

$$m \left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right)^{\frac{3}{2}} = m_{\uparrow\uparrow},$$

то внешне уравнение движения снова принимает классическую форму (в этом и смысл введения величины $m_{\uparrow\uparrow}$):

$$m_{\uparrow\uparrow} \mathbf{a}_{кл} = \mathbf{F}.$$

Величину $m_{\uparrow\uparrow}$ иногда в литературе называют “продольной массой”, но как и “поперечная масса”, “продольная масса” не должна пониматься как физическая величина. *Физический смысл имеет только инвариантная масса m .*

Определим закон изменения скорости тела для этого случая. Запишем уравнение движения так (знак вектора опустим в силу одномерности движения):

$$\frac{m}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \frac{du}{dt} = F \quad \text{или} \quad \frac{du}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right)} = a_0 dt, \quad \text{где} \quad a_0 = \frac{F}{m}.$$

Интегрирование приводит к следующему результату:

$$\frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = a_0 t, \quad \text{откуда} \quad u = \frac{at}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_0 t}{c} \right)^2}}.$$

Легко проверить, что при $t \rightarrow \infty$ скорость будет стремиться к предельному значению, равному скорости света в вакууме c , как и должно быть в СТО.

§16. Инвариантность уравнений электродинамики

Первый постулат Эйнштейна утверждает, что все законы природы одинаковы во всех ИСО. Выше мы показали, как требуется изменить классическое уравнение движения в механике, чтобы оно оказалось инвариантным относительно формул пре-

образования координат и времени в СТО — формул Лоренца.

А как обстоит дело в других разделах физики? Здесь ученых ждала удивительная удача. Уравнения, описывающие свойства электромагнитного поля — уравнения Максвелла, сформулированные за три десятилетия до создания СТО, оказались инвариантными относительно формул Лоренца. Это означало, что электромагнитные процессы при одинаковых условиях во всех ИСО протекают одинаково. Невозможно, наблюдая электромагнитные процессы, обнаружить абсолютный покой или движение. Для электромагнитных процессов оказался справедливым принцип относительности Эйнштейна (а не Галилея).

Инвариантность уравнений Максвелла* можно показать непосредственно, но это очень сложная вычислительная задача. Мы выберем другой путь, который неоднократно был проиллюстрирован выше: нужно записать уравнения электромагнитного поля в 4-мерной инвариантной форме.

Как показывается в курсе электродинамики, уравнения Максвелла можно заменить более удобными с математической точки зрения уравнениями Даламбера, вводя вспомогательные функции — скалярный и векторный потенциалы — следующим образом:

$$\mathbf{E} = -\text{grad}\varphi - \frac{\dot{\mathbf{A}}}{c} \quad (16.1)$$

и

$$\dot{\mathbf{B}} = \text{rot}\dot{\mathbf{A}}.$$

В силу градиентной неоднозначности введения таким образом скалярного и векторного потенциалов, на них накладываемое ограничительное или калибровочное условие Лоренца:

$$\text{div}\dot{\mathbf{A}} + e_0 m_0 \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (\text{для вакуума}). \quad (16.2)$$

Благодаря условию (16.2) уравнения, которым должны удовлетворять скалярный и векторный потенциалы, существенно

* § 16 предназначен для читателей, знакомых с уравнениями Максвелла.

упрощаются и принимают для обоих потенциалов однотипный вид (что и оправдывает введение этих вспомогательных функций). Эти уравнения и получили название уравнений Даламбера. Для вакуума, они имеют следующий вид:

$$\Delta j - e_0 m_0 \frac{\partial^2 j}{\partial t^2} = -\frac{r}{e_0},$$

(16.3)

и

$$\Delta A - e_0 m_0 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -m_0 j.$$

Нашей задачей является придать калибровочному условию (16.2) и уравнениям Даламбера (16.3) 4^x-мерную форму записи.

Введем 4^x-мерный вектор $\overset{1}{\Phi}$ с компонентами:

$$\Phi_1 = A_x, \quad \Phi_2 = A_y, \quad \Phi_3 = A_z, \quad \Phi_4 = \frac{i}{c} j, \quad (16.4)$$

воспользуемся координатами Минковского (9.1):

$$x_1 = x, \quad x_2 = y, \quad x_3 = z, \quad x_4 = ict, \quad (9.1)$$

и введем еще один 4^x-мерный вектор:

$$j_1 = j_x, \quad j_2 = j_y, \quad j_3 = j_z, \quad j_4 = ic r. \quad (16.5)$$

Тогда и калибровочное условие (16.2), и уравнения Даламбера (16.3) запишутся в инвариантной 4^x-мерной форме так:

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \Phi_3}{\partial x_3} + \frac{\partial \Phi_4}{\partial x_4} = 0 \quad (16.6)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_k}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Phi_k}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \Phi_k}{\partial x_3^2} + \frac{\partial^2 \Phi_k}{\partial x_4^2} = -m_0 j_k, \quad (16.7)$$

В уравнении (16.7) фактически записаны 4 уравнения, которые получаться, если индексу k придавать значения $k=1, 2, 3, 4$.

Таким образом, уравнения Даламбера вместе с калибровочным условием, физически эквивалентные самим уравнения Максвелла, инвариантны относительно формул преобразования координат и времени Лоренца. Иными словами, **законы электродинамики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.**

Важным в электродинамике является закон сохранения электрического заряда, дифференциальная форма записи которого имеет следующий вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (16.9)$$

Это равенство утверждает, что в результате изменения объемной плотности электрических зарядов в бесконечно малой окрестности некоторой точки возникает электрический ток с плотностью \mathbf{j} . Знак минус появляется из-за договоренности, считать ток положительным, если он истекает из точки, в бесконечно малой окрестности которой происходит уменьшение объемной плотности электрических зарядов.

Для решения поставленной задачи воспользуемся ранее введенными 4-х-мерными векторами \mathbf{r} (x_1, x_2, x_3, x_4) и \mathbf{j} (j_1, j_2, j_3, j_4). Тогда уравнение (16.9) в четырехмерной форме можно записать так:

$$\frac{\partial j_1}{\partial x_1} + \frac{\partial j_2}{\partial x_2} + \frac{\partial j_3}{\partial x_3} + \frac{\partial j_4}{\partial x_4} = 0,$$

или

$$\sum_{i=1}^4 \frac{\partial j_i}{\partial x_i} = 0. \quad (16.9)$$

Мы получили 4-х-мерную дивергенцию, т. е. закон сохранения электрического заряда может быть представлен в 4-х-мерной записи, что говорит об инвариантности этого закона. Как и у других 4-х-мерных векторов, компоненты 4-х-мерного вектора плотности тока j_1, j_2, j_3, j_4 при переходе от одной ИСО к другой преобразуются по формулам Лоренца. Запишем эти формулы для компонент вектора \mathbf{j} :

$$j_1 = \frac{j'_1 - i \frac{v}{c} j'_4}{\sqrt{1 - b^2}}, \quad j_2 = j'_2, \quad j_3 = j'_3, \quad j_4 = \frac{j'_4 + i \frac{v}{c} j'_1}{\sqrt{1 - b^2}}. \quad (16.10)$$

Покажем на простом примере использование этих формул. Пусть в ИСО L' неподвижен заряд с объемной плотностью r_0 . Относительно ИСО L заряд будет двигаться со скоростью v . Определим компоненты 4-мерного вектора плотности тока в ИСО L :

$$j_1 = \frac{rv}{\sqrt{1-b^2}}, \quad j_2 = j'_2, \quad j_3 = j'_3, \quad r = \frac{r_0}{\sqrt{1-b^2}}. \quad (16.11)$$

Таким образом, в ИСО L возникает электрический ток в направлении оси Ox и, кроме того, изменяется объемная плотность электрического заряда $r > r_0$. Если первый результат предсказывается и в классической электродинамике (только в другом количественном выражении), то второй эффект имеет чисто релятивистское происхождение. При этом надо иметь в виду, что изменение объемной плотности движущегося заряда не противоречит доказанной выше инвариантности закона сохранения электрического заряда. Дело в том, что величина объема, в котором находится электрический заряд, меньше в ИСО L , чем в ИСО L' , из-за относительности продольных размеров объема, занимаемого зарядом: $dV = dV_0 \sqrt{1-b^2}$. Но величина самого заряда, находящегося в этом объеме, для обоих ИСО будет одной и той же:

$$dq = dV \cdot r = dV_0 \sqrt{1-b^2} \cdot \frac{r_0}{\sqrt{1-b^2}} = dV_0 r_0 = dq_0 = \text{инв.}$$

Независимость величины заряда от скорости его движения обуславливает нейтральность атома, несмотря на огромную скорость движения электронов в атоме. Точно так же остается нейтральным кусок металла при его нагревании, хотя происходит значительное изменение скорости кинетического движения свободных электронов — электронов проводимости по сравнению изменения скорости колебательного движения ионов кристаллической решетки.

Рассмотрим еще раз 4-х-мерный вектор тока $\mathbf{j}(j_1, j_2, j_3, j_4)$, составим квадрат его модуля:

$$j^2 = j_1^2 + j_2^2 + j_3^2 + j_4^2 = i^2 + j_4^2,$$

где

$$i^2 = j_1^2 + j_2^2 + j_3^2 = j_x^2 + j_y^2 + j_z^2.$$

Так как $\mathbf{i} = r\mathbf{u}$ и $j_4 = icr$, то

$$j^2 = r^2 u^2 - c^2 r^2 = -c^2 r^2 \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) = -c \frac{r_0^2}{1 - \frac{u^2}{c^2}} \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) = -c^2 r_0^2 = \text{инв.}$$

Тем самым мы подтвердили, что квадрат 4-х-мерного вектора тока действительно является инвариантом. С другой стороны, условие:

$$(r^2 u^2 - c^2 r^2) < 0$$

означает, в силу инвариантности этого неравенства в любой ИСО, что всегда $u < c$, т.е. скорость движения заряда, связанного с вещественной частицей (телом), всегда меньше скорости света в вакууме.

§ 17. Относительность деления единого электромагнитного поля на электрическое и магнитное

По существу, возможность путем соответствующего выбора ИСО обнаружить или только электрическое, или только магнитное, или и то и другое воздействие электромагнитного поля на заряды и токи было известно и в классической, до релятивистской электродинамике. Действительно, классическая формула для силы Лоренца $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{u}\mathbf{B}]$ распадается на два слагаемых: первое определяет электрическую часть этой силы, второе — магнитную часть. Поскольку магнитное действие испытывает только движущийся заряд, то переходя в ИСО, в которой этот заряд будет неподвижным, приборы не обнаружат магнитного действия. Но никакого исчезновения (или

возникновения) материи при этом не происходит: ни в одной ИСО нельзя одновременно устранить и электрическое и магнитное воздействие. Дело в том, что существует единое электромагнитное поле, но исторически сложилось так, что его различные проявления (в зависимости от условий наблюдения, от выбора ИСО) получили самостоятельные названия: электрическое воздействие (при этом электромагнитное поле называется электрическим), магнитное воздействие (в этом случае электромагнитное поле называется магнитным). Речь идет фактически о стационарных или статических полях. Именно в этом случае уравнения Максвелла распадаются на две группы уравнений, одни из которых описывают электрические проявления электромагнитного поля, другие — магнитные. В нестационарном же случае такое разделение уже сделать невозможно, и при всяком изменении во времени электрического (магнитного) поля возбуждаются вихри магнитного (электрического) поля. Подобный взаимосвязанный процесс может распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн. И в любой ИСО можно будет обнаружить единое электромагнитное поле как единую материальную среду.

Все это, в принципе, было известно и до создания СТО (за исключением того, что электромагнитное поле считалось не одним из видов материи, а особым состоянием электромагнитного эфира). Главное различие результатов СТО по сравнению с формулами до релятивистской физики состоит в различных аналитических выражениях для преобразований характеристик электромагнитного поля.

В качестве иллюстрации относительности деления единого электромагнитного поля на электрическое и магнитное рассмотрим следующую задачу: по проводнику идет постоянный ток, нужно рассмотреть поле этого тока, исходя из двух ИСО “Проводник” и “Электрон”, связав каждую из них с соответствующим объектом.

В ИСО “Проводник” кристаллическая решетка проводника неподвижна, а с некоторой скоростью и движутся электроны проводимости. Так как по проводнику течет постоянный ток, то сколько электронов “заходит” в какой либо участок проводника,

столько же “выходит”, это следует из определения постоянного тока. Поэтому, как до замыкания цепи, так и после в целом проводник оказывается нейтральным. Математически это можно записать так: $r_+ = -r_-$ или $r_+ + r_- = 0$, где r_+ и r_- — объемные плотности положительных зарядов кристаллической решетки и электронов, создающих в данной ИСО электрический ток с плотностью $j_x^- = r_- u$, причем $r_- = -en$, знак (—) учитывает знак заряда электрона, n — объемная плотность электронов.

В ИСО “Электрон” электроны проводимости неподвижны, но движется кристаллическая решетка со скоростью (— u). В этой ИСО изменится объемная плотность и положительных и отрицательных зарядов согласно формулам, полученным выше (16.11):

$$r'_+ = \left(r_+ - \frac{j_x^+ u}{c^2} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}},$$

где $j_x^+ = 0$, так как положительные ионы в ИСО “Проводник” неподвижны. Соответственно, учитывая, что $j_x^- = -enu$, имеем:

$$r'_- = \frac{r_- - \frac{j_x^- u}{c^2}}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}.$$

Составим выражение

$$r'_+ + r'_- = \frac{e^2 n \cdot u^2}{c^2 \sqrt{1 - u^2 / c^2}},$$

что больше нуля, т. е. проводник в ИСО “Электрон” приобретает положительный заряд. И если в ИСО “Проводник” вокруг проводника с помощью приборов (т.е. объективно) можно обнаружить магнитное поле, то в ИСО “Электрон” приборы зафиксируют и электрическое поле (от заряженного проводника), и магнитное поле (от тока, связанного с движением ионов решетки в этой ИСО).

Отметим еще раз, что никакого творения материи не происходит, в обеих ИСО существует единое электромагнитное поле. Но путем выбора ИСО, т. е. условий наблюдения этого материального объекта, мы обнаруживаем у него разные проявления, разные свойства.

Так как при переходе от одной ИСО к другой изменяется не только величина r , но также и плотность тока j_x , а с этими характеристиками зарядов и токов непосредственно связаны характеристики электромагнитного поля, его векторы \dot{E} и \dot{B} , это и указывает на относительный характер этих величин.

Рассмотрим следующую задачу и получим формулы преобразования компонент вектора \dot{E} при переходе от одной ИСО к другой. Свяжем с неподвижной ИСО L плоский конденсатор. Пусть его пластины расположены параллельно плоскости yOz , т. е. поле между пластинами направлено вдоль оси Ox и равно

$$E = \frac{q}{ee_0S},$$

где q — заряд на пластине конденсатора, S — ее площадь.

Перейдем к подвижной ИСО L' , движущейся вдоль оси Ox . Так как пластины конденсатора расположены перпендикулярно направлению движения, то размеры пластин не изменяются при наблюдении конденсатора из ИСО L' , не изменяется и поверхностная плотность зарядов, а значит, не изменяется и напряженность поля в направлении оси $O'x'$:

$$E'_x = E_x$$

Расположим теперь пластины конденсатора параллельно плоскости xOz , напряженность поля в этом случае будет направлена вдоль оси Oy и равна $E_y = q/ee_0S$. Снова перейдем в ИСО L' . Так как пластины конденсатора расположены параллельно направлению движения, то в ИСО L' их размеры

уменьшатся в $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ раз, где u — относительная скорость

движения ИСО L' относительно ИСО L : $S' = S/\sqrt{1-u^2/c^2}$.
Поэтому

$$E'_{y'} = \frac{q}{ee_0 S'} = \frac{q}{ee_0 S \sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{E_y}{\sqrt{1-u^2/c^2}}.$$

Рассуждая аналогично, можно получить, что

$$E'_{z'} = \frac{E_z}{\sqrt{1-u^2/c^2}}.$$

Значительно сложнее выводятся формулы преобразования компонент характеристик поля в общем случае. Поэтому приведем эти формулы без вывода:

$$\begin{aligned} E'_{x'} &= E_x, & B'_{x'} &= B_x, \\ E'_{y'} &= \frac{E_y - vB_z}{\sqrt{1-b^2}}, & B'_{y'} &= \frac{B_y + \frac{v}{c^2} E_z}{\sqrt{1-b^2}}, \\ E'_{z'} &= \frac{E_z + vB_y}{\sqrt{1-b^2}}, & B'_{z'} &= \frac{B_z - \frac{v}{c^2} E_y}{\sqrt{1-b^2}}. \end{aligned} \tag{17.1}$$

где v — скорость движения ИСО L' относительно ИСО L . Из формул (17.1) следует, что если в одной ИСО есть только электрическое поле, то в другой ИСО обнаруживается не только электрическое, но и магнитное поле. Мы еще раз убеждаемся, что деление единого электромагнитного поля на электрическое и магнитное относительно.

§ 18. Инварианты электромагнитного поля

Как и в механике СТО, где относительным пространственным и временным или импульсным и энергетическим характеристикам процессов сопоставляются абсолютные величины — интервал (в первом случае) или 4-мерный вектор энергии-

импульса (во втором случае), так и в релятивистской электродинамике относительным векторам электромагнитного поля сопоставляются две абсолютные, инвариантные величины, которые вводятся при помощи следующих выражений:

$$\begin{aligned} I_1 &= E^2 - c^2 B^2, \\ I_2 &= \begin{pmatrix} \mathbf{r} \mathbf{r} \\ EB \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (18.1)$$

Используя формулы преобразования компонент векторов поля (17.1), можно убедиться в инвариантности этих выражений.

Подобно тому, как с помощью интервала удалось глубже разобраться в причинно-следственных связях явлений, разделив все пары событий на два не переходящих друг в друга класса событий (§ 8), так и с помощью первого инварианта (18.1) можно электромагнитные поля разделить на классы: 1) $I_1 > 0$ — электроподобные поля; 2) $I_1 < 0$ — магнитоподобные поля и 3) $I_1 = 0$. Название инварианта указывает на то, что при выполнении соответствующего условия, во всех ИСО абсолютным является соответствующее проявление поля. Например, если $I_1 > 0$, то во всех ИСО будет обнаруживаться электрическое проявление электромагнитного поля, магнитное же проявление можно устранить. В случае $I_1 = 0$ получаем $E = cB$, что соответствует связи векторов в электромагнитной волне. Особый интерес представляет случай, когда не только $I_1 = 0$, но и $I_2 = 0$. Второе условие (18.1) является скалярным произведением векторов поля, оно может быть равно нулю (при отличных от нуля векторах поля), если эти вектора взаимно перпендикулярны. И в силу инвариантности I_2 , это свойство векторов поля сохраняется в любой ИСО. Другими словами — электромагнитные волны имеют поперечный характер в любой ИСО. Кроме того, инвариантной величиной является скорость их распространения в вакууме.

§ 19. Физическая картина мира и СТО

В процессе познания и изучения свойств окружающего мира в науке выделяются наиболее общие понятия и идеи, принципы

и теории, с помощью которых на данном этапе развития физики создается модель природы. Этот идеализированный в рамках существующих представлений образ природы и носит название физической картины мира (ФКМ).

С момента возникновения современной физики (со времен Галилея, Декарта, Ньютона) сменилось уже несколько физических картин мира. В период господства механики, когда казалось, что все явления можно объяснить, исходя из законов механики, была построена механическая картина мира. Ее основные представления:

1) Вещественные тела существуют в абсолютном пространстве и времени, свойства последних не обусловлены вещественными телами, они не взаимосвязаны между собой.

2) Предполагается возможность передачи действия мгновенно на любое расстояние без участия в этом промежуточной среды (принцип дальнего действия), причинно-следственные связи носят абсолютный характер между всеми процессами в мире. В качестве универсального мгновенного действия предлагаются гравитационные силы.

3) Вес движения могут быть сведены к механическим. Законы механики, рассматриваемые в ИСО, имеют абсолютный характер.

Метафизический характер механической картины мира привел физику к необходимости построить новую ФКМ, что стало насущной необходимостью в связи с интенсивным развитием оптики, электричества и магнетизма в XIX веке.

Наряду с вещественными телами, имеющими дискретное строение, стало изучаться особое состояние гипотетической среды - эфира, получившее название электромагнитного поля. Существенным отличием поля от вещества является то, что поле подчиняется принципу суперпозиции. Идея распространения электромагнитного поля в эфире с неизбежностью приводит к принципу близкого действия: действие передается от точки к точке пространства с конечной скоростью, при этом главенствующую роль в этом процессе играет промежуточная среда. За исключением гравитационных сил, все известные взаимодействия сводятся к электромагнитным. Представления об эфире, с

которым можно связать абсолютную систему отсчета, по-прежнему приводят к абсолютному пространству, абсолютному времени и абсолютному движению, однако, не механического, а электромагнитного характера. Мы перечислили основные представления электромагнитной картины мира, построенной к концу XIX века. Но в этой ФКМ было одно “узкое” место — эфир с его удивительными свойствами и противоречивыми проявлениями в различных опытах, часть из которых была рассмотрена в § 4.

В поисках выхода из ситуации, в которой оказалась физика в связи с проблемой эфира (а по сути дела, с проблемами, связанными со свойствами пространства, времени, движения и взаимодействия) в 1905 году А. Эйнштейн предложил два новых физических принципа и, как оказалось, создал новую физическую теорию — специальную теорию относительности. Разрешив проблему эфира как среды, которая НЕ нужна для существования и распространения электромагнитных волн, А. Эйнштейн признал тем самым наряду с веществом другой вид материи — электромагнитное поле. Принцип относительности был распространен на все физические процессы, и тем самым было отвергнуто абсолютное движение, абсолютное пространство и время. Была показана относительность длины и промежутков времени, одновременности и введена новая физическая величина — интервал, позволивший освободиться от абсолютного классического детерминизма и отнести любую пару событий к одному из двух классов. Между одними парами событий могут существовать причинно-следственные связи, между другими — таких связей не может быть ни в одной ИСО. Кроме того, интервал связал в единую абсолютную величину относительные в этой теории длину и промежутки времени. Независимые в классической физике, эти величины оказались в СТО взаимосвязанными. СТО ввела новые абсолютные величины, каких не было в классической физике: скорость света, интервал, 4-^x-мерные векторы скорости, импульса, единый закон сохранения энергии — импульса и т.д. Ею завершено построение электродинамической картины мира.

§ 20. Познание продолжается...

Специальная теория относительности, разрешив трудности классической физики в вопросе о свойствах пространства, времени и движения, стала новым этапом в познании мира. Являясь общефизическим учением о пространстве, времени и движении, СТО оказала, вместе с тем, огромное влияние на жизнь всего человеческого общества, на его экономическое и социальное состояние. И в этом не переходящее значение специальной теории относительности.

Однако как и всякая научная теория, СТО не является пределом познаваемости мира. Рассматривая однородное и изотропное пространство, однородное время, инерциальные системы отсчета, СТО заведомо идеализирует свойства материального мира. Так, например, гравитационное поле Земли делает околоземное пространство анизотропным; в силу идеального характера 1-го закона механики, движение по инерции можно обнаружить лишь на малом пути за малый промежуток времени, в действительности все системы отсчета не инерциальны. Да и в самой СТО обнаружилось некоторые трудности. Действительно, в этой теории все события считаются точечными, происходящими в пространственной точке. Все же реальные события занимают определенный пространственный объем. При рассмотрении актов взаимодействия элементарных частиц, чтобы избавиться от бесконечно быстрой передачи действия через объем самой элементарной частицы, СТО рассматривает их как точечные образования, как материальные точки. Вместе с тем, эксперимент указывает на сложную пространственную структуру, например, протона или нейтрона, мезонов и барионов.

Анализируя постулаты СТО, мы утверждали предельность скорости света в вакууме, понимая под этим невозможность преодолеть этот предел и оказаться в области сверхсветовых скоростей. Однако в последние годы дискутируется вопрос о так называемых тахионах — частицах, движущихся со сверхсветовой скоростью. Эти частицы также не могут преодолеть световой барьер и перейти в наш мир. Но главным препятствием в

признании реальности существования таких частиц является нарушение для них закона причинности, который для нашего “до светового” мира является абсолютным законом природы. И все же проблема о тахионах обсуждается и теоретиками, и экспериментаторами...

Создав в 1905 году специальную теорию относительности, А. Эйнштейн понимал, что она “работает” лишь с одним классом систем отсчета — инерциальными системами отсчета. Поэтому перед ним встала задача обобщить свою теорию на неинерциальные системы отсчета. Что и было им сделано к 1916 году. В этой теории, получившей название “Общая теория относительности”, А. Эйнштейн показал, что учет гравитационного поля приводит к анизотропии пространства и неоднородности времени. Вскоре общая теория относительности была подтверждена экспериментально и в настоящее время считается релятивистской теорией пространства, времени и тяготения.

Эксперимент показывает, что выводы СТО остаются верными и в микромире вплоть до достигнутых расстояний в 10^{-15} м и промежутков времени в 10^{-23} с. Но в микромире действуют иные законы, чем в макромире. Да и СТО не учитывает квантовых свойств микромира. Поэтому естественно ожидать, что на более глубоких уровнях, чем 10^{-15} м и 10^{-23} с, специальная теория относительности, может быть, не будет верна. Но теории пространства-времени микромира пока не существует. Мир ждет нового Эйнштейна. Ведь процесс познания вечен, познание продолжается...