1953 г. Май *Т. L, вып. 1*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ПОПЫТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДВОЙНОГО БЕТА-РАСПАДА

Если массы двух изобарных ядер с разностью зарядов $\Delta Z = 2$ отличаются более чем на удвоенную массу покоя электрона, то энергетически возможен переход ядра с большей массой в ядро меньшей массы с испусканием двух электронов или позитронов. Такой переход называется двойным β-распадом.

Возможны два различных способа описания этого явления в рамках существующей в настоящее время теории элементарных частиц, в зависимости от предположений о свойствах нейтрино.

Можно исходить из предположения, что при двойном β-распаде ядром испускаются четыре частицы — два электрона и два нейтрино (или антинейтрино); при этом нейтрино и антинейтрино считаются физически различными частицами.

Можно в отличие от предыдущего считать, что двойной β-распад сопровождается вылетом только электронов, ибо для выполнения законов сохранения энергии и импульса в рассматриваемом процессе участие нейтрино в качестве продуктов распада не обязательно (в отличие от обычных β-процессов). В этом случае нейтрино и антинейтрино должны быть тождественными частицами, и вследствие этого заряд нейтрино должен в точности равняться нулю.

Опытное установление справедливости одного из указанных вариантов даст важные для современной теории сведения об элементарных частицах. Экспериментально проверить, какая из двух теорий справедлива, можно на основе следующих данных.

Расчёты [1] приводят к резкому различию в периодах полураспада для двойного β-процесса при переходе от одного варианта к другому. Так, период полураспада для энергии перехода около 1 *Мэв* в случае двойного β-распада, сопровождающегося вылетом четырёх частиц, составляет величину порядка 10^{22}—10^{23} лет, а в случае процесса с испусканием двух частиц — порядка 10^{17}—10^{18} лет.

Кроме того, в последнем случае сумма энергий вылетающих из ядра электронов постоянна и равна полной энергии перехода в отличие от процесса с вылетом четырёх частиц. Вероятность двойного β-распада с вылетом двух электронов и двух нейтрино настолько мала, что соответствующий эффект невозможно наблюдать при современном состоянии эксперимента. Следовательно, на опыте можно обнаружить лишь процесс с испусканием двух электронов с постоянной суммарной энергией.

Большинство опубликованных экспериментальных работ по изучению двойного β-распада выполнено с оловом Sn^{124}_{50}. Недавно [2] с помощью масс-

спектрографа была измерена разность масс атомов Sn_{50}^{124} и Te_{52}^{124}. Она оказалась равной $1,5 \pm 0,4$ *Мэв*. Следовательно, теоретически возможен переход $Sn_{50}^{124} \xrightarrow{2\beta} Te_{52}^{124}$ с максимальным значением суммарной кинетической энергии электронов около 1,5 *Мэв*. Экспериментально обнаружить этот эффект впервые попытался Файерман. Он помещал образец олова, обогащённый до 54% изотопом Sn^{123}, между двумя тонкостенными счётчиками и регистрировал совпадения разрядов в этих счётчиках. При замене обогащённого образца таких же размеров пластинкой из естественной смеси изотопов олова (с содержанием изотопа Sn^{124} в 0,4%) число совпадений в час уменьшалось с $16,4 \pm 0,3$ до $14,4 \pm 0,3$. Уменьшение числа совпадений автор объяснил проявлением двойного β-распада Sn_{50}^{124}, и исходя из этого, для периода полураспада получил значение в пределах от $4 \cdot 10^{15}$ до $9 \cdot 10^{15}$ лет.

Однако полученное Файерманом значение не подтвердилось последующими работами.

Лоусон [4], получив 8794 снимка с ионизационной камерой, внутрь которой был помещён обогащённый до 83% изотопом Sn^{124} оловянный образец, не обнаружил ни одной пары электронных следов, обусловленных двойным β-распадом олова, и заключил, что период полураспада Sn_{50}^{124} должен быть значительно больше 10^{16} лет.

Методом счёта совпадений, аналогичным использованному в работе [3], Калькштейн и Либби получили для минимального значения периода полураспада олова величину порядка $2 \cdot 10^{17}$ лет [5].

В работе Пирса и Дерби [6] для обнаружения двойного β-распада в олове Sn_{50}^{134} применялась установка, позволяющая регистрировать не только число совпадений, но и энергию частиц, вызвавших совпадения. В этой работе использовалась оловянная фольга толщиной 100 *мг/см²*, содержащая 95% изотопа Sn^{124}. Фольга помещалась между двумя кристаллическими счётчиками, с помощью которых регистрировались совпадения. Электронная селекторная схема была устроена так, что амплитуды совпавших импульсов складывались, и суммарная амплитуда выделялась соответствующим каналом 18-канального дискриминатора. Так как амплитуды импульсов в счётчиках пропорциональны энергии электронов, с помощью этой установки можно было получить кривую зависимости числа совпадений в единицу времени от суммарной энергии электронов, вызвавших совпадения. Наличие двойного β-распада в исследуемом образце привело бы к появлению пика на этой кривой.

Для уменьшения фона счётчики были защищены слоем свинца и включены на антисовпадения с помещённым над ними третьим счётчиком, который в основном регистрировал космические частицы и ливни. Фон совпадений снимался при замене оловянной фольги на алюминиевую эквивалентной толщины и составлял примерно 0,5 импульса в час на канал.

По мнению авторов, их установка могла бы зарегистрировать превышение числа совпадений, вызванных двойным β-распадом над фоном на 0,2 импульса в час. Так как им не удалось обнаружить эффекта в этих условиях, они пришли к выводу, что наименьшее значение периода полураспада заключено в пределах от $3 \cdot 10^{16}$ до $6 \cdot 10^{16}$ лет.

Наконец, Файерман совместно со Шварцером вновь провёл опыт по обнаружению двойного β-распада Sn_{50}^{124}, на этот раз с помощью управляемой камеры Вильсона, внутрь которой помещался исследуемый образец [7]. Камера управлялась совпадением импульсов в тонкостенных счётчиках, также помещённых внутрь камеры. Употреблялись образцы из олова естественного изотопического состава и обогащённые до 95% изото-

пом Sn^{124}. С обогащённым образцом получено 2754 снимка. Лишь на трёх из них электронные следы можно было объяснить двойным β-распадом. Однако они, по мнению авторов работы, могли быть вызваны также другими эффектами, связанными с многократным рассеянием электронов в газе камеры Вильсона и в пластинке олова, а также с возможными радиоактивными загрязнениями образца. Суммарная энергия электронов в этих трёх случаях, измеренная по радиусу кривизны в магнитном поле, оказалась равной соответственно 750 *кэв*, 785 *кэв* и 330 *кэв*.

Если эти три фотографии интерпретировать как случай проявления двойного β-распада, то для периода полураспада получается значение $2 \div 5 \cdot 10^{17}$ лет. Свой прежний результат [3] авторы пытаются объяснить незначительной долей примесей, которые могли иметь место в употреблявшемся ими образце.

Исследовался также двойной β-распад в палладии [8]. Известно [9], что Ag^{110}_{47} β-распадом с максимальной энергией 2,79 *Мэв* переходит в основное состояние Cd^{110}_{48}. В то же время не обнаружено [10] перехода

$$Ag^{110}_{47} \xrightarrow{\beta^+, k} Pd^{110}_{46}.$$

Отсюда можно сделать вывод, что разница масс изобарных ядер Ag^{110}_{47} и Pd^{110}_{46} не больше массы покоя электрона. Следовательно, энергетически возможен двойной β-распад $Pd^{110}_{46} \xrightarrow{2\beta^-} Cd^{110}_{48}$ с максимальной суммарной кинетической энергией электронов между 1,77 *Мэв* и 2,28 *Мэв*. Переход $Pd^{108}_{46} \xrightarrow{2\beta^-} Cd^{108}_{48}$, повидимому, также энергетически возможен. Автор работы [8] поместил в камеру Вильсона пластинку естественного палладия (26,7% Pd^{108} и 13,5% Pd^{110}) и получил более 10 000 снимков. Один из снимков содержал два электронных следа, выходящих из одной точки образца. Энергии электронов оказались равными соответственно $0{,}8 \div 1{,}1$ *Мэв* и $1{,}4 \div 2{,}1$ *Мэв*. Эти следы могли получиться за счёт двойного β-распада, а также за счёт фона, обусловленного космическим излучением и γ-лучами посторонних источников. Если отнести указанный случай к двойному β-распаду, то для периода полураспада получается значение $6 \cdot 10^{17}$ лет для Pd^{110} и $1{,}1 \cdot 10^{18}$ лет для Pd^{108}.

Попытки обнаружить двойной β-распад у изотопов теллура Te^{128}_{52} и урана U^{238}_{92} путём определения содержания соответственно ксенона в теллурите [11] и плутония в уране [12] не увенчались успехом и привели к нижнему значению периода полураспада порядка 10^{19} лет.

Таким образом, опубликованные до настоящего времени экспериментальные работы по двойному β-распаду не привели к каким-либо достоверным выводам относительно природы этого явления. В большинстве случаев даётся лишь нижняя граница значений периода полураспада, которая варьируется в разных работах в пределах от 10^{15} до 10^{19} лет.

П. Ш.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Слив, ЖЭТФ **20**, 1035 (1951).
2. B. G. Hogg, H. E. Duckworth, Phys. Rev. **86**, 567 (1952).
3. E. L. Fireman, Phys. Rev. **75**, 323 (1949).
4. J. S. Lawson, Phys. Rev. **81**, 299 (1951).
5. M. I. Kalkstein, W. F. Libby, Phys. Rev. **85**, 368 (1952).
6. R. M. Pearce, E. K. Darby, Phys. Rev. **86**, 1049 (1952).
7. Fireman, Schwarzer, Phys. Rev. **86**, 451 (1952).

8. R. G. Winter, Phys. Rev. **85**, 687 (1952).
9. Siegbahn, Phys. Rev. **77**, 233 (1950).
10. Deutsch, Phys. Rev. **72**, 527 (1947).
11. M. G. Inghram, J. H. Reynolds, Phys. Rev. **76**, 1265 (1949).
12. C. A. Levine, A. Giorso, G. T. Seaborg, Phys. Rev. **77**, 296 (1950).