

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С 844

P2-88-843

В.Н.Стрельцов

ЕЩЕ РАЗ О РАЗМЕРАХ БЫСТРОДВИЖУЩИХСЯ
ОБЪЕКТОВ

1988

Существо этого вопроса заключается в релятивистском изменении продольных размеров материальных объектов в результате их движения.

1. Концепция релятивистской длины /КРД/ ^{1/1/} основывается на отличном от традиционного определении понятия размеров быстро движущихся объектов, в частности, их продольных размеров. При этом измерительная процедура базируется на известном локационном методе измерения расстояний. Следствием КРД является релятивистская "формула удлинения". В ее рамках, например, длина быстро движущегося вдоль своего максимального размера стержня определяется средним расстоянием, пройденным световым сигналом в прямом и обратном направлениях по стержню, т.е. от одного его конца до другого и обратно ^{1/16/}. Пусть при этом стержень движется в S-системе со скоростью v слева направо вдоль оси x , а наблюдатель начинает измерение после пролета стержня, т.е. сначала посланный от левого конца сигнал будет "догонять" правый конец. Поэтому пройденное им расстояние составит

$$l_n = l_0(1 + v) \gamma, \quad /1a/$$

где l_0 - длина данного стержня в покое / S_0 -система/, $c = 1$, $\gamma = (1 - v^2)^{-1/2}$. В обратном направлении свет будет идти навстречу левому концу, поэтому

$$l_n = l_0(1 - v) \gamma. \quad /1б/$$

Отсюда для релятивистской длины найдем

$$l_r = (l_n + l_n) / 2 = l_0 \gamma \quad /"формула удлинения"/. /2/$$

Хотя рассмотренная измерительная процедура "мысленная", в отличие от традиционной, связанной с засечками одновременного положения концов и последующим прикладыванием эталонного масштаба, она фактически отражает реальную физическую ситуацию. Дело в том, что основная область применимости теории относительности - это явления микромира. При этом по современным представлениям взаимодействия микрообъектов, и, в частности,

элементарных частиц, происходят с помощью обмена квантами поля. Грубо говоря, эти взаимодействия - типа посылки-приема квантов* или, на другом языке, можно сказать, что это - взаимодействия /особенно электромагнитное/ локационного типа. Коль скоро это так, то очевидно, что характеризующие взаимодействия эффективные пространственные размеры, которые можно назвать "динамическими"**, должны определяться именно релятивистской длиной^{12/}.

Следует также отметить, что на языке четырехмерного представления релятивистская длина определяется пространственной частью полуразности двух 4-векторов, описывающих процессы распространения света в прямом и обратном направлениях. В рассмотренном выше случае для соответствующего 4-вектора ℓ_i^i ($i=0,1,2,3$) в S - и S_0 -системах будем иметь

$$\ell_i^i (v\ell_0, \ell_0, 0, 0), \quad \ell_{i_0}^i (0, \ell_0, 0, 0). \quad /3a, б/$$

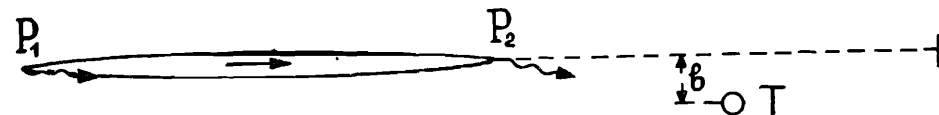
Здесь, может быть, также следует подчеркнуть, что только в рамках КРД фактически разрешается проблема, связанная с существованием фундаментальной /или элементарной/ длины^{13/}, которая, как полагают, должна играть большую роль в физике элементарных частиц. Действительно, введение ℓ_i противоречит общепринятым представлениям о сокращении релятивистски движущихся масштабов^{14/}. По-видимому, именно это имел в виду Паули^{15/} в своем замечании о том, что универсальная наименьшая длина, наверное, не может существовать на основании релятивистской инвариантности.

2. Видимые размеры быстро движущихся объектов. Именно при изучении этой проблемы и было, по-видимому, впервые поставлено под сомнение укоренившееся представление, что релятивистски движущиеся объекты должны всегда сжиматься^{16/}. Как, в частности, и было установлено^{17,8/}, точечный наблюдатель, находящийся вблизи пути движения стержня, будет в соответствии с формулами /1a/ и /1б/ видеть удлиненный в $(1+v)$ раз приближающийся стержень и сокращенный в $(1-v)$ раз пролетевший стержень и т.д. При этом "средний" видимый размер /с учетом промежуточных положений/ будет определяться именно "формулой удлинения"^{12/}. Может быть, особого внимания заслуживают исследования поведения видимой формы релятивистски движущейся сферы^{19/}.

* Т.е. тех же физических сигналов.

** Особенно, если учесть, что в микромире влиянием процесса измерения /взаимодействия/ уже пренебречь нельзя.

Но самое существенное во всем этом то, что обычный "процесс видения" является своего рода модификацией рассмотренного выше локационного метода измерения, и связан со взаимодействием излученных световых сигналов /в конечном счете - фотонов/ с наблюдателем или регистрирующим прибором. Поэтому видимые размеры должны отражать сам характер взаимодействия /в данном случае электромагнитного/. Вообще же можно сказать, что по современным представлениям в основе механизма электромагнитных, так же как и сильных взаимодействий, лежит фактически локация /или "видение"/ с помощью фотонов и глюонов соответственно. Таким образом, этот, казалось бы, обыденный вопрос о видимых размерах быстро движущихся объектов, на самом деле тесно связан с самыми глубинными процессами микромира.



Представленный рисунок как раз иллюстрирует то, каким протон-мишень/T/ "видит" релятивистски движущийся ($\gamma \approx 10$) протон/P/. "Видит" - это значит, что он одновременно фиксирует сигналы /фотоны/, которые были испущены в разные моменты времени, скажем, из точек P_1 и P_2 . При этом параметр удара $b \rightarrow 0$. В данном случае "процесс видения" является попросту составной частью кулоновского взаимодействия, а релятивистская длина будет характеризовать собою некоторый эффективный /усредненный по времени взаимодействия/ продольный размер налетающего протона.

3. "Парадокс" с электростатической энергией конденсатора^{10/} родствен известной проблеме 4/3 /см., например,^{11/}. Напомним его главные черты. Плоскопараллельный вакуумный заряженный конденсатор расположен нормально к оси x_0 , площади его пластин A , зазор между ними ℓ_0 . При этом плотность энергии электрического поля (E_x) определяется величиной $\rho_0 = E_x/2$. Полная электростатическая энергия \mathcal{E}_0 получается умножением ρ_0 на величину пространственного объема $V_{(0)} = A\ell_0$. Рассмотрим теперь, чему равна электростатическая энергия конденсатора с точки зрения S -системы, где он движется со скоростью v . Поскольку E_x не преобразуется при переходе к S -системе, плотность энергии

ρ останется неизменной ($\rho = \rho_0$). Площади пластин также не изменятся, но зазор между ними, согласно формуле сокращения, должен уменьшиться до l_0/γ . Следовательно, энергия \mathcal{E} также уменьшится на величину γ , тогда как, по всем канонам, в результате движения она должна возрасти в γ раз. В этом заключается суть парадокса Риндлера-Денура /10/.

Легко видеть, что в рамках КРД никакого парадокса не возникает, поскольку, согласно "формуле удлинения" /2/, у движущегося конденсатора зазор увеличивается в γ раз. Следовательно, электростатическая энергия также возрастет в полном соответствии с общеизвестным законом "энергия = γ \times энергия покоя".

Впрочем, строго говоря, при вычислении энергии следует опираться на ковариантное выражение для $p^i(\mathcal{E}, \vec{p})$, которое в данном случае может быть записано в простом виде

$$p^i = \int t^{ik} dV_k = t^{ik} V_k, \quad /4/$$

где t^{ik} - тензор электромагнитного поля, V_k - ковариантный 4-вектор объема. При этом в соответствии с /3/ имеем

$$V_k(V_{(0)} \gamma, vV_{(0)} \gamma, 0, 0), \quad V_{k(0)}(V_{(0)}, 0, 0, 0), \quad /5a, б/$$

где $V_{(0)} = l_0 A$. В результате для электростатической энергии движущегося конденсатора получим

$$\mathcal{E} = p^0 = t^{00} V_0 + t^{01} V_1. \quad /6/$$

С учетом формул преобразований для компонент t^{ik}

$$t^{00} = \gamma^2(t_{(0)}^{00} + v^2 t_{(0)}^{11}), \quad t^{01} = \gamma v(t_{(0)}^{00} + t_{(0)}^{11}), \quad /7/$$

$$t^{11} = \gamma^2(t_{(0)}^{11} + v^2 t_{(0)}^{00}),$$

и существующей связи между плотностью энергии и давлением $t_{(0)}^{11} = -t_{(0)}^{00}$ легко найдем, что

$$\rho = t^{00} = t_{(0)}^{00} = \rho_0, \quad t^{01} = 0, \quad t^{11} = t_{(0)}^{11}. \quad /7' /$$

Таким образом, второй член в /6/ обращается в нуль, и мы действительно /теперь уже строго/ приходим к требуемому выражению $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \gamma$.

Вместе с тем следует отметить, что формально даже при традиционном подходе никакого парадокса не возникает. Дело в том, что в этом случае вместо /5/ имеем

$$V^E(V_{(0)} \gamma^{-1}, 0, 0, 0), \quad V_{(0)}^E(V_{(0)}, -vV_{(0)}, 0, 0), \quad /8a, б/$$

а поэтому, согласно /4/, у покоящегося конденсатора импульс $p_{(0)}^1 \neq 0$ /!/, тогда как у движущегося напротив $p^1 = 0$ /!/. Однако очевидно, что последний результат физически бессмыслен. Мы с необходимостью должны положить $p_{(0)}^1 = 0$. Это условие /с учетом $t_{(0)}^{11} \neq 0$ / однозначно ведет к требованию $V_{1(0)}^E = 0$ /ср. с /5б//. Таким образом, введение КРД фактически предопределяется физическими требованиями.

Автор выражает благодарность К.Д.Толстову за интерес к проблеме и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельцов В.Н. Сообщения ОИЯИ: а/ Р2-3482, Дубна, 1967; б/ Р2-5555, Дубна, 1971.
2. Стрельцов В.Н. Сообщение ОИЯИ Р2-86-470, Дубна, 1986.
3. Стрельцов В.Н. Сообщение ОИЯИ Р2-88-626, Дубна, 1988.
4. Liboff R.L. - Am. J. Phys., 1987, v.55, p.1041.
5. Паули В. Общие принципы волновой механики, М.-Л.: ГИТТЛ, 1947, с.287.
6. Terrell J. - Phys. Rev., 1959, v.116, p.1014.
7. Mathews P.M., Lakshmanan - Nuovo Cim., 1972, v.B12, p.168.
8. Strel'tsov V.N. JINR Preprint E2-7805, Dubna, 1974; Found. Phys., 1976, v.6, p.293.
9. Suffern K.G. - Am. J. Phys., 1988, v.56, p.729.
10. Rindler W., Denur J. - Am. J. Phys., 1988, v.56, p.795.
11. Стрельцов В.Н. Сообщение ОИЯИ Р2-87-817, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 декабря 1988 года.