

# О ЦИРКУЛЯРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ФОТОНОВ В ПРОЦЕССЕ $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$ ПРИ БОЛЬШИХ ЭНЕРГИЯХ

Б.Я.Зельдович, М.В.Терентьев

В работе приводятся результаты расчета спиновой корреляции в процессе  $e^+e^- \rightarrow 2\gamma(A)$ , возникающей при поперечной поляризации электрона и позитрона из-за мнимой части в соответствующей амплитуде. Мнимая часть амплитуды процесса (A) связана с радиационными поправками, определяемыми диаграммами рис. 1, а, б.

Рассматриваемая корреляция имеет вид  $\sim a^3 \zeta_+ \zeta_- \lambda(\hat{n}_y, \hat{\xi}) \hat{n}_y [\hat{n}_e \hat{\xi}] (B)$ , где  $a = 1/137$ ,  $\hat{n}_e$ ,  $\hat{n}_y$  – единичные векторы вдоль импульсов электрона и одного из  $\gamma$ -квантов,  $\lambda = \pm 1$  – спиральность этого кванта ( $\lambda \hat{n}_y$  – аксиальный вектор циркулярной поляризации),  $\zeta_+ \hat{\xi} = \zeta_+$  и  $\zeta_- \hat{\xi} = \zeta_-$  – средние значения спинов  $e^+$  и  $e^-$  ( $\hat{\xi}$  – единичный вектор,  $\hat{\xi} \perp \hat{n}_e$ ).

Как известно [1], (см. также [2]) электроны и позитроны в опытах на встречных пучках должны быть поляризованы перпендикулярно плоскости орбиты ( $\hat{\xi} \perp \hat{n}_e$ ), и экспериментальной ситуации по-видимому соответствует  $\zeta_+ = -\zeta_-$ ,  $|\zeta_-| = 0,9$ .

Корреляция (B) является Т-нечетной и связана с временной необратимостью процесса (A) из-за мнимой части в амплитуде. Корреляция (B) яв-

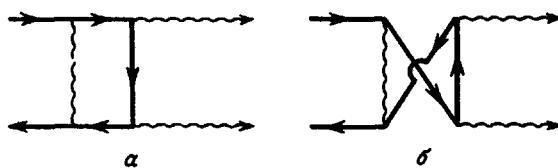


Рис.1

ляется единственным возможным Т-нечетным вкладом в сечение при поперечной и взаимно параллельной (либо антипараллельной) поляризации начальных частиц.

В том случае, если на опыте измеряется поляризация лишь одного  $\gamma$ -кванта, циркулярная поляризация этого кванта входит также в обычную, Т-четную корреляцию  $\sim a^2 \zeta \lambda (\hat{\xi} \hat{n}_y) (C)$ . Однако при больших энергиях этот член в дифференциальном сечении (при поперечной поляризации  $e^+$  и  $e^-$ ) должен убывать как  $1/\gamma$  по сравнению с корреляцией (B),  $\gamma = \epsilon / m$ ,  $\epsilon$  – энергия в системе ц.и. Это связано с сохранением спиральности электрона в электромагнитных вершинах. Таким образом, при очень больших энергиях ( $\gamma \gg 1/a$ )  $\gamma$ -квант в процессе (A) циркулярно поляризован только из-за Т-нечетных эффектов.

Дифференциальное сечение процесса (A) с учетом циркулярной поляризации кванта имеет вид (в системе ц.и.):

$$\frac{d\sigma_\lambda}{d\Omega} = \frac{a^2}{8m^2\gamma^2} \left[ \frac{2}{\sin^2\theta} - 1 - \zeta_+ \zeta_- \left( 1 - \frac{2}{\sin^2\theta} (\hat{n}_y \cdot \hat{\xi})^2 \right) - \right. \\ \left. - \frac{2}{\gamma} \lambda (\zeta_+ + \zeta_-) \frac{\hat{\xi} \cdot \hat{n}_y}{\sin^2\theta} - 4a\zeta_+ \zeta_- \lambda (\hat{n}_y \cdot \hat{\xi}) \hat{n}_y [\hat{n}_e \cdot \hat{\xi}] \frac{f(\theta)}{\sin^4\theta} \right], \quad (1)$$

$$f(\theta) = \cos^2 \frac{\theta}{2} \left( 1 + \frac{\ln \cos^2 \frac{\theta}{2}}{\sin^2 \frac{\theta}{2}} \right) - \sin^2 \frac{\theta}{2} \left( 1 + \frac{\ln \sin^2 \frac{\theta}{2}}{\cos^2 \frac{\theta}{2}} \right) + \\ + \frac{1}{4} \sin^2 \theta \ln \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}. \quad (2)$$

Формула (1) приведена при  $\gamma \gg 1$ ,  $\theta_y \gg 1$ . Степень циркулярной поляризации  $P$  определяется как

$$P = \frac{(d\sigma_+ - d\sigma_-)}{(d\sigma_+ + d\sigma_-)}.$$

При  $\hat{n}_e \cdot \hat{n}_y = \cos \theta$  и  $\hat{n}_y \cdot \hat{\xi} = \cos \phi \sin \theta$  для степени циркулярной поляризации (при  $\gamma \rightarrow \infty$ ) получаем:

$$P(\theta, \phi) = -a\zeta_+ \zeta_- \frac{\sin 2\phi f(\theta)}{1 - \frac{1}{2} \sin^2 \theta (1 - \zeta_+ \zeta_- \cos 2\phi)}. \quad (3)$$

Существенно, что  $P(\theta, \phi)$  не зависит от энергии. При больших и антипараллельных поляризациях электрона и позитрона дифференциальное сечение имеет минимум в направлении поляризации электрона ( $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,  $\phi = 0, \pi$ ), что приводит к малому знаменателю в (3). При заданном  $\theta$  поляризация  $P$  максимальна в направлении

$$\operatorname{tg}^2 \phi = [1 - \frac{\sin^2 \theta}{2} (1 - \zeta_+ \zeta_-)] [1 - \frac{\sin^2 \theta}{2} (1 + \zeta_+ \zeta_-)]^{-1}$$

При максимальной ( $|\zeta| \approx 92\%$ ) поляризации электронов и позитронов (см. [1]) абсолютный максимум величины  $P$  достигается при  $\theta \approx 60^\circ$ ,  $\phi \approx 30^\circ$  и равен  $P \approx 0,16 a$ . Зависимость  $P(\theta)$  при  $\phi = 30^\circ$  приведена на рис. 2. Там же показана зависимость от  $\theta$  дифференциального сечения. Несколько неожиданной является малая величина поляризации ( $P \sim 0,1 a$ ).

Как следует из (3), поляризация отсутствует в тех случаях, когда  $\gamma$  — квант рождается в любой из трех плоскостей, определяемых тремя взаимно перпендикулярными векторами  $\hat{n}_e, \hat{\xi} [\hat{n}_e \cdot \hat{\xi}]$ .

Степень циркулярной поляризации  $P(\theta, \phi)$  антисимметрична относительно отражений в плоскости, перпендикулярной направлению импульса

электрона  $\bar{\psi}_e$  (функция  $f(\theta)$  меняет знак при замене  $\theta \rightarrow \pi - \theta$ ). Этот факт является следствием С – инвариантности электродинамики. Если бы корреляция (B) возникала за счет истинного нарушения Т (и СР) – инвариантности в каких-то затравочных взаимодействиях, то поляризация  $P(\theta, \phi)$  была бы, напротив, симметричной функцией относительно отражений в этой плоскости.

Экспериментальное исследование циркулярной поляризации  $y$  – кванта в процессе (A) при больших энергиях, на наш взгляд, представляло бы интерес в связи с проверкой квантовой электродинамики, поскольку эта поляризация определяется вкладом высших приближений по электромагнитному взаимодействию. Существование аномальных взаимодействий типа

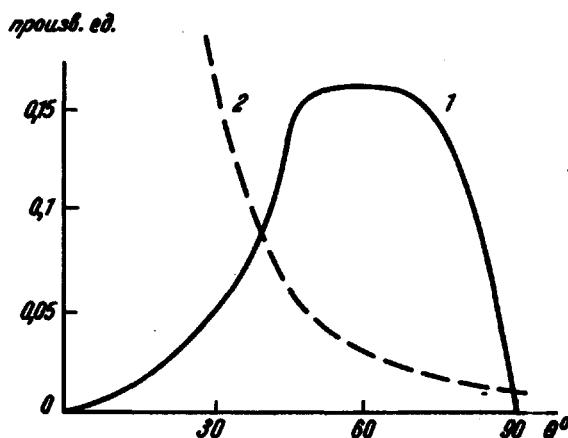


Рис.2. Кривая 1 – функция  $-(1/a)P(\theta, \phi)$  ( $P(\theta, \phi)$  – степень циркулярной поляризации  $y$  – кванта, см. ф-лу (3)) при  $\phi = 30^{\circ}$ ,  $\zeta_+ = -\zeta_-$ ,  $|\zeta_-| = 0,92$ ; кривая 2 – функция  $\sum_{\lambda=\pm 1} d\sigma_\lambda / d\Omega$  ( $d\sigma_\lambda / d\Omega$ -дифференциальное сечение, см. формулу (1))

$(\vec{E}^2 - \vec{H}^2)^2$  могло бы проявиться при очень больших энергиях в существенном изменении функции  $P(\theta, \phi)$  и появлении в ней зависимости от энергии.

Интересна также проверка следствий СР – инвариантности, хотя, конечно, трудно ожидать заметного проявления в этом процессе СР – нечетных взаимодействий. Постановка соответствующих экспериментов связана по-видимому с большими трудностями.

Поступило в редакцию  
1 августа 1967 г.

## **Литература**

- [1] И.Тернов, Ю.Лоскутов, Л.Коровина. ЖЭТФ, 41, 1295, 1961; А.Соколов, И.Тернов. ДАН СССР, 153, 1052, 1963.
- [2] В.Байер, В.Фадин. ДАН СССР, 161, 74, 1965.