

5. (к § 7) "О спектре масс элементарных частиц"

"On the mass spectrum of elementary particles"
K.P. Sinha, C. Sivaram
"Current Science" 42, № 13, 1973.

РЕЗЮМЕ

Дано объяснение с физической точки зрения происхождения некоторых масштабных множителей в массовой формуле, данной в предыдущей статье [1], в терминах взаимодействий, включая взаимодействие магнитных зарядов. Более детально выясняется роль гравитации в определении масс элементарных частиц.

ВВЕДЕНИЕ

В последней статье была получена формула для расчёта масс различных элементарных частиц, развитая на основе динамической теории [1]. Центральная идея этой статьи заключается в том, что различные элементарные частицы есть возбуждённые состояния, первоначального объекта, который выполняет гармонические колебания относительно некоторой равновесной конфигурации, определяемой наложением гравитационных и других (например, электромагнитных) взаимодействий. Поэтому возвращающие силы и, следовательно, частоты колебаний контролируются этими факторами. То, что гравитационное взаимодействие (общая относительность) должно играть некоторую роль в квантовании масс элементарных частиц, подчёркивалось недавно некоторыми дру-

гими авторами [2, 3]. Цель настоящей статьи обсудить и выяснить некоторые детали, которые не были даны, но выяснение которых было обещано.

Квантовая гравитационная массовая константа

Как показал Мотц [3], если приравнять Гауссовскую кривизну пространства, занимаемого частицей, имеющей остаточную массу M_p , обратной Комптоновской длине волны, получается соотношение:

$$16\pi G M_p^2 = \hbar c \quad (1)$$

где G - ньютоновская гравитационная константа.

Мы ввели множитель 16π в настоящей статье так, чтобы было согласие с ковариантной, квантовой, гравитационной, массовой константой, заданной Розеном.⁴

Тогда,

$$M_p = \left(\frac{\hbar c}{16\pi G} \right)^{\frac{1}{2}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ г} \quad (2)$$

Это значение было упомянуто нами как масса Планка в нашей предыдущей работе [1]. Мотц назвал частицу, имеющую массу

$$\frac{(\hbar c)^{\frac{1}{2}}}{G} = M_v \text{ унитон.}$$

Решение уравнений поля Эйнштейна

$E_{\alpha\beta} = - \frac{8\pi T_{\alpha\beta}}{c^4}$, для сферически симметричной массы с зарядом e , которое сводит электромагнитное взаимодействие к метрике окружающего пространства, задано хорошо-известным линейным элементом, найденным Рейснером [5] и

Нордстремом [6] :

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r} + \frac{e^2 G}{r^2}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{2m}{r} + \frac{e^2 G}{r^2}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2$$

где: $m = \frac{GM}{c^2}$; $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2$

Росс² постулировал, что частица мыслится находящейся на равновесном радиусе, таком, что эффективный гравитационный потенциал достигает минимума. Исходя из этого постулата, можно показать, что из вышеупомянутой метрики вытекает наличие равновесной точки r_0 , которая равна:

$$r_0 = \frac{e^2}{M_p c^2} = 9 \cdot 10^{-35} \text{ см}$$

[для Планковской массы, заданной уравнением (2)] .

Мы теперь покажем, что при этой величине радиуса, нет силы, действующей на протяжённый объект, имеющий заряд e .

Рассмотрим смещение равновесного радиуса r_0 на бесконечно малую величину Δr .

Используя геодезические уравнения, мы имеем (используя координаты $X^0 = ict$, $X^1 = r$, $X^2 = \theta$, $X^3 = \phi$)

$$-c^2 \Gamma_{00}^{\prime} \quad - \text{ускорение} \quad (4)$$

где $\Gamma_{00}^{\prime}$ - есть символ Кристоффеля второго вида.

Для вышеупомянутого линейного элемента мы имеем:

$$-c^2 \Gamma_{00}^{\prime} \approx \left(\frac{GM}{r^2} - \frac{e^2 G}{r^2 c^2} \right)$$

Для силы, действующей на частицу массы m , имеем:

$$F = - \frac{GM}{r_0^2} \left(1 + \frac{\Delta r}{r_0}\right)^{-2} + \frac{Ge^2 m}{r_0^3 c^2} \left(1 + \frac{\Delta r}{r_0}\right)^{-3} \\ \approx \frac{GMm}{r_0^2} + \frac{2GMm}{r_0^2} \left(\frac{\Delta r}{r_0}\right) + \frac{Ge^2 m}{r_0^3 c^2} - \frac{3Ge^2 m}{r_0^3 c^2} \left(\frac{\Delta r}{r_0}\right) \quad (5)$$

пренебрегая членами высокого порядка.

При равновесном радиусе r_0 $\Delta r = 0$ и

$$\frac{GMm}{r_0^2} = \frac{Ge^2 m}{r_0^3 c^2} \quad (6)$$

Поэтому сила F при смещении Δr может быть записана так:

$$F \approx \left(\frac{2GMm}{r_0^3} - \frac{3Ge^2 m}{c^2 r_0^4} \right) \Delta r \quad (7)$$

которая равна нулю при радиусе $= r_0$, то есть, когда $\Delta r = 0$. Поскольку нет сил, действующих на объект, когда $r = r_0$, это есть в самом деле равновесный радиус.

Уравнение (7) предполагает, что F есть возвращающая сила, а выражение в скобках есть константа.

Соответствующая частота осцилляций дается выражением:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{3Ge^2}{c^2 r_0^4} - \frac{2GM}{r_0^3}} \quad (8)$$

Если мы возьмём ковариантную формулировку уравнений движения в общей относительности, тогда может появиться несколько аддитивных членов в уравнении (8), тем не менее они оказываются много меньше по абсолютной величине. Этот вопрос может быть разработан позже и обсуждён в другом месте.

Предыдущее показывает, что при отклонении объекта от положения равновесия, на него действует упругая возвращающая сила, обще-релятивистского происхождения, в результате чего объект осциллирует около равновесной точки. При использовании величины Планковской массы (квантовой гравитационной массы), заданной уравнением (2), и соответствующего равновесного радиуса z данного уравнением (3), частота ω_0 заданная уравнением (8), оказывается равна

$$\sim 5 \cdot 10^{44} \frac{1}{\text{сек.}}$$

Как замечено в нашей предыдущей статье и как подчёркнуто Мотцем, в силу принципа неопределённости окончательная конфигурация расширяется до корректного размера частицы. Рассмотрим случай электрона. Частота ω_0 первоначального объекта, имеющего голую массу, равную Планковской массе, соответствует Комптоновская длина волны

$$\lambda = \frac{c}{\omega_0} \approx 6 \cdot 10^{-35} \text{ см.}$$

Другими словами, объект наблюдаем на этой дистанции с энергией $\hbar \omega_0$.

Если динамически устойчивая конфигурация расширяется, частота уменьшается обратно пропорционально дистанции. Это может быть интерпретировано как потеря энергии на возрастание ра-

диуса кривизны. Используя принцип неопределённости, частота (ω_e), соответствующая электронной остаточной массе, может быть записана как

$$\omega_e = \frac{\lambda_0}{\lambda_e} \omega_0 = 7,77 \cdot 10^{20} \frac{1}{\text{сек}} \quad (9)$$

где $\lambda_e = 3,86 \cdot 10^{-11}$ см = электронной Комптоновской длине волны.

Как показано в [1], основное состояние осциллятора, имеющего частоту ω_e , даёт остаточную массу электрона.

Мы можем переписать уравнение (9) так:

$$\omega_e = \frac{\lambda_0}{\lambda_e} \omega_0 = \exp\left(\frac{-x}{\alpha}\right) \omega_0 = 7,77 \cdot 10^{20} \frac{1}{\text{сек}} \quad (10)$$

$$\text{где: } \alpha \equiv \frac{e^2}{\hbar c}, \quad x = 0,4$$

Масштабный фактор $\exp\left(\frac{-x}{\alpha}\right)$ сходен с тем, что используется в формуле для электронной массы, данной Розеном. [27]

Преимущество в применении множителя в этой форме видно, если положить $\alpha \rightarrow 0$, тогда масса стремится к нулю. С помощью этого обстоятельства можно объяснить, почему безмассовый лептон составляет пару электрону, то есть нейтринно не имеет заряда.

Ренормализация частот

В предыдущей статье [1] мы показали, что для мезона и бариона, частоты, включая масштабные множители, есть соответственно:

$$\frac{1}{2\alpha} \omega_e \text{ и } \frac{1}{\alpha^{3/2}}, \text{ где } \alpha - \text{константа}$$

тонкой структуры. Достигая этой нормировки, мы используем концепцию магнитных зарядов (монополь), введенных Дираком [7] и недавно повторно введенных Швингером [8]. Замечательно то, что введение магнитных зарядов приводит в симметрию уравнения Максвелла и объясняет универсальность электрического заряда. Следуя Дираку и Швингеру, мы введём магнитный заряд " ℓ ". Пока нет наблюдательных доказательств для существования свободных магнитных зарядов в природе (например, см. Амальди [9]). Каждый магнитный заряд ℓ , должен иметь заряд противоположного знака $-\ell$, так как все наблюдаемые частицы магнитно нейтральны. Если мы рассмотрим 3 заряда $\ell, \ell, -\ell$, система может иметь угловой момент [8]. Квантуя эту систему, мы получим соотношение:

$$\frac{e\ell}{c} = n\hbar. \quad (10).$$

Для фундаментального магнитного заряда мы выбираем $n = 1$. (Дирак использовал полуцелую величину).

Тогда имеем:

$$\ell_0 = \left(\frac{\hbar c}{e} \right) e = \frac{e}{\alpha} = 137e \quad (11)$$

Это показывает, что фундаментальный магнитный заряд (равный $\frac{1}{\alpha} \cong 137$), приблизительно в 137 раз больше электрического заряда.

Согласно существующим воззрениям, имеется два вида адронов, именно мезоны (бозоны) и барионы (фермионы). Барионы, как предполагают теперь, имеют сложный состав, то есть барион (например, протон) предполагается состоящим из твёрдого ядра (партон), окружённого облаками мезонов. Следуя Швингеру [8], мы выбираем две различные величины магнитных зарядов, то есть $2f_0$ и f_0 и их противоположно заряженные контрпары. Поскольку элементарные частицы, как известно, магнитно нейтральны, мы рассматриваем следующие нейтральные композиции: мезонный состав ($f_0, -f_0$) и барионные составы с твёрдым ядром ($2f_0, -f_0, -f_0$) с противоположной конфигурацией для античастиц. Следуя нашей работе [1], рассмотрим эффекты ренормализации, обусловленные присутствию этих магнитных зарядов. Константа связи g_m , содержащая магнитные заряды, по аналогии со случаем электрических зарядов, может быть записана так (используя равенство II) :

$$g_m = \sqrt{\frac{f_0^2}{\hbar c}} = \sqrt{\frac{e^2}{\alpha^2 \hbar c}} = \frac{1}{\alpha^{1/2}} \quad (12)$$

Поскольку взаимодействие сверхсильное, это эквивалентно рассмотрению только членов самого низкого порядка. Для мезонов с двумя магнитными зарядами, мы можем иметь две вершины и для барионного ядра три вершины, то есть от трёх магнитных зарядов.

Таким образом, множитель ренормализации для мезонов есть:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha^{1/2}} \right)^2 = \frac{1}{2\alpha} ; \text{ число 2 есть весовой множи-}$$

тель. Сходным образом для барионного ядра с тремя вершинами имеем множитель $\left(\frac{1}{\alpha^{1/2}} \right)^3 = \frac{1}{\alpha^{3/2}}$

Тогда для мезонов и паргонов (твёрдое ядро бариона) ренормализованные частоты - могут быть заданы следующим образом:

$$\omega_m = \frac{1}{2\alpha} \omega_e \quad (13)$$

$$\omega_p = \frac{1}{\alpha^{3/2}} \omega_e \quad (14)$$

Как объяснено ранее^[1], для описания мезонов и барионов необходима релятивистская модель осциллятора.

Тогда для собственных масс мезонов имеем:

$$m(n_m) = \frac{\hbar \omega_e}{2\alpha} [n_m + 1] \quad (15)$$

Барионы состоят из паргонного твёрдого ядра и мезонных облаков, каждая компонента есть независимый осциллятор. Поэтому собственные массы барионов могут быть заданы следующим образом:

$$m(n_m, n_p) = \hbar \omega_e \left[\frac{(n_m + 1)^2}{2\alpha} + \frac{(n_p + 1)^2}{\alpha^{3/2}} \right] \quad (16)$$

Для паргонного ядра, находящегося в невозбуждённом состоянии, мы можем положить $n_p = 0$ и переписать (16) так:

$$m(n_M, n_g) = \hbar \omega_g \left[\frac{(n_M + 1)^2}{2\alpha} + \frac{n_g}{\alpha^{3/2}} \right], \quad (17)$$

с $n_g = 1$

для барионов и $n_g = 0$ для мезонов.

Настоящая модель адронов согласуется с моделью элементарных частиц Вижье [11].

В этой модели частицы рассматриваются как релятивистские капельки, имеющие шесть степеней свободы.

В настоящем случае мы можем предполагать существование квантованного вращения паргонного твёрдого ядра и мезонного облака, каждый из которых имеет различные центры масс. Это может дать возрастание числа степеней свободы до шести. Работы в этом направлении продолжаются.

Может быть отмечено, что мезонное облако держится у паргона с помощью сил сильного взаимодействия, которые много слабее, чем силы сверхсильного взаимодействия, действующие на паргоны. В предыдущем мы обсудили физические основы формулы, развитой ранее. Предыдущая статья даёт результаты расчётов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sivaram C. and Sinha K. P.
Current Science 1973, т.42, № 4.
2. Ross D. K., *Nuovo Cimento* 1972, 8A, 603.
3. L. Motz, *ibid* 1972, 42B, 329.
4. Rosen G., *Phys Rev* 1971, 4D, 275.
5. Reznere H., *Ann. der Phys.* 1916, 50, 106.

6. Nordström G., *Verhandl. Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap. Afdel. Natuurk*
1918, 20, 1238.
7. Dirac P.A.M. *Proc. Roy. Soc. (London) Sec. A*
1931, 133, 60.
8. Schwinger J. *Science* 1969, 165, 757.
9. Amaldi A., In "Old and new problems in elementary particles", Ed. G. Puppi, Acad. Press 1968
10. Wellner M., *Ann. Phys (New York)* 1972, 73, 180.
- II. Broglie L. "The Vignier theory of elementary particles",
1963. Elsevier.

6. (к § 8) Электродинамика Прока и "усталый свет".

Бирне И.К., Бурман Р.Р.

Proca's electrodynamics and "tired light", Acta

Phys. Sci. Ac. Hung. 1974, т.37, № 3.

(письмо в редакцию)

В статье, посвящённой интерпретации космологических красных смещений с помощью гипотезы "усталого света", Юргроу и Вудвор [1] приходят к выводу, что при справедливости гипотезы "усталого света" свет распространяется согласно уравнениям Прока. Они пришли к этому выводу путём сравнения множителей, описывающих экспоненциальный распад с расстоянием, возникающий в гипотезе "усталого света", со сходными отношениями в электродинамике Прока. Но форм-факторы относятся к волновым полям, в то время как последние множители относятся к статическим полям. В соответствии с гипотезами "усталого света" электромагнитные волны в свободном пространстве подвержены экспоненциальному уменьшению частоты с расстоянием. Но уравнения Прока имеют решения, соответствующие электромагнитным волнам фиксированной частоты [2], так же как в уравнениях Максвелла. Особенности, вводимые уравнениями Прока при рассмотрении свободного распространения электромагнитных волн в пространстве, которые не включают в себя уравнения Максвелла, есть дисперсия электромагнитных волн и существование продольных электрических волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Younggram and J. F. Woodward, *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*
т.30, 323, 1971.
2. A. S. Goldhaber and M. M. Nieto, *Rev. Mod. Phys.*
т.43, 277 (1971).

"Усталый свет", лоренцовская ковариантность и принципы сохранения. W. Younggram, J. F. Woodward

"Tired light, Lorentz covariance, and conservation principles."

Acta Phys. Acad. Sci. Hung. 1974, 37, № 3, 283-285.

Бирне и Бурман исходят из того, что решения уравнений Прока дают волны, которые свободно распространяются с постоянной частотой, и, следовательно, несовместимы с гипотезой "усталого света", ранее обсуждаемой нами [1, 2]. Их утверждение корректно, и наше предположение, что волны, распространяющиеся с уменьшением частоты как функции времени (или расстояния) есть решения уравнений Прока в Лоренцовской калибровке, было ошибочным.

Нельзя, однако, утверждать, что уравнения Прока не имеют решений, соответствующих "усталому свету", или что эта гипотеза с необходимостью нарушает Лоренцовскую ковариантность. Это может быть проиллюстрировано следующим образом.

Рассмотрим уравнение Клейна-Гордона для массивного нейтрального поля векторного бозона:

$$(\square + \mu^2) \psi_\alpha = \frac{4\pi}{c} j_\alpha \quad (I)$$

где: $\square$ - оператор Даламбера,

μ - остаточная масса переносимой частицы и

J_α - источника компонент поля ψ_α .

Это уравнение эквивалентно уравнению Прока для свободного поля:

$$(\square + \mu^2) \psi_\alpha = 0 \quad (2)$$

Стандартные решения уравнения (2) будут:

$$\psi_\alpha = (\psi_\alpha)_0 \exp i \varphi_\alpha \quad (3)$$

где: $(\psi_\alpha)_0$ - есть константа,

φ_α - есть для данного момента времени произвольная (вектор) функция компонент четыре вектора x_α .

Найдём φ_α так, чтобы уравнение (3) было решением уравнения (2). Уравнение (3) после подстановки в него уравнения (2) и преобразований даёт:

$$\mu^2 = \left(\frac{\partial \varphi_\alpha}{\partial x_\alpha} \right)^2 - i \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left(\frac{\partial \varphi_\alpha}{\partial x_\alpha} \right) \quad (4)$$

Если уравнение (4) выполняется, уравнение (3) может быть решением уравнения (2) и будет Лоренцовски ковариантным, поскольку реальная часть уравнения (4) есть скаляр.

Уравнение (4) тогда можно записать:

$$\mu^2 = \left(\frac{d\varphi}{dx_j} \right)^2 + \frac{1}{c^2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - i \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_j^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) \quad (5)$$

где подразумевается суммирование по j .

Для Лоренцовской калибровки мы имеем:

$$\varphi_j = \omega \left(t - \frac{x_j}{c} \right) \quad (6)$$

В этом случае ω не зависит от x_α для данной частоты и $c = f(\omega, \mu)$, где μ не зависит от x_α . Ясно, что это решение не согласуется с гипотезами "усталого света". Следовательно, или уравнение Клейна-Гордона или Лоренцовское калибровочное условие должно быть оставлено, если свет устаёт в процессе распространения.

Так как из этих альтернатив исключение калибровочного условия кажется нам наименее неприятным, мы продолжим построение решений уравнений (2) "усталого света" на этой основе. Предположим в согласии с гипотезой "усталого света", что решения уравнения (2) заданы в форме уравнения (3), но

$$\varphi_i = \omega_0 e^{-\beta x} f \left(t - \frac{x_i}{c} \right) \quad (7)$$

где: ω_0 — константа,

c — скорость распространения поля и

β — ранг поля (расстояние, на котором величина массы покоя фотона уменьшается в e раз от своей первоначальной величины).

Здесь необходимо отметить, что в общем Лоренцовская ковариантность уравнений поля может быть потеряна, если настаивать на решениях класса уравнения (7). Это следствие того факта, что константа " c " (которая встречается в уравне-

нии Делаμβера может зависеть не только от ω , но и от x_i . Этой ситуации можно избежать требованием, чтобы константа "С" не зависела как от ω , так и от x . При этом условии уравнение (7) может быть решением уравнения (2), если удовлетворяется "вынужденное" уравнение (5), которое теперь имеет вид:

$$\mu^2 = \omega_0 e^{-\beta x_i} \int \left\{ \left[\left(t - \frac{x_i}{c} \right) + \frac{1}{c\beta} \right]^2 + \frac{1}{\beta^2 c^2} \right\} - \\ - i \omega_0 \beta^2 e^{-\beta x} \int \left(t - \frac{x_i}{c} \right) \quad (8)$$

Такие решения Лоренц - ковариантны (при "С" постоянном), и гипотеза "усталого света" поддается утвердительной формулировке.

Сохранение Лоренцовского калибровочного условия, составляющего существо построения Лоренцовской ковариантности, приводит к тому, что решения уравнения (2), соответствующие "усталому свету", дают рост, то есть предсказывают курьёзное и тревожное явление. Это приводит к тому, что уравнение непрерывности более не удовлетворяет или свободному полю или источникам.

Полученное несохранение энергии и заряда, по нашему мнению, неприемлемо по концепциально-метафизическим соображениям, как включающие в себя возникновение или уничтожение энергии и заряда.

Если отказаться от этого предположения, желая сохранить при этом гипотезу "усталого света", неизбежно появляется, как мы уже предполагали [2], гипотеза "непрерывной пе-

рестройки". Но гипотеза "непрерывной перестройки" тоже имеет нежелательные свойства. Например, в ней безоговорочно предполагается, что заряд может переноситься полем в сжатом, непосредственно ненаблюдаемом, состоянии, и поэтому едва ли неправдоподобный механизм, известный как "перестройка", может иметь место. Это, с нашей точки зрения, строго говоря, наиболее непреемлемые характеристики действия на расстоянии. Тем не менее, повторные попытки открыть гипотетическую потерянную массу в последние годы потерпели неудачу.

В этом случае, возможно, вопреки её неизвестным волнующим особенностям, гипотезу "усталого света" следует исследовать посредством эксперимента, сходного с тем, что мы описывали [2] .

Хотя гипотеза может быть концептуально неприятна, кажется реальным решение в дилемме наименьшей потерянной массы. Кроме того, несхожие эксперименты подразумевают открытие потерянной массы. Это может привести к прямой лабораторной фальсификации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. J. C. Byrne and R. R. Bulman, *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*
т.37, 281, 1974.
2. W. Younggram and J. F. Woodward, *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*
т.30, 323, 1971.

7. (к § 10) Замечания об общих принципах Эйнштейновской теории гравитации. В.Фок *Remarks on the general principles of Einstein's gravitation theory*
Contemporary Phys., Trieste Simpos.
1969, 511-513.

РЕЗЮМЕ

Автор обсуждает некоторые из двухсмысленностей, которые возникают при обсуждении ОТО, и комментирует некоторые из терминов.

Когда обсуждаются общие принципы Эйнштейновской теории гравитации, очень часто появляется конфуз, от недостаточного определения некоторых важных понятий, подобных понятию "относительности" или "принципа относительности", или "принципа эквивалентности" и других понятий.

Сделать понятие недвусмысленным, значит определить условия, при которых оно применяется. Теория Эйнштейна есть теория пространства и времени. Поэтому она должна прежде всего определить пространственную область, к которой относится проблема. Эта область не может быть полной физической вселенной: то, что человек может изучить, есть постоянно только некоторая часть её. Термин "вселенная", так часто используемый в космологических рассмотрениях, есть только технический термин, введённый для определения не-которого вида граничных условий (Фридмановская вселенная, Вселенная Саттера и т.д.). Граничные условия выражаются в виде гипотез, касающихся асимптотического поведения гравитации.

тационного потенциала. В самом простейшем случае Вселенная (в техническом смысле) есть система массивных тел, подобно солнечной системе, погруженных в бесконечное пространство, которое на бесконечности представляет собой Эвклидово пространство, такое, что четырёхразмерная метрика на бесконечности есть псевдо-эвклидова. В этом случае пространство и время однородны на бесконечности, и физический принцип относительности остаётся по существу тем же самым как и принцип относительности Галлилея. В подходящей системе координат эти принципы выражаются с помощью преобразований Лоренца. Таким образом, несмотря на тот факт, что пространство неоднородно вблизи масс, оно однородно на бесконечности. Подходящей системой координат, упомянутой выше, есть гармонические координаты.

Факт, что принцип относительности выражается в терминах линейной трансформации гармонических координат, делает их положение исключительным.

Чтобы быть корректным, я должен объяснить более точным образом, что я подразумеваю под физическим принципом относительности. Я рассматриваю этот термин в смысле, определённом Галлилеем, который рассматривал идентичные физические процессы в двух кораблях, находящихся в равномерном относительном движении (или в корабле, первоначально стоящем у берега и потом равномернодвигающемся относительно берега). На математическом языке мы можем сказать, что два процесса (или два явления) идентичны, если они описываются

функциями той же самой математической формы. Если два процесса в двух системах отсчёта идентичны в вышеупомянутом смысле, математический переход от одной системы отсчёта к другой должен сопровождаться соответствующей корректировкой физических условий.

Если и только если такая адаптация физических условий к преобразованию координат возможна, можно сказать, что принцип относительности соответствует этому преобразованию. Мы видим, что концепция физической относительности связана с математическим понятием инвариантности скорее, чем с понятием ковариантности. Физическая относительность включает в себя специфические физические условия (подобно однородности пространства — времени на бесконечности) и невозможна в общем случае Римановского пространства — времени. Если использовать слово относительность в этом физическом значении, тогда общая относительность не может существовать.

Когда Эйнштейн говорит "общая относительность" он изменяет первоначальное (Галлилеевское) значение слова "относительность". Оно означает в его (эйнштейновском) смысле скорее ковариантность уравнений, которое есть чисто формальное требование и не выражает какого-либо физического факта или физического закона. Это было указано Кречманом ещё в 1917 году. Мы пытаемся анализировать понятие относительность и приходим к выводу, что физическая относительность существует в пространстве — времени, которые псевдо-евклидовы на бесконечности. Это есть идеализация реального

пространства — времени, которые может быть применимо к таким объектам как солнечная система, или, возможно, Галактика. В определённом смысле, эта модель пространства — времени есть локальная модель.

Рассмотрим теперь Эйнштейновский принцип эквивалентности. Ясно, что этот принцип чисто локальный.

Возможность компенсации гравитационного поля полем ускорения существует только для малой области пространства (скажем, внутри ракеты).

Противоположный пример, невозможно удалить гравитационное поле вокруг земного шара. Ответ на вопрос, правилен ли принцип эквивалентности, зависит от положения системы. Он верен локально (и это связано с эквивалентностью инерционной и гравитационной масс), но не может рассматриваться как общий принцип, позволяющий построение ^екоторой чисто кинематической теории гравитации (Эйнштейновская теория есть по существу кинематическая).

Принципы относительности и эквивалентности, несмотря на их эвристическое значение и большую роль, которую они играют в аргументации Эйнштейна, с логической точки зрения, не являются истинными основами гравитационной теории Эйнштейна. Что является истинными принципами этой теории?

Поскольку мы знаем её полную формулировку, не трудно ответить на этот вопрос. Первая основная идея теории есть объединение пространства и времени в единое четырёх-мерное многообразие с неопределённой метрикой. Это объединение связано с законом

распространения какого-либо действия с предельной скоростью (и, следовательно, с причинной обусловленностью событий в пространстве и времени). Единое пространственно-временное многообразие рассматривается также в обычной (так называемой специальной) теории относительности, но в гравитационной теории вводится более общая метрика (Риманова метрика). Вторая основная идея теории есть предположение, что физические процессы могут влиять на метрику и установление на этой основе единства между метрикой и гравитацией. Формально это единство выражается в факте, что компоненты метрического тензора есть в то же самое время гравитационные потенциалы. Идея, что пространство не обязательно жесткое, впервые выражена Риманом. Но только Эйнштейн построил физическую теорию на этой основе.

Эйнштейн сам отлично понимал важность двух идей, подчеркнутых выше, но в то же самое время он не прекращал рассматривать свою теорию как выражение того, что он называл "общим принципом относительности" и "принципом эквивалентности". Он постоянно приписывал физическое значение общей ковариантности уравнений и не соглашался с фактом, что общий принцип относительности есть или бессодержательный (если относительность понимается как просто ковариантность), или неверен (если относительность понимается как физическая относительность).

Я должен в виде заключения подчеркнуть моё большое восхищение Эйнштейновским вкладом в физику, и особенно его удивительной гравитационной теорией. Это восхищение не несоместимо с замечанием, что Эйнштейн ошибался, когда создавал новое.

8. (к § 10) Новые идеи о пространстве и времени.

P. A. M. Dirac

"Naturwissenschaften" 60 № 12 1973

(Госуниверситет. Флорида США)

РЕЗЮМЕ

Имеются основания предполагать, что гравитационная константа, выраженная в терминах атомных единиц, не есть точно постоянная, но медленно изменяется с возрастом Вселенной.

Это требует модификации Эйнштейновской теории гравитации.

Можно предположить, что элемент расстояния, фигурирующий в Эйнштейновской теории, не есть тот же самый, что измеренный атомным прибором. Появляется возможность возродить геометрию Вейля, обобщением которой пользовался Эйнштейн, принимая во внимание электромагнитное поле.

Нет точной симметрии между положительным и отрицательным электрическими зарядами или между прошедшим и будущим.

Стандартные физические идеи о пространстве и времени основаны на Эйнштейновской теории относительности. Специальная теория относительности требует от нас смотреть на пространство и время как на четырёхмерный континуум, но с геометрией, отличающейся от Евклидовой, называемой геометрией Минковского. Эйнштейновская общая теория требует физического пространства, имеющего кривизну подобно искривлённым пространствам, рассмотренным Риманом в прошлом веке. Такое пространство может быть изображено как искривлённая поверхность с четырьмя измерениями в гладком пространстве

с большим числом измерений. Кривизна, как казалось, очень хорошо объясняет гравитационное поле.

Несколько десятилетий физики разделяли этот взгляд на пространство и время и использовали его как основу для интерпретации всех физических явлений. Тем не менее есть теперь основания подозревать, что этот взгляд может измениться. Из естественных констант можно построить некоторые безразмерные числа, важным из них является, например, $\frac{hc}{e^2}$, которое равно приблизительно 137, и отношение массы протона к массе электрона, равное приблизительно 1840. Нет никаких объяснений по поводу этих цифр, но физики верят, что с возрастанием знаний объяснение может быть найдено в один прекрасный день.

Другое безразмерное число получается из отношения электрических сил, действующих между электроном и протоном, к гравитационным, а именно $\frac{e^2}{64\pi m}$. Это число имеет величину около $2 \cdot 10^{39}$ и совершенно другого порядка, чем предыдущие. Удивительно, как это может быть объяснено. Из разбегания спиральных туманностей получается возраст Вселенной около $2 \cdot 10^{10}$ лет. Если его (возраст Вселенной) выразить в терминах некоторых атомных единиц, например, в $\frac{e^2}{m \cdot c^3}$, получается число $7 \cdot 10^{39}$, которое сравнимо с предыдущим большим числом. Твёрдо верят, что это просто совпадение. Однако можно подозревать, что существует некоторая связь между двумя числами, которая может получить объяснение, когда мы будем больше знать о космологии и атомной теории. Можно построить общие гипотезы, кото-

рые мы можем назвать "гипотезами больших чисел", суть их в том, что все безразмерные числа такого порядка оказываются в природе связанными. Одно из этих больших чисел есть эпоха t , отсчитанная от времени сотворения мира и оно возрастает с течением времени. Гипотезы больших чисел требуют, чтобы все числа возрастали пропорционально эпохе так, чтобы сохранилась связь между ними. Отсюда можно заключить, что гравитационная константа G , измеренная в атомных единицах, должна уменьшаться пропорционально t^{-1} . Эйнштейновская теория гравитации требует, чтобы G было бы постоянным; в действительности при подходящем выборе единиц измерения она равна единице. Таким образом Эйнштейновская теория гравитации несовместима с Гипотезой больших чисел. Гипотеза больших чисел есть предположение, но не установленный факт. Это может быть установлено только прямым наблюдением изменения G . Эффект не настолько мал, чтобы лежать за пределами возможностей современной техники. Измерения Шапиро (1968) расстояния до планет с помощью радара экстремально точны, и если G реально изменяется, то это должны показать его измерения через несколько лет. Мы будем предполагать, что "гипотезы больших чисел" верны, и вопрос может состоять только в том, как модифицировать Эйнштейновскую теорию в согласии с ними. Простой путь достижения примирения заключается в предположении, что в эйнштейновских уравнениях, отнесённых к интервалу ds_E , связывающему две соседние точки, интервал ds_E есть не то же самое, что интервал ds_A , измеренный атомным аппаратом. При

таком переменном отношении ds_E к ds_A , изменяющемся с эпохой, мы получим G , изменяющимся с эпохой. Если отношение достаточно близко к постоянной, модификация Эйнштейновской теории будет очень мала.

Так как измерения обычно делаются физиками в лабораториях, использующими аппаратуру, которая фиксирует атомные свойства материи, то измерения могут относиться только к метрике ds_A .

Метрика ds_E не может быть измерена непосредственно, но она обнаруживает себя через своё влияние на уравнения движения. Она составляет основу любой динамической теории, будь то точно Эйнштейновское или Ньютоновское приближения. Отношение двух метрик обнаруживается при радарном наблюдении планет. При этих измерениях расстояние, которое определяется уравнениями движения, измеряется атомной аппаратурой. Рассмотрим отношение между двумя ds . Мы должны опираться прежде всего на гипотезы больших чисел. Возьмём ещё одно большое безразмерное число — полное число нуклонов во Вселенной. Если Вселенная бесконечна, мы заменим его на полное число нуклонов в части Вселенной, которая удаляется от нас со скоростью, меньшей $1/2 c$. Это число есть скорее неопределённое, так как мы не знаем, как много имеется невидимой материи. Предположительно, количество невидимой материи не на много больше, чем видимой.

Мы имеем в виду число около 10^{78} . По гипотезе больших чисел оно должно изменяться пропорционально t^2 . Это значит, что непрерывно образуются протоны и нейтроны. Возни-

кает вопрос: где они образуются; насчёт этого можно сделать различные предположения.

"А". Материя образуется однородно вдоль пространства, следовательно главным образом в межгалактическом пространстве.

"В". Материя образуется там, где она постоянно существует, пропорционально количеству, существующему сейчас.

"С". Материя образуется в особых местах, например, в центрах галактик.

Я не знаю, какое предположение предпочесть.

Во всяком случае образование материи есть новый физический процесс, не объяснимый в терминах какого-либо из известных процессов. Эффект слишком мал, чтобы его можно было обнаружить, исключая возможно случай "В". Это предположение должно означать, что вся материя умножается, включая материю Земли. Однако, это довольно трудно понять, как материал в очень старых горных породах может умножаться без нарушения её кристаллической структуры. Вернёмся к соотношению между ds_E и ds_A . Возьмём пример движения Земли вокруг Солнца. Согласно Ньютону основная формула

$$GM = V^2 r$$

где M есть масса Солнца, r — радиус Земной орбиты,

V — орбитальная скорость Земли. Формула должна быть справедливой как в Эйнштейновских, так и в атомных единицах.

В Эйнштейновских единицах все величины постоянны. В атомных единицах они могут изменяться со временем. Запишем тогда формулу так:

$$G_A M_A = V_A^2 r_A$$

Скорость V_A есть определённая часть скорости света, та же самая часть, что и в Эйнштейновских единицах, и равна постоянной. Мы уже видели, что G_A пропорционально t^{-1} . При предположении А или С, M_A постоянная и κ_A пропорционально t^{-1} . В предположении "В" G_A пропорциональна t^2 и κ_A пропорционален t . Таким образом, в предположении "А" или "С" Земля приближается к Солнцу и следовательно солнечная система сжимается.

В случае "В" Земля удаляется от Солнца и следовательно солнечная система расширяется. Эти эффекты космологические и налагаются на другие эффекты, происходящие от известных физических причин. Наблюдения Шапиро должны показать их. Отношения между ds_E и ds_A есть теперь:

$$ds_E = t ds_A \quad (\text{для А или С})$$

$$ds_E = t' ds_A \quad (\text{для В}).$$

Если принять, что Эйнштейновское ds есть не то же самое, что атомное ds , разумно делать дальнейшие шаги в наших идеях о пространстве.

Электромагнитное поле очень сходно с гравитационным полем. Они оба ведут к силам, обратно пропорциональным квадрату расстояния. Это позволяет верить, что электромагнитное поле должно быть объяснено как свойство пространства, вместо того чтобы быть только некоторым образом вставленным в пространство. Можно ожидать тогда, что физическое пространство имеет более общую геометрию, чем Римановская геометрия Эйнштейновской теории, сводящую как гравитационное, так и электромагнитное поля к единому виду.

Такая геометрия была предложена Вейлем вскоре после появления Эйнштейновской теории. Основное предположение Вейля может быть легко объяснено в терминах идеи параллельного смещения. Если задан вектор, локализованный в определённой точке, можно предположить его смещение неизменным в соседнюю точку параллельно самому себе. Можно непрерывно смещать его вдоль траектории. Можно выбрать траекторию замкнутой петлёй так, что вектор возвратится в ту же точку, из которой вышел. Если пространство искривлено, конечное направление вектора может не быть тем же самым, как начальное направление. Для Риманова пространства, которое может быть изображено, как искривлённое пространство, помещённое в гладкое пространство большого числа измерений, длина вектора не может измениться, если он описал замкнутую петлю. Вейль предложил более общее пространство, в котором длина вектора так же изменяется, как и его направление. Такое обобщение очень естественно для математика. Тем не менее оно невозможно для физического пространства, если длины векторов опираются на атомные стандарты. Тогда длина не может измениться, если вектор смещён.

По этой причине геометрия Вейля не была принята физиками, и Вейль сам оставил её; спустя несколько лет, ситуация отличается, если принять во внимание два стандарта для измерений длины ds_A и ds_E . При параллельном смещении длина вектора, отнесённого к ds_A , не может измениться. Но может быть, что отношение между ds_E и ds_A не так точно, как даётся вышеприведенными формулами, и

что длина, отнесённая к ds_E , изменяется. Тогда, возможно, геометрия Вейля применима к ds_E . Если работать с геометрией Вейля, то нельзя говорить о длине вектора без введения искусственного стандарта длины в каждой точке и отношения длины вектора к искусственному стандарту длины в точке, где вектор определён. Если вектор смещается при параллельном смещении на dx' , его длина " l " может измениться на:

$$dl = l x_r dx'$$

где x_r - некоторые коэффициенты.

Если искусственный стандарт длины изменяется на множитель λ , тогда легко проверить, что x_r изменяется согласно равенству:

$$x_r \longrightarrow x_r + \frac{\partial (\log \lambda)}{\partial x'}$$

Эта трансформация x_r не должна иметь физического значения.

Это даже необходимо в порядке применения идентификации с электромагнитным потенциалом. Геометрия теперь описывается $g_{\mu\nu}$ Эйнштейновской теории совместно с x_r , определяющим гравитационные и электромагнитные поля в унифицированной схеме.

Интерпретация Вейлем электромагнитного поля, как влияние геометрии пространства, а не только погружения в Риманово пространство, имеет замечательное следствие - нарушение симметрии. Рассмотрим заряженную частицу и возьмём полевою точку P , лежащую на её мировой линии. Для упрощения предположим, что координаты системы выбраны так, что частица в данное мгновение покоится. Теперь возьмём элемент длины l

в точке P и предположим, что он подвергается смещению с помощью параллельного переноса в будущее на величину dx^0 . Из фундаментальной формулы следует, что он (ℓ) может измениться на:

$$\delta \ell = \ell \mathcal{A}_0 dx^0$$

где $\mathcal{A}_0$ — составляет, главным образом, Кулоновский потенциал, создаваемый заряженной частицей. Предположим, что знак заряда такой, что " ℓ " возрастает, когда его смещают в будущее. В случае противоположного знака заряда " ℓ " будет уменьшаться. В этом случае не имеется симметрии между количественным возрастанием и количественным уменьшением. Следовательно, нет симметрии между положительными и отрицательными зарядами. Если " ℓ " возрастает, тогда он смещается в будущее, если уменьшается то в прошлое. Таким образом, нет симметрии между будущим и прошлым. Но если изменяется знак заряда и меняются местами будущее и прошлое, то мы возвращаемся к первоначальной ситуации.

Атомная физика вводит оператор P для изменения чётности, C — для зарядового сопряжения и T — для изменения знака времени. В элементарных теориях все эти симметрии сохраняются. Настоящая теория не приводит к какому-либо нарушению P симметрии. Тем не менее она нарушает C и T симметрии, в то же время сохраняя произведение CT . Экспериментально все три симметрии обнаруживают нарушение, но произведение PCT сохраняется во всех известных случаях. Можно видеть, что нарушение P симметрии должно приписываться атомным силам, действующим на коротких расстояниях. Между тем, нарушение C и T с сохранением CT

обусловлено силами, действующими на длинных дистанциях;
это находится в согласии с геометрией Вейля. Теперь должно
быть видно, что эти нарушения симметрии происходят из вза-
имодействия гравитационных и электромагнитных полей.
Эффект должен быть мал, так как гравитационные эффекты
всегда малы в атомных масштабах.