



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-75

Д2-95-75

В.Н.Стрельцов

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЧЕРЕНКОВА

1995

*Введение.* Ранее было высказано суждение, что излучение Черенкова, переходное излучение и излучение в газе ниже черенковского порога являются разновидностями одного явления [1]. Это (нетормозное) излучение обусловлено «скоростной частью» электромагнитного поля релятивистского заряда. Причем направленность излучения вперед отражает соответствующую направленность «поля сопровождения» (см., напр., [2]). Напомним, что выражения для напряженностей электромагнитного поля движущегося заряда состоят из двух частей. Первая, «скоростная», часть зависит лишь от скорости и не зависит от ускорения; вторая («ускорительная») часть, пропорциональная ускорению, описывает тормозное излучение.

Вектор Пойнтинга «скоростной части» электромагнитного поля движущегося со скоростью  $\beta c$  заряда имеет вид [1]

$$S_c(\vartheta) = \frac{e^2 \beta c}{4\pi n^4 R^4} \frac{\sin \vartheta (1 - \beta n \cos \vartheta - \beta^2 n^2)^{1/2}}{\gamma_n^4 (1 - \beta n \cos \vartheta)^6} \quad (1)$$

Здесь  $\vartheta$  — угол между направлениями движения заряда  $e$  и радиусом-вектором  $R$  запаздывающего расстояния,  $n$  — показатель преломления среды,  $\gamma_n = (1 - \beta^2 n^2)^{-1/2}$ . Отметим, что исходные формулы для потенциалов Лиенара — Вихерта в веществе

$$\phi = \frac{e}{n^2 R (1 - \beta n \cos \vartheta)}, \quad A_x = \frac{e\beta}{nR (1 - \beta n \cos \vartheta)} \quad (2)$$

определяют фактически поведение длины формирования излучения (см., напр., [3]). На основании (1) при больших скоростях для интенсивности излучения в элемент телесного угла будем иметь

$$W_c \cong \frac{e^2 \beta c}{4\pi n^4 R^2} \frac{\sin \vartheta (1 - n + n^2)^{1/2}}{\gamma_n^4 (1 - \beta n \cos \vartheta)^6} \quad (3)$$

В общем, «скоростное излучение» значительно слабее тормозного (за счет «ускорительной части» поля). Их отношение пропорционально

$$a_t^c \approx \frac{c^4}{(Rw)^2 \sin^2 \vartheta}, \quad (4)$$

где  $w$  — ускорение заряда. Как видно, поток энергии нетормозной части поля заметно убывает с расстоянием и с ростом лоренц-фактора. Однако в случае выполнения «черенковского условия»

$$\sec \vartheta = \beta n \quad (5)$$

«фактор запаздывания»  $\kappa = 1 - \beta n \cos \vartheta$ , а вместе с тем и знаменатели в предыдущих формулах обращаются в нуль. В результате очень сильно возрастает интенсивность излучения, которое получило название черенковского. Иными словами можно сказать, что излучение Черенкова является следствием экстремального увеличения плотности энергии «скоростной части» электромагнитного поля.

«Тормозное излучение Черенкова». С другой стороны, интенсивность тормозного излучения в элемент телесного угла, когда скорость и ускорение заряда параллельны, описывается формулой

$$W_t = \frac{e^2}{4\pi n c^3} \frac{w^2 \sin^2 \vartheta}{(1 - \beta n \cos \vartheta)^6}. \quad (6)$$

В случае выполнения условия (5) величина этого слагаемого также резко возрастает. Можно сказать, что здесь мы имеем своего рода тормозное черенковское излучение (ТИЧ). В самом общем случае наряду с (3) и (6) будем иметь еще один («смешанный») член.

Вместе с тем, потеря энергии на черенковское излучение равномерно движущимся зарядом сопровождается, очевидно, его торможением, что приводит к появлению «ускорительной части» поля, а следовательно, к «индуцированному» ТИЧ.

Отметим кроме того, что поскольку скорость света в веществе уменьшается\* и равна  $c_n = c/n$ , то изменяются и параметры световой волны. Например, ее длина и период увеличиваются и составляют  $\lambda_n = n\lambda$ ,  $T_n = n^2 T$ , т.е. происходит смещение в красную сторону спектра. Это напоминает известное гравитационное красное смещение. При этом формулы (3) могут быть получены на основе лоренц-подобных преобразований

$$x^0 = (x_*^0 + \beta n x_*^1) \gamma_n, \quad x^1 = (x_*^1 + \beta n x_*^0) \gamma_n, \quad (7)$$

\* Из-за электромагнитного взаимодействия.

где  $x^0 = c_n t$ , потенциала Кулона  $\phi^* = e/n^2 R^*$  к движущейся системе.

*Заключение.* Выполнение черенковского условия (5) ведет к обращению в нуль «фактора запаздывания», а тем самым к экстремальному росту интенсивности «скоростной части» поля движущегося заряда, описывающей «собственно» излучение Черенкова. В силу той же причины должно возрастет и слагаемое, отвечающее «ускорительной части» поля. Иными словами, имеет место своего рода тормозное излучение Черенкова.

Выражаю благодарность Я.Ружичке, обратившему внимание автора на затронутую проблему.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-94-244, Dubna, 1994.
2. Idem — Sov.J.Part.Nucl., 1991, v.22, p.552.
3. Idem — JINR Commun. D2-95-10, Dubna, 1995.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 февраля 1995 года.

Стрельцов В.Н.  
Тормозное излучение Черенкова

D2-95-75

Обращение в нуль «фактора запаздывания» ведет к значительному росту интенсивности «скоростной части» электромагнитного поля движущегося заряда, физическим следствием чего является черенковское излучение. Та же причина обуславливает рост и другого слагаемого: «ускорительной части» поля, что вызывает «тормозное излучение Черенкова».

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод автора

Strel'tsov V.N.  
The Cherenkov Bremsstrahlung

D2-95-75

The vanishing of the «retardation factor» leads to a significant growth of the intensity of the electromagnetic field «velocity part» of the moving charge. The Cherenkov radiation is its physical consequence. The same reason conditions the growth of another term: «accelerating part» of the field that gives rise to the «Cherenkov bremsstrahlung».

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

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