

- 2) в модели с двумя Хиггсовскими дублетами, описываемой Юкавским взаимодействием (1), но без новой СР-нарушающей фазы $a_{CP}(\bar{B} \rightarrow X_d \gamma)$ изменяется в интервалах $-(3+24)\%$ и $(10+36)\%$;
- 3) в той же модели при появлении новой фазы имеем $-25\% \leq a_{CP}(\bar{B} \rightarrow X_d \gamma) \leq 37\%$;
- 4) комбинированная СР-асимметрия (3) в последнем случае может изменяться в интервале $(-3,3)\%$.

Как видим, даже в простейшем случае расширения стандартной модели с двумя Хиггсовскими дублетами большие отклонения от предсказаний СМ возможны. Следовательно, изучение СР-нарушения в редких распадах может иметь интересные феноменологические применения. Результаты, полученные в данной работе, показывают актуальность экспериментального измерения $a_{CP}(\bar{B} \rightarrow X_d \gamma)$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ali A., Asatrian H., Greub C. — Phys.Lett. B429,87 (1998).
- [2] Borzumati F., Greub C. — Phys.Rev. D 58, 074004 (1998).
- [3] Greub C., Hurth T., Wyler D. — Phys.Lett. B380, 385 (1996); Phys.Rev.D 54, 3350 (1996).
- [4] Chetyrkin K., Misiak M., Munz M. — Phys.Lett. B400, 206 (1997).
- [5] Buras A.J. — Probing the Standard Model of Particle Interactions, F.David and R. Gupta, 1998, Elsevier Science B.V., hep-ph/9806471.
- [6] Asatrian H.H., Asatrian H.M., Eghiyani G.K. Savvidy, accepted for publication in Int.J.Mod.Phys. A (2001).
- [7] Alam M.S. et al. CLEO Coll. — Phys. Rev. Lett. 74, 2885 (1995).

О СИНХРОТРОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНА, ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВНУТРИ ИЛИ ВНЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КАПЛИ

Арзуманян С.

Институт прикладных проблем физики НАН РА

Рассчитана интенсивность излучения релятивистского электрона, вращающегося внутри или вне диэлектрической капли, когда удовлетворяется условие Черенкова для вещества капли и скорости электрона. При определенных значениях отношения радиуса капли к радиусу орбиты электрона излучение последнего аномально сильное.

Արզումանյան Ս., Գիտելնարի կաթիլի ներսում կամ դրսում պտտվող էլեկտրոնի սինքրոտրոնային ճառագայրման մասին. Հաշվարկված է դիէլեկտրիկ կաթիլի ներսում կամ դրսում պտտվող էլեկտրոնի ճառագայրման ինտենսիվությունը, երբ Չերենկովի պայմանը բավարարված է կաթիլի նյութի և էլեկտրոնի արագության տեսանկյունից: Կաթիլի շառավղի ու էլեկտրոնի ուղեծրի շառավղի հարաբերության որոշակի արժեքների դեպքում ճառագայրման անմեղ ուժերը:

Arzumanyan S. On the synchrotron radiation of electron rotating inside or outside a dielectric drop. The intensity of radiation from an electron rotating inside or outside a dielectric drop was calculated for the case when the Cherenkov condition for the matter of drop and electron velocity was satisfied. At definite values of the ratio of the radius of drop to that of electron orbit the radiation was anomalously strong.

ВВЕДЕНИЕ. Как известно, наличие вещества является причиной важных электромагнитных процессов: рентгеновское переходное излучение, излучение Вавилова-Черенкова, излучение каналированных частиц [1-9]. В этом аспекте представляет интерес воздействие вещества на электромагнитные процессы и, в частности, на синхротронное излучение [10, 11]. Синхротронное излучение в бесконечно однородной среде изучено в [2, 12, 13]. В работах [14, 15] были получены общие выражения для спектрального и спектрально-углового распределения интенсивности излучения заряженной релятивистской частицы, вращающейся в слоистой сферически-симметрической среде. На основании этих формул в данной работе исследовано спектральное распределение интенсивности излучения электрона, вращающегося внутри или вне капли. Частный случай этой задачи (вращение вокруг диэлектрического шара) был решен в предыдущей работе [16]. Для упрощения расчетов рассмотрено вращение электрона в экваториальной плоскости капли. С той же целью не учитывались явления дисперсии и эффекты, связанные с поглощением излучения. Магнитная проницаемость вещества считалась равной единице.

2. Вращение электрона внутри диэлектрической капли.

Сначала рассмотрим частицу (далее для определенности ее будем считать электроном), которая равномерно вращается со скоростью $v = r_e \omega_e$ в постоянном магнитном поле внутри диэлектрической капли. Здесь r_e — радиус орбиты электрона, вращающегося в экваториальной плоскости капли. Будем предполагать, что капля окружена средой, диэлектрическая проницаемость ϵ_1 которой отличается от диэлектрической проницаемости капли ϵ_0 . Ради простоты не будем учитывать эффекты, связанные с поглощением излучения, считая ϵ_0 и ϵ_1 действительными

величинами. Используя результаты работ [14, 15], можно вывести формулу для усредненной по периоду вращения интенсивности излучения электрона на частоте $\omega = k\omega_e$, где k — номер излучаемой гармоники. После соответствующих расчетов формулу для интенсивности излучения можно представить в виде

$$I_k = 2 \frac{e^2 \omega^2}{c \sqrt{\epsilon_1}} \sum_{s=0}^{\infty} (|a_{KE}(s)|^2 + |a_{KH}(s)|^2), \quad (1)$$

где e — заряд электрона,

$$a_{KE}(s) = kb_l(E) P_l^k(0) \sqrt{\frac{(l-k)!}{l(l+1)(2l+1)(l+k)!}}, \quad l = k + 2s$$

$$a_{KH}(s) = b_l(H) \sqrt{\frac{(2l+1)(l-k)!}{l(l+1)(l+k)!}} \left. \frac{dP_l^k(y)}{dy} \right|_{y=0}, \quad l = k + 2s + 1 \quad (2)$$

безразмерные величины, описывающие вклады мультиполей электрического $a_{KE}(s)$ и магнитного $a_{KH}(s)$ типов, $P_l^k(y)$ — присоединенные полиномы Лежандра. Входящие в (2) множители $b_l(E)$ и $b_l(H)$ зависят от $k, \epsilon_0, \epsilon_1$ и $x = r_0/r_e$ (r_0 — радиус капли, r_e — радиус орбиты электрона):

$$b_l(H) = -\frac{1}{x^2} j_l(u_0), \quad u_l = k \sqrt{\epsilon_1} \frac{y}{c},$$

$$b_l(E) = (l+1)b_{l-1}(H) - lb_{l+1}(H) + \frac{1}{x^2} \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \frac{1}{\epsilon_1} \right) \cdot [j_{l-1}(xu_0) + j_{l+1}(xu_0)] \times$$

$$\times [j_{l-1}(u_0) + j_{l+1}(u_0)] \frac{l(l+1)u_l h_l(xu_1)}{lz_{l-1}' + (l+1)z_{l+1}'}, \quad (3)$$

j_l и h_l — сферические функции Бесселя и Ганкеля соответственно. В (3) введены следующие обозначения:

$$f_l(y) := \frac{f_l(y)}{W[j_l(xu_0), h_l(xu_1)]}, \quad W[a(xu_1), b(xu_1)] := a \frac{\partial b}{\partial x} - b \frac{\partial a}{\partial x}, \quad (4)$$

$$z_v' := \frac{u_1 j_v(xu_0) h_v(xu_1) / \epsilon_1 - u_0 j_v(xu_0) h_v(xu_1) / \epsilon_0}{u_1 j_v(xu_0) h_v(xu_1) - u_0 j_v(xu_0) h_v(xu_1)}$$

Численные расчеты проводились для числа квантов электромагнитного поля

$$n_k(x) = \frac{2\pi}{\hbar k \omega_e^2} I_k(x) \quad (5)$$

испущенных в течение одного периода вращения электрона, в зависимости от отношения $x=r_0/r_e > 1$. Энергия электрона варьировалась в пределах $1 \leq E_e \leq 5 \text{ МэВ}$, а диэлектрические проницаемости — в пределах $1 \leq \epsilon_0, \epsilon_1 \leq 5$. На рис. 1 в логарифмическом масштабе приведены следующие графики. Кривая a соответствует случаю $\epsilon_0=1, \epsilon_1=3$ (электрон вращается внутри полости), а b — $\epsilon_0=3, \epsilon_1=1$ (электрон вращается внутри капли), энергия электрона $E_e=2 \text{ МэВ}$. Как видно из рис. 1, в случае вращения электрона внутри полости (кривая a) число испущенных квантов $n_k < e^2/\hbar c$. Иная ситуация при вращении электрона внутри капли, когда удовлетворяется условие Черенкова ($v\sqrt{\epsilon_0} > c$) для вещества капли и скорости электрона (кривая b). На кривой b наблюдаются узкие и аномально высокие пики, значения $n_k(x)$ которых на несколько порядков превышают $e^2/\hbar c$. Расчеты проводились для случая $k=26$ (на этой гармонике интенсивность излучения электрона, вращающегося в вакууме, максимальна). Для второго пика слева $x_2=1,028859362$, а число испущенных квантов $n_{26}(x_2)=619151$.

Для тех же случаев на рис. 2 приведена зависимость числа квантов n_k от номера гармоники. Значение x фиксировано и равно x_2 . В случае вращения внутри капли (кривая b) кроме характерных осцилляций наблюдается также аномально высокий пик.

3. Вращение электрона вокруг диэлектрической капли. Теперь обратимся к случаю вращения электрона вокруг капли в экваториальной плоскости. Интенсивность излучения вновь определя-

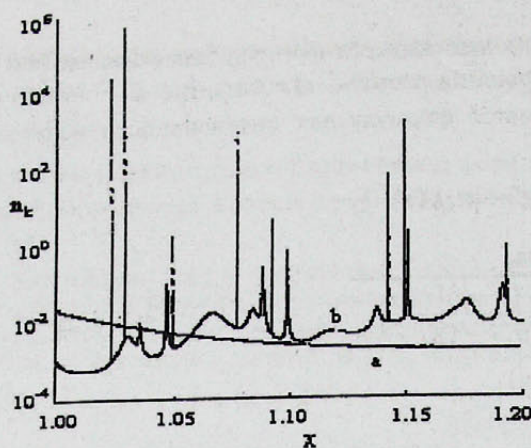


Рис. 1.

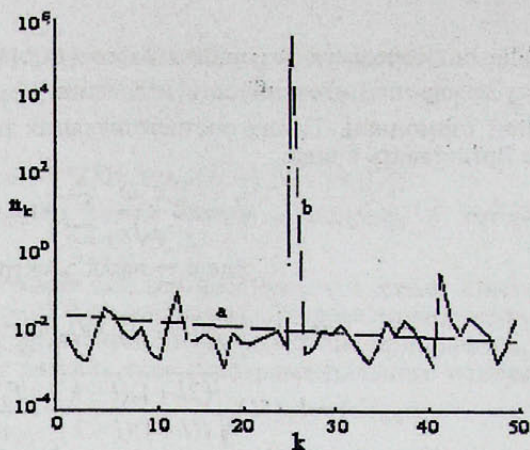


Рис. 2.

ются формулами (1) и (2). Однако входящие в (2) множители $b_l(E)$ и $b_l(H)$ определяются иными выражениями [16]:

$$b_l(H) = iu_l \left[j_l(u_l) - h_l(u_l) \frac{W[j_l(xu_0), j_l(xu_1)]}{W[j_l(xu_0), h_l(xu_1)]} \right], \quad u_l = k \sqrt{\epsilon_l} \frac{v}{c},$$

$$b_l(E) = (l+1)b_{l-1}(H) - lb_{l+1}(H) + \frac{1}{x^2} \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \frac{1}{\epsilon_1} \right) \cdot [j_{l-1}(xu_0) + j_{l+1}(xu_0)] \times$$

$$\times \left[h_{l-1}(u_1) + h_{l+1}(u_1) \right] \frac{l(l+1)u_0 j_l(xu_0)}{l z'_{l-1} + (l+1)z'_{l+1}}, \quad (6)$$

где $h_l(y) = j_l(y) + i n_l(y)$, а n_l — сферическая функция Ханкеля. Численные расчеты проводились для электрона с энергией 2 МэВ, вращающегося в вакууме ($\epsilon_1=1$) вокруг капли с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_0=3$. На рис. 3 представлено число квантов электромагнитного поля (5), испущенных за период обращения электрона в зависимости от k для двух фиксированных значений x : $x_a = 0,974733692$ и $x_b = 0,980861592$. Как видно из рис. 3, для кривой a на гармонике $k=26$, а для кривой b на гармонике $k=40$ наблюдается anomalously сильное излучение:

$$n_{26}(x_a) = 4300, \quad n_{40}(x_b) = 94 \quad (7)$$

На рис. 4 приведена зависимость $n_k(x)$ от x для $k=26$, а на рис. 5 — для $k=40$. На рис. 4 и 5 наблюдаются очень узкие и высокие пики. Приведенные данные свидетельствуют о том, что возможно испускание $n_k > k$ квантов электромагнитного поля в течение одного оборота электрона. При этом k варьировалась в пределах $1 \leq k \leq 50$. Такое anomalously сильное излучение возможно при определенном $x = r_0/r_e$ и только в том случае, когда удовлетворяется условие Черенкова для вещества капли и скорости электрона: $v\sqrt{\epsilon_0} > c$.

Таким образом, результаты численных расчетов указывают на то, что число квантов электромагнитного поля, испущенных в течение одного оборота электрона внутри или вокруг диэлектрической капли, может быть очень большим ($n_k \gg e^2/\hbar c$). Для этого необходимо, чтобы удовлетворялось условие Черенкова для вещества капли и скорости электрона, а отношение радиуса капли к радиусу орбиты электрона было равно ряду фиксированных значений.

Автор признателен профессору А.Р. Мкртчяну за поддержку, Л.П. Григоряну за постановку задачи и неизменный интерес к работе, а также Г.Ф. Хачатряну за плодотворное сотрудничество.

Работа выполнена в рамках гранта 96-703 Министерства образования и науки РА.

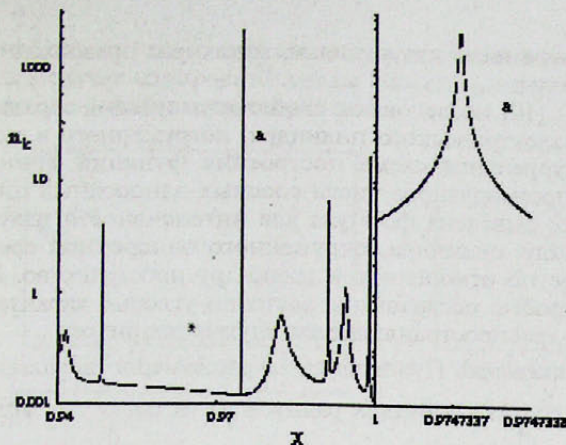


Рис. 4.

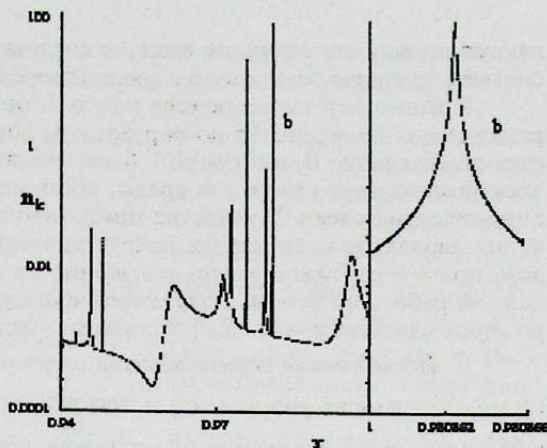


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Боловский Б.М. — УФН, 75, 295, (1961).
- [2] Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. М.: Атомиздат, 1968.
- [3] Франк И.М. Излучение Вавилова-Черенкова. Вопросы теории. М.: Наука, 1988.
- [4] Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1969.
- [5] Гарибян Г.М., Ян Ш. Рентгеновское переходное излучение. Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1983.
- [6] Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. М.: Наука, 1984.
- [7] Базылев В.А., Жеваго Н.К. Излучение быстрых частиц в веществе и во внешних полях. М.: Наука, 1987.
- [8] Кумахов М.А. Излучение канализованных частиц в кристаллах. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- [9] Ахизер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. М.: Наука, 1993.
- [10] Соколов А.А., Тернов И.М. Релятивистский электрон. М.: Наука, 1983.
- [11] Тернов И.М. — УФН, 165, 429 (1995).
- [12] Цытович В.Н. — Вест. МГУ, 11, 27 (1951).
- [13] Kitaо K. — Progr. Theor. Phys., 23, 759 (1960).
- [14] Арзуманян С.Р., Григорян Л.Ш., Саарян А.А. — Изв. НАН Армении, Физика, 30, 99 (1995).
- [15] Арзуманян С.Р., Григорян Л.Ш., Саарян А.А., Котанджян Х.В. — Изв. НАН Армении, Физика, 30, 106 (1995).
- [16] Григорян Л.Ш., Хачатрян Г.Ф., Арзуманян С.Р. — Изв. НАН РА, Физика (в печати).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАРЯДА, ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВОКРУГ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА

Котанджян А.

Институт прикладных проблем физики НАН РА

Исследована интенсивность излучения заряда, равномерно движущегося по окружности вокруг диэлектрического цилиндра, погруженного в однородную среду. Показано, что при выполнении условия Черенкова для вещества цилиндра и скорости заряда появляются узкие пики в угловом распределении числа квантов, излученных во внешнее пространство. Для некоторых значений параметров задачи в этих пиках плотность числа квантов заданной гармонике превышает соответствующую величину для излучения в вакууме на 3-4 порядка. Рассмотрено также поле излучения внутри цилиндра.

Քարմերյան Ա., Դիէլէկտրիկ զանի շուրջ պտտւող լիցքաւորված մասնիկի սինքրոտրոնային ճառագայթումը: Հետազոտված է համասեռ միջավայր ընկղմված դիէլէկտրիկ զանի շուրջ հավասարաչափ պտտվող մասնիկի ճառագայթման ինտենսիվությունը: Ցույց է տրված, որ զանի ներսում Չերենկովի պայմանը բավարարելու դեպքում արտաքին միջավայր ճառագայթված քվանտների քվի անկյունային բաշխման մեջ առաջանում են չափազանց նեղ պիկեր: Խմորի պարամետրերի որոշ արժեքների դեպքում այդ պիկերում տրված հարմոնիկի համար քվանտների քվի խտությունը գերազանցում է վակուումում համապատասխան մեծությանը մոտ 3-4 կարգ: Դիտարկված է նաև զանի ներսում ճառագայթման դաշտը:

Kotanjyan A. Synchrotron radiation from charged particle rotating around a dielectric cylinder.

In the present work the formulae are derived for the spectral-angular distribution of the radiation emitted both inside and outside of the cylinder. The calculations were carried out for various values of the permittivities, particle energy and relative values of the cylinder and particle trajectory radii. It is shown that if the condition of Cherenkov radiation for the particle and the matter of the cylinder is satisfied then for a separate value of harmonic number $m \gg 1$ there exist discrete values of the parameter, at which high narrow peaks on the angular distribution of radiation takes place. At these peaks the radiation intensity exceeds the corresponding intensity for the case of radiation in homogeneous media by several orders of magnitude.

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время синхротронное излучение имеет важные приложения в различных областях физики и астрофизики. Оно детально исследовано как на классическом, так и на квантовом уровнях ([1] и приведенные там ссылки). Отдельный круг задач составляет исследование воздействия среды на различные характеристики синхротронного излучения. Излучение заряда, равномерно движущегося по окружности в однородной диэлектрической среде, впервые рассматривалось Цытовичем [2], а затем и Китао [3] (см. также [4]). В работах [5-9] исследовано излучение при вращении заряда вокруг диэлектрического шара, окруженного однородной средой. В частности, в [7-9] показано, что наличие шара приводит к интересным эффектам: если для вещества шара и скорости частицы удовлетворяется условие Черенкова, в спектре излучения появ-