

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ β -РАСПАДА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЯДЕР, ВЫЗЫВАЕМОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНОЙ

И.М.Гернов, В.Н.Родионов, А.Е.Лобанов, О.Ф.Дорофеев

Проведено исследование полной и дифференциальной вероятностей β -распада поляризованных ядер, находящихся в поле электромагнитной волны циркулярной поляризации, для случая, когда мало отношение энергии кванта волны к энергии покоя электрона.

Важность изучения вопроса о воздействии источников интенсивного излучения на β -распад обусловлена работами по лазерному управляемому термоядерному синтезу (см., например, ¹). Поскольку для современных лазеров параметр $\lambda = \omega/m$ ($\hbar = c = 1$) составляет величину порядка 10^{-6} , ясно, что особый интерес представляет исследование вероятности процесса при $\lambda \ll 1$.

Будем считать, что влияние внешней волны сводится к изменению фазового объема электронов распада, а сама волна циркулярно поляризована. Кроме того, пренебрежем влиянием кулоновского поля ядра, что, по-видимому, допустимо для легких ядер и при не слишком малом энерговыделении в распаде. Выражение для полной вероятности W , полученное в таком приближении ², может быть разложено в ряд по степеням λ . Как показали проведенные авторами расчеты, при условии

$$\lambda^* \ll 1, \quad \xi^* \lambda^* \ll 1, \quad (1)$$

где $\lambda^* = \lambda(\epsilon_0 - 1)^{-1}$, $\xi^* = \xi(\epsilon_0^2 - 1)^{-1/2}$, первые члены этого ряда имеют вид¹⁾

$$W/W_0 = 1 + f_0^{-1} [\lambda^2 f_2 / 2! + \lambda^3 f_3 / 3!], \quad (2)$$

причем

$$f_0 = \frac{\epsilon_0}{4} \ln(\epsilon_0 + \delta) + \delta^5/30 - \delta^3/12 - \delta/4,$$

$$f_2 = \xi^2 \left[(1 + a \xi_n) \frac{2}{3} \epsilon_0 \ln(\epsilon_0 + \delta) - \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3} a \xi_n \right) \delta \right],$$

$$f_3 = g \xi^2 (1 + a \xi_n) \frac{1}{2} \ln(\epsilon_0 + \delta),$$

$$\delta = (\epsilon_0^2 - 1)^{1/2}, \quad a = \frac{2\alpha_0(1 - \alpha_0)}{1 + 3\alpha_0^2}.$$

¹⁾ Асимптотическое разложение полной вероятности по параметру λ было получено в виде ряда с коэффициентами, являющимися обобщенными функциями от ϵ_0 . Это не позволило нам пока исследовать члены, быстро осциллирующие при изменении λ , однако можно утверждать, что порядок этих членов $O(\lambda^3)$

Здесь W_0 – вероятность распада в вакууме; $\xi = eE/(m\omega)$, E – напряженность поля волны; $\zeta_n = \pm 1$ – проекция спина ядра на направление распространения волны (нами рассматривались ядра со спином $1/2$), α_0 – отношение аксиальной и векторной констант; ϵ_0 – величина энерговыделения, нормированная на массу электрона; значения $g = \pm 1$ соответствуют знаку круговой поляризации волны.

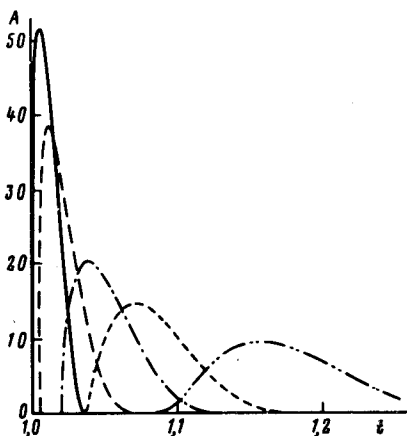


Рис. 1

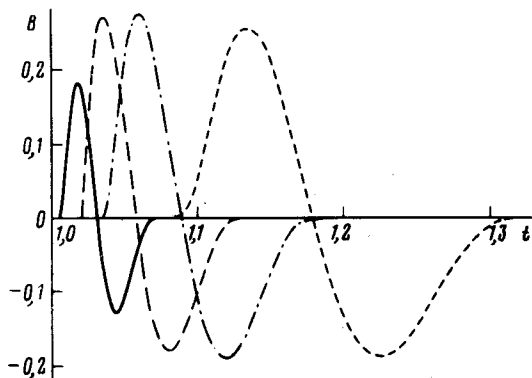


Рис. 2

Рис. 1. Распределение электронов β -распада неполяризованных ядер трития по квазиэнергии. Здесь $t = \epsilon/m$, где ϵ – квазиэнергия, а m – масса электрона. $A = d(W/W_0)/dt$. — $\xi = 0,0$; — — — $\xi = 0,1$; — · — · — $\xi = 0,2$; — — — — — $\xi = 0,27$; — · · — · — $\xi = 0,4$

Рис. 2. Разностный квазиэнергетический спектр электронов β -распада поляризованных ядер трития. $B = (1/2a) \{ d(W/W_0)/dt |_{\zeta_n = -1} - d(W/W_0)/dt |_{\zeta_n = +1} \}$. — $\xi = 0,1$; — — — $\xi = 0,2$; — · — · — $\xi = 0,27$; — — — — — $\xi = 0,4$

Таким образом, полная вероятность распада зависит от ориентации спина ядра. Это явление связано с несохранением четности в слабых взаимодействиях и существованием выделенного волной направления. Помимо этого, вероятность зависит от поляризации волны, хотя эта зависимость выражена слабее.

Для современных источников лазерного излучения требование (1) всегда выполняется. Это позволяет оценить влияние мощных лазеров на процесс распада в зависимости от величины энерговыделения. Из полученного выражения следует, что действие внешнего поля существенно зависит от значения параметра ϵ_0 , причем с уменьшением энерговыделения относительная величина поправок к вероятности растет. Например, для свободного нейтрона $\epsilon_0 = 2,53$ и

$$W/W_0 = 1 + (0,408 + \alpha \zeta_n 0,305) \xi^2 \lambda^2, \quad (3)$$

тогда как для трития $\epsilon_0 = 1,036$ и

$$W/W_0 = 1 + 10^4 (1,28 + \alpha \zeta_n 0,11) \xi^2 \lambda^2, \quad (4)$$

т. е. величины поправок относятся как 10^4 . Несмотря на это, луч лазера не оказывает суще-

ственного влияния на полную вероятность процесса¹⁾. Можно с уверенностью сказать, что выдвинутое в^{1,5} утверждение о возможности в области $\xi \approx 1$ резкого роста полной вероятности β -распада является ошибочным.

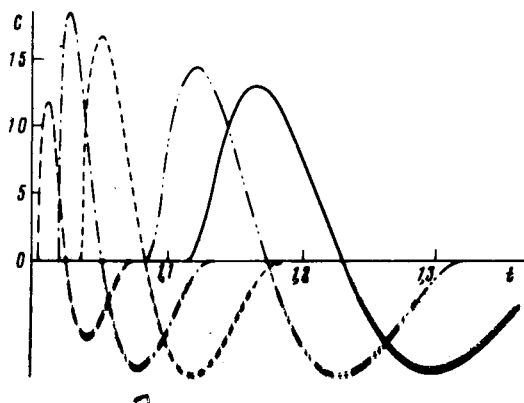


Рис. 3. Влияние поляризации внешней волны на квазиэнергетический спектр электронов β -распада ядер трития. $C = (1/2\lambda) \times \{d(W/W_0)/dt|_{g=+1} - d(W/W_0)/dt|_{g=-1}\}$.
 ----- $\xi = 0,1$; - . - . - $\xi = 0,2$;
 ----- $\xi = 0,27$; - - - - $\xi = 0,4$;
 ----- $\xi = 0,5$

В настоящее время представляется весьма сомнительной возможность экспериментального обнаружения изменения полной вероятности распада (2). Совершенно иная картина возникает при исследовании энергетического спектра электронов. Влияние волны на форму спектра довольно значительно, на что было указано в работе⁶. Зависимость от ориентации спина ядра появляется уже в нулевом порядке разложения по λ , а зависимость от поляризации волны — в первом. Наибольший эффект достигается при $\xi^* \sim 1$, что иллюстрируется приведенными графиками.

Таким образом, имеется принципиальная возможность обнаружить влияние электромагнитного поля на β -распад. Следует отметить, что в экспериментах с поляризованными ядрами можно также установить, воздействует ли внешнее поле на отношение аксиальной и векторной констант, что важно для уточнения теории слабых взаимодействий.

Литература

1. Becker W., Louisell W.H., McCullen J.D., Scully M.O. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 1262.
2. Ternov I.M., Rodionov V.N., Zhulego V.G., Studenikin A.I. Ann. d. Phys., 1980, 37, 406.
3. Тернов И.М., Родионов В.Н., Жулего В.Г., Студеникин А.И. ЯФ, 1978, 28, 1454.
4. Тернов И.М., Лысов Б.А., Коровина Л.И. Вестник МГУ, физика и астрономия, 1965, №5, 58.
5. Becker W., Louisell W.H., McCullen J.D., Scully M.O. Phys. Rev. Lett., 1982, 48, 651.
6. Тернов И.М., Родионов В.Н., Дорофеев О.Ф. Труды международного семинара по проблемам физики высоких энергий и квантовой теории поля. Протвино, 1982, 1, 340.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
9 февраля 1983г.

¹⁾ Для слабых распадов в постоянном поле полевые поправки к полной вероятности также малы, как отмечалось в работах²⁻⁴.