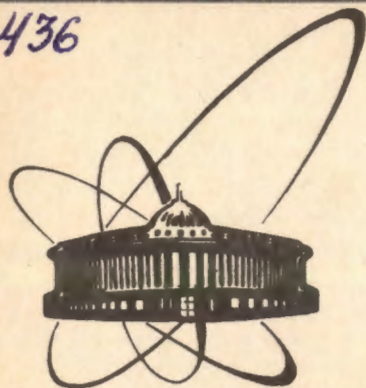


10/92

322.3

34

91-436



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Д2-91-436

В. Н. Стрельцов

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
(Локационная формулировка)

1991

ВВЕДЕНИЕ

Специальная теория относительности в ее общепринятом в настоящее время виде была сформулирована фактически в начале нашего столетия. При этом с самого возникновения ее построение опиралось на локационную процедуру, использовавшуюся, например, для синхронизации удаленных часов. Больше того, эта же процедура послужила далее Эйнштейну для прямого вывода преобразований Лоренца^{1/}. Как известно, исторически указанные преобразования были получены из условия инвариантности уравнений Максвелла при переходе к движущейся (инерциальной) системе отсчета.

Теория относительности внесла революционные изменения в существовавшие представления о пространстве и времени, восходящие еще к Ньютону. Она открыла новые пути осмысления естественных явлений и послужила основой для релятивизации многих разделов физики, начиная с электродинамики, механики, термодинамики и т.д. Однако процесс возникновения и становления принципиально новых представлений не может сразу полностью отделиться от прежних понятий. Ввиду своей привычности эти старые термины, "будучи незамеченными", остаются служить теории, которая, по существу, их отвергла. Сюда в первую очередь следует отнести понятие твердого стержня (масштаба). Действительно, такая основополагающая сущность, как система отсчета, мыслилась в виде каркаса из твердых стержней и множества расставленных в различных местах синхронизованных часов^{2/}. Напомним, что представление о твердом (недеформируемом) стержне было заимствовано из повседневной жизни, в которой мы имеем дело с очень малыми (по отношению к световой) скоростями. По существу, недеформируемость означает, что возмущение, например, от одного конца стержня к другому распространяется практически мгновенно. Иными словами, можно сказать, что твердый стержень реализует мгновенную (одновременную) длину. В нерелятивистском случае указанное условие действительно выполняется и такое представление вполне оправданно. Однако при переходе к скоростям движения, близким к световым, скорость распространения деформации будет уже представлять собой малую величину. Тем не менее, подсознательно мы все же продолжаем оставаться на прежних позициях, т.е. пользоваться представлением о твердых телах. Характерным примером здесь может служить один известный элементарный вывод

соотношения $E = mc^{2/3}$, где неявно предполагается, что за счет излучения светового импульса твердый цилиндр мгновенно приходит в движение. До сих пор этот вывод зачастую приводится при изложении теории относительности (см., например, ⁴).

Другая, локационная формулировка ^{5,6} оперирует с непосредственно наблюдаемыми на опыте световыми или запаздывающими расстояниями и опирается на локационный метод измерения расстояний ⁷. Тем самым только в рамках этой формулировки мы избавляемся от целого ряда фиктивных понятий и, в первую очередь, таких, как твердые масштабы (стержни). Чисто математически этот подход находится в связи с так называемой асинхронной формулировкой ⁸.

Уже на основании вышеизложенного можно заключить, что основное отличие двух подходов должно быть связано с поведением пространственных размеров материальных тел. Действительно, если в первом случае мы имеем сокращение продольных размеров движущихся объектов, то во втором — их увеличение.

Главная цель настоящей работы заключается в изложении основных особенностей локационной формулировки, ее отличия от традиционного (эйнштейновского) подхода.

ТРАДИЦИОННЫЙ (ЭЙНШТЕЙНОВСКИЙ) ПОДХОД

Именно этот подход излагается во всех учебниках и монографиях по теории относительности. Интересующая нас сторона касается главным образом пространственной части пространственно-временной картины (т.е. таких понятий, как длина, расстояние, и образованных на их основе величин).

Напомним, что согласно Эйнштейну длиной движущегося стержня называется расстояние между одновременными положениями его концов ¹. Очевидно, что это определение охватывает и какие угодно малые скорости движения стержня, т.е. в пределе и покоящийся стержень. Таким образом, можно сказать, что в рамках традиционного подхода мы имеем дело с одновременными или мгновенными расстояниями*.

Здесь мы хотим коснуться работы Гамбы ¹⁰, в которой критикуется общепринятая процедура вычисления энергии и импульса электромагнитного поля заряда в различных системах отсчета (S и S^*), связанная с интегрированием по пространственным объемам при $t = \text{const.}$ и $t^* = \text{const.}$ соответственно. Поскольку,

*Ср. с мгновенной формой релятивистской динамики Дирака ¹⁰.

таким образом, интегрирование производится по разным гиперповерхностям, то, как отмечает автор, результаты вычислений должны относиться к различным совокупностям физических событий, в то время как преобразования Лоренца имеют дело с одной и той же совокупностью событий. Именно указанное интегрирование приводит нас к формулам для энергии и импульса, отличающимся от соответствующих известных формул теории относительности. Еще раньше на указанное противоречие обратил внимание Ферми ¹¹. Больше того, он отметил, что обычный подход (опирающийся на условие $t = \text{const.}$) явно противоречит принципу относительности, поскольку зависит от системы отсчета.

ЛОКАЦИОННАЯ ФОРМУЛИРОВКА ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Как уже отмечалось, локационная процедура использовалась фактически в теории относительности с самого начала для синхронизации удаленных часов. В дальнейшем был предложен другой метод изложения, основой которого стали наблюдатели, снабженные одинаковыми часами и локаторами ¹². Тем самым из теории были исключены жесткие масштабы. Однако этот подход, по существу, носил скорее формальный характер, поскольку в результате последнего перехода к мгновенным расстояниям все прежние выводы, соответствующие эйнштейновской формулировке, остались в силе.

Сущность же локационной формулировки заключается в том, что она имеет дело именно с непосредственно наблюдаемыми на опыте (измеряемыми локационным методом) расстояниями между одновременными точками. В электродинамике, как известно, такие расстояния получили названия запаздывающих. Еще раньше подобные (световые) расстояния применялись при установлении угла aberrации света звезд.

Можно сказать, что переход к локационной формулировке связан с устранением фактически ненаблюдаемых (т.е. фиктивных) 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:

$$l_r = l^* \gamma, \quad (1)$$

где γ — лоренц-фактор, является прямым следствием концепции релятивистской длины ⁷, опирающейся на локационный метод измерения расстояний, т.е. имеющий дело именно с запаздывающими (световыми) расстояниями ¹³.

В рамках этой концепции релятивистская длина определяется полусуммой расстояний, которые световой сигнал проходит вдоль стержня от одного его конца до другого и обратно (в направлении движения стержня и против). В пространстве Минковского 4-вектор релятивистской длины ℓ^i выражается полуразностью двух световых 4-векторов ℓ_f^i и ℓ_b^i , описывающих соответствующие процессы распространения света (в прямом и обратном направлениях). Здесь первая величина в точности соответствует 4-вектору запаздывающего расстояния ℓ_{ret}^i , когда поле распространяется в направлении движения источника, а ℓ_b^i соответствует ℓ_{abv}^i , когда направления распространения поля и движения заряда противоположны. В системе покоя стержня S^* и в S -системе, где он движется вдоль оси x со скоростью $v = \beta c$, будем иметь

$$\ell_f^{i*} (\ell^*/c, \ell^*, 0, 0), \quad \ell_b^{i*} (\ell^*/c, -\ell^*, 0, 0), \quad (2^*)$$

$$\ell_f^i [\ell^* (1 + \beta)\gamma/c, \ell^* (1 + \beta)\gamma, 0, 0], \quad (2)$$

$$\ell_b^i [\ell^* (1 - \beta)\gamma/c, -\ell^* (1 - \beta)\gamma, 0, 0].$$

Откуда для

$$\ell_r^i = \frac{1}{2} (\ell_f^i - \ell_b^i) \quad (3)$$

найдем

$$\ell_r^{i*} (0, \ell^*, 0, 0), \quad (4^*)$$

$$\ell_r^i (\beta \ell^* \gamma/c, \ell^* \gamma, 0, 0). \quad (4)$$

Как видно, величина $\ell_r^i (\equiv \ell_r)$ и представляет формулу удлинения (1).

Как следствие нового подхода, изменяется не только физическая интерпретация, но и количественное (математическое) объяснение целого ряда явлений, а некоторые известные "парадоксы" попросту устраняются. Здесь, по-видимому, в первую очередь следует указать на "проблему 4/3" (определение импульса и энергии электромагнитного поля движущегося заряда) (см., например, /14/). Именно при ее рассмотрении /15/ для преобразования пространственного объема вместо привычного лоренцева сжатия была предложена другая формула, соответствующая (1). Далее отметим "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. Особо следует выделить оттовскую формулировку релятивистской термодинамики /16/, которая существенно отличалась от первоначальной, восходящей еще к Планку и Эйнштейну. Ее появление было никак не связано с изменением преобразования продольных размеров. Однако, как выяснилось в дальнейшем /17/, формулы Отта для количества тепла и температуры органически вплетаются в структуру локационной формулировки. Отметим также, что в рамках локационной формулировки существенным образом изменяется характер поведения поля движущегося заряда /18/. В терминах запаздывающих расстояний эквипотенциальные поверхности электрического поля, например, имеют форму эллипсоидов вращения, вытянутых в направлении движения. Может быть, следует упомянуть, что традиционная трактовка знаменитого опыта Майкельсона - Морли, сыгравшего огромную роль для становления теории относительности, также существенным образом опирается на понятие мгновенной длины. Применение же локационной, т.е. релятивистской, длины приводит к формуле удлинения для продольного плеча интерферометра /19/.

Поведение ряда характерных величин, иллюстрирующих отличие двух подходов, показано в таблице.

Таблица

Общепринятый подход	Локационная формулировка
<u>Преобразование продольных размеров</u>	
$\ell = \ell^* \gamma^{-1}$	$\ell = \ell^* \gamma$
<u>Импульс и энергия электромагнитного поля</u>	
$G^1 = \frac{4\beta}{3c} E^* \gamma, \quad E = (1 + \frac{1}{3} \beta^2) E^* \gamma$	$G^1 = \frac{\beta}{c} E^*, \quad E = E^* \gamma$
<u>Уравнение эквипотенциалей</u>	
$R = \frac{e}{\phi} (1 - \beta^2 \sin^2 \theta)^{-1/2}$	$R = \frac{e}{\phi} (1 - \beta \cos \theta)^{-1}$
<u>Заряд проводника с током</u>	
$q \neq q^*$	$q = q^*$
<u>Преобразования количества тепла и температуры</u>	
$Q = Q^* \gamma^{-1}, \quad T = T^* \gamma^{-1}$	$Q = Q^* \gamma, \quad T = T^* \gamma$

Но, по-видимому, самой непосредственной областью применимости локационной формулировки и, в частности, концепции релятивистской длины следует считать физику высоких энергий¹²⁰. Известный рост масштабов продольных расстояний при больших энергиях обусловлен увеличением длин формирований, что фактически и описывает формула (2). Примечательно, что в нашедших широкое применение в физике высоких энергий черенковских счетчиках угол излучения задается именно световым расстоянием¹⁶¹. Отметим еще, что введение фундаментальной длины, которая, как полагают, должна играть важную роль в физике элементарных частиц, противоречит общепринятым представлениям о сокращении продольных размеров, тогда как в рамках локационной формулировки подобная трудность не возникает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 60-х годах стали прорисовываться контуры иной, отличной от традиционной (эйнштейновской) формулировки теории относительности, получившей тогда название асинхронной. Ее главная особенность заключалась в использовании другой формулы преобразования для продольных размеров релятивистских объектов. Вместо привычного сокращения продольные размеры должны возрастать с увеличением скорости. Однако эта формулировка не получила признания, поскольку не имела физического обоснования. Только введение базирующейся на локационном методе измерения расстояний концепции релятивистской длины дало такую основу. Новая, локационная формулировка (охватывающая асинхронную) оперирует со световыми или запаздывающими, т.е. неодновременными (асинхронными), расстояниями, тогда как в общепринятом подходе мы фактически имеем дело с мгновенными (одновременными) расстояниями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Einstein A. - Ann. Phys., 1905, 17, p.891.
2. Idem - Jahrb. Rad. El., 1907, 4, p.411.
3. Idem - Ann. Phys., 1906, 20, p.627.
4. Born M. - Einstein's Theory of Relativity, Dover, NY, 1962, ch.6, § 8.
5. Стрельцов В.Н. - Сообщение ОИЯИ P2-90-426, Дубна, 1990.
6. Idem - Сообщение ОИЯИ P2-90-484, Дубна, 1990.
7. Strel'tsov V.N. - Found. Phys., 1976, 6, p.293.
8. Cavalleri G., Salgarelli G. - Nuovo Cim., 1969, 62A, p.722.

9. Dirac P.A.M. - Rev. Mod. Phys., 1949, 21, p.392.
10. Gamba A. - Amer. J. Phys., 1967, 35, p.83.
11. Fermi E. - Z.Phys., 1922, 23, p.340.
12. Bondi H. - Relativity and Common Sense. Anchor Books Dobleday & Co., NY, 1964.
13. Стрельцов В.Н. - Сообщение ОИЯИ P2-89-772, Дубна, 1989.
14. Strel'tsov V.N. - Hadronic J., 1990, 13, p.345.
15. Kwal B. - J. Phys. Radium, 1949, 10, p.103.
16. Ott H. - Z. Phys., 1963, 175, p.70.
17. Strel'tsov V.N. - Found. Phys., 1977, 7, p.325.
18. Стрельцов В.Н. - Сообщения ОИЯИ P2-89-234, P2-89-689, P2-89-695, Дубна, 1989.
19. Idem - Сообщение ОИЯИ D2-91-125, Дубна, 1991.
20. Idem - ЭЧАЯ, 1991, 22, с.1129.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 октября 1991 года.