

Рассмотрим сохраняющийся антисимметричный тензор $M^{\mu\nu} = -M^{\nu\mu}$. Для выяснения его физического смысла вычислим сначала его пространственные компоненты

$$M^{ik} = \frac{1}{c} \int V M^{0ik} dV. \quad (95.32)$$

Замечая, что $\varepsilon_{ikj} M^{0kj} / (2c) = [\mathbf{r}\mathbf{g}]_i$, где \mathbf{g} — плотность импульса электромагнитного поля, имеем

$$M_i = \frac{1}{2} \varepsilon_{ikj} M^{kj} = \int [\mathbf{r}\mathbf{g}]_i dV, \quad (95.33)$$

т. е. M — вектор момента импульса электромагнитного поля.

Что касается M^{0i} , то, вводя радиус-вектор центра масс электромагнитного поля

$$R^i = \frac{1}{c\mathcal{P}^0} \int x^i \Theta^{00} dV, \quad (95.34)$$

с учетом (95.20) получаем

$$M^{0i} = \frac{1}{c} \int (x^0 \Theta^{0i} - x^i \Theta^{00}) dV = x^0 \mathcal{P}^i - R^i \mathcal{P}^0. \quad (95.35)$$

Дифференцируя (95.35) по времени, находим

$$dR^i/dt = c\mathcal{P}^i/\mathcal{P}^0 \equiv u^i, \quad (95.36)$$

т. е. сохранение величин M^{0i} выражает не что иное, как закон равномерного поступательного движения центра масс электромагнитного поля.

Сохраняющийся антисимметричный тензор M обычно называют *релятивистским тензором момента импульса* полевой системы, а соответствующий тензор третьего ранга $M^{\lambda\mu\nu}$ — *релятивистским тензором плотности момента импульса*.

Возвращаясь к фундаментальной теореме Нетер, лежащей в основе вариационной формулировки законов сохранения, можно сказать, что сохранение 4-импульса \mathcal{P} является следствием инвариантности действия относительно 4-сдвигов, а сохранение релятивистского момента импульса M — следствием инвариантности действия относительно 4-поворотов, включающих в себя как пространственные повороты, так и собственные преобразования Лоренца.

§ 96. ТАХИОНЫ

Как отмечалось в § 68, гипотеза о существовании частиц, движущихся со сверхсветовой скоростью, физически приемлема и не противоречит теореме Эйнштейна о предельности скорости сигнализации, если отказаться от одного привычного представления. Имеется в виду представление о возможности создания эмиттера, испускающего сверхсветовую частицу в заранее обусловленный момент времени из заданной пространственной области, и абсорбера (детектора), регистрирующего поглощение такой частицы в определенной пространственной области. Иначе говоря, сверхсветовые частицы физически допустимы как точечные объекты, удовлетворяющие *принципу переключения*, согласно которому абсорбер становится эмиттером, а эмиттер — абсорбером при переходе к системе отсчета, в которой изменяется последовательность момента поглощения и испускания в пространственно разбросанных точках.

На возможность существования сверхсветовых частиц было обращено внимание* в 1960 г. Впоследствии (1967 г.) американским физиком *Дж. Фейнбергом* эти частицы были названы *таххионами*. Соответственно обычные, досветовые,

* См.: *Терлецкий Я. П.* Принцип причинности и второе начало термодинамики // Докл. АН СССР, 1960. Т. 133. С. 329.

частицы называют *брадионами*, а частицы, движущиеся со скоростью света, — *люксонами*.

Если тахион, как и всякая реальная физическая частица, имеет импульс \mathbf{P} , энергию E и собственную массу M , причем, согласно (84.13) и (84.15),

$$\mathbf{P} = E\mathbf{u}/c^2, \quad M^2 c^2 = (E/c^2)^2 - \mathbf{P}^2,$$

то

$$M^2 = (E/c^2)^2 (1 - u^2/c^2) < 0, \quad (96.1)$$

так как для тахиона $u > c$. Иначе говоря, собственная масса тахиона — не действительная, а *мнимая* величина. Последнее очевидно также из определения 4-импульса (84.6), так как компоненты U^μ при $u > c$ суть мнимые величины, и поэтому при действительных \mathcal{P}^μ собственная масса M должна быть мнимой.

Мнимость собственной массы тахиона не представляется чем-то более удивительным, чем мнимость пространственноподобного интервала. Для тахиона собственная масса M уже не имеет смысла массы покоя, так как эта частица во всех реальных системах отсчета имеет сверхсветовую скорость (см. § 76), т. е. не может не двигаться. Поэтому интуитивно наглядные представления о собственной массе обычных частиц не могут быть перенесены на случай тахионов.

Вместо мнимой величины M для характеристики тахиона можно ввести действительную величину μ , положив

$$M = i\mu. \quad (96.2)$$

Тогда основное соотношение (84.15) для тахиона и компоненты 4-импульса (84.6) примут вид

$$\mathbf{P}^2 - (E/c)^2 = \mu^2 c^2, \quad (96.3)$$

$$\mathcal{P}^\mu = \left(\frac{E}{c}, \mathbf{P} \right) = \left(\frac{\mu c}{\sqrt{u^2/c^2 - 1}}, \frac{\mu \mathbf{u}}{\sqrt{u^2/c^2 - 1}} \right), \quad (96.4)$$

т. е. будут явно действительны при $u > c$.

Согласно последним формулам, энергия тахиона стремится к нулю при $u \rightarrow \infty$ и бесконечно растет при приближении u к наименьшему предельному значению c . Что касается импульса тахиона, то $|\mathbf{P}| \rightarrow \mu c$ при $u \rightarrow \infty$, $|\mathbf{P}| \rightarrow E/c$ при $u \rightarrow c$. Таким образом, в отличие от обычных частиц (брадионов) импульс тахиона всегда превышает μc , а энергия не имеет нетривиального наименьшего значения.

Следует еще раз отметить принципиальное отличие тахионов от обычных частиц, состоящее в том, что тахион никогда не может находиться в покое, т. е. не существует реальной системы отсчета, в которой скорость тахиона обратилась бы в нуль. Однако существует система отсчета, в которой скорость тахиона бесконечна. В этой системе отсчета тахион можно представлять себе не как движущуюся точку, а как на мгновение возникающий и исчезающий объект, вытянутый вдоль прямой линии, соединяющей точки абсорбции — эмиссии*.

Экспериментально тахионы еще не обнаружены. Однако неизвестны и теоретические опровержения возможности существования тахионов, которые были бы логически неуживимы.

* Эти свойства тахионов напоминают свойства виртуальных частиц, вводимых в квантовой теории поля. Тахионы можно рассматривать как реально предствимые виртуальные частицы с пространственноподобным 4-импульсом. Подробнее см.: Терлецкий Я. П. Парадоксы теории относительности. М., 1966.