

93-147



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P2-93-147

В.С.Барашенков, М.З.Юрьев\*

НАРУШАЕТСЯ ЛИ ПРИНЦИП  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?

Направлено в журнал "Физика элементарных частиц и  
атомного ядра"

---

\* ПГ ИНТЕРПРОМ, Москва

1993

## Введение

То, что в природе существует связанная с неподвижными звездами абсолютная система координат, где любое движение рано или поздно переходит в состояние покоя, античным и средневековым ученым представлялось вполне очевидным. Сформулированный Галилеем принцип относительности — все инерциальные системы отсчета равноправны и нет способа установить, находимся мы в состоянии покоя или движемся, — был одной из тех "сумасшедших идей", которые, образно говоря, взрывают мировоззрение современников. Правда, общепризнанной истиной эта идея стала далеко не сразу. Подобно тому, как в наше время немало людей не признают теории относительности, выдвинутый Галилеем принцип тоже подвергался теоретической критике и экспериментальным опровержениям тех, кому была более близка и понятна испытанная временем античная картина мира.

Математически галилеевский принцип относительности формулируется как требование инвариантности всех физических законов по отношению к преобразованиям координат

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}t \quad (1)$$

где  $\vec{v}$  — скорость движения новой системы координат относительно старой. Позднее Галуа назвал такие преобразования группой: среди них есть тождественное, есть обратное, а главное, два последовательных, выполненных одно за другим преобразований можно заменить одним суммарным, отличающимся лишь скоростью  $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ . Если к этому добавить еще вращение, то получим общую группу галилеевых преобразований

$$G(\vec{v}_1; R_1)G(\vec{v}_2; R_2) = G(\vec{v}_1 + \hat{R}_1 \vec{v}_2; R_1 R_2) \quad (2)$$

где  $\vec{v}_1$  — скорости систем координат,  $R_1$  — параметры, характеризующие направление осей вращения.

Пока основным содержанием физики оставалась механика, уравнения которой инвариантны относительно таких преобразований, принцип относительности имел под собой твердую почву. Однако изучение электромагнетизма показало, что описывающая его система уравнений не инвариантна по отношению к галилеевским преобразованиям (1), (2) и электромагнитные силы изменяют свой вид при переходе к новой системе отсчета. В этом легко убедиться без всяких расчетов, если вспомнить, что покоящийся

заряд не создает магнитного поля, но в системе координат, где он движется, такое поле обязательно возникает. Другими словами, магнитные силы оказываются зависящими от выбора системы отсчета. Более того, чтобы объяснить механизм распространения электромагнитных волн, пришлось предположить существование во Вселенной особой среды — мирового эфира, с которой, как ранее со звездами, теперь снова можно было связать особую, абсолютно неподвижную систему отсчета.

Электромагнитные явления, казалось бы, похоронили принцип относительности. Однако идея эфира была весьма противоречивой. В частности, для объяснения одних опытов приходилось считать его неподвижным и допустить существование в природе эфирного ветра, замедляющего или ускоряющего переносимые им свет и другие электромагнитные излучения, для объяснения других фактов нужно было, наоборот, допустить увлечение эфира движущимися телами.

Знаменитый опыт Майкельсона—Морли, измерявший скорость света в двух перпендикулярных направлениях, показал, что галилеевское правило сложения скоростей  $c_{\pm} = c \pm v$  для него вообще почему-то неприменимо.

На рубеже нашего века были предложены два пути для преодоления затруднений: один Лоренцем, другой наиболее четко был выражен Эйнштейном. Лоренц показал, что физику можно привести в порядок, если допустить, что размер тел и темп связанных с ними процессов зависят от скорости их движения по отношению к неподвижной эфирной среде: диаметр движущихся часов уменьшается в направлении вектора их скорости, а их ход замедляется. Если в системе координат, связанной с мировым эфиром, точка какого-либо тела имеет пространственно-временные координаты  $\vec{X} = (x, y, z, t)$ , то при его равномерном движении вдоль оси  $x$  они приобретут вид

$$x' = \gamma(x - vt); \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \gamma(t - xv/c^2) \quad (3)$$

где  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ ,  $c$  — скорость света в эфире. Поскольку при этом в равной степени изменяются все линейки и эталоны времени, то и все движущиеся инерциальные системы отсчета остаются совершенно равноправными. По отношению к ним сохраняет свою силу принцип относительности, нужно только вместо галилеевых преобразований (I) пользоваться лоренцевскими формулами (3). Особыми привилегированными свойствами, считал Лоренц, обладает лишь абсолютная "эфирная" система отсчета. Физические процессы в ней могут протекать совсем не так, как во всех других системах. Это нарушает принцип относительности и позволяет путем сравнения с ее "абсолютными стандартами" установить, движется данная конкретная система координат или же имеет нулевую скорость.

Лоренц был вынужден допустить существование такой абсолютно неподвижной системы отсчета: ведь если изменение размеров тел обусловлено их деформациями, то обязательно должна быть система координат, где они остаются недеформированными. Как говорится, сказавши "а", приходится произнести и "б".

Эйнштейн соглашался с тем, что изменение пространственно-временных интервалов является реальным, измеримым в опытах явлением, но считал его свойством не самих тел, а кинематическим следствием различного определения одновременности в системах координат, движущихся с разными скоростями. По его теории точки, которые в одной системе были одновременными, в другой относятся уже к различным моментам времени и для измерения длины приходится использовать другие точки. Такой "кинематический перекосяк" выражается преобразованиями Лоренца (3) и зависит от относительной скорости рассматриваемых систем отсчета. Говоря по-другому, Эйнштейн устранил трудности путем обобщения принципа относительности, распространив его с механических на все известные нам физические явления<sup>1)</sup>. Это похоже на то, что произошло с другим великим принципом современной науки — с условием причинности. Переход к быстротекущим электромагнитным процессам потребовал замены его классической формулировки, использовавшейся физикой Ньютона, на релятивистскую.

<sup>1)</sup> Если строго следовать хронологии публикаций, то нужно признать, что основные положения релятивистской теории, в том числе и обобщение галилеевского принципа относительности, первым сформулировал А. Пуанкаре /I-3/. Однако он считал, что использование преобразований Галилея или Лоренца — это всего лишь вопрос удобства и соглашения. В отличие от Эйнштейна Пуанкаре игнорировал тот факт, что лоренцевская инвариантность физических законов представляет собой важный физический закон, в котором как раз и заключена суть теории относительности. Поэтому большинство физиков считает, что именно Эйнштейн, а не Пуанкаре, является автором этой теории /4, 5/. Вместе с тем существует и другая точка зрения, согласно которой главным элементом теории относительности является признание того, что все явления нашего мира протекают в плоском и изотропном (псевдоевклидовом) четырехмерном пространстве-времени, а принцип относительности является всего лишь следствием этого факта<sup>3)</sup>. Поскольку Пуанкаре был первым, кто подчеркивал роль псевдоевклидовости, его тоже законно считать автором релятивистской теории. Но, пожалуй, будет справедливее считать ее коллективным созданием Лоренца, Пуанкаре и Эйнштейна, хотя для краткости далее мы часто будем называть ее просто "эйнштейновской".

Можно сказать, что в теории Лоренца сжатие движущихся часов и запаздывание их хода имеет динамическую природу, а в теории Эйнштейна — чисто кинематическую. В рамках инерциальных систем оба подхода тождественны.

Последнее становится особенно наглядным, если заметить, что теорию Лоренца можно излагать двумя способами. Во-первых, более четко отражающим ее физический смысл путем, когда всякий раз явно учитывается сокращение длин  $l' = l/\gamma$ , масштабов времени  $t' = t\gamma$ , а скорости складываются по "обычному правилу"

$$v = v_1 + v_2 = v_1' + v_2' \quad (4)$$

где оба слагаемых выражены в метрическом масштабе одной и той же системы координат:  $v_i = \xi_i v_i'$ , при этом уравнивающий масштабы коэффициент

$$\xi_i = 1 / \left\{ \left[ (\delta_{i1} - 1) \gamma^2 + (\delta_{i2} - 1) \gamma^2 \right] (1 + v_1 v_2 / c^2) \right\}$$

Во-вторых, подобно тому, как это принято в эйнштейновской теории, лоренцевскую теорию можно изложить на языке преобразований (3), когда изменения пространственно-временных масштабов учитываются автоматически, а скорости складываются по "релятивистскому правилу"

$$v = (v_1 + v_2) / (1 + v_1 v_2 / c^2) \quad (5)$$

В рамках инерционных систем оба способа совершенно эквивалентны.

Различие подходов Эйнштейна и Лоренца может стать заметным в некоторых динамических (неинерционных) эффектах — например, при распространении деформаций — и, конечно, должно существенно проявляться в тех случаях, когда речь заходит о существовании абсолютной системы координат. Поскольку, однако, ни один достаточно надежный (общепризнанный) эксперимент до сих пор не обнаружил никаких отклонений от эйнштейновской теории, большинство физиков вслед за Эйнштейном считает, что понятия эфира и абсолютной системы координат являются такими же временными, утратившими свое значение "строительными лесами", какими были, например, теплород или флогистон <sup>2)</sup>.

Научная общественность верит в принцип относительности столь же твердо, как и в законы арифметики. Множество экспериментов убеждают нас в том, что, находясь внутри изолированной инерциальной системы, мы действительно не можем установить факт ее движения. Тем не менее уже

<sup>2)</sup> Как известно, одновременно со своей первой работой по теории относительности Эйнштейн выдвинул гипотезу о том, что свет представляет поток частиц — фотонов. Такие частицы могут двигаться в пустом пространстве, поэтому и в этом отношении эфирная среда представлялась Эйнштейну совершенно излишней.

не раз случалось так, что ревизия, казалось бы, совершенно очевидных и давно установленных фактов приводила к неожиданным результатам. Да и вообще, едва ли в природе существует какая-либо закономерность, применимая всегда и всюду. Тем более принцип относительности однажды уже претерпел изменения при переходе от галилеевых преобразований к современной релятивистской теории.

Сам Лоренц, подводя итоги своей научной деятельности, признал преимущество эйнштейновского подхода как логически более прозрачного, основанного, по-существу, всего лишь на одном единственном постулате — принципе относительности. Вместе с тем он подчеркивал свою неудовлетворенность теорией относительности, которая возвела в ранг постулата то, что Лоренц пытался вывести из каких-либо более общих физических соображений. "Я полагаю, — писал он в своей книге <sup>6/</sup>, — что все же можно кое-что сказать в пользу и того подхода, которым я старался изложить свою теорию. Эфир, который может являться носителем электромагнитного поля, его энергии и его колебаний, я должен поневоле рассматривать как нечто обладающее известной субстанциональностью, как бы отличен он не был от обычной материи. С этой точки зрения представляется естественным не вводить с самого начала предположения, что совершенно безразлично, движется тело через эфир или нет, и измерять расстояния и промежутки времени при помощи масштабов и часов, имеющих относительно эфира неподвижное положение".

Действительно, в рамках классической физики вывод об абсолютно пустом, "безэфирном" пространстве трудно примирить с интуитивным представлением о том, что испущенная источником, но еще не дошедшая до нашего глаза световая волна передается какой-то промежуточной материальной средой. Да и квантовая теория убеждает нас в существовании некоей особой заполняющей все пространство среды, образуемой вакуумными флуктуациями. Казалось бы, связанная с этой средой система отсчета по своему своему смыслу будет особой, выделенной по сравнению со всеми другими системами, и ее можно принять за "абсолютную".

Эту систему выделяет еще и тот экспериментально установленный факт, что распространяющееся в ней реликтовое космическое излучение характеризуется высокой степенью изотропии, и это подтверждает гипотезу о том, что именно данная система отсчета является сопутствующей акту "первичного взрыва", в котором родилась и изотропно расширяется наша Вселенная. Х.Бонди еще 30 лет назад настаивал на том, что возможность выбрать в любой точке пространства привилегированную систему отсчета, связанную с его изотропным расширением, противоречит постулатам теории относительности <sup>7/</sup>. Аналогичные мысли высказывал и известный специалист по теории относительности П.Бергман <sup>8/</sup>.

Эти и ряд других подобных соображений побуждают не только дилетантов-любителей, но и известных профессионалов-физиков вновь размышлять о достоинствах и недостатках лоренцевской теории мирового эфира и ее отношении к теории относительности Эйнштейна. Достаточно, например, пролистать пару томов международного журнала "Foundation of Physics" для того, чтобы убедиться, что поток "еретических" работ не убывает, а, скорее, наоборот - увеличивается. (Библиографию значительной части последних работ в этой области можно найти, например, в статье П.Кориниле /9/)

Нашей целью является выделить в этом потоке и обсудить наиболее интересные, на наш взгляд, работы, в частности те теоретические и экспериментальные исследования, в которых якобы уже обнаружены отклонения от эйнштейновской теории.

### Экспериментальный статус преобразований Лоренца

Как уже упоминалось выше, до настоящего времени выполнено огромное число работ, особенно в связи с изучением свойств элементарных частиц, в которых зафиксировано прекрасное согласие с формулами (3) вплоть до ультрамалых масштабов  $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-16}$  см. Однако специальных исследований, в которых бы изучалась непосредственно точность лоренцевских преобразований, не так уж много (см. библиографию в работе /10/). Их результаты сводятся к следующему.

Запишем лоренцевские преобразования в более общем виде, совпадающем с (3) лишь в пределе небольших скоростей  $v/c \ll 1$ : /11, 12/

$$\left. \begin{aligned} x' &= a_1(v)(x-vt) \\ y' &= a_2(v)y; \quad z' = a_2(v)z \\ t' &= a_3(v)(t+fx) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где коэффициент  $f$  фиксируется процедурой синхронизации часов, а для функций  $a_i$  справедливы разложения

$$a_i(v) = 1 + \alpha_i (v/c)^2 + \dots \quad (7)$$

(В предположении изотропного распространения световых сигналов  $c(\theta, \varphi) = c$  в исходной системе все линейные члены  $\sim v/c$  исчезают.) Тогда скорость света, испущенного под углом  $\theta'$  в движущейся системе координат,

$$c'(\theta') = [1 - (1 + \alpha_3 - \alpha_1)(v/c)^2 + (1/2 - \alpha_1 + \alpha_2)(v/c)^2 \sin^2 \theta'] + \dots \quad (8)$$

Очевидно, соотношения (6) совпадут с формулами Лоренца (3) и скорость света  $c'(\theta)$  будет изотропной, если

$$\alpha_1 = 1/2, \quad \alpha_2 = 0, \quad \alpha_3 = -1/2. \quad (9)$$

Из измерений времен жизни элементарных частиц и наиболее точных интерференционных оптических экспериментов следует /10/

$$\alpha_1 = 1/2 \pm 7 \cdot 10^{-5}, \quad \alpha_2 = 0 \pm 7 \cdot 10^{-5}, \quad \alpha_3 = -1/2 \pm 10^{-7}. \quad (10)$$

Эти выводы подтверждаются и косвенной проверкой релятивистской инвариантности путем сравнения с опытом теоретических выражений, полученных на основе релятивистской квантовой электродинамики: с точностью в несколько единиц  $10^{-4}$  никаких расхождений с экспериментом не замечено.

Вместе с тем известны работы, авторы которых утверждают об обнаружении отчетливых отклонений от соотношений (3). Здесь прежде всего следует упомянуть сравнительно простые по экспериментальной методике опыты Маринова и Сильвертуса /13-16/. В их основе раздельное измерение скорости света в прямом и обратном направлениях  $c_+$  и  $c_-$ . Такие измерения требуют предварительной синхронизации времени в разноместных пространственных точках (в начале и в конце пробегаемого светом отрезка). Если воспользоваться для этого формулами Лоренца (3), то автоматически получим  $c_+ = c_- = c$ , поскольку в них уже заложено предположение о равенстве скоростей света в прямом и обратном направлениях /1, 6, 17/. Однако, если не знать или, следуя С. Маринову, не верить в универсальность преобразований Лоренца, то для синхронизации можно использовать перенос часов с достаточно малой скоростью  $v$ . Как отмечал еще П. Бриджман /18/, искомая скорость света в этом случае будет пределом измерений при  $v \rightarrow 0$  /3/.

Поскольку непосредственное измерение однонаправленной скорости светового сигнала даже на самых протяженных доступных нам в земных условиях отрезках является весьма сложной задачей, для этого, как правило, применяются разностные, интерференционные методы. Типичным

3) Предложенная С. Мариновым "ньютоновская синхронизация" с помощью вращающейся абсолютно твердой (недеформируемой) оси, вдоль которой на разных расстояниях от начала укреплены часовые стрелки /18/, по существу, не отличается от синхронизации Бриджмена, так как пренебречь деформацией и считать стержень абсолютно твердым тоже можно лишь в пределе очень малых скоростей. Вообще, любая измерительная процедура, даже элементарный счет предметов, требует определенной теории. С этой точки зрения использование в процедуре синхронизации ньютоновской механики в области, где она хорошо применима, ничем не хуже использования теории относительности, которая можно быть уверенным, тоже представляет собой лишь частный случай какой-то более общей теории.

примером может служить упоминавшийся уже опыт Майкельсона-Морли, в котором сравниваются интерференционные картины, возникающие при сложении двух ветвей расщепленного полупрозрачным зеркалом  $M_1$  светового луча, распространяющегося вдоль и поперек вектора скорости лабораторной системы координат  $\vec{v}$  (рис.1). Однако в этом случае свет проходит свой путь в прямом и обратном направлениях за времена  $t_{\pm} = 1/(c \pm v)$ , благодаря чему суммарное время  $t_+ + t_- = 2l_1 \gamma^2 / c$  не содержит линейных членов  $v/c$ , а фактор  $\gamma$  компенсируется гипотезой Лоренца о сокращении всех длин вдоль направления скорости  $v$ <sup>4)</sup>. Это означает, что из опыта Майкельсона-Морли нельзя получить абсолютно никаких сведений о величине  $\vec{v}$ . Чтобы выявить линейные члены  $v/c$ , нужны опыты с интерференцией лучей, прошедших хотя бы часть своего пути только в одном направлении, когда нет суммирования  $t_+ + t_-$ .

Примером опытов с однонаправленными встречными пучками света могут служить измерения С.Маринова на установке с двумя дисками, неподвижно закрепленными на общей оси (рис.2)<sup>16/</sup>. Интенсивности  $I_+$  и  $I_-$  лазерных лучей, направленных навстречу друг другу и проходящих сквозь расположенные одно против другого отверстия дисков, измеряются с помощью фотоэлементов  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Детектор  $D$  (мостик сопротивлений) позволяет измерять токи  $J_c = J_+ + J_-$  и  $J_p = J_+ - J_-$ , соответствующие суммарной и разностной интенсивностям.

При неподвижных дисках фиксируемые фотоэлементами интенсивности света

$$I_{\pm} = \alpha_{\pm} nS,$$

где  $S$  - площадь отверстия,  $n$  - их число. Если диски совершают  $n$  оборотов в секунду, то изменение интенсивностей

$$\Delta I_{\pm} = \alpha_{\pm} nN \cdot \Delta S_{\pm},$$

4) Времена распространения света вдоль  $l_1$  и  $l_2$

$$t_1 = 2l_1 \gamma^2 / c, \quad t_2 = 2l_2 \gamma / c,$$

а плечо интерферометра, параллельное скорости  $\vec{v}$ , сокращается в  $\gamma$  раз:  $l_1 \rightarrow l_1 / \gamma$ . Поэтому с точностью до знака разность хода интерферирующих лучей  $c(t_2 - t_1) = 2\gamma(l_2 - l_1) \rightarrow 2\gamma(l_2 - l_1)$  остается неизменной при повороте системы на угол  $90^\circ$  (т.е. при перестановке  $l_1$  и  $l_2$ ).

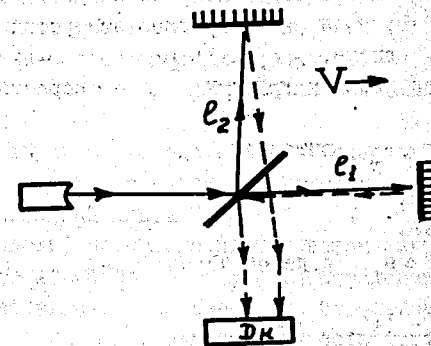


Рис.1. Принципиальная схема интерферометра Майкельсона-Морли и контрольного интерферометра в опытах Сильвертуса

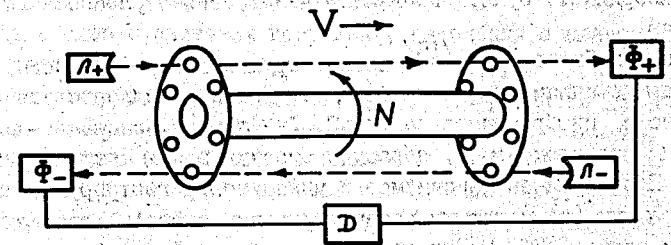


Рис.2. Принципиальная схема опытов Маринова с дисками и двумя лазерами  $L_1$  и  $L_2$ .  $D$  - детектор тока, вырабатываемого фотоэлементами  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$

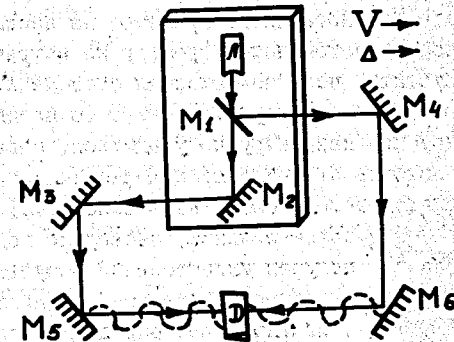


Рис.3. Схема интерферометра Сильвертуса

где изменение открытой для прохождения лучей площади отверстий  $\Delta s_{\pm} = 2\pi(R/\ell) \Delta t_{\pm}$ ,  $\ell$  и  $R$  — размер отверстия и его расстояние от центра диска,  $\Delta t_{\pm} = d/(c \pm v)$  — время распространения света от одного диска к другому,  $v$  — скорость Земли по отношению к эфиру.

Из выражения для  $\Delta t_{\pm}$  вытекает

$$\left(\frac{v}{c}\right) = \frac{\Delta t_{-} - \Delta t_{+}}{\Delta t_{-} + \Delta t_{+}}$$

а выразив  $\Delta t_{\pm}$  через  $\Delta s_{\pm}$  и, далее, через  $\Delta I_{\pm}$ , получим

$$\left(\frac{v}{c}\right) = \frac{\Delta I_{-} - \Delta I_{+}}{I_{-} + I_{+}} = \frac{\Delta(I_{-} - I_{+})}{(I_{-} + I_{+})} = \frac{\Delta J_p}{\Delta J_c} \quad (II)$$

т.е. скорость Земли, измеряемая в изолированной от внешнего мира системе координат, будет определяться изменением разностного и суммарного токов.

В опытах Сильвертуса<sup>/16/</sup> вместо трудно контролируемого, подверженного деформациям механического устройства использовалась оптическая система, изображенная на рис.3. Луч лазера, расщепленный полупрозрачным зеркалом  $M_1$ , образует стоячую волну между зеркалами  $M_5$  и  $M_6$ . Положения ее максимумов и минимумов регистрируются тонким полупрозрачным (не мешающим распространению света) фотодетектором Д. Лазер и зеркала  $M_1$ ,  $M_2$  укреплены на подвижной платформе. При ее смещении на расстояние  $\Delta$  пик интенсивности в точке Д сменяется освещенностью

$$I \sim \cos^2(\Delta/\lambda) \quad (I2)$$

где  $\lambda$  — длина волны испускаемого лазером света.

Как видим, вместо обычного интерферометра на параллельных световых лучах здесь используется интерферометр на встречных лучах.

Если теперь допустить, что лабораторная система движется относительно неподвижного эфира со скоростью  $v$ , то возникает дополнительная разность хода, но, как нетрудно убедиться, сложив две гармонических волны, интенсивность стоячих волн с точностью до членов

$\sim (v/c)^2$  определяется тем же самым выражением (I2). Однако в опытах Сильвертуса<sup>/16/</sup> и в более поздних, несколько модернизированных экспериментах Маринова<sup>/14/</sup> получен удивительный результат: наблюдаемое смещение системы стоячих волн определяется выражением  $I \sim \cos^2(\Delta/\lambda + v \Delta/c \lambda)$ , откуда можно определить скорость  $v$  5).

5) В то же время монотонизирующая система с интерферометром на параллельных лучах подчиняется соотношению (I2).

Но еще более удивительным является то, что во всех экспериментах <sup>/12-14/</sup> получена величина  $v$ , близкая к астрономическим измерениям скорости Земли относительно реликтового фона<sup>/20,21/</sup>  $v = 377 \pm 14$  км/сек<sup>6)</sup>. Близкими к астрономическим получились и значения углов вектора  $\bar{v}$ . (Для этого измерения выполнялись в различные время суток и времена года.)

Что это — результат методических неточностей, один из тех артефактов, которые не раз встречались в истории физики, или же, действительно, фундаментальный вывод?

Можно обсуждать, насколько ньютоновская синхронизация отличается от "стандартной", используемой в эйнштейновской теории относительности, и, соответственно, правомерность постановки опытов по разделному измерению  $c_{+}$  и  $c_{-}$ , однако если есть противоречащий теории эксперимент, то прежде всего следует повторить его, тем более, что описанные в работах<sup>/14-16/</sup> оптические измерения являются довольно простыми. Пока же обсуждение поразительных выводов работ<sup>/13-16/</sup> в значительной степени идет на уровне "верю-не верю"<sup>/22-26/</sup>.

Несколько слов о системах координат, связанных с квантовым вакуумом и с реликтовым космическим излучением. Теория и эксперимент убеждают нас в том, что вакуум современной физики является своеобразной разновидностью материальной среды. Однако в отличие от классического эфира он не создает "ветра" для движущихся тел. Как показывают расчеты, силы, связывающие частицы вакуумной среды, порождают отрицательную энергию натяжения ( $-E_{нат}$ ), в точности равную плотности их энергии  $E$ , благодаря чему суммарная энергия "ветра"  $E - E_{нат}$  всегда остается равной нулю: движущееся тело его просто не замечает. В абсолютно однородном вакууме нет ничего, что можно было бы использовать в качестве "якоря" для того, чтобы "зацепить" за него систему отсчета.

Что касается системы отсчета, "привязанной" к реликтовому космическому фону, то, как уже упоминалось выше, некоторые авторы считают возможным отождествить ее с абсолютно неподвижной лоренцевской системой координат. С этим никак нельзя согласиться: между этими системами существует принципиальное различие. Мировой эфир по определению — принципиально неустранимая, всепроникающая среда; совершенно изолированных физических систем в этом случае не существует, и нулевая эфирная точка отсчета всегда к нашим услугам. Если бы мировой

6) Получены значения  $v = 378 \pm 8; 303 \pm 20; 386 \pm 38; 360 \pm 40$  км/с <sup>/13-16/</sup>.

эфир существовал в природе, то, образно говоря, мы были бы в положении пассажиров стеклянного вагона, которые по мельканию шпал и дорожных предметов могут судить о скорости своего движения<sup>7)</sup>. Напротив, от реликтового излучения, электромагнитного и даже нейтринного, всегда можно заэкранироваться (технические трудности сейчас не в счет) и создать изолированную от внешнего мира систему (так сказать, вагон без окон), внутри которой нет ничего, что можно было бы использовать в качестве метки для отсчета скорости. В таком положении оказывается, в частности, любой наблюдатель, у которого нет приборов для регистрации реликтового фона.

Сложнее обстоит дело с системой отсчета, которая связана с изотропным (хаббловским) расширением пространства. При достаточной точности приборов его можно наблюдать не только в космосе, но и в любом небольшом, отделенном от внешнего мира объеме. Как и в теории с гипотетическим эфиром, говорить о полной изоляции физических систем при этом не имеет смысла. В этом отношении "хаббловская" система отсчета действительно является выделенной. Однако четырехмерное пространство в этом случае уже нельзя считать псевдоевклидовым — совершенно плоским и изотропным.

Последнее достаточно очевидно, если наша Вселенная принадлежит к классу так называемых открытых или закрытых фридмановских миров; если же наш мир плоский (экспериментальные данные этого не исключают), то неоднородна его временная метрика, поскольку она имеет особую точку "первородного взрыва". Другими словами, в хаббловской системе координат действуют гравитационные силы, и ее нельзя считать инерциальной.

Можно поставить вопрос о том, насколько принципиальной является выделенность хаббловской системы по сравнению со всеми другими. Как известно, общая теория относительности допускает существование множества принципиально эквивалентных миров со своими специфическими особенностями, среди которых могут быть и хаббловские системы — если, конечно, допустимо ставить себя в положение стороннего наблюдателя, способного выйти за пространственно-временные рамки собственного мира. Но это уже философский вопрос...

7) Кстати, упоминавшаяся выше эквивалентность принципа относительности требованию псевдоевклидовости пространства-времени верна лишь при условии, что эксперимент подтверждает отсутствие эфирной среды, т.к. иначе факт движения системы отсчета можно установить и в мире с псевдоевклидовой метрикой.

### Природа лоренцевского сжатия

Выше уже говорилось о том, что с точки зрения теории относительности Эйнштейна сокращение пространственной длины является следствием изменения временных координат ее начальной и конечной точек и поэтому должно происходить со скоростью света, т.е. имеет кинематическую природу и реализуется практически мгновенно. Определить свет и зафиксировать ("увидеть") концы тела, еще соответствующие старой системе координат, просто невозможно. С позиций эфирной теории сокращение длины  $\ell$  является свойством самого тела и при реальном переходе к другой системе координат, когда в течение некоторого времени действуют динамические эффекты, оно должно происходить с той же скоростью, с какой в данном теле распространяется волна деформации — т.е. реализуется за время  $t < \ell/c$ , и этот вполне реальный физический процесс перестройки мн, вообще говоря, можем наблюдать.

Таким образом, производя пространственно-временные измерения над ускоряющимся телом при изменении его инерциального движения, можно надеяться установить, какая из двух альтернативных точек зрения, последовательно релятивистская или основанная на гипотезе неподвижного эфира, соответствует реальному положению вещей.

Проще всего это сделать на примере равномерно вращающегося тела, когда на него действует постоянное ускорение и отклонение формы тела от предсказываемой теорией относительности, остается неизменным, не зависящим от времени эффектом.

При вращении креста, изготовленного из двух стержней, скрепленных в их средних точках, его плечи  $\ell$  будут пульсировать — сокращаться и удлиняться в отношении  $1: \sqrt{1-v^2/c^2}$ , где  $v$  — скорость движения лабораторной системы отсчета. Поскольку, однако, продольные масштабы изменяются точно в таком же отношении, то в рамках теории относительности эта пульсация для нас не заметна, а угол между скрещенными стержнями все время остается прямым:  $\theta = \pi/2$ . (В противном случае, наблюдая изменения формы креста, можно было бы в нарушение принципа относительности установить факт движения лабораторной системы координат и измерить ее абсолютную скорость  $v$ .)

То же самое предсказывает и "эфирная теория", если тангенциальная скорость  $v_T = \omega \ell$  ( $\omega$  — угловая скорость вращения) меньше скорости деформаций  $v_{def}$ . Но вот для очень быстро вращающегося тела, когда  $v_T > v_{def}$ , эта теория предсказывает реально наблюдаемую пульсацию сжатия угла  $\theta(t) < \pi/2$ . Правда, скорость, с какой упругие деформации распространяются по вращающемуся телу, намного превосходит "критическую скорость"  $v_{кр}$ , при которой происходит его разрыв, и тела распадаются еще до того, как тангенциальная скорость  $v_T$  сравняется со скоростью упругих волн.



Е. Винтенберг<sup>/27/</sup> обратил внимание на то, что наряду с быстро распространяющимися упругими деформациями в твердых стержнях возможны еще и так называемые волны изгиба, скорость которых в  $(r/\ell)$  раз меньше ( $r$  — радиус вращающегося стержня<sup>/28/</sup>). При этом достаточно  $\ell/r > 10$ , чтобы тангенциальная скорость  $v_T$  превалировала над скоростью распространения деформаций<sup>8)</sup>.

Расчеты показывают<sup>/27/</sup>, что отклонение угла  $\theta(t)$  от предсказываемого эйнштейновской теорией значения  $\pi/2$  имеет резонансный характер и при

$$\Delta \theta(t) = (v/2c)^2 \left[ \frac{\omega_0}{2\omega_1} \sin(2\omega t - \pi/2) - \sin 2\omega t \right] \approx \quad (I3)$$

$$\approx (v/2c)^2 (\omega_0/2\omega_1) \sin(2\omega t - \pi/2)$$

где

$$\omega_0 \approx 1.76 (r/\ell^2) \sqrt{G/\rho} \quad (I4)$$

а  $\omega_1$  — зависящая от свойств вещества константа. Хотя  $(v/c)^2 \sim 10^{-6}$  и, как правило,  $\omega_0/\omega_1 \ll 1$ , угловое смещение  $\theta(t)$  достигает при этом значительной величины. Например, при вращении стального креста с  $\ell = 10$  см и  $r = 0,5$  см  $\omega_0 \approx 5 \cdot 10^3$  оборотов/с и  $\omega_0/\omega_1 \approx 10^{-6}$ . Различие в положениях концов креста, соответствующих теориям Эйнштейна и Лоренца, составит в этом случае несколько миллиметров. Угловая скорость в 5–10 тысяч оборотов/с вполне доступна современной технике.

Понятно, что обнаружение описываемого формулой (13) эффекта позволило бы по экспериментально измеренному значению  $\Delta \theta$  определить скорость лабораторной системы координат  $v$ , что опровергло бы принцип относительности.

#### Томасовский поворот

Легко убедиться, что в случае движения вдоль прямой релятивистские преобразования (3) образуют группу:

$$\mathcal{L}(v_2) \mathcal{L}(v_1) = \mathcal{L}(v_2 \oplus v_1) \quad (I5)$$

где операция сложения  $v_2 \oplus v_1 = v_1 \oplus v_2$  определяется правилом (5).

8) Скорость волн изгиба  $v_{изг} \approx \frac{1}{\rho} \sqrt{G/\rho}$ , а скорость разрыва  $v_{кр} \approx \sqrt{G/\rho}$ , где  $\rho$  — плотность тела,  $G$  и  $\sigma$  — соответственно модуль Юнга и модуль разрыва. Условие  $v_T \approx v_{изг} < v_{кр}$  выполняется, если  $(\ell/r) > \sqrt{G/\sigma} \approx 10$ .

Иная ситуация, если скорости  $v_1$  и  $v_2$  не коллинеарны. В этом случае преобразования Лоренца приобретают вид

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}' &= \bar{r} + \frac{(\bar{r}\bar{v})\bar{v}}{v^2} (\gamma - 1) - \gamma \bar{v}t \\ t' &= \gamma (t - \bar{r}\bar{v}) \end{aligned} \right\} \quad (I6)$$

сложение скоростей при этом подчиняется правилу<sup>9)</sup>

$$\bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1 = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{1 + \bar{v}_1 \bar{v}_2 / c^2} - \frac{\gamma_2}{c^2 (1 + \gamma_2)} \frac{[\bar{v}_2 [v_2 v_1]]}{1 + \bar{v}_1 \bar{v}_2 / c^2} \quad (I7)$$

где  $\gamma_2 = 1/(1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$ . Однако две последовательных трансформации (I6) теперь уже нельзя заменить одной с суммарной скоростью

$$\bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1 : \quad \mathcal{L}(\bar{v}_2) \mathcal{L}(\bar{v}_1) \neq \mathcal{L}(\bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1)$$

т.е. лоренцевские преобразования уже не образуют группу и релятивистская симметрия оказывается нарушенной<sup>10)</sup>. Физическая (точнее, геомет-

9) Как уже отмечалось выше (см. соотношение (4)), это правило можно рассматривать как обычное сложение двух векторных величин; нужно только предварительно выразить их в метрическом масштабе какой-либо одной системы координат.

10) Запись лоренцевских преобразований в виде (I6) нарушает явную пространственно-временную симметрию, к которой мы привыкли, пользуясь формулами (3). Симметрия восстанавливается, если соотношения (I6) записать в матричном виде

$$\begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = B(\bar{v}) \begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (I6a)$$

где

$$B(\bar{v}) = I + \gamma b + \gamma^2 b^2 / (1 + \gamma) \quad (I6б)$$

$$b = \begin{pmatrix} 0 & v_x/c^2 & v_y/c^2 & v_z/c^2 \\ v_x & & & \\ v_y & & 0 & \\ v_z & & & \end{pmatrix} \quad (I6в)$$

I — единичная матрица тождественного преобразования.

рическая) причина этого заключается в том, что движущиеся под углом друг к другу системы координат, связанные преобразованием (I6), различаются не только своей относительной скоростью, но и относительной пространственной ориентацией. Совершая два последовательных лоренцевских перехода, мы оказываемся в системе координат, пространственные оси которой повернуты относительно системы, в которую мы перейдем с помощью однократного лоренцевского преобразования со скоростью  $\bar{v} = \bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1$ .

Угол поворота принято называть углом Томаса по имени физика, впервые подробно исследовавшего это явление<sup>/29/</sup>.

Нетрудно убедиться, что групповые свойства восстанавливаются, если пространственно-временные преобразования (I6) дополнить вращением на угол Томаса и характеризовать преобразование не только вектором  $\bar{V}$ , но и пространственной ориентацией осей R:

$$\mathcal{L}(\bar{v}_2, R_2) \mathcal{L}(\bar{v}_1, R_1) = \mathcal{L}(\bar{v}_2 + \hat{R}_1 \bar{v}_1, T_{21} R_1 R_2), \quad (I8)$$

где оператор поворота

$$T_{21} \equiv T(\bar{v}_2, \bar{v}_1) = B(-\bar{v}_1 \oplus \bar{v}_2) B(\bar{v}_2) B(\bar{v}_1) = I + a_1 \Omega_{21} + a_2 \Omega_{21}^2, \quad (I9)$$

а бусты в определяются соотношениями (I6a) и (I6b); матрица

$$\Omega_{21} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{pmatrix},$$

вектор  $\bar{\omega} = [\bar{v}_2 \bar{v}_1]$ , I - единичная матрица,

$$a_1 = \gamma_1 \gamma_2 (1 + \gamma + \gamma_1 + \gamma_2) / ac^2, \quad a_2 = \gamma_1^2 \gamma_2^2 / ac^4$$

$$a = (1 + \gamma)(1 + \gamma_1)(1 - \gamma_2), \quad \gamma = \gamma_1 \gamma_2 (1 + \bar{v}_1 \bar{v}_2 / c^2).$$

Преобразование (I8) - аналог галилеевского преобразования (2), однако если в последнем порядок скоростей  $\bar{v}_1$  и  $\bar{v}_2$  не играет роли, то их релятивистские суммы различаются оператором поворота:

$$\bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1 = T_{21} \bar{v}_1 \oplus \bar{v}_2, \quad (20)$$

и лоренцевские преобразования со скоростями  $\bar{v}_2 \oplus \bar{v}_1$  и  $\bar{v}_1 \oplus \bar{v}_2$  переводят нас в разные системы координат II).

Пространственный поворот при повторном переходе к неколлинеарно движущейся системе координат - это такое же качественное, фундаментальное свойство релятивистской кинематики, как сокращение длины и запаздывание часов. Нужно заметить, что хотя нарушение групповых свойств и соответственно принципа относительности по отношению к преобразованиям (I6) отмечается в ряде известных монографий (см., например, <sup>/29/</sup>), многие физики воспринимают его с удивлением. Вместе с тем, пренебрежение этим обстоятельством может привести к серьезным недоразумениям.

Одно из них анализировалось в работе<sup>/32/</sup>. О другом, связанном с томасовским вращением в случае прецессии спина, пойдет речь ниже.

#### Принцип относительности в опытах с прецессией спина

Такие опыты обсуждаются в работах Б.С.Неганова<sup>/33-36/</sup>. Как известно (см., например, <sup>/28/</sup>), прецессия спина электрона движущегося в магнитном поле, как раз связана с поворотом пространственной системы координат при двух последовательных лоренцевских трансформациях и поэтому может служить инструментом для их проверки и, вообще, для исследования возможных отклонений от известных нам геометрических и кинематических закономерностей в областях порядка размеров электрона  $\Delta x \lesssim 10^{-16}$  см.

Предлагаемый в работах<sup>/33-35/</sup> эксперимент касается измерений временных вариаций скорости прецессии, чего не делалось еще ни в одном другом опыте, и с этой точки зрения представляет уникальную возможность проверить известные нам закономерности в интервалах, достижение которых другими способами сегодня весьма затруднительно.

Мгновенная прецессия электронного спина описывается формулой Баргмана, Мишеля и Телегди

$$\bar{\omega} = \frac{c}{mc} \left\{ \left( a + \frac{1}{\gamma} \right) \bar{H} - \left( a + \frac{1}{1+\gamma} \right) [\bar{v}, \bar{E}] \right\}, \quad (21)$$

где  $\bar{E}$  и  $\bar{H}$  - электрическое и магнитное поля,  $a = g/2 - 1$  - аномальный магнитный момент электрона,  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  - лоренцевский фактор для движущегося со скоростью  $\bar{v} = \bar{v}/c$  электрона. Эта формула получается стандартным выделением трехмерной части из релятивист-

II) Подробнее с групповыми свойствами операторов  $\mathcal{L}(\bar{v})$ ,  $\mathcal{L}(\bar{v}, R)$  и особенностями томасовского оператора T можно ознакомиться в работах А.Унгара<sup>/30-32/</sup>. Следует также подчеркнуть, что преобразование (I8), хотя и объединяет лоренцевский буст (I6a) с пространственным вращением, тем не менее отличается от группы Пуанкаре, поскольку имеет дело не с произвольным, а только со специальным томасовским вращением. Преобразование (I8) является всего лишь подгруппой группы Пуанкаре.

ски ковариантного четырехмерного выражения и применима в произвольной системе координат<sup>37,38/</sup>. В частности, в "лабораторной системе", рассматриваемой в работах<sup>33-36/</sup>, которая движется относительно некоторой исходной абсолютной со скоростью  $\bar{v}_0$ , такой что поле  $\bar{E} = -[\bar{v}, \bar{H}]$  обращается в нуль, скорость прецессии

$$\bar{\omega}_\Lambda = \frac{c}{mc} \bar{H}_\Lambda (a + \frac{1}{\gamma_\Lambda}) \quad (22)$$

где  $\bar{H}_\Lambda$  и  $\gamma_\Lambda$  — магнитное поле и лоренцевский фактор в "лабораторной системе".

В работах<sup>33-36/</sup> переход от (21) к (22) осуществляется путем однократного лоренцевского преобразования. При этом в правой части выражения (21) появляется дополнительный нековариантный член

$$\frac{c}{mc \gamma_\Lambda} \bar{H}_\Lambda (\gamma - 1) \quad (23)$$

где  $\gamma = (\gamma_\Lambda + \gamma_0) / (1 + \gamma)$ ,  $\gamma = \gamma_0 \gamma_\Lambda (1 + \bar{v}_\Lambda \bar{v}_0)$ .

По мнению автора работ<sup>33-36/</sup>, появление этого члена является очевидным доказательством нарушения принципа относительности и позволяет путем замера скорости прецессии спина в постоянном магнитном поле установить факт движения изолированной инерциальной системы.

С этим выводом нельзя согласиться. При переходе от соотношения (21) и (22) необходимо обязательно учитывать зависящий от времени томасовский поворот системы  $\tau(\bar{v}_0, \bar{v}_\Lambda)$ . При этом происходит компенсация нековариантного члена (23).

Чтобы убедиться в этом, заметим, что скорости прецессии в исходной и "лабораторной" системах координат отличаются, во-первых, фактором  $\gamma_\Lambda / \gamma$ <sup>12)</sup>, во-вторых, добавкой  $\omega_T = d\theta_T / dt_\Lambda$  из-за поворота на томасовский угол  $\theta_T(t)$ , которая как раз и является скоростью томасовской прецессии

$$\omega = d\theta / dt = \omega_\Lambda \gamma_\Lambda / \gamma + \omega_T \gamma_\Lambda / \gamma \quad (24)$$

В работе Унгара<sup>30/</sup> показано, что

$$\sin \theta = \gamma \sin \theta_\Lambda^0 \quad (25)$$

$$\cos \theta = \cos \theta_\Lambda + \frac{\sqrt{(\gamma^2 - 1)(\gamma_\Lambda^2 - 1)}}{\gamma + 1} \sin^2 \theta_\Lambda \quad (26)$$

12) Времена исходной и "лабораторной" систем связаны с собственным временем электрона соотношениями  $dt = d\tau \gamma$ ,  $dt_\Lambda = \tau \gamma_\Lambda$ , откуда следует  $dt = dt_\Lambda (\gamma / \gamma_\Lambda)$

где  $\theta = \theta_\Lambda^0 + \theta_T$ ,  $\theta_\Lambda^0$  — угол ларморовой прецессии (скорость вращения  $\bar{v}_\Lambda$  относительно  $\bar{v}_0$  в "лабораторной" системе). После дифференцирования обеих частей равенства (25) по времени и деления левой и правой частей полученного выражения соответственно на левую и правую части равенства (26) будем иметь:

$$\frac{d\theta}{dt_\Lambda} = \gamma \frac{d\theta_\Lambda^0}{dt_\Lambda} \quad (27)$$

то есть

$$\omega_T = (\gamma - 1) \omega_\Lambda^0, \quad \omega_\Lambda^0 = d\theta_\Lambda^0 / dt_\Lambda = \frac{c}{mc \gamma_\Lambda} H_\Lambda \quad (28)$$

что в точности совпадает с нековариантной добавкой (23).

Следует подчеркнуть, что соотношения (24) и (28) — это не подгоночное вычитание, как утверждается в примечании к работе<sup>35/</sup>, а неизбежное следствие лоренцевских преобразований (18).

Как видим, с помощью прецессии спина, находясь внутри изолированной инерциальной системы, нельзя определить ее скорость и выявить абсолютную систему координат. Никаких зависящих от скорости членов в формулах нет. Если же использовать неверные выражения, не учитывающие члена (28), то в зависимости от условий эксперимента (в частности, при разных значениях угла  $\theta$ ) будем получать различные значения  $v$ .

Вместе с тем, как уже отмечалось выше, хотя вывод работ<sup>33-35/</sup> о противоречии между принципом относительности и эффектом томасовского вращения и неверен, предложенный в этих работах эксперимент настолько оригинален по своей идее и методике исполнения, что несомненно заслуживает реализации. В опытах с адронами на фоне больших размеров самих сталкивающихся частиц ( $\sim 10^{-13}$  см) трудно зондировать расстояния  $\Delta x \sim 10^{-16}$  см; при использовании пучков электронов для этого требуются энергии  $E \gg 100$  ГэВ; измерения одной только средней скорости прецессии, без учета ее временных вариаций, не выявляют каких-либо пространственно-временных особенностей. В этом отношении предлагаемый в работах<sup>33-36/</sup> эксперимент открывает новые возможности. Этот эксперимент интересен еще и с той точки зрения, что в большинстве физических экспериментов сегодня изучаются количественные вариации уже известных величин, в данном же случае речь идет о новой, еще не исследованной величине — мгновенной скорости прецессии.

#### Заклучение

Нет сомнений, что, как и любая другая физическая закономерность, принцип относительности и связанные с ним преобразования Лоренца и теория относительности имеют ограниченную область применимости и в

будущем будут открыты явления, которые потребуют их обобщений, однако в настоящее время, несмотря на большое число работ, критикующих и пытающихся ревизировать принцип относительности, нет достаточно убедительных экспериментальных или теоретических оснований для того, чтобы можно было от него отказаться. Теория относительности Эйнштейна по-прежнему остается фундаментом физической теории.

Иногда высказывается мнение (см., например, работы<sup>/34,35/</sup>) о том, что невозможность ответить на вопрос, какова абсолютная ("истинная") скорость движения, фактически означает признание существования в природе принципиально непознаваемых кантовских "вещей в себе". С этим нельзя согласиться: теория относительности утверждает, что абсолютная скорость остается неизвестной нам не потому, что ее нельзя измерить, а вследствие того, что такой величины в природе просто не существует.

За последнюю пару десятков лет было предпринято немало попыток обобщения лоренцевских преобразований. Обзор некоторых из них, использующих комплексные переменные, более высокие размерности пространства-времени, нелинейные связи между точками инерционных систем, можно найти, например, в работе<sup>/39/</sup> и в обстоятельной статье Э.Реками<sup>/40/</sup> в связи с обсуждением возможности сверхсветовых скоростей сигналов. Однако, существенно усложняя интерпретацию пространственно-временных отношений, эти обобщения не дали сколько-нибудь значительных физических результатов. Эйнштейновская теория оказывается весьма устойчивой.

Вместе с тем следует иметь в виду, что 90 лет назад она сама возникла как результат переосмысливания и уточнения изменительных процедур "старой физики", которые оказались реализуемыми лишь при малых скоростях, а в остальной области имели характер абстракций. Нельзя не заметить, что для микроскопических масштабов  $\Delta x$  и  $\Delta t$  некоторые процедуры эйнштейновской теории сегодня снова выглядят как недостаточно обоснованные экстраполяции макроскопических аналогов. Хотя физика микропроцессов — наиболее важная область применения, здесь сохраняются макроскопические "одежды". Остается, например, неясным, какой реальной микропроцедурой следует заменить общепринятый макроскопический способ синхронизации времени путем наблюдения отраженного светового сигнала. Не ясно, в каком смысле можно говорить о длинах внутри элементарных частиц, если пространственно-временная интерпретация формфакторов, описывающих их внутреннюю структуру, встречает затруднения и привычный нам образ одновременной во всех своих точках трехмерной частицы становится релятивистски инвариантным<sup>/41/</sup>. Все эти вопросы требуют тщательного анализа, что, возможно, приведет к

более общей теории. Пожалуй, это один из наиболее важных выводов, подсказанных современным состоянием релятивистской теории.

#### Литература

- I. Тяпкин А.А. В кн.: Принцип относительности. М.; Атомиздат, 1973, с.271.
2. Панов М.И., Тяпкин А.А., Шибанов А.С. Послесловие к кн.: Анри Пуанкаре о науке. М.: Наука, 1983, с.521.
3. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации. М.; Наука, 1987.
4. Кадомцев Б.Б. и др. УФН, 1972, т.106, с.660.
5. Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике. М.; Наука, 1977.
6. Лоренц Г.А. Теория электронов. М.: ГИТТЛ, 1956, с.333.
7. Bondi H. Observatory. 1962, v. 82, p.133.
8. Bergman P.G. Found. Phys., 1970, v.1, p.17.
9. Cornille P. Phys. Essays. 1992, v.5, p.262.
10. Hils D., Hall J.L. Phys. Rev. Lett., 1990, v.64, p.1697.
11. Robertson H.P. Rev. Mod. Phys., 1949, v.21, p.378.
12. Mansouri R.M. Sexl R.U. J.Gen. Rel. Grav., 1977, v.8, p.497.
13. Marinov S. Czech. J. Phys., 1974, v.24, p.965.
14. Marinov S. Gen. Rel. Grav., 1980, v.12, p.57.
15. Marinov S. In: Progress in Space-Time Physics. 7712 Blumberg, Germany. Benjamin Wesley, 1987, p.16,32.
16. Wesley J.P. - In: Progress in Space-Time Physics. 7712 Blumberg, Germany Benjamin Wesley, 1987, p.1,11.
17. Тяпкин А.А. УФН, 1972, т.106, с.630.
18. Bridgeman P.W. A. Sophisticates Primer of Relativity. Middletown, 1962,
19. Marinov S. Intern. J. Teor. Phys., 1975, v.13, p.189.
20. Smoot G.F., Gorensteen M.V., Muller R.A. Phys. Rev. Lett., 1977, v.39, p.898.
21. Lynden-Bell D., Aston O. J, Astron. Soc., 1986, v.27, p.319.
22. Prokhovnik S.J. Found. Phys., 1979, v.9, p.883.
23. Maddox J. Nature, 1984, v.311, p.399.
24. Wesley J.P. Found. Phys., 1986, v.16, p.817.
25. Marinov S. New Scient., 1986, v.112, p.48.
26. Maciel A.K.A., Tiomno J. Found. Phys., 1989, v.19, p.521.

27. Winterberg F. , Naturforsch, 1986, v.41A, p.1261.
28. Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Механика сплошных сред. М.: ФМГ, 1954, с.765.
29. Меллер К. Теория относительности. М., 1975.
30. Ungar A.A. Found. Phys. Lett., 1988, v.1, p.57.
31. Ungar A.A. Found. Phys. Lett., 1989, v.2, p.199.
32. Ungar A.A. Found. Phys., 1991, v.21, p.569.
33. Неганов Б.С. ОИЯИ, Р4-89-827, Е4-89-827, Дубна, 1989.
34. Неганов Б.С. ОИЯИ, Д2-91-96, Дубна, 1991.
35. Neganov B.S. Nadr. J., 1991, v.14, p.377.
36. Неганов Б.С. ОИЯИ, Д2-92-446, Дубна, 1992.
37. Bargman V. , Muchel L., Telegdi V.L. Phys. Rev. Lett., 1959, v.2, p.435.
38. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.; Наука, 1980.
39. Marchildon L., Antippa A.F., Everett A.E. Phys. Rev., 1983, v.27D, p.1740.
40. Recami E. Rev. Nuovo Cim., 1986, v.9, No6, p.1.
41. Барашенков В.С. Проблемы макроскопического пространства и времени. М.; Атомиздат, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 апреля 1993 года.