СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р2-96-143

В.Н.Стрельцов

К ВОПРОСУ ОБ АНТИГРАВИТАЦИИ

1996

Введение. Недавно на основе представления античастиц как объектов с отрицательной энергией, движущихся вспять во времени, было высказано соображение об их отрицательной массе [1]. Как выяснилось, значительно раньше эта идея уже обсуждалась Реками [2]. Напомним, что указанное представление известно как интерпретация античастиц Штюкельберга — Фейнмана [3,4] и, по существу, опирается на условие инвариантности физических законов относительно 4-инверсии. Так, в результате отражения времени мы действительно имеем движение объектов с отрицательной энергией назад во времени. Вместе с тем, ввиду нашей принадлежности макромиру с его «стрелой времени» (и ненаблюдаемости отрицательной энергии), мы будем воспринимать это явление «реинтерпретированным»*. При этом, согласно процедуре реинтерпретации [2,5], меняются местами начальное и конечное состояния, что приводит к изменению знаков энергии, импульса, зарядов: электрического, барионного и, в частности, «гравитационного», т.е. массы, и т.п.

Знак лоренц-фактора и отрицательная масса. Как мы знаем, античастицы были введены Дираком [6] как следствие открытого им уравнения. При этом античастицам было приписано отрицательное значение энергии в соответствии с формулой

$$E = \pm\sqrt{m^2c^4 + \mathbf{p}^2c^2}. \qquad (1)$$

В частности, эта формула получается в результате подстановки в уравнение Дирака волновой функции плоской волны**

$$\psi_p = u_p e^{-ipx}, \qquad (2)$$

где $\hbar = 1$, $px = p^0x^0 - \mathbf{px}$, $p^i = (E/c, \mathbf{p})$ — 4-вектор энергии-импульса. При этом

$$p^i = mu^i, \qquad (3)$$

*Подобно тому как переворачивается (реинтерпретируется) видимое глазом изображение предмета.

**Как результат условия существования нетривиального решения системы уравнений.

где $u^i = dx^i/d\tau$ — 4-скорость, τ/c — собственное время. Именно на основании (3) для квадрата 4-импульса имеем

$$p^2 = E^2/c^2 - \mathbf{p}^2 = m^2c^2, \tag{4}$$

откуда фактически и следует соотношение (1).

Здесь мы, однако, хотим обратить внимание на то, что уже из выражения для квадрата интервала имеем

$$d\tau^2 = c^2dt^2 - d\mathbf{x}^2 = (dx^0)^2(1 - \beta^2). \tag{5}$$

Отсюда, например, для временной компоненты 4-скорости найдем

$$u^0 = \pm(1 - \beta^2)^{-1/2} = \pm\gamma. \tag{6}$$

Таким образом, два знака возникают уже при релятивистском обобщении понятий импульса и энергии, т.е. при введении 4-вектора энергии-импульса, или, иначе говоря, еще до применения четырехмерного подхода к квантовой механике.

Плоская волна и античастицы. В стандартном представлении дираковского биспинора ψ для его спинорных компонент φ и χ имеем

$$\hat{p}^0\varphi - \hat{\mathbf{p}}\hat{\sigma}\chi = mc\varphi, \quad -\hat{p}^0\chi + \hat{\mathbf{p}}\hat{\sigma}\varphi = mc\chi, \tag{7}$$

где $\hat{p}^k = (i\partial/\partial ct, -i\nabla)$, σ — совокупность трех матриц Паули. Для свободной частицы, описываемой плоской волной (2), получим

$$(E - mc^2)\varphi - \mathbf{p}\sigma c\chi = 0, \quad (E + mc^2)\chi - \mathbf{p}\sigma c\varphi = 0. \tag{8}$$

Обращаем внимание, что здесь скалярное произведение 4-импульса и «матричного 4-вектора» γ^i дает величину, имеющую размерность импульса. Очевидно, что в случае очень малых скоростей, когда $E \approx mc^2$, имеем $\chi \ll \varphi$, т.е. в нерелятивистском пределе ($v \to 0$) две χ-компоненты биспинора обращаются в нуль. В соответствии с нашим подходом для античастиц в системе покоя $E = -mc^2$, т.е. в нуль обращается φ. Тем самым χ по-прежнему описывает античастицы. Впрочем, с самого начала вместо (1), казалось бы, логичнее было исходить из уравнения

$$mc = \pm\sqrt{(E/c)^2 - \mathbf{p}^2} \tag{1'}$$

как квадратного корня из скалярного произведения.

О $C^{-1}PT$-теореме. В рамках обсуждаемого подхода в результате 4-инверсии $R = PT$, где P — пространственная инверсия, а T — обращение времени, мы переходим к античастицам, обладающим противоположным зарядом. Под термином «заряд» понимают любой аддитивный заряд, аналогичный электрическому, барионному и т.п. зарядам. Этот переход, следуя Людерсу, называют «сопряжением частица — античастица», или зарядовым сопряжением C. Математически это можно условно представить в виде

$$PT = C, \text{ или } C^{-1}PT = 1. \tag{9}$$

Здесь можно рассуждать и несколько иначе. В результате R-операции мы перешли к античастицам. Чтобы вернуться в исходное состояние, мы должны совершить «сопряжение античастица — частица», т.е. C^{-1}-операцию.

Как видно, последняя формула очень напоминает известную CPT-теорему [7—9]. Остановимся теперь на некоторых очень существенных неточностях, которые обычно допускаются при доказательстве этой теоремы. Начнем с известного утверждения, что энергия не меняет знак при инверсии времени (см., например, [7]). Это утверждение еще как-то можно понять, если иметь в виду нерелятивистскую формулу для кинетической энергии $E_k = mv^2/2$. Однако в квантовой механике согласно формуле де Бройля изменение знака времени (частоты) с необходимостью ведет к изменению знака энергии.

Приведем еще одно очень характерное высказывание: «Инверсия меняет знак вектора импульса **p**, но его знак меняется также при обращении времени (меняется на обратное направление скорости частицы). Поэтому совместное воздействие преобразований P и T оставляет импульс частиц неизменным...» [10].

Согласно представленным утверждениям получается, что, например, фаза плоской волны $\alpha = px$, т.е. лоренцев скаляр, меняет знак как при T-, так и при R-операциях. Но скаляр (инвариант) по определению не должен менять знак при P- и T-операциях, что прямо видно из выражения для другого, «координатного скаляра»:

$$s = c^2t^2 - \mathbf{x}^2. \tag{10}$$

Заключение. Ранее на основании трактовки Штюкельберга — Фейнмана античастиц как объектов с отрицательной энергией, движущихся вспять во времени, и применения принципа реинтерпретации мы пришли к заключению, что античастицам следует скорее всего приписывать отрицательную массу. К этому же выводу ведет и учет второго (отрицательного) знака у лоренц-фактора, который обычно игнорируется. Обсуждаемый подход вполне согласуется с трактовкой уравнения Дирака.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-96-37, Dubna, 1996.
2. Recami E. — In: Astrofisica a Cosmologia Gravitazione Quanti e Relativita, Ginnti Barbera, Firenze, 1979, p.53.
3. Stückelberg E.C.G. — Helv. Phys. Acta, 1941, vol.14, pp.322, 588.
4. Feynman R. — Phys. Rev., 1949, vol.76, pp.749, 769.
5. Strel'tsov V.N. — Phys. Essays, 1992, vol.5, p.201.
6. Dirac P.A.M. — Proc. Roy. Soc., 1931, vol.133A, p.60.
7. Schwinger J. — Phys. Rev., 1951, vol.82, p.914.
8. Lüders G. — Kgl. Danske Vidensk. Selsk., Mat.-fis. Medd., 1954, vol.28, No.5.
9. Pauli W. — In: Niels Bohr and the Development of Physics, Pergamon Press, London, 1955, p.30.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. — Квантовая механика. М.: Наука, 1972, с.315.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 апреля 1996 года.