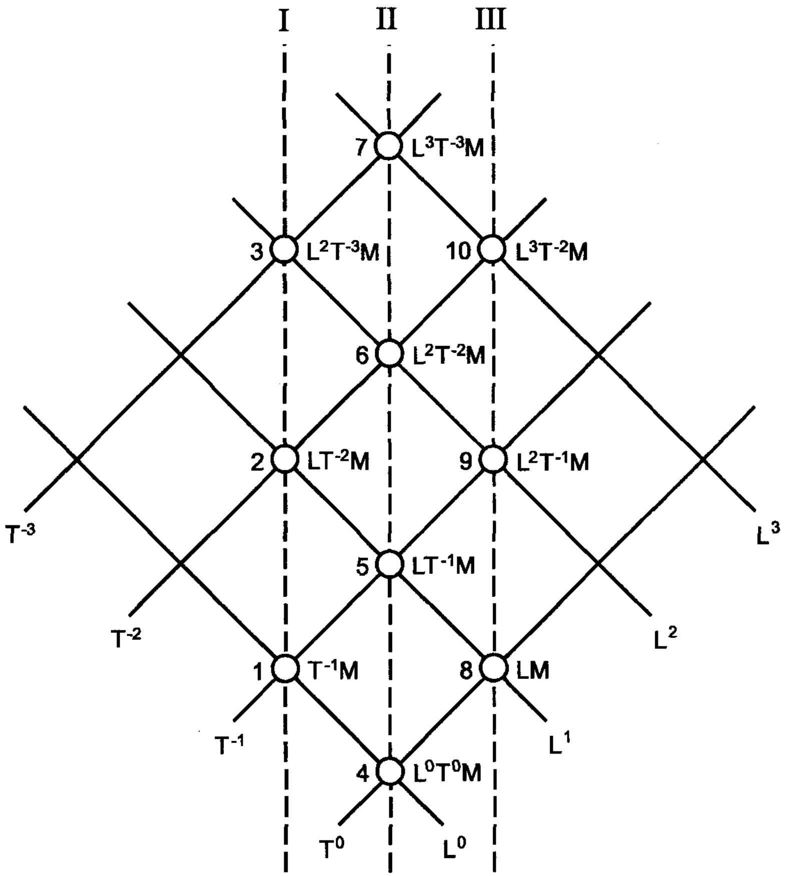


Рис. 1. *LTM*-диаграмма. I, II и III – группы размерностей, в каждой из которой вышележащая размерность получается умножением нижележащей на размерность скорости (1 – коэффициент сопротивления, 2 – сила, 3 – мощность, 4 – масса, 5 – импульс, 6 – энергия, 7 – энергия × скорость, 8 – действие/скорость, 9 – действие, 10 – действие × скорость)

хотя каждой физической величине можно сопоставить одну точку на диаграмме, то данная точка может соответствовать двум и более физическим величинам. Например, в механике совпадают размерности энергии и момента вращения. Такого рода разнотипные, но одноразмерные величины нельзя складывать и сравнивать, но их можно перемножать и делить.

Являясь полезным инструментом для установления различного рода соотношений между размерностями физических величин, *LTM*-диаграмма позволяет прояснить и ключевые моменты построения многочисленных систем единиц, используемых в физике. Так, очевидно, что абсолютные по терминологии Гаусса системы СГС (сантиметр, грамм, секунда) и МКС (метр, килограмм, секунда) представляют собой ничто иное, как конкретные реализации $\{L, T, M\}$-базиса для области механических явлений. Вся область физических явлений от механики до электромагнетизма и термодинамики охватывается абсолютной системой МКС-ПЛЮС, приведенной в приложении 1.

Однако, как можно усмотреть из *LTM*-диаграммы, имеют право на существование и другие тернарные базисы, в которых вместо массы в качестве основной величины используются любые другие величины, представленные на этой диаграмме. Например, если вместо M использовать силу F, то соответствующую $\{L, T, F\}$-базису *LTF*-диаграмму легко получить из *LTM*-диаграммы путем переноса начала координат (точка L^0T^0) в точку $LT^{-2}M$. При этом масса как производная величина приобретет размерность $L^{-1}T^2F$. В общем виде соотношение между размерностями величин в этих двух базисах имеет вид:

$$B_j = L^{l_j}T^{t_j}M = L^{l_j-1}T^{t_j+2}F.$$

В реализующей $\{L,T,F\}$-базис технической системе единиц метр и секунда остаются конкретными масштабами символьных единиц L и T, а в качестве единицы силы F выбирается килограмм-сила, равная произведению ускорения свободного падения на килограмм. Никаких преимуществ перед МКС техническая система не имеет, кроме того она неудовлетворительна в метрологическом отношении. То же самое можно сказать и о других системах единиц, основанных на $\{L,T,X\}$-базисах, в которых вместо массы используется любая производная величина с размерностью, принадлежащей LTM-диаграмме.

Гораздо более интересны тернарные базисы и связанные с ними системы единиц, в которых по сравнению с $\{L,T,M\}$-базисом либо L, либо T заменены на скорость V. Из этих двух базисов в физике предпочтение отдается базису с (L,V)-кинематикой. В общем виде, с учетом возможности замены M на другую символьную единицу, этот базис будем обозначать как $\{L,V,X\}$-базис.

Например, в физике высоких энергий широко используется система единиц, реализующая $\{L,V,S\}$-базис, где S — это величина, имеющая в $\{L,T,M\}$-базисе размерность действия:

$$[S]=L^2T^{-1}M\,.$$

Другие величины этого базиса имеют следующие абсолютные размерности:

$$[L]=L\,,$$

$$[V]=LT^{-1}.$$

Решив все эти три выражения относительно L, T и M получим:

$$L=[L],$$

$$T = L\left[V^{-1}\right],$$

$$M = L^{-1}\left[V^{-1}\right]\cdot[S].$$

Теперь, если в качестве конкретных единиц измерения длины, времени и массы выбрать единицы системы СГС, то они будут связаны с единицами скорости υ и действия s следующими соотношениями:

$$\text{см} = \text{см}\,,$$

$$\text{с} = \frac{\text{см}}{\upsilon},$$

$$\text{г} = \frac{s}{\text{см}\cdot\upsilon}.$$

Структура этой связи такова, что при выборе в качестве единицы скорости безразмерного отношения $\upsilon = \dfrac{\text{см}}{\text{с}\cdot c_0}$, где c_0 — скорость света в вакууме, а в качестве единицы действия — безразмерного отношения $s = \dfrac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{\hbar}$, где $\hbar$ — постоянная Планка, все производные величины в новой (см, υ, s)-системе единиц будут иметь размерность различных степеней длины. В частности для секунды и грамма получим:

$$1\ \text{с} = \frac{c_0\ \text{см}}{\text{см/с}} = 3\times10^{10}\ \text{см}\,,$$

$$1\ \text{г} = \frac{c_0\ \text{Дж}\cdot\text{с}}{(\text{см/с})\hbar}\ \text{см}^{-1} = 3\times10^{37}\,\text{см}^{-1}.$$

В физике высоких энергий принято вместо обратного сантиметра использовать внесистемную единицу энергии электронвольт (эВ) и кратную ей единицу МэВ = 10^6 эВ:

$$1\ \text{см}^{-1} = c_0\hbar\ \text{МэВ} = 1{,}97\times10^{-11}\ \text{МэВ}\,.$$

В единицах МэВ массы элементарных частиц выражаются небольшими числами. Например, масса электрона составит

$$m_e \cong 0{,}9\times10^{-27}\text{г}\cdot3\times10^{37}\text{г}^{-1}\text{см}^{-1}\cdot1{,}97\times10^{-11}\text{МэВ}\cdot\text{см} \cong$$
$$\cong 0{,}5\,\text{МэВ}.$$

Системы единиц подобного типа можно назвать профессиональными, так как они используются в специальных разделах физики. Особо следует подчеркнуть, что переходя к профессиональной системе, мы все равно остаемся в рамках какой-либо тернарной системы единиц (в рассмотренном случае — в рамках СГС), поскольку всегда имеется взаимно-однозначная связь между единицами обеих систем. Собственно говоря, речь здесь идет о стандартном приеме прикладной математики, так называемом обезразмеривании параметров, когда от размерных параметров, входящих в уравнения прикладной задачи, путем выбора соответствующих масштабов переходят к задаче в безразмерных переменных, которая в математическом отношении более удобна для решения [3].

Профессиональные системы принято характеризовать перечислением фундаментальных постоянных, используемых при их построении. Например, рассмотренную выше систему называют $(L, c_0, \hbar)$*-системой.* Часто применяется еще более краткое обозначение — система $c_0 = \hbar = 1$, так как все математические соотношения в этой системе не содержат указанных постоянных. Однако за эту простоту записи приходится платить ценой потери информации о различии физических величин имеющих разную размерность в исходной системе СГС. В любом случае об индивидуальных численных значениях скорости света и постоянной Планка, а также об их различных исходных размерностях приходиться вспоминать при обратном пересчете в единицы СГС. Нужно согласиться с П. Виссоном, который так охарактеризовал профессиональные системы: «с математической точки зрения — это вполне допустимый математический трюк, который экономит труд. С физической точки зрения — это потеря информации, которая может привести к ошибкам».

К профессиональным можно отнести и системы с двумя размерными единицами, в которых масштабируется только одна из трех единиц измерения исходной тернарной системы. Такого рода система, когда за единицу принимается скорость света, с успехом используется в специальной теории относительности. Однако чаще всего бинарные системы единиц, например, (L, T, G_N)-система являются предметом многочисленных спекуляций на тему их физической значимости. Для нас бинарные системы представляют интерес лишь как первый шаг к системам с тремя безразмерными единицами, рассмотрение которых и является конечной целью данного раздела.

б) *Естественные системы единиц.*

Системы, в которых все основные единицы какой-либо тернарной системы единиц промасштабированы фундаментальными физическими постоянными, будем называть естественными.

Важный класс естественных систем возникает, если включить в число фундаментальных постоянных элементарную длину L_0. В этом случае все допустимые естественные системы с

(L,V)-кинематикой образуют конечный набор (L_0, c_0, k_x)-систем, где k_x — фундаментальная постоянная с размерностью величины X.

Для каждой такой системы, при фиксации численных значений всех постоянных в какой-либо тернарной системе единиц, можно найти новые единицы длины, времени и массы, характерные для конкретного выбора масштаба k_x. Например, легко установить, что для $(L_0, c_0, \hbar)$-системы новая единица длины — это L_0, новая единица времени — это $T_0 = \dfrac{L_0}{c_0}$, а новая единица массы — это $M_0 = \dfrac{\hbar}{c_0 L_0}$.

В качестве исходной тернарной системы единиц удобно выбрать систему МКС-ПЛЮС (приложение 1), так как элементарный электрический заряд в этой системе имеет размерность длины и его можно использовать как фундаментальную постоянную L_0 с численным значением, равным $1{,}602\times10^{-19}$ м. Тогда из $(L_0, c_0, \hbar)$-системы получим следующие характерные параметры квантово-релятивистской области физических явлений: $T_0 = 5{,}3\times10^{-28}$ с и $M_0 = 2{,}2\times10^{-24}$ кг.

Как мы уже отмечали, одно из предназначений как рассмотренной, так и других естественных систем единиц — это нахождение характерных масштабов длины, времени и массы для конкретного набора фундаментальных постоянных. Однако надо иметь в виду, что наряду с тернарными базисами с (L,V)-кинематикой могу быть использованы базисы, в которых комбинируются любые три размерно независимые фундаментальные постоянные.

Таким базисом, например, является $\{V,S,Z\}$-базис, где Z — физическая величина с размерностью, обратной размерности ньютоновской гравитационной постоянной G_N. Естественной системой единиц для этого базиса является $(c_0, \hbar, G_N)$-система, предложенная Планком более ста лет назад. Характерные параметры системы Планка можно найти из уравнений, представляющих размерности основных величин в $\{L, T, M\}$-базисе:

$$[V] = \frac{L}{T},$$

$$[S] = \frac{L^2 M}{T},$$

$$[Z] = \frac{T^2 M}{L^3}.$$

Решив эти уравнения относительно длины, времени и массы получим:

$$L^2 = \frac{[S]}{[Z] \cdot [V^3]},$$

$$T^2 = \frac{[S]}{[Z] \cdot [V^5]},$$

$$M^2 = [V] \cdot [S] \cdot [Z].$$

Теперь, если в качестве конкретных единиц измерения длины, времени и массы выбрать единицы МКС, то они будут связаны с безразмерными единицами $\{V, S, Z\}$-базиса ($\upsilon = V/c_0$, $s = S/\hbar$, $z = ZG_N$) следующими соотношениями:

$$\text{м}^2 = \left(\frac{\hbar G_N}{c_0^3}\right) \frac{s}{z \upsilon^3},$$

$$\text{с}^2 = \left(\frac{\hbar G_N}{c_0^5}\right)\frac{s}{z\upsilon^5},$$

$$\text{кг}^2 = \left(\frac{c_0\hbar}{G_N}\right)\upsilon sz.$$

Характерные параметры Планка следуют из этих соотношений при $\upsilon = s = z = 1$:

$$l_{pl} = \sqrt{\hbar G_N / c_0^3} \cong 1{,}61\times10^{-35}\ \text{м},$$

$$t_{pl} = \sqrt{\hbar G_N / c_0^5} \cong 5{,}39\times10^{-44}\ \text{с},$$

$$m_{pl} = \sqrt{c_0\hbar / G_N} \cong 2{,}18\times10^{-8}\ \text{кг}.$$

На сегодняшний день это самые востребованные величины в теоретической физике, так как принято считать, что планковские масштабы характеризуют область квантово-релятивистской гравитации [2].

В рамках базисов с (L,V)-кинематикой единицы Планка, как будет показано в главе 3, появляются в виде характерных параметров $\left(l_{pl}.c_0.\hbar\right)$-системы, согласно которой остальные планковские величины находятся из соотношений $m_{pl} = \hbar/\left(c_0 l_{pl}\right)$ и $t_{pl} = l_{pl}/c_0$.

В целом, базисы с (L,V)-кинематикой можно сравнить с ортогональным базисом в декартовых координатах, а базисы типа $\{V,S,Z\}$-базиса — с косоугольными координатами. Далее везде будем использовать преимущественно базисы с (L,V)-кинематикой.

1.2. Фундаментальные физические постоянные и их использование в естественных системах единиц

Существует множество попыток дать «точное» определение, что есть фундаментальная физическая постоянная (ФФП). Мы будем придерживаться той точки зрения, что ФФП — это выделенные значения некоторых физических величин, такие как скорость света в вакууме c_0 и действие $\hbar$ [2]. К ФФП следует отнести и обратную гравитационную постоянную G_N^{-1}, как выделенное значение k_g физической величины с размерностью $[k_g] = \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^3}$, и постоянную Ферми G_F с размерностью $[G_F] = \text{джоуль} \cdot \text{м}^3$.

В используемой нами тернарной системе МКС-ПЛЮС выделенные значения — это также длина L_0 (численно равная заряду протона), постоянная Больцмана k_B с размерностью $[k_B] = \text{джоуль} \cdot \text{м}$ и электрическая постоянная $k_e = 1/(4\pi\varepsilon_0)$ с размерностью силы.

Наиболее радикально наш перечень ФФП отличается от обычно присутствующих в литературе, именно наличием элементарной длины $L_0 = 1{,}6 \times 10^{-19}$ м. На необходимость появления в теоретической физике такого рода величины указал В. Гейзенберг еще в конце 30-х годов XX века в связи с трудностями квантовой электродинамики. Интересно, что В. Гинзбург выделил в своем известном обзоре нерешенных проблем физики отдельный пункт, озаглавленный «Фундаментальная длина». Вот выдержка из этого пункта в редакции 1999 г.:

«Лишь в конце 40-х годов были развиты способы (метод перенормировок и т. д.), позволившие без ограничений использовать квантовую электродинамику. До этого при расчетах встречались расходящиеся выражения и для получения конечных результатов приходилось проводить «обрезание» на некоторой максимальной энергии E_{f0} или отвечающей ей длине $l_{f0} = \hbar c / E_{f0}$. Чаще всего встречалось значение $l_{f0} \cong$ $\cong 10^{-17}$ см. При этом «все в порядке» — известная физика, например, квантовая электродинамика, хорошо работает. Отсюда можно заключить, что до расстояний $l_{f0} \cong 10^{-17}$ см (....) и времен $t_{f0} = l_{f0} / c \cong 10^{-27}$ с существующие пространственно-временные представления справедливы» [УФН. 1999. Т.169. С.419].

Таким образом, можно считать, что по порядку величины принятое нами значение $L_0 = 1{,}6 \times 10^{-19}$ м не противоречит современным теоретическим представлениям. Кроме того, L_0 допускает и геометрическую интерпретацию, так как практически совпадает с эффективным радиусом электрона $r_0 \cong 1{,}57 \times$ $\times 10^{-19}$ м, найденном из экспериментов по электрон-позитронному рассеянию [hep-ph/1001.5374 (2010)]. Из перечисленных выше семи ФФП, численные значения которых приведены в табл. 1, можно образовать пять естественных систем единиц кинематического типа:

$$(L_0, c_0, \hbar); (L_0, c_0, k_g); (L_0, c_0, k_e); (L_0, c_0, k_B); (L_0, c_0, G_F).$$

Конечно, вместо k_g и k_e в обозначениях этих систем допустимо использовать более привычные, но обратные к ним постоянные G_N и $4\pi\varepsilon_0$, как это было принято в *Книге* (глава 4). Приведенная здесь символическая запись призвана отразить лишь «букву закона»: k_X — это выделенное значение физической величины X.

Таблица 1

Приближенные значения фундаментальных физических постоянных в системе МКС-ПЛЮС

№ п/п	Постоянная	Символ	Численное значение
1	Элементарная длина	L_0	$1{,}60\times10^{-19}$ м
2	Скорость света в вакууме	c_0	$3{,}00\times10^{8}$ м/с
3	Постоянная Планка	$\hbar$	$1{,}05\times10^{-34}$ джоуль · с
4	Постоянная Ферми	G_F	$1{,}44\times10^{-62}$ джоуль · м^3
5	Электрическая постоянная	$k_e=(4\pi\varepsilon_0)^{-1}$	$9{,}00\times10^{9}$ ньютон
6	Обратная гравитационная постоянная	$k_g=G_N^{-1}$	$1{,}5\times10^{10}$ кг · с^2 / м^3
7	Постоянная Больцмана	k_B	$1{,}38\times10^{-23}$ джоуль · м

Характерные параметры отдельных физических взаимодействий ассоциированных с указанными пятью естественными системами представлены в главе 2. В главе 3 и в приложении 3 рассмотрены кинематические естественные системы для случая, когда нужно учитывать два и более взаимодействия одновременно.

Итак, как говорили в советское время: «наши цели ясны, задачи определены». Однако за кадром остался такой принципиальный вопрос: Можно ли считать, что характерные параметры, связанные с каждой из перечисленных естественных систем, представляют серьезный физический интерес? Ведь по большому счету, стоящие за этими системами взаимодействия — это всего лишь низкоэнергетические приближения.

По-видимому, при попытке ответить на этот вопрос лучше всего основываться на соображениях высказанных Д. Бомом [4]:

«Мир в целом представляет собой объективную реальность с бесконечно сложной структурой. Эта структура полностью (хотя и косвенно) проявляется во всех областях, так что вполне вероятной представляется возможность получить выводы, касающиеся всей структуры в целом, основанные только на опытах, произведенных в областях с размерами доступными человеку».

В этой связи семь ФФП, приведенные в табл. 1 («Семь пулек, как в Сараево»: сказал бы бравый солдат Швейк), можно рассматривать как опосредованный результат опытов, о которых говорит Д. Бом. Поэтому они несут важную информацию, проявляющуюся и в характерных параметрах естественных систем единиц. Проблема лишь в том, как эту информацию правильно интерпретировать. К сожалению, теория размерностей как любая формализованная система лишь «подводит нас к дверям истины, но самих дверей не открывает». Эти слова Ф. Одоевского, сказанные им о математике, полностью справедливы и в нашем случае.

Глава 2

Характерные параметры и константы связи основных физических взаимодействий

В главе 1 (раздел 1.2) были приведены пять полноразмерных фундаментальных физических постоянных, появляющихся при рассмотрении электромагнитных (k_e), гравитационных (k_g), квантовых ($\hbar$), тепловых (k_B) и четырехфермионных (G_F) взаимодействий. Далее будем называть эти взаимодействия основными. Термин «основные взаимодействия» не является стандартным, а претендует лишь на краткое название рассматриваемой нами в этой главе совокупности естественных систем единиц кинематического типа, включающих перечисленные выше ФФП.

Характерные параметры основных взаимодействий представлены в разделе 2.1. В разделе 2.2 обсуждаются так называемые константы связи, играющие роль коэффициентов подобия основных взаимодействий.

2.1. Характерные параметры основных взаимодействий

В табл. 1 (глава 1) приведены семь фундаментальных постоянных L_0, c_0, k_e, $k_g, \hbar$, k_B, G_F, из которых можно образовать пять естественных систем единиц с (L,V)-кинематикой. Для всех этих систем и, соответственно, для отвечающих им взаимодействий характерной длиной будет элементарная длина $L_0 = 1{,}6\times10^{-19}$ м, а характерным временем — $T_0 = L_0/c_0 = 5{,}3\times10^{-28}$ с. Отличаться они будут лишь по характерной массе M_i, которую легко установить простой инспекцией размерности i-й полноразмерной постоянной.

Если для какого-либо взаимодействия известна характерная масса M_i, то можно найти и все остальные характерные параметры этого взаимодействия, в том числе характерные энергию $E_i = M_i c_0^2$ и диссипацию $D_i = M_i c_0^2 L_0$. Все три указанных параметра для каждой из пяти естественных систем единиц представлены в табл. 2 в порядке увеличения характерной массы, которая изменяется от массы пиона $\left(\approx 10^{-26}\,\text{кг}\right)$ до массы небольшого астероида $\left(\approx 10^{8}\,\text{кг}\right)$. Последний, четвертый столбец табл. 2 содержит отношение характерной массы данного взаимодействия к характерной массе квантового взаимодействия. Это отношение носит специальное название «константа связи» Подробное рассмотрение констант связи проводится в разделе 2.2.

Прежде всего, следует отметить, что численные значения характерной массы и других параметров нельзя интерпретировать как предельно возможные величины — это просто

Таблица 2

Характерные параметры естественных систем единиц (L_0, c_0, X_i)-типа: формульные выражения и численные значения

Система	Масса M_i, кг	Энергия E_i, джоуль	Диссипация D_i, джоуль·м	Константа связи, α_i
(L_0, c_0, k_e)	$k_e L_0 / c_0^2$ $(1{,}6 \times 10^{-26})$	$k_e L_0$ $(1{,}4 \times 10^{-9})$	$k_e L_0^2$ $(2{,}3 \times 10^{-28})$	$k_e L_0^2 / (c_0 \hbar)$ $(7{,}3 \times 10^{-3})$
$(L_0, c_0, \hbar)$	$\hbar / (c_0 L_0)$ $(2{,}2 \times 10^{-24})$	$c_0 \hbar / L_0$ $(2{,}0 \times 10^{-7})$	$c_0 \hbar$ $(3{,}2 \times 10^{-26})$	1
(L_0, c_0, G_F)	$G_F / (c_0^2 L_0^3)$ $(3{,}9 \times 10^{-23})$	G_F / L_0^3 $(3{,}5 \times 10^{-6})$	G_F / L_0^2 $(5{,}6 \times 10^{-25})$	$G_F / (L_0^2 c_0 \hbar)$ (18)
(L_0, c_0, k_B)	$k_B / (c_0^2 L_0)$ $(9{,}6 \times 10^{-22})$	k_B / L_0 $(8{,}6 \times 10^{-5})$	k_B $(1{,}4 \times 10^{-23})$	$k_B / (c_0 \hbar)$ (436)
(L_0, c_0, k_g)	$k_g c_0^2 L_0$ $(2{,}2 \times 10^{8})$	$k_g c_0^4 L_0$ $(2{,}0 \times 10^{25})$	$k_g c_0^4 L_0^2$ $(3{,}2 \times 10^{6})$	$k_g c_0^3 L_0^2 / \hbar$ $(1{,}0 \times 10^{32})$

новые единицы измерения массы, энергии и диссипации, естественным образом связанные с данным взаимодействием. На наш взгляд, важную информацию несут не столько сами численные значения характерных параметров, сколько аналитические выражения, с помощью которых они вычислены. Действительно, аналитические выражения, приведенные в табл. 2, в ряде случаев могут служить основой для вывода непрерывных зависимостей между величинами, для которых входящие в эти выражения ФФП являются выделенными значениями.

Рассмотрим, например, аналитическое выражение для характерной энергии E_0 квантового взаимодействия, приведенное в табл. 2,

$$E_0 = \frac{c_0 \hbar}{L_0}.$$

Если принять, что $c_0 = \lambda_0 \nu_0$ и положить $L_0 = \lambda_0$, то E_0 можно переписать в виде

$$E_0 = \frac{c_0 \hbar}{\lambda_0} = \hbar \nu_0 .$$

Это выражение при переходе к непрерывным значениям частоты трансформируется в известное соотношение Планка

$$E = 2\pi \hbar \nu .$$

Другой пример — это вывод закона всемирного тяготения из выражения для характерной диссипации гравитационного взаимодействия:

$$D_g = \frac{c_0^4 L_0^2}{G_N} = G_N M_g^2 .$$

В этом случае, представляя произвольную гравитационную диссипацию как произведение произвольной силы F_g, на квадрат произвольной длины l и переходя от характерной массы M_g к произвольной массе m, получим:

$$F_g = \frac{G_N m^2}{l^2}.$$

Аналогично, закон Кулона следует из характерной диссипации электромагнетизма:

$$D_e = F_e l^2 = \frac{nL_0^2}{4\pi\varepsilon_0},$$

где F_e и l — произвольная сила и произвольное расстояние; nL_0 — произвольный заряд.

Однако следует отметить, что тема перехода от дискретных характерных значений к непрерывным зависимостям содержит в себе много тонкостей, связанных с тем, что в зависимости от контекста L_0 может проявить себя либо как элементарная длина, либо как элементарный заряд. Мы продолжим обсуждение этой темы в приложении 2 применительно к проблеме радиусов и длин, присущих разным взаимодействиям.

2.2. Константы связи основных взаимодействий

Все рассматриваемые в этой главе системы единиц отличаются друг от друга только одной полноразмерной постоянной. Поэтому, приняв какую-либо систему единиц в качестве эталонной, базовой системы, можно найти константы связи этой системы с другими системами. Например, как отношение характерной массы i-го взаимодействия M_i к характерной массе базового взаимодействия M_0. В последнем столбце табл. 2 приведены константы связи α_i основных взаимодействий в том случае, когда базовой системой сравнения выбрана $(L_0, c_0, \hbar)$-система, характерная масса которой $M_0 = \hbar/(c_0 L_0)$.

Как видно из данных табл. 2 константа связи электромагнитного взаимодействия α_e — это хорошо известная постоянная тонкой структуры Зоммерфельда. Другие константы связи в системе МКС-ПЛЮС также удается представить в виде, независящем от произвольного выбора какой-либо конкретной массы. В других системах единиц этого сделать нельзя. Например, в системе СГС константа связи гравитационного взаимодействия имеет вид:

$$\alpha_g^{\text{СГС}} = \frac{G_N m_p^2}{c_0 \hbar} \cong 3 \times 10^{-39},$$

где m_p — масса протона.

Аналогичным образом выражается и константа связи Ферми-взаимодействия:

$$\alpha_F^{\text{СГС}} = \frac{G_F}{c_0 \hbar \left(\hbar / m_p c_0 \right)^2} \cong 1 \times 10^{-5}.$$

Такое определение констант связи не является универсальным и не может служить основанием для суждения о «силе» того или иного взаимодействия. Как справедливо заметил нобелевский лауреат Франк Вильчек: «Нужно спрашивать не „почему гравитация так слаба?“, а „почему масса протона так мала?“». Действительно, сила гравитационного взаимодействия между двумя протонами на единичном расстоянии друг от друга очень мала по сравнению с кулоновской силой на этом же расстоянии. Однако надо сравнивать не конкретные, а характерные силы взаимодействий. Для гравитации характерная сила равна $F_g = k_g c_0^4$, а для электромагнетизма — $F_e = k_e$. Поэтому гравитацию надо считать более сильным взаимодействием, чем электромагнитное взаимодействие.

Самое главное, что следует из аналитических выражений, приведенных в табл. 2, — это то, что константа связи любого основного взаимодействия определяется через характерную диссипацию, присущую данному взаимодействию. В качестве же эталона используется диссипация процесса упругого рассеяния двух электронов, при котором передача импульса происходит путем испускания виртуального фотона с энергией $\gamma^* = \hbar\nu$ одним из электронов и поглощения этого фотона другим электроном. «Интенсивность такого взаимодействия, — пишет Чарльз Пул, — измеряется в единицах [энергия×расстояние] и характеризуется произведением энергии фотона на его длину λ, а это произведение представляет собой универсальную постоянную $c_0\hbar$» [5].

Таким образом, выбор $(L_0, c_0, \hbar)$-системы в качестве базовой системы сравнения не является случайным, а продиктован тем, что в ней естественным образом определены эталоны ряда физических величин. Помимо эталона диссипации $c_0\hbar$ это еще и характерное сопротивление $R_0 = \hbar / L_0^2$, экспериментально открытое К. Фон Клитцингом в 1980 г. Наконец, эта система является выделенной и в метрологическом отношении как источник установления макроскопических эталонов длины, времени и массы [*Каршенбойм С. Г.* // УФН.2005.Т.175.С.271].

Если известны константы связи, то их можно использовать для представления характерных параметров B_i любого основного взаимодействия посредством умножения характерного параметра базового взаимодействия на константу связи этого взаимодействия:

$$B_i = B_0\alpha_i = L_0^p c_0^q \hbar^r \alpha_i.$$

Например, характерная масса электромагнитного взаимодействия дается следующим выражением:

$$M_e = M_0 \alpha_e = \frac{\hbar}{c_0 L_0} \cdot \frac{k_e L_0^2}{c_0 \hbar} = \frac{k_e L_0}{c_0^2}.$$

Таким образом, константы связи это не что иное, как коэффициенты подобия характерных параметров основных физических взаимодействий, представленных естественными системами единиц кинематического типа с размерностями и значениями фундаментальных постоянных, взятых из системы МКС-ПЛЮС.

Следует также отметить, что константы связи как коэффициенты подобия могут быть установлены не только для естественных систем единиц (L_0, c_0, k_i)-типа, но и для любых других систем единиц, отличающихся между собой только по одной основной единице измерения. Например, рассмотрим две системы единиц, одну с «круглой» длиной $L_R = 2\pi L$, а другую с обычной длиной L. Константой связи в этом случае будет являться безразмерное отношение $L_R / L = 2\pi$. Более сложный пример — две системы единиц (T, V)-типа. Пусть масштаб времени в одной системе дается выражением $t = t_0 (1 + \beta)$, а во второй — выражением $t' = t_0 (1 - \beta)$, где через β выражено отношение υ / c_0. В этом случае константу связи можно определить как отношение

$$\frac{t'}{t} = \frac{(1 - \beta)}{(1 + \beta)}.$$

В *Книге* (приложение 3) было показано, что с использованием такой константы связи можно вывести все кинематические соотношения специальной теории относительности.

В завершение данного раздела остановимся на некоторых дискуссионных вопросах, часто возникающих при обсуждении констант связи. Во-первых, это вопрос об иерархии фундаментальных физических постоянных. Считается, что поскольку константы связи как безразмерные величины не зависят от масштабов единиц измерения, то именно они одни заслуживают названия фундаментальных постоянных [2]. Однако по каким причинам они не зависят от выбора масштаба единиц измерения? Только по одной — благодаря представлению размерности производных физических величин в виде формального степенного одночлена от основных размерностей. Константы связи как «выбившиеся в люди» богатые дети стараются поскорее забыть своих незнатных родителей — фундаментальных размерных постоянных. На самом же деле размерные ФФП — это, говоря словами исторического материализма, «БАЗИС», а константы связи — всего лишь «НАДСТРОЙКА». Как коэффициенты подобия они не могут существовать «sine re substance», без «чего-нибудь поддерживающего». Так, все, приведенные в табл. 2, константы связи ничего не значат, если их вырвать из контекста основных взаимодействий. Они обретают жизнеспособность лишь, будучи умноженными, на какой-либо размерный характерный параметр базового взаимодействия.

Во-вторых, можно встретить утверждение, что с помощью констант связи можно сократить общее число независимых фундаментальных постоянных. На самом же деле можно лишь использовать константу связи вместо какой-либо фундаментальной постоянной, если значение этой постоянной изначально «зашито» в значение константы связи.

Например, исходя из определения

$$\alpha_e^{\text{СГС}} = \frac{L_0^2}{c_0 \hbar},$$

можно вместо фундаментальной постоянной $\hbar$ использовать выражение

$$\hbar = \frac{L_0^2}{c_0 \alpha_e^{\text{СГС}}}.$$

Но это не означает, что постоянная Планка исчезла с лица Земли; она продолжает жить как один из сомножителей числа $\alpha_e^{\text{СГС}}$ и при подстановке определения этой константы связи в данное выражение, мы получим тождество $\hbar \equiv \hbar$.

Еще один пример такого рода можно найти в недавней работе Клинкхаммера [hep-th/1006.2094 (2010)], в которой утверждается, что если существует элементарная длина l, то гравитационную постоянную можно найти из выражения

$$G_N = \frac{fc_0^3 l^2}{\hbar},$$

где f — «положительный численный множитель, подлежащий вычислению из микроскопической теории». Однако очевидно, что эта запись не что иное, как завуалированное выражение типичного вида:

$$G_N = \frac{c_0^3 l^2}{\hbar \alpha_g},$$

и не надо никаких теорий, кроме теории размерностей.

Аналогичные рассуждения будут справедливы при подсчете числа независимых фундаментальных постоянных и в общем случае. Конечно, мы можем вместо семи постоянных табл. 1 использовать только три из них, например, L_0, c_0, $\hbar$, а остальные четыре заменить константами связи α_e, α_g, α_B, α_F, но это не будет означать ненужность соответствующих полноразмерных постоянных, так как именно их значения были использованы для расчета самих констант связи. Следовательно, общее число независимых постоянных останется равным семи.

Резюмируя, можно сказать, что константы связи и размерные постоянные относятся к такого рода сущностям, которые не исключают, а дополняют друг друга.

Глава 3

Квантово-предметные взаимодействия, возникающие при объединении основного и квантового взаимодействий

В главе 2 основные физические взаимодействия (электромагнитное, квантовое, тепловое, гравитационное и четырехфермионное) рассматривались по отдельности и с помощью естественных систем единиц кинематического типа для каждого из них установлена характерная масса, а при выборе квантового взаимодействия в качестве «самого основного» определена константа связи как отношение характерной массы к характерной массе квантового взаимодействия.

В этой главе обсуждается типичная в современной физике ситуация, когда для изучаемого явления нужно учитывать несколько взаимодействий одновременно. После открытия в XX веке квантового взаимодействия на повестке дня особенно остро встал вопрос объединения с ним других основных взаимодействий. Именно на этом пути возникли квантовая электродинамика, когда нужно учитывать как $\hbar$, так и k_e; квантовая гравитация $\left(\hbar,\ k_g\right)$; квантовая термодинамика $\left(\hbar,\ k_B\right)$; слабое взаимодействие $\left(\hbar,\ G_F\right)$.

Характерные параметры такого рода квантово-предметных взаимодействий могут быть найдены из естественных систем единиц, сопоставленным этим взаимодействиям. Здесь существуют несколько возможных подходов. Исторически первым примером была квантовая гравитация, для которой М. Планк в начале XX века предложил $\left(c_0, \hbar, G_N\right)$-систему единиц. Эта система и сейчас остается едва ли не единственно признанной в теоретической физике, хотя еще П. Бриджмен указывал на существование систем аналогичного типа, в которых $\hbar$ или G_N заменяются иными фундаментальными постоянными [6].

Другой подход — это использование естественных систем единиц кинематического типа, в которых либо L_0, либо c_0 заменяются одноразмерными характерными величинами, являющимися функциями от ФФП объединяемых взаимодействий. Действительно, поскольку объединение взаимодействий достигается при значении константы связи предметного взаимодействия, равном единице, то выполнение этого условия можно достигнуть либо подбором характерной длины l_{0i}, либо подбором характерной скорости υ_{0i}.

Например, для квантовой электродинамики константа связи предметного взаимодействия, как мы установили в главе 2, дается выражением

$$\alpha_e = \frac{k_e L_0^2}{c_0 \hbar},$$

которое можно рассматривать как отношение электромагнитной диссипации $k_e L_0^2$ к квантовой диссипации, равной $c_0\hbar$. Условие объединения квантового и электромагнитного взаимодействий — равенство единице константы связи — можно достигнуть двумя путями. Во-первых, можно приравнять электромагнитную диссипацию квантовой путем введения характерной длины $k_e l_{0e}^2 = c_0\hbar$.

Во-вторых, напротив, можно приравнять квантовую диссипацию электромагнитной путем введения характерной скорости $\upsilon_{0e}\hbar = k_e L_0^2$.

Аналогичным образом можно действовать и в других случаях объединения квантового и основного взаимодействий. Объединение по первому пути приводит к взаимодействиям, для которых справедливы системы единиц $(l_{0i}, c_0, \hbar)$-типа, объединение по второму пути — к системам $(L_0, \upsilon_{0i}, \hbar)$-типа. Обе эти группы взаимодействий рассмотрены в той же последовательности в разделах 3.1 и 3.2.

Характерные параметры квантово-предметных взаимодействий, найденные из естественных систем кинематического типа, конечно, совпадают с параметрами естественных систем типа системы Планка, которые также обнаруживают два масштаба массы таких взаимодействий. Например, для квантовой гравитации один масштаб следует из $(c_0, \hbar, G_N)$-системы единиц, другой — из $(L_0, \hbar, G_N)$-системы. Однако мы отдаем предпочтение системам кинематического типа по причине их большей унифицирующей способности, обусловленной возможностью представления характерных параметров, как основных, так и квантово-предметных взаимодействий, единым формульным выражением. Например, константа связи любого основного взаимодействия порождает цепочку взаимодействий, характерные массы которых связаны с массой квантового взаимодействия следующим соотношением:

$$M_{0in} = M_0 \alpha_i^n .$$

Основные взаимодействия, которые были представлены в главе 2, — это взаимодействия с показателем степени, равным единице. В этой главе будет показано, что при выборе $n = \pm 1/2$ мы имеем дело с квантово-предметными взаимодействиями, различающимися по характерной длине, а при выборе $n = -1$ — с взаимодействиями, различающимися по характерной скорости.

Наконец, следует отметить, что ранее в *Книге* автор рассматривал только те квантово-предметные взаимодействия, для которых $n = 1/2$.

3.1. Релятивистские квантово-предметные взаимодействия

Поскольку при объединении квантового и основного взаимодействий на основе выбора характерной длины из условия изодиссипативности в кинематическом базисе сохраняется масштаб скорости в виде скорости света, то соответствующее квантово-предметное взаимодействие можно назвать релятивистским. Характерные параметры такого рода взаимодействий представлены в табл. 3.

Сразу отметим, что характерные массы всех этих взаимодействий «*a posteriori*» могут быть представлены следующими соотношениями:

$$M_{0e} = M_0 \sqrt{\alpha_e},$$

$$M_{0g} = M_0 \sqrt{\alpha_g},$$

$$M_{0F} = \frac{M_0}{\sqrt{\alpha_F}},$$

$$M_{0B} = \frac{M_0}{\sqrt{\alpha_B}}.$$

Особняком в этом ряду стоит $(\hbar, k_B)$ — взаимодействие, для которого нельзя выбрать характерную длину непосредственно из условия равенства единице константы взаимодействия. Приведенные в табл. 3 характерные параметры этого

Таблица 3

Характерные параметры естественных систем единиц $(l_{0i}, c_0, \hbar)$-типа: формульные выражения и численные значения

Система	Длина l_{0i}, м	Масса M_{0i}, кг	Энергия E_{0i}, джоуль
$(l_{0e}, c_0, \hbar)$	$\sqrt{c_0\hbar/k_e}$ $(1{,}88\times10^{-18})$	$\sqrt{k_e\hbar/c_0^3}$ $(1{,}90\times10^{-25})$	$\sqrt{k_e c_0\hbar}$ $(1{,}70\times10^{-8})$
$(l_{0F}, c_0, \hbar)$	$\sqrt{G_F/(c_0\hbar)}$ $(6{,}79\times10^{-19})$	$\sqrt{\hbar^3/(c_0 G_F)}$ $(5{,}20\times10^{-25})$	$\sqrt{c_0^3\hbar^3/G_F}$ $(4{,}70\times10^{-8})$
$(l_{0g}, c_0, \hbar)$	$\sqrt{\hbar/(k_g c_0^3)}$ $(1{,}62\times10^{-35})$	$\sqrt{k_g c_0\hbar}$ $(2{,}18\times10^{-8})$	$\sqrt{k_g c_0^5\hbar}$ $(1{,}96\times10^{9})$
$(l_{0B}, c_0, \hbar)$	$\sqrt{L_0^2 k_B/(c_0\hbar)}$ $(3{,}34\times10^{-18})$	$\sqrt{\hbar^3/(c_0 L_0^2 k_B)}$ $(1{,}05\times10^{-25})$	$\sqrt{c_0^3\hbar^3/(L_0^2 k_B)}$ $(9{,}45\times10^{-9})$

взаимодействия получены путем назначения характерной длины в виде $l_{0B} = L_0\sqrt{\alpha_B}$.

Первые три взаимодействия в табл. 3 достаточно хорошо известны: это квантовая электродинамика с зарядом, равным $\sqrt{c_0\hbar/k_e}$, квантовая гравитация с длиной Планка, равной $\sqrt{\hbar/k_g c_0^3}$, и слабое взаимодействие с длиной, равной $\sqrt{G_F/c_0\hbar}$. Квантовая термодинамика с характерной длиной, равной $\sqrt{L_0^2 k_B/c_0\hbar}$, ранее нигде не обсуждалась, но не исключено, что она является не только математически возможной, но и физически реализуемым взаимодействием.

Наиболее востребованными в современной теоретической физике являются характерные параметры квантовой гравитации — планковская длина и планковская масса. Можно даже сказать, что имеет место своеобразная «планкомания», когда утверждается, что именно в этих параметрах скрыта «великая сермяжная правда» [см. напр.: *Окунь Л. Б.* // УФН.1991. Т.161.С.177].

«Тот факт, — говорит в одном из своих интервью нобелевский лауреат Дэвид Гросс, — что планковская масса настолько превышает массу протона (на 19 порядков), очень важен для понимания структуры Вселенной и природы многих физических явлений, например, почему звезды, планеты и люди такие большие. Почему в их физических телах так много протонов?». И, далее поясняет: «А причина в том, что грубо говоря, размер самой крупной звезды, которая может сформироваться без быстрого гравитационного коллапса в черную дыру, пропорционален кубу отношения планковской массы к массе протона. Поэтому звезда содержит до 10^{57} протонов и размер их огромен по сравнению с размерами атомов. То же касается планет и людей. Если бы вышеназванное отношение равнялось 10, а не 10^{19}, звезда могла бы содержать не более тысячи протонов, жизнь не зародилась бы, и нас бы тут не было».

К такого рода рассуждениям надо относиться с разумным скептицизмом. Ведь для объяснения существования больших масс во Вселенной достаточно существования гравитационного взаимодействия, характерная масса которого, как мы установили в главе 2, составляет $\approx 10^8$ кг и содержит $\approx 10^{34}$ протонов. В то же время по отношению к планковским величинам нас должна настораживать очень небольшая величина длины Планка, которая на 15 порядков меньше фундаментальной длины L_0. Поэтому для физической реализации квантовой гравитации нужны особые условия, которые возможно существуют только в таких экзотических объектах, как черные дыры и белые карлики. Часто, правда, предполагается, что объединение квантового и гравитационного взаимодействий достигалось на самых ранних стадиях эволюции Вселенной. Однако, нельзя со всей определенностью считать, что на этих стадиях уже действовали современные фундаментальные постоянные (приложение 4).

Из других характерных параметров, присущих квантовым релятивистским взаимодействиям, следует особо отметить энергию слабого взаимодействия E_{0F}, которая в виде так называемого вакуумного среднего $\upsilon = \frac{E_{0F}}{\sqrt[4]{2}}$ согласно современной теории элементарных частиц непосредственно связана с массой пресловутого бозона Хиггса [7].

Еще один характерный параметр слабого взаимодействия — угол Вайнберга θ_W, по-видимому, можно определить через константу связи α_F. Действительно, в системе СГС, когда $c_0 = \hbar = 1$, квадрат синуса угла Вайнберга — это отношение квадрата электрического заряда к квадрату слабого заряда:

$$\sin^2\theta_W = \frac{e^2}{g^2}.$$

В то же время, в системе МКС-ПЛЮС имеем:

$$\alpha_F = \frac{G_F}{L_0^2 c_0 \hbar} = \frac{l_{0F}^2}{L_0^2}.$$

Поэтому можно предположить, что в этом случае справедливо следующее соотношение:

$$\sin^2\theta_W = f\frac{L_0^2}{l_{0F}^2}.$$

При выборе для коэффициента пропорциональности «естественного» значения $f = 4\pi/3$ квадрат синуса угла Вайнберга получит значение

$$\sin^2\theta_W = \frac{4\pi}{3\alpha_F} \cong 0{,}233,$$

которое достаточно близко к экспериментально найденному [hep-ph/1012.3883 (2010)]:

$$\sin^2\theta_W \cong 0{,}23153 \pm 0{,}0016.$$

Наличие электрического заряда в определении угла Вайнберга обычно трактуют как результат объединения электродинамики и слабого взаимодействия, используется даже термин «электрослабое взаимодействие». Однако, при работе в МКС-ПЛЮС электрический заряд появляется в характерных параметрах слабого взаимодействия без помощи электродинамики, а просто как результат признания за зарядом статуса элементарной длины. Поэтому нет необходимости в расширенном названии этого взаимодействия.

3.2. Нерелятивистские квантово-предметные взаимодействия

В нерелятивистских квантово-предметных взаимодействиях (НКПВ) характерная скорость υ_{0i}, выбранная из условия совпадения квантовой диссипации с диссипацией какого-либо основного взаимодействия, может как превосходить, так и не достигать скорости света в вакууме c_0. Ранее такого рода взаимодействия никем не обсуждались, однако они также легитимны, как и релятивистские взаимодействия, рассмотренные в разделе 3.1. Можно даже предположить, что в случае близости значений характерных длин релятивистских взаимодействий и элементарной длины существует необходимость совместного рассмотрения релятивистских и нерелятивистских взаимодействий в рамках одной и той же физической системы.

Характерные параметры НКП-взаимодействий приведены в табл. 4; обозначения параметров штрихуются, чтобы отличить их от параметров релятивистских взаимодействий. Все характерные массы этих взаимодействий можно получить также из нашей универсальной формулы

$$M'_{0in} = M_0 \alpha_i^n$$

при выборе значения для показателя степени $n = -1$. Например, для нерелятивистского $(k_e, \hbar)$-взаимодействия имеем:

$$M'_{0e} = \frac{M_0}{\alpha_e} = \frac{\hbar}{c_0 L_0} \cdot \frac{c_0 \hbar}{L_0^2 k_e} = \frac{\hbar^2}{L_0^3 k_e}.$$

Таблица 4

Характерные параметры естественных систем единиц $(L_0, \upsilon_{0i}, \hbar)$-типа: формульные выражения и численные значения

Система	Скорость υ_{0i}, м/с	Масса M'_{0i}, кг	Энергия E'_{0i}, джоуль
$(L_0, \upsilon_{0e}, \hbar)$	$k_e L_0^2 / \hbar$ $(2{,}2 \times 10^6)$	$\hbar^2 / (k_e L_0^3)$ $(6{,}63 \times 10^{-22})$	$\hbar^2 c_0^2 / (k_e L_0^3)$ $(6{,}0 \times 10^{-5})$
$(L_0, \upsilon_{0F}, \hbar)$	$G_F / (L_0^2 \hbar)$ $(5{,}4 \times 10^9)$	$L_0 \hbar^2 / G_F$ $(1{,}22 \times 10^{-25})$	$L_0 c_0^2 \hbar^2 / G_F$ $(1{,}1 \times 10^{-8})$
$(L_0, \upsilon_{0B}, \hbar)$	$k_B / \hbar$ $(1{,}3 \times 10^{-11})$	$\hbar^2 / (L_0 k_B)$ $(5{,}05 \times 10^{-27})$	$c_0^2 \hbar^2 / (L_0 k_B)$ $(4{,}6 \times 10^{-10})$
$(L_0, \upsilon_{0g}, \hbar)$	$L_0^2 c_0^4 k_g / \hbar$ $(3{,}0 \times 10^{40})$	$\hbar^2 / (L_0^3 c_0^4 k_g)$ $(2{,}20 \times 10^{-56})$	$\hbar^2 / (L_0^3 c_0^2 k_g)$ $(2{,}0 \times 10^{-39})$

Если попытаться рассмотреть НКП-взаимодействия по существу, то, во-первых, следует отметить, что наиболее приемлемым является нерелятивистское объединение электромагнетизма и квантовой механики. Характерная скорость этого НКПВ составляет $\alpha_e c_0$ и соответствует скорости электрона на первой боровской орбите атома водорода. Радиус этой орбиты a_e можно найти путем континуализации выражения для характерной массы (приложение 2):

$$a_e = \frac{\hbar^2}{k_e L_0^2 m_e} = \frac{m_e c_0^2}{k_e (m_e / M_0)^2},$$

где m_e — масса электрона.

Во-вторых, наиболее неприемлемой выглядит нерелятивистская квантовая гравитация из-за своих характерных параметров — чрезмерно малой массы и чрезвычайно большой скорости. Однако эта масса лежит в диапазоне значений масс, предлагаемых для массы гравитона [hep.th/08091003 (2008)], а характерная скорость — это не скорость какого-либо конкретного физического движения, а параметр теории нерелятивистской квантовой гравитации, к тому же возможность значительного превышения скорости гравитации над скоростью света уже давно дебатируется в научной литературе. В небесной механике, например, скорость действия гравитации вообще принимается бесконечной. Разумным выглядит и выражение для гравитационного аналога боровского радиуса:

$$a_g = \frac{\hbar^2}{k_g c_0^4 L_0^2 m_e} = \frac{m_e}{k_g c_0^2 \left(m_e/M_0\right)^2}.$$

Значение a_g составляет $\approx 4 \cdot 10^{-45}$ м, в то время как принято считать, что гравитационный радиус определяется как отношение $\hbar^2/G_N M m_e$ и при выборе в качестве массы, генерирующей гравитационный потенциал, массы протона, имеет ненормально большое значение $\approx 1{,}1 \cdot 10^{29}$ м [physics/0803.1197 (2008)].

Наконец, относительно оставшихся двух НКПВ — слабого взаимодействия и квантовой термодинамики, также можно предполагать, что они являются не только математически допустимыми, но и физически реализуемыми взаимодействиями. Особенно интересна нерелятивистская квантовая термодинамика, существование которой можно связать с существованием излучения абсолютно черного тела.

Действительно, поскольку все характерные параметры любого НКПВ можно выразить через параметры квантового взаимодействия и константу связи, то характерная интенсивность излучения абсолютно черного тела (АЧТ) I', как величина с размерностью мощности на единицу объема, будет иметь следующий вид:

$$I' = \frac{\hbar c_0^2}{L_0^5}\left(\frac{1}{\alpha_B}\right).$$

Непрерывный аналог этого соотношения можно получить, если перейти от фиксированной длины L_0 к переменной длине АЧТ-излучения λ и использовать «бегущее» значение константы связи, представленной как отношение энергии теплового взаимодействия к энергии квантового взаимодействия:

$$\alpha_B = \frac{k_B/L_0}{c_0\hbar/L_0} = \frac{\lambda k_B \theta}{c_0\hbar}.$$

Здесь θ — температура, которая в системе МКС-ПЛЮС имеет размерность обратной длины (приложение 1).

Таким образом, искомая непрерывная зависимость интенсивности АЧТ-излучения от длины волны и температуры в общем виде может быть представлена следующим выражением:

$$I'(\lambda,\theta) = \frac{\hbar c_0^2}{\lambda^5} f\left(\frac{c_0\hbar}{\lambda k_B \theta}\right).$$

Аналитический вид функции аргумента $\dfrac{c_0\hbar}{\lambda k_B\theta} = x_B$, как известно, нашел, исходя из модельных соображений, М. Планк в 1900 г:

$$f(x_B) = \left(\exp x_B - 1\right)^{-1}.$$

Часто эту функцию называют интерполяционной функцией Планка, так как она имеет два предела: один при больших значениях аргумента и равный нулю, а другой — при малых значениях, равный $1/x_B$.

Конечно, наши рассуждения носят эвристический характер, но, тем не менее, они свидетельствуют о тесной связи нерелятивистской квантовой термодинамики с АЧТ-излучением. Отметим также, что ранее, в *Книге* автор в этом вопросе ориентировался на релятивистский вариант.

Итак, в этой главе мы выявили восемь квантово-предметных взаимодействий, возникающих при объединении квантового и основных взаимодействий путем выбора либо характерной длины, либо характерной скорости, при которых достигается равенство единице константы связи основного взаимодействия. Мы также установили, что характерные массы релятивистских объединенных взаимодействий можно найти по массовой формуле:

$$M_{0i} = M_0 \alpha_i^n ,$$

когда показатель степени при константе связи равен $n = \pm 1/2$, а для нерелятивистских взаимодействий — когда показатель степени равен $n = -1$.

В общем случае будет справедлива следующая массовая формула:

$$M_{0i} = M_0 \sqrt{\alpha_i}^{\,n} ,$$
$$n = 0, \pm 1, \pm 2.$$

Значения $n = 0,1$ относятся к квантовому и основному взаимодействиям, остальные — к объединенным взаимодействиям.

Однако, следует иметь в виду, что аналогичным образом могут быть получены и другие парные взаимодействия в случае выбора в качестве базового взаимодействия не квантового, а любого другого основного взаимодействия. Нельзя заранее исключать и такую ситуацию, когда физическая система в одних своих проявлениях выступает как объединенное релятивистское взаимодействие, а в других — как нерелятивистское и, следовательно, требуется совместное их рассмотрение. Возможны также взаимодействия, возникающие при объединении парных взаимодействий, которые частично рассмотрены в приложении 3. Поэтому нужно согласиться с Ю. Маниным: «Важнейшие множества физиков — это множества не предметов, а возможностей».

Приложение 1

Абсолютная система единиц МКС-ПЛЮС

С легкой руки К. Ф. Гаусса абсолютными стали называть системы единиц, основанные на трех основных величинах: длине, времени и массе. Сам Гаусс в 1832 г. выбрал в качестве конкретных мер этих величин сантиметр, секунду и миллиграмм. В конце XIX идеи Гаусса были реализованы в рамках системы СГС (сантиметр, грамм, секунда), являющейся и в настоящее время рабочим инструментом физика. Однако система СГС оказалась не согласованной с «Практической системой электрических единиц», принятой в 1881 г. Выход из создавшейся неудовлетворительной ситуации указал в 1901 г. Джованни Джорджи. Он предложил перейти от триады «сантиметр — грамм — секунда» к триаде «метр — килограмм — секунда» и добавить к этим единицам какую-либо единицу практической шкалы. Наиболее распространенное решение — это выбор силы тока *I*, с единицей измерения *ампер* как еще одной основной величины. В настоящее время такая расширенная система (МКСА) является составной частью международной системы СИ.

Между тем, если исходить из принципа достаточности трех символьных единиц измерения — длины, массы и времени — для представления размерностей всех физических величин, то система МКСА является избыточной и может быть сведена к абсолютной системе единиц. С формальной точки зрения такой системой является СГС, но как показано в [1], систему СГС нужно рассматривать как систему, возникающую в результате редукции четырехразмерного $\{L,T,M,\varepsilon_0\}$-базиса, в котором дополнительной величиной является диэлектрическая проницаемость вакуума ε_0, к системе единиц $\varepsilon_0=1$. Поэтому, как и всякая профессиональная система, СГС содержит больше величин с одинаковой размерностью, чем исходная система с четырьмя основными единицами, да и сами размерности часто не удовлетворяют требованию целочисленности показателей степени при символьных единицах измерения.

Например, формула размерности для силы тока в СГС имеет следующий вид:

$$[I]=L^{3/2}T^{-2}M^{1/2}.$$

Такого рода размерности вызывают недоуменные вопросы и даже служат основанием для отказа от абсолютных систем единиц, как не соответствующих физическому смыслу.

Однако, если предположить, что сила тока как и любая физическая величина имеет свое место на *LTM*-диаграмме главы 1, отмеченное размерностью

$$[I]=L^{l_I}T^{t_I}M,$$

то подстановка этой абсолютной размерности в формулу размерности производной величины МКСА даст нам размерность в системе МКС. Например, заряд Q в системе МКСА имеет размерность $[Q]=TI$ и при выборе абсолютной размерности для силы тока $[I] = LT^{-1}$ получит МКС-размерность $[Q] = L$.

Именно такую размерность имеет заряд в предложенной автором системе МКС-ПЛЮС (см.: *Книга*). «Плюс» состоит в том, что в отличие от МКС, действующей только в механике, МКС-ПЛЮС охватывает электромагнетизм и термодинамику при выборе для температуры θ абсолютной размерности $[\theta] = L^{-1}$.

Выбор размерностей заряда и температуры в системе МКС-ПЛЮС основывается не на формальных математических, а на физических предположениях, которые мы рассмотрим в п. п. а) и б), соответственно.

а) *Электромагнетизм в системе МКС-ПЛЮС.*

Структура основополагающих уравнений электромагнетизма такова, что помимо механической величины — силы — они содержат «каждой электрической твари по паре». В законе Кулона это диэлектрическая проницаемость вакуума ε_0 и электрический заряд Q. В законе взаимодействия «длинных токов» это магнитная проницаемость μ_0 и сила тока I. Эти обстоятельства не позволяют найти индивидуальные абсолютные размерности электрических величин из указанных уравнений.

Если добавить к основополагающим уравнениям известное соотношение Максвелла

$$\varepsilon_0 \mu_0 c_0^2 = 1,$$

то, по крайней мере, можно заключить, что размерность произведения первых двух сомножителей должна равняться квадрату обратной скорости:

$$[\varepsilon_0 \mu_0] = L^{-2} T^2.$$

Поэтому, с формальной точки зрения, при соблюдении этого условия можно произвольно назначить размерность либо диэлектрической, либо магнитной проницаемости, чтобы получить все остальные размерности электрических величин. Простейшие варианты назначения размерностей были предложены еще в XIX в.:

1) ε_0 — безразмерна и равна 1; $[\mu_0] = L^{-2}T^2$.

2) μ_0 — безразмерна и равна 1; $[\varepsilon_0] = L^{-2}T^2$.

Однако для назначения размерностей указанных величин можно привлечь не только формальные, но и физические соображения. Так, поскольку известно, что свет представляет собой поперечные волны, то размерности ε_0 и μ_0 следует искать по аналогии с размерностями величин, с помощью которых описываются поперечные волны любой природы. Например, скорость поперечной волны V (м/с) в натянутой с силой τ (ньютон) струне, имеющей погонную плотность ρ (кг/м), дается следующим выражением:

$$\rho V = \frac{\tau}{V}.$$

В то же время для электромагнитной волны в вакууме имеем [8]:

$$\mu_0 V = \frac{1}{\varepsilon_0 V}.$$

Сравнение этих двух выражений позволяет нам назначить следующие размерности электрической и магнитной проницаемостям:

$$[\varepsilon_0] = L^{-1}T^2M^{-1},$$

$$[\mu_0] = L^{-1}M.$$

В этом случае, согласно закону Кулона, заряд Q получает размерность длины, а электрический ток, согласно своему определению, — размерность скорости. Кроме того, если принять, что численные значения проницаемостей в системе МКС-ПЛЮС совпадают с их численными значениями в системе МКСА (конкретно, везде мы используем, либо $\varepsilon_0 = 8{,}854 \times$ $\times 10^{-12}$ ньютон$^{-1}$ и $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ кг$\cdot$м$^{-1}$, либо связанные с ними величины: $\kappa_e = 1/4\pi\varepsilon_0$ и $k_m = \mu_0/4\pi$), то численные значения всех производных величин в МКС-ПЛЮС совпадут с численными значениями в МКСА. Отличаться они будут лишь по своим размерностям. Поскольку при этом аналитическая форма уравнений электромагнетизма в системах МКС-ПЛЮС и МКСА полностью совпадает, то изучение этого раздела физики целесообразно проводить на основе системы МКС-ПЛЮС, так как в ней меньше основных размерностей, чем в МКСА и нет дробных показателей размерности как в СГС (табл. 5).

Наконец, следует отметить, что размерности основных электрических и магнитных величин, приведенные в табл. 5, полностью соответствуют хорошо известной электромеханической аналогии, согласно которой заряд сопоставляется смещению, ток — скорости, индуктивность — массе и потенциал — силе [9]. Поэтому можно сказать, что в области электромагнетизма МКС-ПЛЮС просто узаконивает давно известные физические представления. Более радикально МКС-ПЛЮС проявляет себя в области тепловых явлений, к рассмотрению которых мы и переходим.

б) *Термодинамика в системе МКС-ПЛЮС.*

Основной переменной величиной в термодинамике является температура, однако вопрос об абсолютной размерности температуры до сих пор остается открытым. В универсальных системах единиц, таких как СИ и СГС, размерность темпера-

Таблица 5

Размерности основных электрических и магнитных величин в системе МКС-ПЛЮС

Величина и ее обозначение	Размерность	Единица измерения
Заряд, Q	L	кулон
Ток, I	LT^{-1}	ампер
Потенциал, U	$LT^{-2}M$	вольт
Напряженность электрического поля, E	$T^{-2}M$	вольт/метр
Сопротивление, R	$T^{-1}M$	ом
Емкость, C	$T^{2}M^{-1}$	фарад
Электрическая индукция, D	L^{-1}	кулон/метр^2
Магнитная индукция, B	$L^{-1}T^{-1}M$	тесла
Магнитный поток, Φ	$LT^{-1}M$	вебер
Индуктивность, L	M	генри
Напряженность магнитного поля, H	T^{-1}	ампер/метр

туры $[\theta]$ рассматривается как дополнительная к $\{LTM\}$-базису независимая размерность. В то же время в теоретических исследованиях часто полагают, что размерность температуры совпадает с размерностью энергии: $[\theta]=L^2T^{-2}M$. В этом случае квант энтропии — константа Больцмана $k_Б$ и сама энтропия S будут безразмерными величинами, с чем трудно согласиться.

Таким образом, вместе с выбором абсолютной размерности для температуры, нужно проследить какую размерность при этом получит самая важная термодинамическая величина — энтропия. Разумный выбор $[\theta]$ должен привести к самостоятельной абсолютной размерности $[S]$, отличной от размерности энергии, массы или действия. Такому выбору на наш взгляд соответствует размерность температуры $[\theta]=L^{-1}$.

Энтропия в этом случае получит размерность диссипации. Напомним, что диссипация как физическая величина на *LTM*-диаграмме главы 1 занимает место непосредственно над действием и имеет размерность произведения действия на скорость или энергии на длину:

$$[S]=\frac{\text{джоуль}}{\text{кельвин}}=\frac{L^2T^{-2}M}{L^{-1}}=L^3T^{-2}M .$$

Переход к температуре как производной величине с размерностью, равной обратной длине, не влечет за собой изменения ни общепринятой шкалы температуры, ни формы записи основных уравнений; изменяются лишь размерности входящих в них величин: размерности в системе МКС-ПЛЮС легко получаются из размерностей в СИ путем подстановки в них абсолютной размерности температуры в качестве размерности градуса Кельвина (см.: *Книга*).

Однако основное преимущество использования обратной длины в качестве размерности температуры — это не столько возвращение этой величины в «лоно» $\{LTM\}$-базиса, сколько возможность провести интересную аналогию между величинами, использующимися для описания тепловых явлений, и механическими величинами. Подобно тому, как в механике энергия определяется как производная действия по времени, так и в термодинамике естественным образом появляется «мощность диссипации» как производная диссипации по времени (для энтропии — это производство энтропии).

Мощность диссипации интересна тем, что является продолжением цепочки величин «масса — импульс — энергия», размерность каждого члена в которой возникает путем умножения массы на скорость в нулевой, первой и второй степенях. Все эти размерности характеризуют величины, обладающие свойством сохранения. Поэтому должен существовать и закон сохранения мощности диссипации, как величины имеющей размерность массы, умноженной на куб скорости (см.: *Книга*). Это очень важный вывод, дальнейшее рассмотрение которого, к сожалению, далеко выходит за рамки темы данного приложения.

Приложение 2

От характерных параметров к характерным зависимостям: радиусы и длины

В главе 2 на ряде примеров уже была продемонстрирована возможность перехода от дискретных значений характерных параметров к непрерывным зависимостям посредством подстановки вместо фиксированных значений этих параметров и некоторых фундаментальных постоянных произвольных значений одноразмерных с ними величин. Интересный класс таких зависимостей составляют характерные для каждого взаимодействия зависимости, связывающие между собой длину и массу.

Рассмотрим в этой связи выражение для характерной массы электромагнитного взаимодействия (глава 2, табл. 2):

$$M_e = \frac{L_0}{4\pi\varepsilon_0 c_0^2}.$$

При подстановке в это выражение вместо характерной массы и элементарной длины их произвольных значений m и l получим следующую зависимость длины от массы, присущую данному взаимодействию:

$$l_e = 4\pi\varepsilon_0 m c_0^2 .$$

Очевидно, что эта зависимость определяет длину l_e как отношение энергии покоя массы m к характерной силе электромагнитного взаимодействия $\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. Длину l_e можно условно назвать «электромагнитным энергетическим радиусом» и ввести для нее обозначение — r_e.

Подобным же образом могут быть определены энергетические радиусы и для других взаимодействий:

$$r_0 = \frac{mc_0^2}{c_0\hbar / L_0^2} = \frac{mc_0 L_0^2}{\hbar},$$

$$r_F = \frac{mc_0^2}{G_F / L_0^4} = \frac{mc_0^2 L_0^4}{G_F},$$

$$r_B = \frac{mc_0^2}{k_B / L_0^2} = \frac{mc_0^2 L_0^2}{k_B},$$

$$r_g = \frac{mc_0^2}{c_0^4 / G_N} = \frac{mG_N}{c_0^2}.$$

Из всех этих радиусов в настоящее время используется лишь r_g, известный как радиус Шварцильда. Все остальные радиусы имеют смысл только в системе МКС-ПЛЮС.

Однако, помимо энергетической можно определить и другую шкалу длин для основных взаимодействий, в которой длина будет определяться как отношение характерной диссипации к энергии покоя. Например, в случае электромагнитного взаимодействия для такого рода «диссипативной длины» получим:

$$\lambda_e = \frac{L_0^2 / 4\pi\varepsilon_0}{mc_0^2} = \frac{L_0^2}{4\pi\varepsilon_0 mc_0^2}.$$

Для других основных взаимодействий главы 2 справедливы следующие соотношения:

$$\lambda_0 = \frac{\hbar}{mc_0},$$

$$\lambda_F = \frac{G_F}{L_0^2 mc_0^2},$$

$$\lambda_B = \frac{k_B}{mc_0^2},$$

$$\lambda_g = \frac{c_0^2 L_0^2}{G_N m}.$$

Обозначение λ_i для диссипативных длин принято нами в связи с тем, что оно обычно используется для обозначения «длины волны Комптона», для электрона — $\lambda_0(m_e)$. Однако, если мы посмотрим на уравнение Комптона для процесса рассеяния фотонов на электронах

$$\Delta\lambda = \lambda_0(m_e)\cdot(1-\cos\theta),$$

согласно которому вычисляют изменение длины волны фотона при его рассеянии на угол θ, то увидим, что $\lambda_0(m_e)$ — это не длина волны, а характерное изменение длины волны при рассеянии под прямым углом. Поэтому, применительно к радиусам и длинам основных взаимодействий, можно предположить, что радиусы r_i связаны непосредственно с массой m, тогда как длины λ_i — с процессами, в которых участвует данная масса. В то же время нужно отметить, что эти величины не являются независимыми, так как имеет место следующее соотношение:

$$r_i \times \lambda_i = L_0^2.$$

Если наше предположение правильно, то линейные размеры, присущие массе m, следует искать на основе энергетических радиусов. Вычислим, например, радиус электрона R, используя выражение для энергетического радиуса электромагнитного взаимодействия:

$$r_e(m_e) = 4\pi\varepsilon_0 m_e c_0^2 \cong 1{,}1\times10^{-11}\cdot 9{,}11\times10^{-31}\cdot\left(2{,}99\times10^{8}\right)^2 \cong$$
$$\cong 0{,}9\times10^{-23}\text{м}.$$

Такое значение радиуса электрона не противоречит современным оценкам $R \le 10^{-22}$м, полученным по результатам опытов в ловушке Пеннинга [см.: *Демельт Х.* // УФН. 1990. Т. 160. С. 129], но это значение меньше чем эффективный радиус, измеренный в опытах по рассеянию электронов на позитронах, равный $1{,}57\times10^{-19}$м [hep-th/1001.5374 (2010)]. В то же время, оценка радиуса электрона на основе диссипативной длины — классический радиус электрона, приводит к значению радиуса, которое существенно превышает приведенные выше результаты экспериментов:

$$\lambda_e(m_e) = 2{,}82\times10^{-15}\text{м}.$$

При подобного рода вычислениях следует помнить, что энергетические радиусы определены нами с точностью до размерности. Возможно, энергетическая длина — это не радиус, а диаметр, и в конечных формулах должен появиться множитель ½. Например, энергетический радиус гравитационного взаимодействия обычно представляют в виде:

$$r_g = G_N m \big/ 2c_0^2 .$$

Наконец, необходимо отметить, что все рассуждения относительно радиусов и длин основных взаимодействий главы 2 применимы и к объединенным взаимодействиям главы 3. Например, в случае нерелятивистского $(\hbar, \varepsilon_0)$-взаимодействия, характерные параметры которого находятся из $(L_0, \upsilon_e, \hbar)$-системы единиц, где $\upsilon_e = L_0^2 \big/ (4\pi\varepsilon_0 \hbar)$, для энергетического радиуса имеем выражение:

$$r_{0e} = \frac{m\upsilon_e^2}{\upsilon_e \hbar / L_0^2} = \frac{mL_0^4}{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2},$$

а для диссипативной длины:

$$\lambda_{0e} = \frac{\upsilon_e \hbar}{m\upsilon_e^2} = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{mL_0^2}.$$

При $m = m_e$ диссипативная длина $\lambda_{0e}(m_e)$ — это не что иное, как знаменитый радиус Бора в атоме водорода. Энергетический радиус $r_{0e}(m_e)$ ранее нигде не рассматривался, однако он тоже появляется в теории атома водорода, как числитель в формуле для постоянной Ридберга:

$$R_\infty = \frac{mL_0^4}{8\pi^2\varepsilon_0^2 c_0\hbar^3} = \frac{r_{0e}(m_e)}{2l_{0e}^2},$$

знаменатель которой представляет собой квадрат характерной длины релятивистского $(\hbar, \varepsilon_0)$-взаимодействия главы 3:

$$l_{0e}^2 = 4\pi\varepsilon_0 c_0\hbar.$$

Конечно, этими примерами мы далеко не исчерпали тему радиусов и длин в контексте их связи с характерными параметрами. Так, еще один интересный аспект данной темы — это возможность унифицированного представления радиусов и длин в виде следующих соотношений:

$$r_{in} = r_0\alpha_i^n, \lambda_{in} = \lambda_0\alpha_i^n, n = 0, \pm 1.$$

Соотношение для длин, в частном случае $\lambda_0 = \lambda_{0e}(m_e)$ и $\alpha_i = \alpha_e$, было установлено Ю. К. Дидыком на основе выбора в качестве естественной системы единиц $(m_e, c_0, \hbar)$-системы со значениями фундаментальных постоянных и константы связи, взятых из системы СГС (Известия ВУЗов, Серия «ФИЗИКА». 1964. № 1. С. 14). Данная система единиц «привязана» к конкретной массе, а не к конкретному взаимодействию, поэтому с ее помощью нельзя найти константы связи и нужно предполагать, что они заранее известны. Тем не менее, Ю. К. Дидык, по-видимому, первым правильно указал на то, что константы связи — это коэффициенты подобия, и что они порождают для каждой массы m_i цепочку характерных длин, каждая из которых отличается от характерной длины $\lambda_{0i}(m_i) = \hbar/c_0 m_i$ лишь множителем α_i^n. В последующих публикациях, к сожалению, «погребенных» в трудно доступных ведомственных изданиях, Ю. К. Дидык полагал, что показатель степени при константе связи может принимать любые целочисленные значения, однако, эта гипотеза пока не подтверждена, но и не опровергнута.

В этой связи, полученные нами в главах 2 и 3 результаты можно рассматривать как развитие представлений Ю. К. Дидыка на новой основе — естественных системах единиц кинематического типа со значениями фундаментальных постоянных, взятых из системы МКС-ПЛЮС. В этом случае константы связи находятся как отношение характерных масс, а унифицирующие соотношения для радиусов и длин появляются как следствие, а не как нечто основополагающее.

Таким образом, на примере длин и радиусов можно констатировать, что переход от соотношений, связывающих только фундаментальные постоянные, к соотношениям между физическими величинами и фундаментальными постоянными, приводит к интересным функциональным зависимостям, некоторые из которых уже давно известны и широко используются, а некоторые еще требуют физической интерпретации.

Приложение 3

Гравитепловое взаимодействие

В главе 3 были выявлены две группы квантово-предметных взаимодействий, названных нами релятивистскими и нерелятивистскими, в первой из которых характерные параметры находятся из естественных систем единиц $(l_{0i}, c_0, \hbar)$-типа, а во второй — из систем $(L_0, \upsilon_{0i}, \hbar)$-типа. Каждая из этих групп содержит по четыре квантово-предметных взаимодействия, отличающихся только по одной из кинематических постоянных. Поэтому можно провести в пределах каждой группы их дальнейшее объединение. В этом приложении в качестве примера такого рода объединенных трехконстантных взаимодействий мы рассмотрим релятивистское гравитепловое, или $(\hbar, k_B, k_g)$-взаимодействие (ГТВ).

По современным представлениям ГТВ — это взаимодействие, которое проявляет себя в таких экзотических объектах как черные дыры. Наиболее известной характерной величиной ГТВ является энтропия Бекенштейна—Хокинга [10]:

$$S_{BH}(A)=\frac{c_0^3 k_B}{4G_N\hbar}A,$$

где A — площадь горизонта черной дыры.

Размерность этой величины в системе МКС-ПЛЮС — это размерность диссипации, поэтому путем сопоставления S_{BH} с характерной диссипацией различных вариантов ГТВ, генерируемых какими-либо константами связи, можно выявить физически реализуемый вариант.

Для назначения констант связи квантово-предметных взаимодействий необходимо выбрать среди них базовое взаимодействие, а поскольку любому физическому явлению присущи тепловые эффекты, то естественно выбрать в качестве базового $(\hbar,k_B)$-взаимодействие. Константы связи в этом случае найдутся как отношение массы квантово-предметного взаимодействия к массе базового взаимодействия. Так, в группе релятивистских взаимодействий с базовой $(l_{0B},c_0,\hbar)$-системой единиц константа связи ГТВ будет иметь вид:

$$\alpha_{gB}=\frac{M_{0g}}{M_{0B}}=\frac{l_{0B}}{l_{0g}}=\sqrt{\alpha_B\alpha_g}=2{,}08\times10^{17}.$$

Поскольку данная константа связи выражена через корень квадратный, то она порождает цепочку взаимодействий, характерные массы которых, как показано в главе 3, связаны с массой базового взаимодействия следующим соотношением:

$$M_{gBn} = M_{0B}\alpha_{gB}^{n}; \; n = 0, \pm 1, \pm 2.$$

Помимо индивидуальных взаимодействий $(n = 0,1)$ эта массовая формула допускает также существование объединенных взаимодействий, отвечающих показателям степени $n = -1, \pm 2$. Особенно интересен для нас вариант, когда $n = 2$. Характерная масса данного варианта ГТВ равна $4{,}55 \times 10^{9}$ кг, а характерная диссипация дается следующим выражением:

$$D_{gB} = c_0 \hbar \alpha_g \alpha_B = \frac{c_0^3 k_B}{G_N \hbar} L_0^2,$$

непрерывный аналог которого практически совпадает (отсутствует числовой множитель) с энтропией Бекенштейна—Хокинга:

$$d_{gB}(A) = \frac{c_0^3 k_B}{G_N \hbar} A.$$

То обстоятельство, что некую физическую величину (энтропию), относящуюся к трехмерному миру, можно представить как функцию двумерной величины (площади), в современной теоретической физике рассматривается как свидетельство голографической природы нашего мира. Однако D_{gB} допускает в системе МКС-ПЛЮС и менее радикальную континуализацию посредством введения бегущей массы гравитеплового объекта:

$$d_{gB}(M) = c_0 \hbar \frac{k_B k_g}{M_0^2} = c_0 \hbar m^2.$$

Здесь m — относительная масса объекта, равная отношению его бегущей массы к характерной массе квантового взаимодействия.

Нужно отметить, что в теории черных дыр существует аналогичного вида соотношение

$$S_{BH}(M) = 4\pi k_B \left(\frac{M}{M_{pl}}\right)^2,$$

которое получается из выражения для $S_{BH}(A)$, если использовать связь между массой черной дыры и площадью горизонта:

$$A = 4\pi \left(\frac{2G_N M}{c_0^2}\right)^2.$$

При одинаковой квадратичной зависимости от массы численные значения $d_{gB}(M)$ и $S_{BH}(M)$, к сожалению, не совпадают. Однако, можно считать, что $d_{gB}(M)$ имеет более высокий статус, так как получается непосредственно из выражения для $d_{gB}(A)$ без привлечения каких-либо дополнительных соображений.

Наконец, рассмотрим вариант гравитеплового взаимодействия, возникающий при показателе степени, равном минус 2. Можно предположить, что этот вариант описывает гравитепловое излучение. Характерные параметры этого варианта найдутся путем деления характерных параметров $(l_{0B}, c_0, \hbar)$-взаимодействия на квадрат константы связи α_{gB}. Следовательно, для интенсивности гравитеплового излучения, величины с размерностью мощности на единицу объема, будем иметь:

$$I_{gB} \doteq \frac{\hbar c_0^2}{l_{0B}^5}\left(\frac{1}{\alpha_B \alpha_g}\right).$$

Континуализация этого выражения по схеме раздела 3.2 приводит к следующему соотношению:

$$I_{gB}(\lambda,\theta)=\frac{\hbar c_0^2}{\lambda^5\alpha_g}\left(\exp\left(\frac{\hbar c_0}{\lambda k_B\theta}\right)-1\right)^{-1},$$

которое при одних и тех же значениях длины волны λ и температуры θ в α_g раз меньше чем интенсивность АЧТ-излучения.

Приведенные соотношения, однако, не совпадают с соотношениями, обычно используемыми в теории излучения черных дыр, в которых вместо абсолютной температуры используется специальная температура

$$T=\frac{c_0^3\hbar}{8\pi k_B G_N M}.$$

Тем не менее, вывод о меньшей интенсивности гравитеплового излучения по сравнению с АЧТ-излучением остается в силе и в стандартной теории черных дыр.

Таким образом, среди вариантов ГТВ, порождаемых объединением $(l_{0B},c_0,\hbar)$- и $(l_{0g},c_0,\hbar)$-взаимодействий, имеется как вариант с характерной диссипацией, непрерывный аналог которой совпадает с энтропией такого гравитеплового объекта как черная дыра, так и вариант, описывающий гравитепловое излучение. Отмеченные выше отличия от стандартной теории черных дыр обусловлены тем, что вместо СГС мы использовали систему МКС-ПЛЮС.

В заключение, нужно сказать, что существует еще один принципиальный вопрос относительно ГТВ, порожденный работой Э. Верлинде [hep-th/1001.0785 (2010)], который показал, что с энтропией Бекенштейна—Хокинга можно связать закон всемирного тяготения. На этом основании он делает вывод о первичности энтропии и вторичности гравитации.

Действительно, характерную диссипацию ГТВ можно выразить как через характерную диссипацию гравитационного взаимодействия D_g, так и через характерную тепловую диссипацию D_B:

$$D_{gB} = \alpha_B D_g = \alpha_g D_B.$$

В первом случае в результате континуализации $\alpha_B D_g$ получим закон обратных квадратов для гравитационной силы (глава 2), а во втором, при континуализации $\alpha_g D_B$, — для тепловой силы:

$$F_g = G_N \frac{m^2}{r^2},$$

$$F_B = \frac{k_B}{r^2}.$$

Однако, в контексте естественных систем единиц характерная диссипация является всего лишь одним из характерных параметров любого физического взаимодействия. Если нет взаимодействия, то нет и соответствующей ему диссипации. Поэтому нельзя считать, что гравитация порождается ГТВ-диссипацией. Напротив, ГТВ-диссипация — это следствие существования гравитеплового взаимодействия.

Приложение 4

Фундаментальные физические постоянные и эволюция Вселенной

Одним из основных открытий XX в. было открытие нестационарности Вселенной — ее эволюции во времени. Согласно современным космологическим представлениям в ходе этой эволюции Вселенная прошла через очень быструю стадию экспоненциального расширения (инфляция) и продолжила расширяться по степенному закону (фридмановская стадия). В настоящее время наблюдается более быстрое расширение чем на начальных этапах фридмановской стадии [7].

С каждой стадией и этапом эволюции Вселенной можно связать определенный набор взаимодействий. Так, считается, что перед инфляцией все фундаментальные взаимодействия, к которым относят сильное (межкварковое), слабое, электромагнитное и гравитационное взаимодействия, были объединены в одно грандвзаимодействие. Через 10^{-44} с от рождения Вселенной гравитация отделилась от остальных трех, и началась стадия инфляции. Фридмановская стадия (10^{-35} с) началась с того, что отделилось сильное взаимодействие. Наконец, когда Вселенной исполнилось 1 с, разделились электромагнитное и слабое взаимодействия. Начиная с этого момента, устанавливаются современный список и современные значения фундаментальных постоянных. Однако современные значения ФФП обычно используются и при анализе событий на временах, меньших 1 с.

Первым, кто указал на возможность изменения значений ФФП в ходе эволюции Вселенной, был П. А. М. Дирак. В работе 1937 г. он, используя СГС-значения ФФП, установил, что континуализация характерного времени T_D, равного отношению квадрата электрического заряда к произведению гравитационной постоянной на массы протона и электрона, приводит к выводу, что либо заряд изменяется пропорционально времени, либо гравитационная постоянная — обратно пропорционально времени. Сам Дирак склонялся ко второму варианту.

Первоначально гипотеза Дирака была встречена научным сообществом весьма сдержано. Н. Бор даже заметил в письме к Г. Гамову: «Посмотрите, что случается с людьми, когда они женятся». Однако, в настоящее время исследование возможного постепенного изменения значений ФФП в ходе эволюции Вселенной — вполне легитимная научная проблема. Правда, «центр тяжести» теперь сместился от индивидуальных ФФП на константы связи [physics/ 0209016 (2002)].

Более радикальная точка зрения на коэволюцию фундаментальных постоянных и Вселенной состоит в том, что каждой стадии или отдельному ее этапу соответствует свой набор ФФП (*Книга*, глава 4). Так, современный этап фридмановской стадии характеризуется пятью полноразмерными ФФП и пятью основными взаимодействиями, рассмотренными в главе 2. Предшествующий современному этапу набор ФФП можно установить путем исследования различных вариантов агрегирования этих пяти постоянных. Под агрегированием будем понимать взятие среднего геометрического из значений каких-либо двух существующих ФФП. Например, агрегирование электрической постоянной и константы Больцмана приводит к новой ФФП с размерностью энергии:

$$E_{Be} = \sqrt{k_e k_B} ,$$

и, напротив, дезагрегирование E_{Be} приводит к современным ФФП — k_e и k_B.

Выполненный в *Книге* анализ различных вариантов агрегирования выявил наиболее предпочтительный вариант, в котором агрегированными постоянными являются

$$k_{eg} = \sqrt{k_e kg} = 1{,}35 \times 10^{10}\,\text{кг/м},$$
$$k_{BF} = \sqrt{k_B G_F} = 4{,}46 \times 10^{-43}\,\text{джоуль} \cdot \text{м}^2.$$

Эти две постоянные совместно с постоянной Планка и кинематическими постоянными дают жизнь трем физическим взаимодействиям со следующими естественными системами единиц:

$$(L_0, c_0, \hbar), (L_0, c_0, k_{eg}), (L_0, c_0, k_{BF}).$$

Можно предположить, что это именно те взаимодействия, которые действуют на первом этапе фридмановской стадии, предшествующей ее современному этапу. С помощью констант связи, имеющих следующий вид:

$$Q_{eg} = k_{eg} c_0 L_0^2 / \hbar = 8{,}54 \times 10^{14},$$
$$Q_{BF} = k_{BF} / (L_0 c_0 \hbar) = 88{,}6,$$

все эти взаимодействия можно выразить через квантовое взаимодействие:

$$\left(L_0, c_0, \hbar\right) \cdot f\left(Q_{eg}, Q_{BF}\right).$$

Константы, действующие на стадии инфляции уже нельзя найти агрегированием полноразмерных постоянных первого этапа фридмановской стадии. Однако, если предположить, что стадия инфляции является безмассовой стадией, то соответствующая ей система единиц должна содержать только кинематические постоянные. В *Книге* автор полагал, что такими постоянными являются непосредственно L_0 и c_0 совместно с безразмерным комплексом

$$Q_0 = Q_{eg} Q_{BF} = 7{,}56 \times 10^{16}.$$

В этом случае характерное время стадии инфляции найдется из соотношения

$$t_0 = \frac{L_0}{c_0} f\left(Q_0\right)$$

к, если положить $f\left(Q_0\right) = Q_0^{-1}$, то это время численно будет равно $7{,}0 \times 10^{-45}$ с, что достаточно близко к обычно используемому на этой стадии времени $t_{pl} = 5{,}37 \times 10^{-44}$ с. Здесь надо отметить, что в *Книге* автор, к сожалению, ошибся в численной оценке Q_0 и, к тому же, просмотрел опечатку: $f\left(Q_0\right) = Q_0$.

При таком подходе к стадии инфляции переход к фридмановской стадии мыслился как распад безразмерного комплекса Q_0 на три полноразмерные постоянные k_{eg}, k_{BF}, $\hbar$. Однако

Q_0 можно разложить только на два сомножителя: Q_{eg}, Q_{BF}. Поэтому стадия инфляции требует иной детализации.

На сегодняшний день автор склоняется к тому, что кинематическими постоянными на стадии инфляции являются характерная площадь

$$A_{0eg} = \frac{L_0^2}{Q_{eg}} = \frac{\hbar}{k_{eg}c_0} \cong 3{,}0 \times 10^{-53}\,\text{м}^2$$

и характерная скорость

$$C_{0BF} = c_0 Q_{BF} = \frac{k_{BF}}{L_0\hbar} \cong 2{,}7 \times 10^{10}\,\text{м/с},$$

которые появляются как результат факторизации некоего первоначального комплекса τ_0 с необычной размерностью LT:

$$\tau_0 = \frac{A_{0eg}}{C_{0BF}} = \frac{L_0^2}{c_0 Q_0} \cong 1{,}1 \times 10^{-63}\,\text{м} \cdot \text{с}.$$

Полная схема всей цепочки переходов, от первоначального комплекса до фундаментальных постоянных современного этапа фридмановской стадии, представлена на рис. 2. Этот сценарий «большого взрыва», полученный нами из соображений размерности, существенно отличается от стандартной модели «великого разъединения» фундаментальных взаимодействий. Во-первых, гравитационная постоянная появляется в нем не на стадии инфляции, а на современном этапе фридмановской стадии. Во-вторых, на начальном этапе фридмановской стадии существуют совершенно необычные взаимодействия с полноразмерными фундаментальными постоянными $[k_{eg}] = \text{кг/м}$ и $[k_{BF}] = \text{джоуль} \cdot \text{м}^2$. Эти взаимодействия

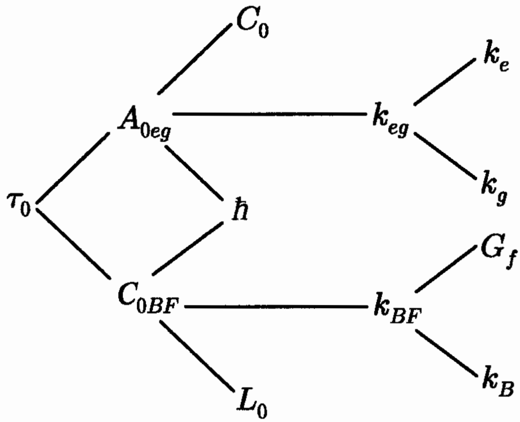


Рис. 2. Схема эволюции фундаментальных постоянных:

1. Деситтеровская стадия

$[\tau_0] = \text{м} \cdot \text{с}$; $\left[A_{0eg}\right] = \text{м}^2$; $[C_{0BF}] = \text{м/с}$.

2. Первый этап фридмановской стадии

$[C_0] = \text{м/с}$; $[h] = \text{джоуль} \cdot \text{с}$; $[L_0] = \text{м}$; $\left[k_{eg}\right] = \text{кг/м}$; $[k_{BF}] = \text{джоуль} \cdot \text{м}^2$.

3. Второй этап фридмановской стадии

$[k_e] = \text{ньютон}$; $[k_g] = \text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$; $[G_F] = \text{джоуль} \cdot \text{м}^3$; $[k_B] = \text{джоуль} \cdot \text{м}$

совместно с квантовым ответственны за образование и структурирование весомой материи с необычными свойствами, поскольку постоянная Ферми еще не появилась на этом этапе. Наконец, стадия инфляции также выглядит необычно, так как предполагается безмассовой в духе де-Ситтера. Однако, постоянная Хаббла $[H] = \text{с}^{-1}$ для этой стадии, которую можно найти из характерного времени

$$t_0 = \frac{\sqrt{A_{0eg}}}{C_{0BF}} \cong 2 \times 10^{-38}\,\text{с},$$

имеет вполне приемлемый для стадии инфляции порядок величины.

Еще одно важное отличие нашего сценария состоит в том, что это «холодный» сценарий, так как температура появляется в нем только на современном этапе фридмановской стадии, которую, по-видимому, можно датировать как начало ускоренного расширения Вселенной.

В рамках данного приложения мы ограничимся сказанным и не будем развивать далее тему обоснования схемы рис. 2. Некоторые дополнительные соображения можно найти в *Книге*. В заключение отметим только, что лежащая в основе этой схемы величина, $[\tau_0] = \text{м} \cdot \text{с}$, насколько известно автору, впервые появилась на страницах книги Л. Антипенко «Проблемы физической реальности» (М.: Наука, 1973). Вот что он пишет на странице 224:

«Гипотеза о существовании некоторой минимальной величины Δ размерности $\text{см} \cdot \text{сек}$, которую будем называть *геохрономом* (от слова геохронометрия), если бы она оказалась верной, позволила бы привести виртуальные процессы разных видов к единому знаменателю».

Именно в указанном статусе единого знаменателя геохроном Антипенко (вряд ли это удачный термин) появляется в схеме рис. 2. Мир научных понятий оказывается так же тесен, как и человеческий мир. В этом мире хорошая идея, как и хороший удар в бильярде, не пропадает, а возрождается снова и снова в совершенно неожиданных ситуациях.

Литература

1. *Власов А. Д., Мурин Б. П.* Единицы физических величин в науке и технике. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. *Томилин К. А.* Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: Физматлит, 2006.
3. *Вабищевич П. Н.* Численное моделирование. М.: Изд-во МГУ, 1993.
4. *Бом Д.* О возможности интерпретации квантовой теории на основе представления о «скрытых» переменных // Вопросы причинности в квантовой механике. М.: Иностранная литература, 1955. С. 34.
5. *Пул Ч.* Справочное руководство по физике. М.: Мир, 2001.
6. *Бриджмен П.* Анализ размерностей. М.: ОНТИ, 1934.
7. *Бояркин О. М.* Введение в физику элементарных частиц. М.: КомКнига/URSS, 2010.
8. *Роджерс Э.* Физика для любознательных. Т. 3. М.: Мир, 1971.
9. *Джанколи Д.* Физика. Т. 2. М.: Мир, 1989.
10. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. М.; Ижевск: РХД, 2007.

Наше издательство предлагает следующие книги:

10441 ID 123884

9 785397 022897 >

а также обнару

Ваши замечания
и отражен
в нашем инте

mail:
RSS@URSS.ru

талог изданий
Интернете:
tp://URSS.ru

URSS НАШИ НОВЫЕ КООРДИНАТЫ

ТЕЛЕФОН/ФАКС (многоканальный) +7 (499) 724-25-45

117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56