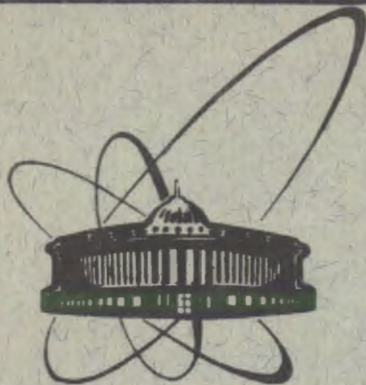


90-596



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

Д2-90-596

В. Н. Стрельцов

ТРИ ПОДХОДА К РЕЛЯТИВИЗМУ

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Понятие релятивизм охватывает очень широкий круг вопросов и явлений. Фундаментом же его является собственно теория относительности, которая имеет дело с наиболее общими закономерностями. Именно теория относительности послужила основой для релятивизации многих разделов физики, начиная с электродинамики, механики, термодинамики и т.д.

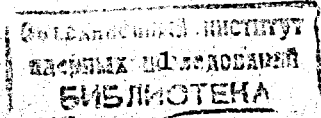
По-видимому, установление конечности скорости распространения света следует считать исходным пунктом релятивизма. Следующий и, может быть, наиболее характерный этап безусловно связан с опытом Майкельсона — Морли^{1/1}. Отрицательный результат этого опыта побудил Фицджеральда^{2/1} и Лоренца^{3/1} ввести гипотезу, согласно которой движущиеся тела испытывают сокращение в направлении движения. Явление изменения продольных размеров движущихся объектов — один из самых ярких эффектов релятивизма. По сути дела он и послужил толчком к пересмотру пространственно-временной картины — этой основы физического описания мира.

Цель настоящей работы заключается в рассмотрении основных подходов к трактовке релятивизма. Как известно, первый (I) из них восходит еще к Лоренцу и Пуанкаре и в значительной мере опирается на теорию эфира. Второй (II) подход представляет теория относительности в ее общепринятой в настоящее время интерпретации. Здесь существенно, что данная интерпретация базируется на эйнштейновском определении пространственных размеров^{4/1}, связанном с установлением одновременных положений элементов измеряемых тел. Иначе говоря, основой этого подхода служат "мгновенные (или синхронные) расстояния". Наконец, третий (III) подход (оставаясь в рамках теории относительности) имеет дело с запаздывающими (или световыми) расстояниями и опирается на локационный метод измерения расстояний.

Наиболее примечательной чертой указанных подходов можно считать поведение продольных размеров движущихся объектов. Если в первых двух случаях мы имеем сокращение, то в последнем — их увеличение.

2. ПОДХОДЫ ЛОРЕНЦА — ПУАНКАРЕ И ЭНШТЕЙНА

Сразу следует подчеркнуть, что оба подхода опираются на преобразования Лоренца для координат, являющиеся по сути дела основой ос-



нов релятивизма. Больше того, для описания одних и тех же физических явлений в рамках обоих подходов мы имеем, как полагают, одинаковые математические формулы. В первую очередь здесь надо указать явление аберрации неподвижных звезд вследствие годового движения Земли и эффект Доплера (влияние движения звезд на частоту излучаемого ими света, достигающего нас). Выражение для аберрации света, идущего от находящегося в зените источника, имеет вид

$$\operatorname{tg} \alpha = \gamma v/c. \quad (1)$$

Здесь α — угол аберрации, v — относительная скорость движения источника и наблюдателя, γ — лоренц-фактор. Закон преобразования частоты света определяется выражением

$$\nu = \nu_0 (1 + v \cos\phi/c) \gamma, \quad (2)$$

где ϕ — угол между направлениями излучения и движения источника. Отметим также, что теории Лоренца и Эйнштейна дали совпадающие результаты при объяснении опыта Кауфмана по отклонению пучка электронов в электрическом и магнитном полях (в отличие от расчетов Абрагама и Бухерера)¹⁶.

Особо следует выделить эффект Фицджеральда — Лоренца сокращения продольных размеров движущихся объектов, выражающийся формулой:

$$l = l_0 \gamma^{-1}, \quad (3)$$

где l_0 и l — продольные размеры объекта в покое и движении соответственно. В первом подходе его рассматривают как гипотезу ad hoc, а во втором — как необходимое следствие теории: преобразований Лоренца и эйнштейновского определения длины движущегося стержня, приводящего к условию $t = \text{const}$ для временных координат (в движущейся системе).

Таким образом, хотя в рамках этих подходов мы имеем одинаковые математические формулы, их физическая трактовка существенно отличается. Так, в первом случае в преобразованиях Лоренца в свое время различали истинное (общее) и местное время. Объяснение же отрицательного результата опыта Майкельсона — Морли* основывается на существова-

*Приведшее к сокращению Фицджеральда — Лоренца.

нии светового эфира. Поэтому, например, при вычислении времени распространения света вдоль продольного плеча интерферометра для скорости света против "эфирного ветра" берется величина $c - v$ и $c + v$ — в противоположном направлении. Примечательно то, что в знаменитой работе Эйнштейна¹⁴ также фигурируют аналогичные формулы:

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c - v} \quad \text{и} \quad t'_A - t'_B = \frac{r_{AB}}{c + v} \quad (4)$$

для времен распространения света от одного конца движущегося стержня (A) до другого (B) и обратно. Хотя при этом говорится, что формулы (4) получены на основании принципа постоянства скорости света. Более того, в следующем параграфе эти выражения непосредственно используются для прямого вывода преобразований Лоренца.

Сравнение двух подходов мы завершим высказыванием, сделанным самим Эйнштейном в 1952 г., относительно первого из них¹⁷: "Но Лоренц достиг гораздо большего. Он объяснил все известные в то время электромагнитные и оптические процессы... Что же касается эксперимента Майкельсона — Морли, то Г.А.Лоренц показал, что полученный результат по крайней мере не противоречит теории покоящегося эфира".

С другой стороны, как отмечает Эйнштейн (см., например,¹⁸), теория Лоренца противоречит принципу относительности.

Этими высказываниями относительно первого подхода мы и ограничимся.

3. ЛОКАЦИОННАЯ ФОРМУЛИРОВКА ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Локационная процедура измерения использовалась фактически в теории относительности с самого начала для синхронизации удаленных часов. В дальнейшем был предложен новый метод изложения, основой которого стали наблюдатели, снабженные одинаковыми часами и локаторами¹⁹ (см. также¹⁰). Тем самым из теории были исключены жесткие масштабы. Однако этот подход по существу носил скорее формальный характер, поскольку в результате перехода к "мгновенным расстояниям" все прежние выводы, соответствующие эйнштейновскому подходу, остались в силе.

Сущность же локационной формулировки^{11,5} заключается в том, что она имеет дело именно с непосредственно наблюдаемыми на опыте (измеряемыми локационным методом) расстояниями между неодно-

временными точками. В электродинамике такие расстояния получили названия "запаздывающих". Если переход от первого ко второму подходу связан с избавлением от фиктивной величины — эфира, то следующий шаг связан с устранением фактически ненаблюдаемых "мгновенных расстояний". В результате пространственно-временная структура — эта основа теории относительности — претерпевает коренное изменение. В частности, теперь вместо сокращения мы имеем увеличение продольных размеров релятивистских объектов ("формула удлинения"). Напомним, что "формула удлинения"

$$l = l_0 \gamma \quad (5)$$

является прямым следствием концепции релятивистской длины^{12/}, опирающейся на локационный метод измерения расстояний, т.е. имеющей дело именно с запаздывающими (световыми) расстояниями^{13/}. Как следствие нового подхода, изменяется не только физическая интерпретация, но и количественное (математическое) объяснение ряда явлений, а некоторые известные "парадоксы" попросту устраняются (см., например,^{14/}). Примером здесь могут служить "проблема 4/3", парадокс рычага Льюиса — Толмена, появление заряда в движущемся (нейтральном) проводнике с током и др. Их разрешение ведет к устранению фиктивных величин, таких как "давление Пуанкаре", поток энергии фон Лауэ и т.п.

С чисто математической точки зрения рассматриваемый подход находится в связи с так называемой асинхронной формулировкой^{15/}, являющейся своего рода следствием достаточно широкой дискуссии, развернувшейся в 60-х годах вокруг упомянутых вопросов.

В связи с "проблемой 4/3" (определения импульса и энергии электромагнитного поля заряда) следует особо обратить внимание на работу Ферми^{16/}, которая значительно предшествовала отмеченной дискуссии и по существу предвосхитила асинхронную формулировку. Причем предложенное Ферми условие, связанное с нормальным (неодновременным) сечением мировой трубки (в отличие от эйнштейновского $t = \text{const.}$), носило ковариантный характер. Больше того, как, по-видимому, впервые отмечено в работе, обычный (т.е. эйнштейновский) подход явно противоречит принципу относительности, т.к. зависит от системы отсчета*. В то же время служащая основой локационной формулировки концепция релятивистской длины удовлетворяет этому принципу, является "физически ковариантной". Как было показано^{11/}, 4-вектор реляти-

*Ср. с зависимостью от системы отсчета в теории эфира.

вистской длины представляет собой нормальное сечение мировой плоскости стержня, т.е. совпадает с условием Ферми. Таким образом, определение релятивистской длины и математически (геометрически) ковариантно.

4. ОПЫТ МАЙКЕЛЬСОНА — МОРЛИ

Этот опыт отметил уже свой столетний юбилей. Однако до сих пор нет единодушия в оценке его значения. Высказывается мнение, что "... нам не только очевидно, каким должен быть результат эксперимента Майкельсона — Морли, но и стало яснее ясного, что этот эксперимент вообще не следовало ставить"^{19/}. В то же время его бесспорным следствием является гипотеза Фицджеральда — Лоренца, а эффект сокращения занимает важное место в эйнштейновской трактовке релятивизма. Вообще, изменение пространственных размеров объектов в результате движения можно считать одним из наиболее значительных выводов релятивизма. Обращает внимание то странное обстоятельство, что совершенно разные подходы (I и II) дают одинаковый результат. Правда, как подчеркивает Эйнштейн^{17/}, в первом случае это гипотеза (см. также^{18/}), а во втором — следствие основных принципов теории.

Отметим также, что отрицательный результат опыта Майкельсона — Морли в движущейся системе отсчета может быть объяснен без привлечения эффекта сокращения в рамках локационного подхода^{19/}.

В заключение суммируем результаты трактовки опыта Майкельсона — Морли с точки зрения всех трех рассмотренных подходов.

	S*	S	S/S*
I (Л. — П.)	$l_0 \gamma^{-1}$	l_0	γ
II (Э.)	l_0	$l_0 \gamma^{-1}$	γ^{-1}
III (локац.)	l_0	$l_0 \gamma$	γ

Здесь S*- и S — системы отсчета, связанные с Землей и Солнцем соответственно, l_0 — собственная длина продольного плеча интерферометра. Фактический результат опыта (отношение продольных размеров) отражает последняя колонка. При этом, может быть, самое удивительное то, что локационная формулировка, в сущности, приводит к тому же эффекту, что и первоначальное объяснение, основанное на теории эфира.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Релятивизм оказал влияние на многие области современной физики посредством коренных изменений наших представлений о пространственно-временной структуре (отражающей наиболее общие закономерности поведения материальных объектов и световых сигналов).

Первоначальная его трактовка Лоренцем и Пуанкаре исходила из теории эфира. Ей принадлежит один из самых неожиданных выводов релятивизма — изменение продольных размеров движущихся тел (сокращение Фицджеральда — Лоренца). Общепринятый подход, т.е. теория относительности в эйнштейновской трактовке, оперирует практически с теми же математическими формулами, хотя их физическая интерпретация существенно другая. Ее основой служат "мгновенные" (синхронные) пространственные расстояния. В отличие от этого третий подход (опирающийся на локационный метод измерения расстояний) имеет дело с запаздывающими или световыми расстояниями. В его рамках продольные размеры релятивистских объектов должны возрасть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Michelson A.A., Morley E.W. — Amer. J. Sci., 1887, v.34, p.333.
2. Fitzgerald G.E. — Science, 1889, v.13, p.390.
3. Lorentz H.A. — Verh. K. Akad. Wet., 1892, v.1, p.74.
4. Эйнштейн А. — Собр. научных трудов. М.: Наука, 1965, т.1, с.12.
5. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-90-484, Дубна, 1990.
6. Эйнштейн А. — Собр. научных трудов. М.: Наука, 1965, т.1, с.45.
7. Idem — Ibid., 1966, т.2, с.752.
8. Idem — Ibid., 1965, т.1, с.413.
9. Бонди Г. — Относительность и здравый смысл. М.: Мир, 1967.
10. Miln E.A. — Relativity, Gravitation and World-Structure. Oxford: Clarendon Press, 1935.
11. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-90-426, Дубна, 1990.
12. Strel'tsov V.N. — Found. Phys., 1976, v.6, p.293.
13. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-89-772, Дубна, 1989.
14. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-87-817, Дубна, 1987.
15. Cavalleri G., Salgarelli G. — Nuovo Cim., 1969, v.62A, p.722.
16. Ферми Э. — Научные труды. М.: Наука, 1971, с.76.
17. Эйнштейн А. — Собр. научных трудов. М.: Наука, 1965, т.1, с.555.
18. Пуанкаре А. — Наука и гипотеза. М.: Наука, 1983, с.502.
19. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-5946, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1990 года.