

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА β -РАСПАД ТРИТИЯ

И.М.Тернов, О.Ф.Дорофеев, В.Н.Родионов

Проведен анализ влияния различных электромагнитных полей на скорость β -распада ядер в зависимости от величины энерговыделения. Показано, что эффект влияния постоянного магнитного поля ~ 10 Т может быть замечен экспериментально при наблюдении за β -распадом поляризованных ядер трития.

Исследование влияния внешних воздействий различной природы на ход ядерных процессов является одной из давних проблем физики нашего века, упоминание о которой содержится в трудах Эйнштейна¹. Целый ряд безуспешных попыток осуществить такое влияние, например, на β -активность ядер свидетельствует о постоянном стремлении экспериментаторов использовать все более совершенные технические возможности для решения этой принципиальной задачи.

В этой работе мы хотим обратить внимание на результаты анализа влияния различных электромагнитных полей на скорость β -распада и выделить ситуации, экспериментально реализуемые уже в настоящее время. Как будет показано ниже для решения этой проблемы наиболее подходит воздействие сильного магнитного поля на поляризованные β -активные ядра с малым энерговыделением.

Проведенные нами расчеты²⁻⁴ показывают, что при воздействии на β -активные ядра интенсивным лазерным излучением, полное время распада зависит от амплитуды поля (E) квадратично

$$\tau = \tau_0 \begin{cases} 1 - \frac{35}{8}(E/\tilde{H}_c)^2, & \epsilon_0 - 1 \ll 1, \\ 1 - 10(E/\tilde{H}_c)^2 (\ln 2\epsilon_0 - \frac{4}{3}), & \epsilon_0 \gg 1, \end{cases} \quad (1)$$

где τ_0 – время распада в отсутствии поля, ϵ_0 – энерговыделение в распаде, выраженное в единицах энергии покоя электрона, величина $H_c = m^2 c^3 / (e \hbar) = 4,41 \cdot 10^{13}$ Гс, $\tilde{H}_c = H_c (\epsilon_0^2 - 1)^{3/2}$, $\tilde{H}_c = H_c \epsilon_0^2$. Учет поляризации начального состояния распадающихся ядер приводит лишь к незначительному изменению численного коэффициента при квадратичном члене в формуле (1).

Сходные результаты получены нами и для случая так называемого постоянного скрещенного поля ($|E| = |H|$, $E \perp H$).

В наших расчетах рассматривались лишь разрешенные β -переходы и при исследовании поляризационных зависимостей предполагалось, что спин ядра равен $1/2$. Эти характеристики, в частности, соответствуют процессу β -распада нейтрона, а также трития. Как видно из выражения (1), наиболее сильно влиянию лазерного поля подвержены ядра с малым энерговыделением. Однако при рекордных значениях интенсивности лазерного луча, достигнутых в настоящее время, полевая поправка к временной константе β -распада трития составляет $\Delta\tau/\tau_0 \lesssim 10^{-10}$.

Экспериментальные трудности, связанные с обнаружением столь малых электромагнитных поправок, по-видимому, могут быть преодолены лишь в результате создания лазеров, интенсивность которых будет повышена еще на несколько порядков относительно уровня, достигнутого на сегодняшний день. В таких условиях может оказаться весьма интересным для исследования уникальный β -распад ядра Re^{187} , характеризующийся очень малой величиной энерговыделения $\epsilon_0 = 1,004$.

При β -распаде неполяризованных ядер в постоянном магнитном поле ситуация для экспериментальной проверки влияния внешнего воздействия на скорость распада даже несколько

ухудшается⁵. Действительно, характерным параметром разложения теории возмущений становится величина H/H_c^*

$$\tau = \tau_0 \begin{cases} 1 - \frac{35}{12} (H/H_c^*)^2, & \epsilon_0 - 1 \ll 1, \\ 1 - 5 (H/\tilde{H}_c)^2 (\ln 2 \epsilon_0 - 1), & \epsilon_0 \gg 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $H_c^* = H_c (\epsilon_0^2 - 1)$. Легко видеть, что магнитное поле с напряженностью $H = H_c^*$ для случая β -распада ядер трития составляет величину $3,22 \cdot 10^{12}$ Гс, в то время как в постоянном скрещенном поле характерное значение $\tilde{H}_c = 8,76 \cdot 10^{11}$ Гс.

Однако, если в достаточно сильном постоянном магнитном поле происходит β -распад поляризованных ядер, то за счет корреляции спина электрона с направлением магнитного поля появляется линейная по полю поправка к вероятности распада

$$\tau = \tau_0 \begin{cases} 1 - \frac{7}{2} a S_n (H/H_c^*), & \epsilon_0 - 1 \ll 1, \\ 1 - 5a S_n (H/\tilde{H}_c), & \epsilon_0 \gg 1, \end{cases} \quad (3)$$

где $S_n = \pm 1$ — характеризует проекции спина ядра (1/2) в начальном состоянии на направление магнитного поля, $a = 2\alpha_0(1 - \alpha_0) / (1 + 3\alpha_0^2)$, причем $\alpha_0 = |G^A / G^V|$ — отношение аксиальной и векторной констант рассматриваемой модели взаимодействия слабых токов.

Численные оценки из формулы (3), проведенные для случаев β -распада трития и нейтрона при $\alpha_0 = 1,25$, соответственно дают $\tau_1 = \tau_0 (1 + 1,19 \cdot 10^{-13} S_n H(\text{Гс}))$ и $\tau_2 = \tau_0 (1 + 1,94 \cdot 10^{-15} S_n H(\text{Гс}))$. Первое значение свидетельствует о том, что в магнитных полях с напряженностью порядка 10 Т эффект влияния магнитного поля на полную вероятность распада трития хотя и мал, но составляет величину порядка 10^{-8} . Учитывая, что в литературе существуют описания примеров успешного накопления водорода в магнитной ловушке в камере со стенками, покрытыми сверхтекучим гелием при температуре около 0,3 К, и удержания его в течении нескольких часов, а также обоснованные предположения о том, что условия удержания трития окажутся до некоторой степени аналогичными⁶, можно надеяться на возможное наблюдение указанного выше эффекта.

Расчеты показывают, что для достижения необходимой точности измерений необходимо зафиксировать $10^{15} - 10^{16}$ событий, которые при распаде ${}^3\text{H}$ могут быть набраны за время около 10^7 с.

В заключение отметим, что в последнее время в связи с чрезвычайным оживлением экспериментальных усилий по измерению массы покоя нейтрино, обсуждаются различные β -активные ядра, важнейшим из которых остается тритий⁶⁻⁸. В одном из экспериментов предлагается использовать спектрометр с продольным магнитным полем порядка 10^5 Гс, с помощью которого будет исследован β -распад атомарного поляризованного трития⁶. Требования к высокой тщательности выполнения экспериментов по измерению массы покоя нейтрино и обнаружению влияния внешнего магнитного поля на ход β -распада, а также общность объекта исследования и основных моментов методики их проведения могут привести к консолидации усилий в решении ряда технических проблем.

Отметим также, что проигрыш в величине эффекта при работе с ядрами, β -распад которых идет с большим энерговыделением $\epsilon_0 \gg 1$, в какой-то мере компенсируется возможностью быстрее набирать необходимое для статистики число событий. Реальный предел здесь ставится лишь существующими значениями скорости счета детекторов.

Авторы глубоко признательны В.Б.Брагинскому за обсуждение возможности экспериментальной проверки влияния магнитного поля на ход β -распада трития уже при нынешних значениях параметров лабораторных установок, а также К.А.Тер-Мартиросяну, Д.А.Киржичицу и Е.Х.Ахмедову за плодотворное обсуждение работы.

Литература

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. IV . М., 1967, с. 114.
2. Тернов И.М., Родионов В.Н., Жулего В.Г., Студеникин А.И. ЯФ, 1978, 28, 1454.
3. Тернов И.М., Родионов В.Н., Дорофеев О.Ф. ЖЭТФ, 1983, 84, 1225.
4. Тернов И.М., Родионов В.Н., Дорофеев О.Ф., Лобанов А.Е. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 288.
5. Тернов И.М., Лысов Б.А., Коровина Л.И. Вестник МГУ, Физика, Астрономия, 1965, №5, 58.
6. Лобашов В.М., Спивак П.Е. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0219, М., 1983.
7. Козик В.С., Любимов В.А., Новиков Е.Г., Нозик В.З., Третьяков Е.Ф. ЯФ, 1980, 32, 309.
8. Брагинский В.Б. Препринт физического факультета МГУ, №9, М., 1983.

Московский

государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
2 декабря 1983г.