Доклады Академии Наук СССР
1948. Том LX, № 2

ФИЗИКА

Е. М. ЛИФШИЦ

ТРЕХФОТОННАЯ АННИГИЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 5 II 1948)

И. Я. Померанчук ([1]) обнаружил, что при аннигиляции медленных электронов и позитронов существенную роль играет суммарный спин сталкивающихся частиц. Оказалось, что при параллельных спинах электрона и позитрона в предельном случае малых относительных скоростей частиц ($v \to 0$) эффективное сечение обычной двухфотонной аннигиляции обращается в нуль. Л. Д. Ландау ([2]) указал, что это обстоятельство является частным случаем общей строгой теоремы, согласно которой система из двух фотонов с равным нулю суммарным импульсом не может иметь равного единице суммарного момента количества движения (как это имело бы место для двух фотонов, образующихся при аннигиляции неподвижных электрона и позитрона с параллельными спинами).

В связи с этим возникает вопрос о вычислении эффекта следующего приближения теории возмущений — эффективного сечения трехфотонной аннигиляции электрона и позитрона с параллельными спинами для предельного случая стремящейся к нулю скорости столкновения. Довольно громоздкие вычисления приводят к следующей окончательной формуле для дифференцального эффективного сечения (спектральное распределение излучения):

$$(v d\sigma)_{v \to 0} = \frac{8}{3} \alpha c r_0^2 (A_{123} + A_{312} + A_{231}), \tag{1}$$

где $\alpha = e^2/\hbar c$, $r_0 = e^2/mc^2$,

$$A_{123} = \frac{k_1^2 (1-k_1)(1-k_1+k_2k_3) + 2(1+k_1)(1-k_1-k_2k_3)^2}{2k_2^2 k_3^2 (4-3k_1)^2} + \frac{3(1-k_1)^4 + (1-k_1)(6k_1 - 3 - k_1^2) k_2 k_3}{k_1^2 k_2 k_3 (4-3k_2)(4-3k_3)}, \tag{2}$$

а A_{312}, A_{231} получаются из A_{123} циклической перестановкой индексов 1, 2, 3; здесь $k_i = \hbar\omega_i/mc^2$, а ω_i — частоты трех квантов, связанные законом сохранения энергии

$$\hbar(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) = 2mc^2. \tag{3}$$

Интегрирование выражения (1) по одной переменной производится элементарно, а второе интегрирование должно быть произведено чис-

2*

ленно. В результате получается для полного эффективного сечения аннигиляции σ:

$$(v\sigma)_{v\to 0} = 2{,}43\,\alpha c r_0^2. \tag{4}$$

Полученный результат может быть применен для вычисления продолжительности жизни позитрония (системы из позитрона и электрона, построенной по типу водородного атома), находящегося в своем нормальном состоянии (s-состояние), причем спины электрона и позитрона параллельны („ортопозитроний"). Двухквантовая аннигиляция такой системы запрещена, причем, согласно указанной выше общей теореме Ландау, этот запрет является строгим и не связан с приближениями, делаемыми при вычислении ее вероятности; то же самое будет иметь место и при учете кулоновых эффектов, связанных с движением частиц в позитронии.

Ввиду сравнительной медленности движения частиц на боровской орбите можно при вычислении вероятности аннигиляции рассматривать электрон и позитрон как покоящиеся. Вероятность трехфотонной аннигиляции ортопозитрония получается умножением величины $(v\sigma)_{v\to 0}$ из (4) на квадрат значения в начале координат волновой функции нормального состояния позитрония, т. е. на $1/\pi a_0^3$, где $a_0 = 2\hbar^2/me^2$ есть радиус первой боровской орбиты в позитронии (m — электронная масса). Таким образом, получим искомую вероятность:

$$w = 0{,}0968\,\alpha^6 (mc^2/\hbar), \tag{5}$$

откуда продолжительность жизни $\tau = 1/w = 8{,}8\cdot 10^{-8}$ сек., что примерно в 700 раз превышает продолжительность жизни „парапозитрония" (позитрония с равным нулю полным спином), определяющуюся двухфотонной аннигиляцией.

Выражаю благодарность акад. Л. Д. Ландау и проф. И. Я. Померанчуку за обсуждение вопроса и О. П. Крамер за численное вычисление интеграла.

Институт физических проблем
Академии Наук СССР

Поступило
30 I 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Померанчук, ДАН, 60, № 2 (1948). [2] Л. Д. Ландау, ДАН, 60, № 2 (1948).