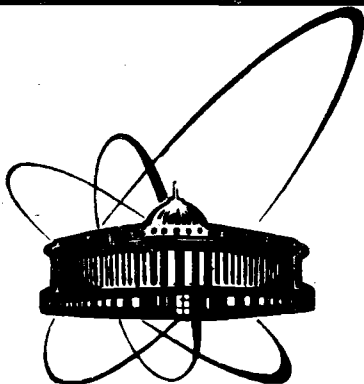


89-772



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

C 844

P2-89-772

В. Н. Стрельцов

**"ЗАПАЗДЫВАЮЩИЕ РАССТОЯНИЯ"  
И РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДЛИНА**

**1989**

1. Как известно, понятие "запаздывающего расстояния" было введено фактически Лиенаром и Вихертом<sup>1, 2 /</sup>. В простейшем случае, когда заряд  $e$  движется вдоль оси  $x$  и приближается к точке наблюдения\*, также находящейся на оси  $x$ , их формула для электрического потенциала  $\phi$  имеет вид

$$\phi = \frac{e}{X_r (1 - \beta)} . \quad (1)$$

Здесь  $X_r$  — "запаздывающее расстояние", т.е. расстояние между точкой наблюдения (в момент времени  $t$ ) и зарядом (в момент времени  $t'$ ), при этом  $X_r = c(t - t')$ ,  $\beta c$  — скорость движения заряда. В пространстве Минковского "запаздывающее расстояние" описывается отрезком мировой линии, точки которой берутся в разные моменты времени.

Очевидно, что в системе покоя заряда (1) переходит в известное выражение для кулоновского потенциала

$$\phi^* = \frac{e}{X^*} . \quad (2)$$

Исходя из (1) и (2) и привлекая формулу преобразования для потенциала, найдем<sup>3 /</sup>

$$X_r = X^* (1 + \beta) \gamma , \quad (3)$$

где  $\gamma$  — лоренц-фактор ( $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ ).

В другом крайнем случае, когда поле распространяется в направлении, противоположном направлению движения источника\*\*, будем иметь

$$\phi = \frac{e}{X'_r (1 - \beta)} , \quad (4)$$

---

\* Источник движется в направлении распространения поля.

\*\* Заряд удаляется от точки наблюдения.

а для формулы преобразования соответствующего "запаздывающего расстояния" найдем

$$X'_r = X^* (1 - \beta) \gamma. \quad (5)$$

Вообще можно сказать, что релятивистская электродинамика оперирует именно с "запаздывающими расстояниями". Вместе с тем переход к "мгновенному расстоянию" (см., например,<sup>4/</sup>), все точки которого соответствуют одному и тому же моменту времени, нельзя признать физически обоснованным. Дело в том, что к моменту наблюдения  $t$  заряд может попросту "свернуть" со своего пути, испытав после момента времени  $t'$  какое-то взаимодействие. Поэтому "мгновенное расстояние" по сути дела является фиктивной величиной, чуждой релятивистской электродинамике\*. Больше того, его введение неявно предполагает существование бесконечной скорости распространения взаимодействия. Заметим, что и в повседневной жизни при локационных измерениях мы имеем дело исключительно с "запаздывающими расстояниями". Тем не менее известное эйнштейновское определение длины движущегося стержня, служащее для объяснения лоренцева сокращения, фактически опирается на понятие "мгновенного расстояния". Между тем, в рамках альтернативного определения (концепции релятивистской длины) используются как раз "запаздывающие расстояния".

2. Напомним (см., например,<sup>5/</sup>), что релятивистской длиной (длиной быстро движущегося стержня) называется полусумма расстояний, пройденных световым сигналом в прямом и обратном направлениях вдоль стержня. Пусть для простоты стержень ориентирован и движется в направлении оси  $x$  (слева направо). Сигнал посылается в момент пролета левого конца. Свет достигает правого конца, отражается там и возвращается назад, к левому концу. Для расстояния, пройденного световым сигналом, когда он движется в одном направлении с источником ("догоняет" правый конец стержня), будем иметь

$$X_s = \ell^* (1 + \beta) \gamma. \quad (6)$$

Здесь  $\ell^*$  — длина данного стержня в покое. Когда световой сигнал (после отражения) движется в направлении, противоположном направлению движения источника (навстречу левому концу стержня), он проходит расстояние

\* Согласно принципу наблюдаемости в науку вообще нельзя вводить принципиально ненаблюдаемые величины.

$$X_o = \ell^* (1 - \beta) \gamma. \quad (7)$$

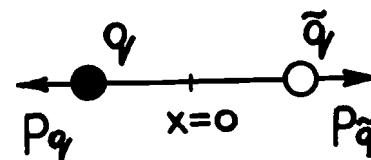
В результате для релятивистской длины найдем

$$\ell = \frac{1}{2} (X_s + X_o) = \ell^* \gamma \quad (\text{"формула удлинения"}) \quad (8)$$

Подчеркнем, что величины  $X_s$  и  $X_o$  определяют расстояния между точками, которые берутся в разные моменты времени, т.е., очевидно, в точности соответствуют "запаздывающим расстояниям" (3) и (5)\*. Таким образом, можно сказать, что концепция релятивистской длины является органическим следствием релятивистской электродинамики. Впрочем, иного и не могло быть, поскольку указанная концепция опирается на локационный метод измерения расстояний.

3. Поскольку электромагнитные поля действуют на больших расстояниях, то можно сказать, что "запаздывающие расстояния", о которых шла речь, в частности, представляют собой макроскопические величины. Вместе с тем существует аналогия между электромагнитным полем и глюонным. Как известно, глюонное поле описывает поведение сильного взаимодействия на микроскопических расстояниях  $\leq 10^{-13}$  см. Кванты указанных полей — фотоны и глюоны — безмассовые частицы со спином 1. Поэтому полагают, что взаимодействие между кварками и глюонами на малых расстояниях можно описать по аналогии с электростатикой потенциалом вида  $-\alpha_s/X$ . Однако есть существенное различие: глюоны имеют цветной заряд и поэтому взаимодействуют друг с другом. Цветные силы стягивают силовые линии ядерного поля в шнур. При достаточно большом расстоянии между кварками шнур становится струной, натяжение которой пропорционально расстоянию между кварками. Простейший адрон — пион представлен на рисунке. Потенциал, описывающий основные особенности взаимодействия цветных зарядов, можно записать в виде (см., например,<sup>6/</sup>)

$$V = -\alpha_s/X + kX. \quad (9)$$



\* В какой-то мере символично, что по-английски слова "запаздывающий" и "релятивистский" начинаются с одной и той же буквы "r".

В соответствии с известным переходом от нерелятивистского кулоновского потенциала к потенциалу Лиенара — Вихерта перепишем (9) в релятивистски-ковариантной форме

$$V^0 = (-a_s/s + ks)u^0. \quad (10)$$

Здесь  $s = u^i X_i$ ,  $u^i$  — 4-скорость пиона,  $X_i$  — 4-вектор "запаздывающего расстояния".

Из формулы (10) с необходимостью вытекает, что размер пиона в движении  $\ell = X_q^* - X_q$  связан с его размером в системе покоя  $\ell^*$  именно "формулой удлинения". Величина  $\ell^*$  определяется крайними положениями кварка и антикварка ( $-X^*$  и  $X^*$  соответственно), предшествующими, например, разрыву струны.

С другой стороны, согласно эйнштейновской процедуре измерения в движущейся системе необходимо провести одновременные "засечки" положений кварка и антикварка (концов струны). Если при этом мы возьмем, например, момент времени, когда кварк (левый конец струны) занимает крайнее положение, то, с точки зрения  $S^*$ -системы, эти два события ("засечки") отнюдь не будут соответствовать размеру покоящегося пиона. Если для  $X_q^*$ , как и требуется, будем иметь  $X_q^* = \ell^*/2$ , то для  $X_q$  найдем, что  $X_q^* \cong \ell^* \gamma^{-2} / 8^*$ . Таким образом, мы пришли к нефизическому результату. И это прямо связано с тем, что мы фактически пренебрегали запаздыванием. А ведь учет запаздывания означает учет существования предельной скорости распространения взаимодействий, что в конечном счете является основой теории относительности, а следовательно, и всех релятивистских теорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lienard A. — Eclairage Electrique, 1989, v.16, pp.5, 53, 106.
2. Wiechert E. — Archives Neerlandes, 1900, v.5, p.549.
3. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-7647, Дубна, 1973.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. — Теория поля. М.: ГИФМЛ, 1960, с.200.
5. Стрельцов В.Н. — Сообщение ОИЯИ P2-87-817, Дубна, 1987.
6. Мурзин В.С., Сарычева Л.И. — Физика адронных процессов. М.: ЭА, 1986, с.54.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 ноября 1989 года.

\* Что касается момента "засечек", соответствующего крайнему положению антикварка, то в случае разрыва струны для кварка он вообще никогда не наступит.

Стрельцов В.Н.

P2-89-772

"Запаздывающие расстояния"  
и релятивистская длина

Подчеркивается, что релятивистская электродинамика оперирует исключительно с "запаздывающими расстояниями". Поэтому введенная в свое время релятивистская длина, которая выражается полусуммой двух "запаздывающих расстояний", органически связана с электродинамикой. При этом "мгновенное расстояние" является чуждым для нее элементом. На основании аналогии между электромагнитным и глюонным полями приводятся соображения о том, что поведение продольных размеров быстрых адронов должно определяться "формулой удлинения", вытекающей из концепции релятивистской длины.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод автора

Strel'tsov V.N.

P2-89-772

"Retarded Distances"  
and Relativistic Length

It is stressed that relativistic electrodynamics uses solely "retarded distances". Therefore the relativistic length introduced earlier and which is expressed as a half-sum of two "retarded distances" is connected organically with electrodynamics. At the same time "instantaneous distance" is an alien element to it. Considerations are produced that based on analogy with electromagnetic and gluon fields the behaviour of longitudinal sizes of fast hadrons must be described by "elongation formula", arising from the concept of the relativistic length.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989