6
-20

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Р-448

М.Я. Балац, Л.Н. Кондратьев, Л.Г. Ландсберг, П.И. Лебедев, Ю.В. Обухов, Б. Понтекорво

БЕЗРАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ТЯЖЕЛЫХ μ -МЕЗОАТОМАХ

ЖЭТФ, 1960, т 38, в 6, с 1715-1719.

Дубна 1959 год

Р-448

М.Я. Балац, Л.Н. Кондратьев, Л.Г. Ландсберг, П.И. Лебедев,
Ю.В. Обухов, Б. Понтекорво

531/5 тир.

БЕЗРАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ТЯЖЕЛЫХ μ -МЕЗОАТОМАХ[x/]

---

x/ Доложено на IX Международной конференции по физике частиц высоких энергий /Киев, 1959 г./. См. доклад А.И. Алиханова.

Объединенный институт ядерных исследований БИБЛИОТЕКА

Аннотация

При помощи сцинтилляционного спектрометра исследовались спектры мезорентгеновских фотонов, испускаемых μ -мезоатомами урана и свинца. Показано, что нормированная на один остановившийся мюон интенсивность радиационного перехода $2P - 1S$ в мезоуране заметно меньше, чем в свинце. Тем самым экспериментально доказано существование до сих пор ненаблюдавшегося механизма безрадиационных переходов, при котором энергия перехода передается прямо ядру.

1. Введение

В работе Уилера[1] предсказывались два механизма деления тяжелых ядер μ -мезонами: "внутреннее" деление, когда энергия, необходимая для деления, освобождается при захвате ядром мюона с нижнего уровня мезоатома, и "внешнее" деление, при котором мюон не исчезает, а энергия, необходимая для деления, освобождается в безрадиационном переходе мезоатома на уровень $1S$.

Зарецкий[2] рассчитал вероятность безрадиационного перехода в мезоатомах тяжелых ядер, точнее, вероятность того, что энергия перехода $2P-1S$ не освобождается в виде мезорентгеновского излучения, а прямо передается ядру.

В работе[3], выполненной при помощи фотопластинок, делается вывод о том, что остановки μ^- -мезонов в U^{238} приводят только к "внутреннему" делению с вероятностью 0,07 /безрадиационное деление авторами работы не наблюдалось и имеет вероятность меньше, чем 1%/. В работе[4] x/, выполненной при помощи электронных методов регистрации частиц, также делается вывод о том, что безрадиационное деление, если оно имеет место, должно быть только малой долей числа актов деления.

Кроме этих опытов, давших отрицательные результаты, предложенный Зарецким механизм безрадиационного перехода $2P-1S$ мезоатома экспериментально не исследовался. Таким образом, до последнего времени были известны только два механизма переходов $2P-1S$ μ-мезона в мезоатоме: 1/ излучение мезорентгеновского фотона и 2/ эффект Оже, который в тяжелых ядрах не играет существенной роли.

11. Постановка опыта

В настоящей работе, посвященной исследованию безрадиационных переходов, экспериментально показано, что в действительности механизм безрадиационного $2P-1S$ перехода в мезоатоме имеет место.

---

x/ Мы благодарны доктору Моеру, который ознакомил нас с результатами этой работы во время Киевской конференции.

Исследование этого явления не только представляет самостоятельный интерес, но могло бы дать также ценные сведения о свойствах тяжелых ядер.

В работе Зарецкого[2] показано, что вероятность безрадиационных переходов в μ -мезоатоме урана, где плотность ядерных уровней велика, должна быть значительной. В μ -мезоатоме свинца с малой плотностью ядерных уровней эта вероятность практически равна нулю. Поэтому доля безрадиационных $2P - 1S$ переходов в мезоуране определялась путем измерения разности выходов соответствующих радиационных рентгеновских переходов в U и Pb. То обстоятельство, что энергии переходов в мезоуране и мезосвинце близки /~ 6 Мэв/, облегчило задачу сравнения выходов фотонов в том смысле, что, практически, не требовалось вводить поправки к полученным экспериментально спектрам.

III. Методика

В работе использовался пучок π^- -мезонов с импульсом 270 Мэв/с от синхроциклотрона Объединенного института ядерных исследований. Схема опыта приведена на рис. 1. Остановившиеся в мишени мюоны выделялись телескопом из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных по схеме 1+2-3 /совпадения счетчиков 1/2 в антисовпадении со счетчиком 3/. На рис.2 приведена кривая пробегов, полученная с тонкой /4 г/см^2 Pb / мишенью. Измерения спектров излучения мезорентгеновских фотонов проводились с более толстыми мишенями, причем урановая мишень /100 х 100 мм^2 х 10,7 г/см^2/ и свинцовая /100х100мм^2 10,3 г/см^2/ были эквивалентны по ионизационным потерям.

Детектором γ -квантов служил сцинтилляционный счетчик 4, состоявший из кристалла $NaJ(Tl)$ диаметром 30 мм и высотой 35 мм, и фотоумножителя ФЭУ-33. Импульс с γ -счетчика подавался на 64-канальный амплитудный анализатор, который управлялся сигналом совпадений /1+2-3/+ +/2+4/. Фон случайных совпадений составлял примерно 1/20 от полного счета.

Для калибровки по энергии и проверки линейности всей системы применялся источник Na^{24} /энергии γ -квантов 1,38 Мэв и 2,78 Мэв/.

В процессе измерений периодически менялись мишени из урана и свинца. Все полученные спектры имели одинаковую форму и не смещались друг относительно друга.

1У. Результаты и выводы

На рис. 3 представлены спектры фотонов мезоурана и мезосвинца в области от 3 до 8 Мэв. Спектры нормированы на одинаковое количество μ - мезонов, остановившихся в мишени. На спектре свинца ясно виден пик с энергией $\sim$ 5,3 Мэв. Ввиду малых размеров кристалла $Na\,J(Tl)$ этот пик обусловлен тремя значениями энергии, теряемой фотонами в кристалле: 1/ E_γ ; 2/ E_γ – 0,51 Мэв; 3/ E_γ - 1,02 Мэв, где E_γ = 6,02 Мэв[5] - энергия фотонов $2P - 1S$ перехода в мезосвинце. Уран дает меньше отсчетов в области 5 - 5,5 Мэв и практически столько же, сколько свинец в областях, достаточно удаленных от 5,5 Мэв. Средняя энергия пика, соответствующего $2P - 1S$ переходу, в уране примерно на 200 Кэв больше, чем в свинце.

Разница в интенсивности фотонов с энергией $\sim$ 6 Мэв в мезоуране и мезосвинце при одинаковой геометрии и близких энергиях излучения указывает на то, что здесь действительно обнаружен эффект безрадиационного перехода μ -мезонов на уровень $1S$ мезоурана. Количественная оценка вероятности этого явления в уране представляется нам затруднительной. Чтобы определить отношение интенсивностей радиационных переходов $2P - 1S$ в мезоуране и мезосвинце, необходимо знать долю отсчетов в каждом канале анализатора, действительно обусловленную фотонами переходов $2P - 1S$. Иными словами, необходимо знать вклад фоновых отсчетов, т.е. отсчетов, не связанных с $2P - 1S$ переходами. Фоновые отсчеты обусловлены другими переходами в мезоатоме, а также присутствием электронов в первичном пучке.

Определение уровня фона является довольно сложной задачей, решению которой будут посвящены новые исследования. В настоящее время мы можем лишь указать довольно грубые пределы, в которые заключен фон. Из измерений, выполненных при помощи газового черенковского счетчика, нам известно, что фоновые отсчеты в области энергий фотонов $E_\gamma > 4$ Мэв, как в случае урана, так и в случае свинца обусловлены, в основном, фоном электронов. Этот фон слабо зависит от вещества мишени и от номера канала анализатора. Ясно, что величины счета в уране и в свинце в области $\sim$ 8 Мэв являются нижними пределами уровней фона в уране и в свинце в интересующей нас

области около 5 Мэв /рис. 3/. Верхнему пределу фона будет , очевидно, соответствовать линия, полученная плавной интерполяцией спектров урана и свинца из областей с $E < 5$ Мэв и $E > 5$ Мэв /рис. 3/.

Предполагая, что вероятность безрадиационного перехода в свинце W_δ пренебрежимо мала, по сравнению с вероятностью испускания фотона $W_{h\nu}$ $\left[\left(W_\delta/W_{h\nu}\right)_{Pb}=0\right]$, и принимая во внимание вышеупомянутые пределы фона получаем:

$$0,1 < \left(\frac{W_\delta}{W_{h\nu}}\right)_{U^{238}} < 1. \qquad /1/$$

Другую грубую оценку фона можно получить из условия, что ширины уранового и свинцового пиков должны быть одинаковы. Из этой оценки получаем $\left(W_\delta/W_{h\nu}\right)_{U^{238}} \sim 0,2$, т.е. величину, близкую к нижней границе неравенства /1/.

Таким образом, на основании изложенного можно заключить, что вероятности безрадиационного и радиационного переходов в U^{238} сравнимы[x/], причем, по-видимому, радиационные переходы преобладают.

Предварительные опыты показывают, что безрадиационные переходы имеют место и в Th^{232}.

В работе Зарецкого предсказывалась для отношения $\left(W_\delta/W_{h\nu}\right)_{U^{238}}$ величина $\sim 5 - 20$. Этот результат находился в противоречии с величиной /1/. Необходимо отметить, однако, что в оценке Зарецкого предполагалось, что в ядре урана $\rho\,\Gamma_{яд} \gg 1$, где ρ - средняя плотность возбуждаемых переходами $2P - 1S$ уровней урана и $\Gamma_{яд}$ - средняя их ядерная ширина. В этом случае процессами, в которых возбужденное ядро с мюоном в $1S$ - состоянии переходит обратно в основное состояние ядра с мюоном в $2P$ - состоянии, можно пренебречь. Как заметил Зарецкий при обсуждении наших результатов, в действительности гипотеза $\rho\,\Gamma_{яд} \gg 1$ не обоснована. Если $\rho\,\Gamma_{яд} \ll 1$, то процессы осцилляции мюона между $2P$ и $1S$ -состояниями с одновременной осцилляцией ядра между возбужденным и основным

---

x/ Наше предварительное сообщение на Киевской конференции /1959 г./ о том, что вероятности безрадиационного и радиационного переходов $2P-1S$ в U^{238} "приблизительно одинаковы" было недостаточно обосновано .

состояниями не являются пренебрежимыми, так что отношение $W_s/W_{k\nu}$ сильно уменьшается /6/.

В настоящее время выполняются более точные измерения отношения $W_s/W_{k\nu}$ в разных мезоатомах.

Авторы искреннее благодарят А.И.Алиханова за постоянный интерес к работе и Д.Ф.Зарецкого, ознакомившего нас со своей работой до ее опубликования.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1959 года.

Литература

1. T.A. Wheeler. Rev.Mod.Phys. 21, 133, (1949).

2. Д.Ф.Зарецкий. Доклады советских ученых на II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, 1958 г.

3. Г.Е.Беловицкий, Н.Т.Кашукеев, А.Михул, М.Г.Петрашку, Т.А.Романова, Ф.А.Тихомиров. "О механизме деления ядер урана под действием медленных μ^--мезонов". Препринт ОИЯИ.

4. T. Diaz, S.N. Kaplan, B. McDonald, R.V. Pyle. Phys.Rev. Letters. 3, 234, (1959).

5. V.L. Fitch, T. Rainwater. Phys.Rev. 92, 789, (1953).

6. D.F. Zaretsky, V.M. Novikov. Nucl.Phys. /в печати/

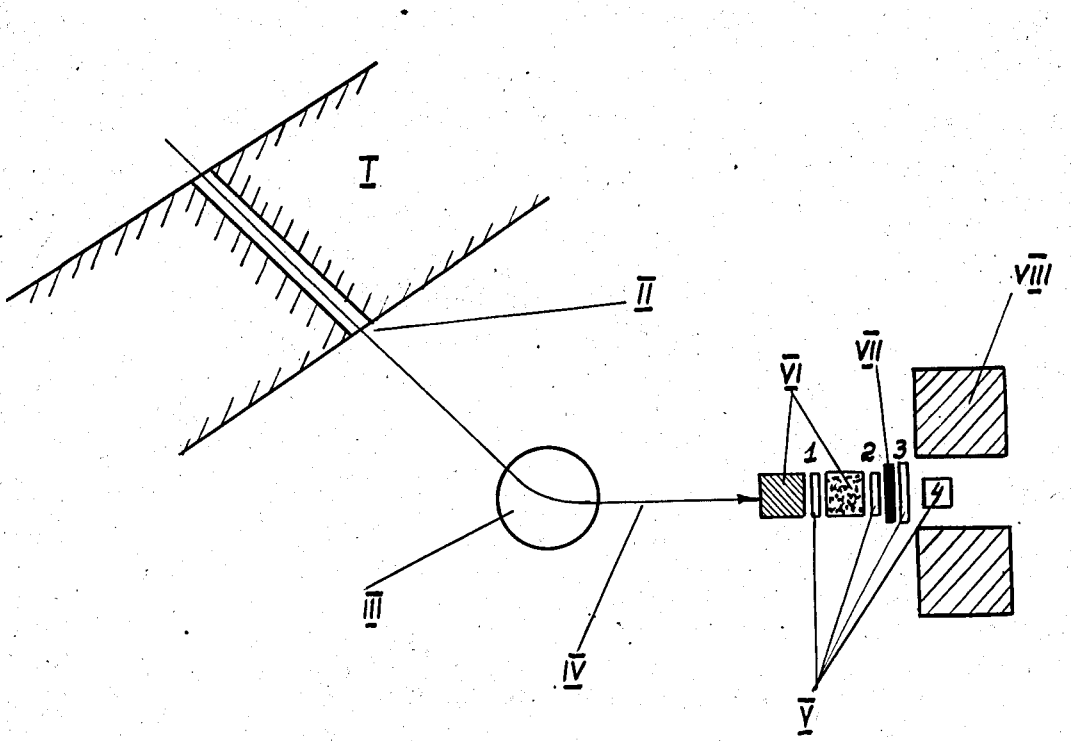

Рис. 1. Схема опыта.

I - бетонная защита, II - коллиматор Ø - 100 мм, III - отклоняющий магнит, Iу - пучок π^--мезонов, У - сцинтилляционные счетчики /1,2 - сцинтиллятор-пластмасса. Ø - 110 мм. Толщина 10 мм, 3 - то же Ø 125 мм, толщина 12 мм. 4 - кристалл NaJ(Tl) Ø 30 мм, толщина 35 мм/, У1 - фильтр / 75 г/см² Cu + 32 г/см B_4C /, У11 - мишень, У111 - защита счетчика № 4 - 20 см Pb.

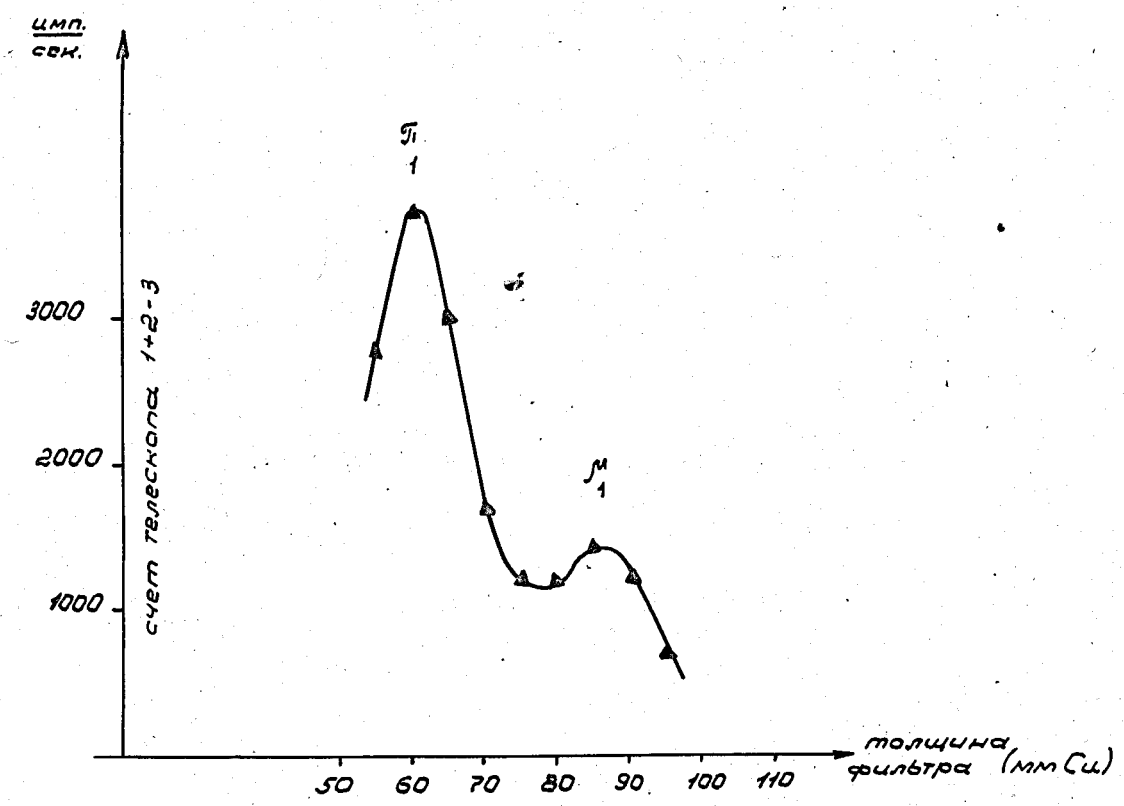

Рис. 2. Кривая пробегов.

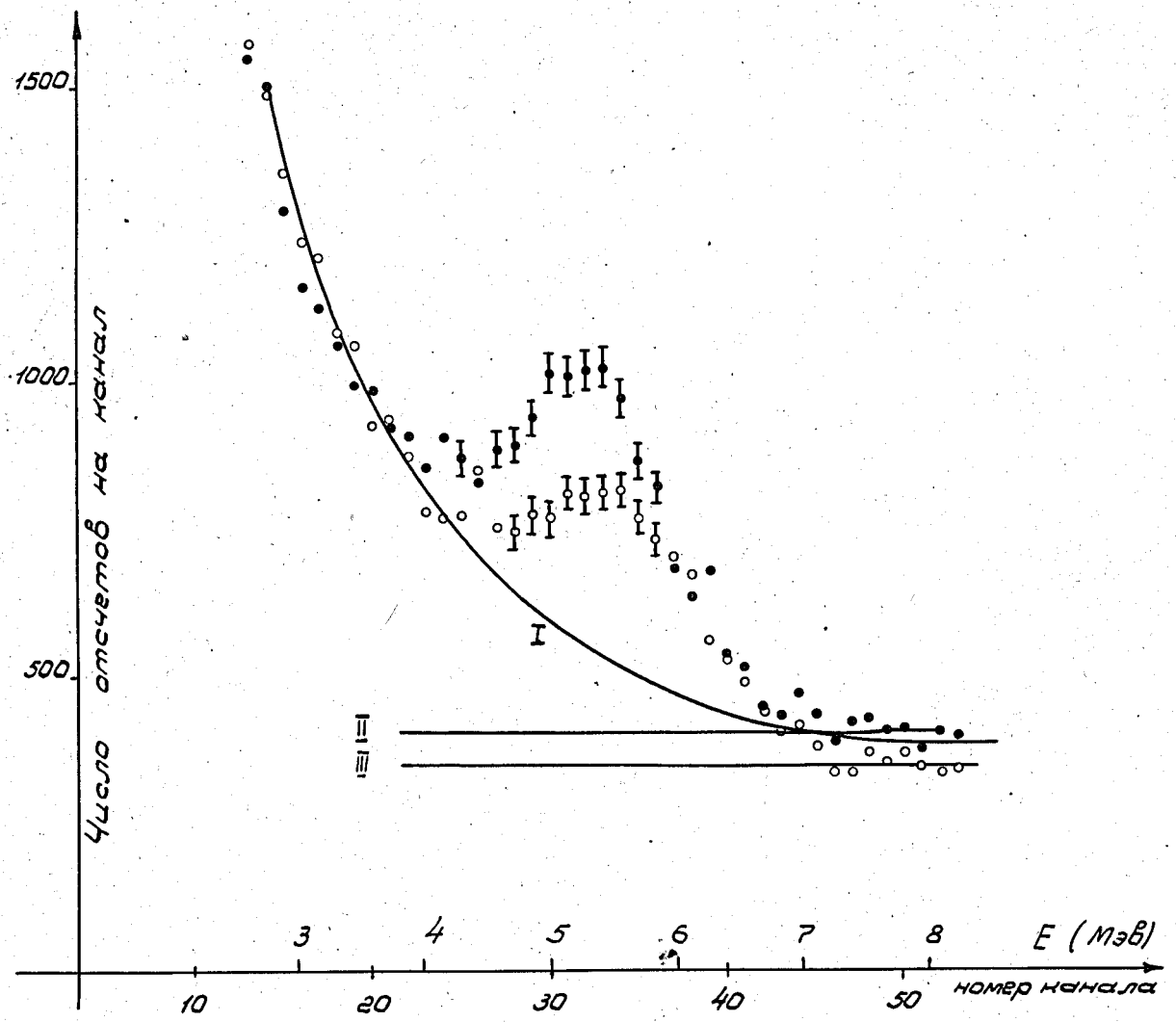

Рис. 3. Спектры фотонов от мезосвинца и мезоурана.
I – Pb; I – U ; II – верхний предел фона, III – нижний предел фона в свинце, III – нижний предел фона в уране.