

Научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук, посвященная 80-летию академика В.Л. Гинзбурга

(2 октября 1996 г.)

2 октября 1996 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук, посвященная 80-летию академика В.Л. Гинзбурга. На сессии были заслушаны доклады:

1. Вступительное слово академика-секретаря ООФА Л.В. Келдыша

2. **Андреев А.Ф.** (Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва) *Бозе-конденсация и спонтанное нарушение однородности времени.*

3. **Фейнберг Е.Л.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва) *Специальная теория относительности – природа добросовестных заблуждений.*

4. **Арутюнян Р.М., Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва) *О "гигантском" термоэлектрическом эффекте в полем сверхпроводящем цилиндре.*

5. **Гуревич А.В., Зыбин К.П., Сирота В.А.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва) *Холодная темная материя и микролинзирование.*

6. **Железняков В.В.** (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород) *Астрофизическая плазма в экстремальных условиях.*

7. **Болотовский Б.М., Серов А.В.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва) *Об интерференции переходного излучения с собственным полем излучающего заряда.*

8. **Максимов Е.Г.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва) *Экстремальные свидетельства отсутствия сильных обменно-корреляционных эффектов в ВТСП-системах.*

9. **Васильев М.А.** *Калибровочные теории высших спинов.*

Краткие содержания некоторых докладов публикуются ниже.

PACS number: 03.30.+p

Специальная теория относительности — природа добросовестных заблуждений

Е.Л. Фейнберг

Фактом является удивительное непонимание физической сущности специальной теории относительности при

совершенном владении ее техникой у множества вполне и даже очень высококвалифицированных физиков, в том числе теоретиков очень высокого уровня, вплоть до академиков. Причину этого мы поясним в конце, а пока скажем, что речь идет об истолковании укорочения стержня и замедления часов при переходе от одной ("покоящейся") инерциальной системы к другой, движущейся вдоль прямой x со скоростью v . Непонимание сути проявляется в убеждении, что это чисто кинематический эффект, а не реальное физическое изменение под действием некоторых сил. Конечно, большинство хороших физиков это понимает, но уже четверть века назад автор вынужден был посвятить разъяснению этого вопроса большую статью, помещенную в разделе "Методические заметки" журнала УФН [1]. Там приводится много цитат и из учебников типа "Введение в теорию относительности", и из популярных книг (например, из английской, озаглавленной "Теория относительности для миллионов" — бедные миллионы!). С тех пор число подобных изданий еще более возросло. Неудивительно, что, как показали опросы, число непонимающих не уменьшается, а растет. В чем же дело?

Вспомним, как сам Эйнштейн выводит преобразования Лоренца [2]. В одной ("покоящейся") системе есть два одинаковых стержня, два одинаковых набора измерительных линеек и синхронизованных часов. Один комплект всего этого *передается* в другую инерциальную систему, движущуюся с относительной скоростью v , т.е. ускоряется. Когда все эффекты ускорения кончатся, стержень при измерении линейками и часами исходной системы укоротится в $1/\beta$ ($\beta = \sqrt{1 - v^2}$) раз (скорость света $c = 1$), а часы замедлятся в то же число раз. Но ускорять можно по-разному. Можно толкать стержень ("выстрелить из ружья"), можно тянуть за передний конец или за середину. Это вызовет в нем *разные* упругие волны, но когда все успокоится, укорочение будет одинаковым. Таким образом, имеет место *универсальность относительно режима ускорения*, и то же верно для замедления хода ускоряемых по-разному часов. Но можно действовать и немеханическими силами, например, зарядив стержень электрическим зарядом, пропустить его через электростатическое поле или через переменное магнитное, сложное электромагнитное. Наконец, в самих стержне и часах действуют самые разные силы (сильные ядерные, слабые, тяготение), и все они при этом будут играть ту или иную роль. Однако результат при

том же конечном значении v будет прежним, он универсален относительно природы действующих сил. Как это возможно?

Классики специальной теории относительности (СТО) понимали это — и Эйнштейн, вообще умалчивавший о режиме ускорения и силах, и Паули, говоривший, что "сокращение масштаба является не простым, а ... крайне сложным процессом". Когда все законы, "определяющие строение электрона", станут известными, "теория будет в состоянии дать атомистическое объяснение" [3]. Понимали и Лауэ [4], и Лоренц после того, как признал СТО, писавший, что это сокращение того же типа, как при охлаждении стержня [5]. К сожалению, они удовлетворялись одной-двумя фразами, считая, что все понятно.

Лоренц и Пуанкаре и до Эйнштейна писали, что эти эффекты возможны, если постулировать, что они одинаковы для всех видов сил, но, получив этот результат для гравитации, гениальный Пуанкаре написал "криминальную" фразу, что это "можно объяснить только с двух точек зрения: или все, что существует в мире — электромагнитного происхождения, или же это свойство... есть не что иное, как *внешняя видимость* (выделено мною — Е.Ф.), что-то связанное с методами наших измерений" [6]. Ни то, ни другое, как мы знаем, не верно, и в этом корень непонимания между Пуанкаре и Эйнштейном, хотя Лоренц и Пуанкаре, казалось бы, вплотную подошли к пониманию и очень многое уже знали точно.

В чем же суть вопроса? Ее хорошо разъясняет уже более поздняя фраза Эйнштейна о том, что принцип относительности играет такую же роль, как закон сохранения энергии в механике [7].

В самом деле, принцип относительности налагает на уравнения движения любых частиц и полей требование ковариантности при преобразовании Лоренца так же, как закон сохранения энергии (и импульса) в механике Ньютона накладывает на лагранжиан требования трансляционной инвариантности при смещении в пространстве и времени. Ковариантные релятивистские уравнения, в принципе, позволяют получить полное описание процесса ускорения. Сокращение длины и замедление времени — лишь один частный, но очень общий результат (уже Лоренц получил его, решая уравнения Максвелла для $v = \text{const}$, но это было следствием чуда: Максвелл написал свои уравнения сразу в релятивистски-ковариантной форме, хотя понятия не имел о теории относительности; он вполне мог сделать ошибку, приписав еще какие-либо члены, которые никак не повлияли бы на результат при тогдашних доступных малых скоростях v , но этого не случилось).

Сохранение энергии тоже следует из уравнений механики и это тоже один частный, но очень общий результат. Поясним это примером.

Пусть мы бросаем камень вверх (по оси z) с начальной скоростью v_0 и нужно найти высоту h , до которой он долетит. Можно решить уравнения Ньютона с начальными условиями $v_x(0) = v_y(0) = 0$, $v_z(0) = v_0$, построить траекторию полета и найти максимальную высоту h . Но можно просто из закона сохранения энергии сразу написать $mv_{0z}^2/2 = mgh$.

Усложним задачу: пусть $v_x(0) \neq 0$. Решение уравнений даст траекторию, схематически изображенную на рис. 1, из которой можно определить h . Но можно по-прежнему написать прежний результат $h = v_{0z}^2/2g$.

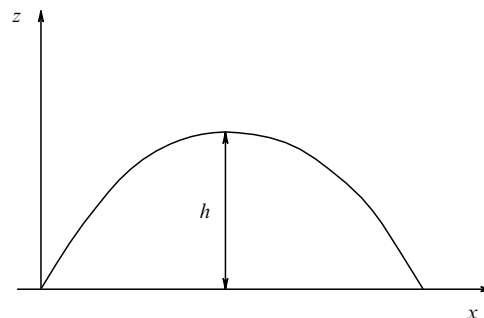


Рис. 1.

Пусть теперь вдоль оси x расположена аэродинамическая труба с отверстием, направленным против оси x . Воздушный поток сдует камень и возникнет искаженная траектория (рис. 2). Но не нужно решать сложные уравнения. Все равно $h = v_{0z}^2/2g$.

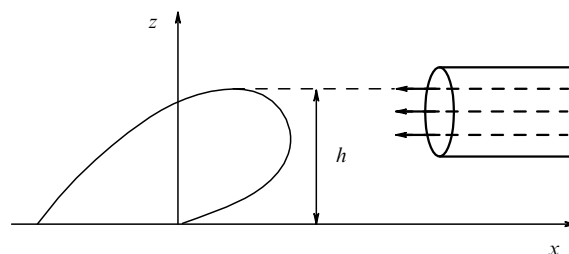


Рис. 2.

Обе универсальности величины $\beta = \sqrt{1 - v^2}$ в СТО (относительно режима ускорения и относительно природы разнообразных действующих полей) имеют именно такой характер. Аналогия полная. Природа универсальности в том, что все происходит в едином пространстве-времени Эйнштейна.

Зададимся теперь последним вопросом: почему так много людей считают сокращение масштаба и замедление часов кинематическим, а не динамическим процессом? Вinovаты авторы многих замечательных курсов СТО, обычно все прекрасно понимающие, но выводящие преобразования Лоренца "проще", чем Эйнштейн. Еще Паули [3] ввел эту манеру.

Пусть мы имеем две системы: "покоящуюся" K с координатами x, y, z, t и движущуюся (и ориентированную) вдоль оси x систему $K' (x', y', z', t')$. В момент, когда начала координат совпадают, $x = x' = 0$ ($y = y' = z = z' = 0$), произведем вспышку света. Согласно постулату относительности, в обеих системах фронт световой волны должен быть шарообразным:

$$x^2 + y^2 + z^2 - ct^2 = 0 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2.$$

Добавляя сюда некоторые групповые соображения (переход из K в K' , а затем в третью систему K'' должен давать то же, что переход сразу из K в K'' , и т.п.), получаем преобразования Лоренца. Но осторожный Паули (а ему было всего 19–20 лет!) добавляет: "Из теоретико-групповых соображений можно получить лишь внешний вид формул преобразования, но не их физическое содержание".

Последующие авторы пренебрегли этим важным замечанием. Уже к работе Эйнштейна редактор русского издания [2] сделал примечание, что "формулы преобразования выводятся проще прямо из условия" шарообразной формы волны, как это описано выше (см. [2], с. 146). Да, проще, но обходя физически неясное. Этот метод распространился всюду. Даже в замечательном курсе Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица, на котором выросло несколько поколений физиков, сделано то же самое, и множество физиков удовлетворяется этим простым выводом, не задумываясь о физическом смысле сокращения и замедления. Они убеждены, что это эффекты кинематические ("просто наблюдаем из другой системы координат"), и динамика здесь не при чем.

Разумеется, сам Ландау понимал все прекрасно. Это видно хотя бы из его замечательной гидродинамической теории множественного рождения частиц при соударении ядер ультрарелятивистской энергии: лоренц-сжатые в тонкие лепестки эти ядра, столкнувшись, в системе центра инерции останавливаются, но не становятся мгновенно шарообразными, как "полагается" покоящимся, а, взаимодействуя друг с другом, постепенно расширяются и образуют цилиндрическую сплошную среду, распространяющуюся в обоих направлениях.

Отсюда урок всем лекторам, популяризаторам и авторам курсов специальной теории относительности: не замалчивайте этот сложный динамический процесс.

Список литературы

1. Фейнберг Е.Л. УФН **116** 709 (1975)
2. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел, в сб. *Принцип относительности* (М.: ОНТИ, 1935)
3. Паули В. *Теория относительности* (М.: ОГИЗ – Гостехиздат, 1941)
4. Von Laue M. *Die Relativitätstheorie* Bd.1. (Leipzig: BG Teubner, 1921)
5. Lorentz H.A. *Die Relativitätstheorie für gleichförmige Translationen* (Leipzig, 1929)
6. Пуанкаре А. *Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света*, в сб. *Принцип относительности* (М.: ОНТИ, 1935)
7. Эйнштейн А. *Автобиографические заметки. Собр. трудов* Т. IV (М.: Наука, 1967)

PACS number: 74.25.Fy

О "гигантском" термоэлектрическом эффекте в полном сверхпроводящем цилиндре

Р.М. Арутюнян, В.Л. Гинзбург, Г.Ф. Жарков

Известно, что в полном сверхпроводящем биметаллическом цилиндре под действием градиента температуры должен возникать небольшой магнитный поток, порядка $10^{-2}\phi_0$, где $\phi_0 = 2 \times 10^{-7}$ Гс см² — квант потока (см. подробнее обзор [1]). Действительно, поле в полости складывается из поля, связанного с захваченным потоком $m\phi_0$ (m — число первоначально захваченных квантов), и поля H_{th} , индуцированного термотокотом $j_{th} = b\nabla T$ (b — термоэлектрический коэффициент системы). Вклад, индуцированный термотокотом в сверхпроводнике, оказывается сильно подавленным по сравнению с нормальным металлом. (Последнее следует из того, что в толще

сверхпроводника текут два компенсирующие друг друга противотока, $j_s + j_{th} = 0$, см [1].) В результате связанный с термотокотом поток и должен быть порядка $10^{-2}\phi_0$, а измерены [2] гораздо большие потоки, порядка десятков и сотен ϕ_0 , на несколько порядков величины превосходящие ожидаемые значения. Общепринятого объяснения этого "гигантского" термоэлектрического эффекта в настоящее время нет.

В работе [3] была высказана и затем в [4–8] развивалась гипотеза о том, что "гигантский" термоэффект можно объяснить квантовыми переходами системы, при которых число "захваченных" в полости квантов потока спонтанно увеличивается под действием термотока (т.е. происходит рождение магнитного поля в полости). Эта гипотеза вызывала, однако, серьезные возражения. Действительно, квантовое число m в полном сверхпроводнике является топологическим инвариантом (см., например, [9]) и потому может измениться ($m \rightarrow m + 1$) только за счет вхождения вихря (несущего один квант потока ϕ_0) через внешнюю границу образца. Однако, если внешнее поле отсутствует, то на внешней границе имеется потенциальный барьер [10], препятствующий вхождению вихря в сверхпроводник. Внутри же образца вихрь не может родиться по топологическим соображениям. Поэтому высказанная в [3–8] гипотеза оставалась неподтвержденной, поскольку механизм таких переходов не был расшифрован. В настоящей работе показано, что такой механизм имеется, т.е. дано обоснование гипотезы [3].

В [3] была рассмотрена модельная задача о поведении однородного полого цилиндра с внешним радиусом r_1 и внутренним r_2 в присутствии циркулирующего вокруг полости заданного нормального тока j_{th} (рис. 1). Ток j_{th} в модели [3], имитирующий реальный термоэлектрический ток, записывается в виде $j_{th} = b\Delta T/\pi r$, где b — термоэлектрический коэффициент системы, $\Delta T = T - T_1$, температура образца T отвечает температуре горячего спая, температура T_1 отвечает температуре холодного спая (см. подробнее [3]).

Пусть в толще сверхпроводника второго рода (с толщиной стенки $d = r_2 - r_1 \gg \lambda$, где λ — глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник) на расстоянии x_1 от границы полости (r_1) находится вихрь с потоком $\mu_1\phi_0$ (μ_1 — вектор, указывающий направление

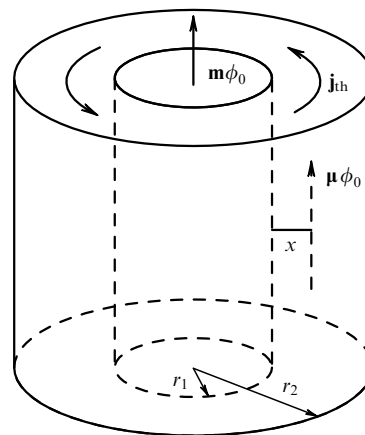


Рис. 1. Цилиндр внешним радиусом r_1 и внутренним r_2 , $d = r_2 - r_1 \gg \lambda$, поле в полости $H_t = m\phi_0/\pi r_1^2$; вихрь $\mu\phi_0$ находится на расстоянии x от границы полости. Вокруг полости течет заданный нормальный термоток j_{th} .