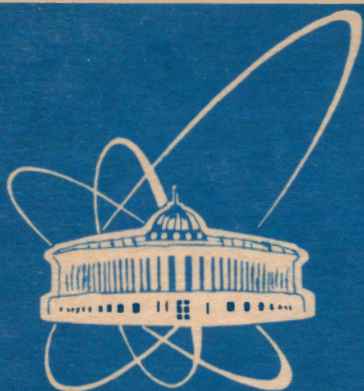


95-10



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Д2-95-10

В.Н.Стрельцов

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПОЛЯ
СВЕРХРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЗАРЯДОВ

1995

1. В свое время на основании потенциала Лиенара — Вихерта был установлен эффект «релятивистского дальнего действия» поля (см., например, [1]). Он заключается в том, что с ростом скорости заряда его поле все более вытягивается вперед и действует на все большие расстояния.

Вытекающее из формулы для электрического потенциала ϕ (создаваемого движущимся со скоростью βc зарядом e) выражение для эквипотенциальных кривых имеет вид

$$R = \frac{e/\phi}{1 - \beta \cos \vartheta} = \frac{a}{1 - \beta \cos \vartheta}. \quad (1)$$

Здесь R — запаздывающее расстояние, ϑ — угол между векторами \mathbf{R} и $\vec{\beta}$. Очевидно, что формула (1) представляет собой полярное уравнение эллипса с фокальным параметром a и эксцентриситетом β . При больших скоростях ($\beta \rightarrow 1$), в частности, будем иметь

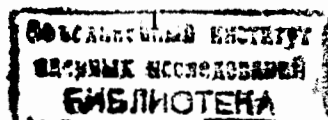
$$R_{\parallel} = a \frac{1 + \beta}{1 - \beta^2} = 2a\gamma^2, \quad (2)$$

где γ — лоренц-фактор.

Таблица

E_p , ТэВ	0	0,07	1	10	10^3	50	5	E_e , ГэВ
R_{\parallel} , мм	10^{-7}	10^{-3}	0,2	20	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3$	20	R_{\parallel} , мм
R_{\perp} , мкм	10^{-4}	0,015	0,2	2	200	20	2	R_{\perp} , мкм

Поведение продольных и поперечных размеров электромагнитного поля протона и электрона с ростом их энергии представлено в таблице. За исходный взят атомный размер 1 \AA , т.е. расстояние, которое отвечает образованию простейшей связанной системы, например, из указанных частиц. Как видно, при энергии протона $E_p = 10 \text{ ТэВ}$ продольный размер поля составляет 2 см (поперечный — 2 мкм); для электрона с энергией $E_e = 50 \text{ ГэВ}$ $R_{\parallel} = 2 \text{ м}$, $R_{\perp} = 20 \text{ мкм}$. Кстати, известный релятивистский рост ионизационных потерь обусловлен именно рассматриваемым эффектом. Для космических частиц сравнительно небольшой энергии $E_p = 10^3 \text{ ТэВ}$ продольный



размер поля достигает очень большой величины — 200 м ($R_{\perp} = 0,2$ см). Таким образом, можно сказать, что элементарные частицы приобретают свойства макроскопических объектов. Тем самым в каком-то смысле становится условным (относительным) само деление на микро- и макрообъекты. Больше того, при больших энергиях становится вероятным образование (рождение) атомов макроскопических размеров.

Следует обратить внимание, что при энергии 10^{16} эВ у космической частицы (протона), только входящей в атмосферу, поле уже достигает поверхности Земли. При $E = 10^{18}$ эВ продольный размер составляет $2 \cdot 10^5$ км, т.е. значительно превышает диаметр Земли. Для космических частиц максимальной энергии 10^{20} эВ продольный размер поля ($2 \cdot 10^9$ км) будет уже значительно больше расстояния от Земли до Солнца.

2. Следует также подчеркнуть, что здесь мы имеем физическое объяснение широко известного, но не совсем понятного, роста длины формирования излучения при высоких энергиях*.

Напомним, что понятие длины (пути) формирования (когерентности) было введено Франком [2] при рассмотрении излучения равномерно движущегося осциллятора в преломляющей среде. Он определил ее как отрезок пути, с которого волны излучаются источником в фазе. Соответствующая формула (для $n = 1$) имеет вид

$$l_f = \frac{\lambda \beta}{1 - \beta \cos \vartheta}, \quad (3)$$

где λ — длина волны излучения, ϑ — угол между направлениями испускания волны и движения заряда. Другой (независимый) вывод формулы (3) приведен в Приложении.

Как следует из простого сравнения выражений (3) и (1), все особенности поведения длины формирования попросту отражают поведение поля движущегося заряда. При этом само излучение можно трактовать как «выбивание» квантов «поля сопровождения» заряда.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(Связь длины формирования с размерами поля движущегося заряда)

На основании векторного потенциала Лиенара — Вихерта имеем аналогичную (1) величину

$$R_A = \frac{e\beta}{A(1 - \beta \cos \vartheta)} = \frac{a\beta}{1 - \beta \cos \vartheta}. \quad (\text{П1})$$

*Если учесть, что согласно современным представлениям электрическое поле движущегося заряда имеет форму сжатого эллипсоида вращения.

Теперь мы хотим обратить внимание на следующее. Излучение движущегося заряда по сути дела представляет превращение виртуальных квантов в реальные. При этом на основании электромагнитной константы связи отношение энергии взаимодействия двух зарядов e^2/λ на расстоянии λ , переносимого виртуальным фотоном, к энергии рожденного (реального) кванта с длиной волны λ составляет $\alpha/2\pi$. Действительно:

$$\frac{\alpha}{2\pi} = \frac{e^2}{\lambda} / \frac{hc}{\lambda}. \quad (\text{П2})$$

Подставляя в (П1) соответствующее соотношение для импульсов ($eA = \alpha hc/\lambda$), будем иметь

$$R_f = \frac{e^2\beta}{(\alpha hc/\lambda)(1 - \beta \cos \vartheta)} = \frac{\beta \lambda}{1 - \beta \cos \vartheta}. \quad (\text{П3})$$

Таким образом, полученные совершенно разными путями выражения (П3) и (3) полностью совпадают. Следует подчеркнуть, что поведение как размеров поля, так и длины формирования по существу определяется «фактором запаздывания» $\kappa = 1 - \beta \cos \vartheta$. Этот же фактор в основном определяет и саму интенсивность «скоростного» (как, впрочем, и тормозного) излучения. Поэтому чем больше длина формирования, тем больше вероятность испускания фотонов именно в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strel'tsov V.N. — Sov. J. Part. Nucl., 1991, 22, p.552.
2. Frank I.M. — Izv. Akad. Nauk SSSR, ser. fiz., 1942, 6, p.3.
3. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-94-85, Dubna, 1994.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 января 1995 года.

Стрельцов В.Н.

D2-95-10

Макроскопические размеры поля сверхрелятивистских зарядов

На основании уравнения лиенар-вихертовских эквипотенциалов показано, что поле сверхрелятивистских зарядов достигает макроскопических размеров (например, при $E_e = 50$ ГэВ $R_{||} = 2$ м). Это явление служит первопричиной известного значительного роста длины формирования излучения при высоких энергиях.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Strel'tsov V.N.

D2-95-10

Macroscopic Sizes of Field of Superrelativistic Charges

Based on the equation of Lienard—Wiechert equipotentials, it is shown that the field of superrelativistic charges reaches macroscopic sizes (e.g., $R_{||} = 2$ m at $E_e = 50$ GeV). This phenomenon serves an initial cause of the known considerable growth of formation length at high energies.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1995