

186

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-286

М.Г.Петрашку, А.К.Михул

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР  $Th^{232}$   
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ  $\mu$  И  $\pi$  -МЕЗОНАМИ

Дубна, 1959 год

М.Г.Петрашку, А.К.Михул

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР  $\text{Th}^{232}$   
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ  $\mu$  И  $\pi$ -МЕЗОНАМИ

## В в е д е н и е

Деление тяжелых ядер  $\mu^-$ -мезонами может осуществляться двумя путями:

1. Ядро возбуждается при оптическом переходе  $2p - 1s$   $\mu^-$ -мезона в мезоатоме и делится, если энергия перехода превышает порог фотоделения.

11. Путем поглощения мезона нуклонами ядра по реакции  $\mu^- + p \rightarrow n + \nu$ .

Д.Ф. Зарецкий<sup>/1/</sup> обратил внимание на возможность безрадиационного возбуждения ядра по схеме 1, наряду с испусканием  $\gamma$ -кванта при радиационном переходе и последующем возбуждении ядра. Если такой процесс безрадиационного возбуждения в действительности имеет место, то вероятность деления может превышать вероятность деления по схеме /11/, при которой параметр  $\frac{W_b}{W_j}$ , характеризующий способность ядра к делению, уменьшается по отношению к исходному ядру<sup>/2/</sup>. Для урана Зарецкий получил отношение  $\frac{W_b}{W_j} = 5 \div 20$ , где  $W_b$  - вероятность безрадиационного возбуждения и  $W_j$  - вероятность испускания  $\gamma$ -кванта при  $2p - 1s$ -переходе.

Принимая во внимание вероятность фотоделения урана при энергии возбуждения 6,5 Мэв равную 0,24<sup>/3/</sup>, можно было бы ожидать, что в среднем из 5 случаев захвата  $\mu^-$ -мезонов атомами урана один будет сопровождаться делением. Результаты работы<sup>/4/</sup> свидетельствуют о том, что приблизительно на 13 захваченных  $\mu^-$ -мезонов приходится одно деление. Считая, что процесс идет целиком по схеме /1/, имеем

$$\frac{W_b}{W_j} = 0,51 \pm 0,08.$$

Интересно получить сведения о вероятности безрадиационного деления тория. Известно, что для тория при возбуждении гамма-квантами с энергией 6,5 Мэв вероятность деления составляет  $\geq 0,20$ <sup>/3/</sup>. Следовательно, если деление ядер тория осуществляется путем безрадиационного возбуждения и для передачи энергии возбуждения существенную роль играют те же каналы, что и в случае урана, то вероятность деления тория не должна быть меньше, чем вероятность деления урана.

В настоящей работе одновременно с изучением деления тория  $\mu^-$ -мезонами изучается и деление при захвате  $\mu^-$ -мезонов, ввиду того, что в оценке вероятности первого процесса необходимо знать эффект от захвата  $\mu^-$ -мезонов ядрами тория, так как пучок  $\mu^-$ -мезонов не является чистым.

Метод исследования

Фотопластинки НИКФИ-Р с толщиной эмульсионного слоя 200  $\mu$  пропитывались в 4% растворе нитрата тория  $Th(NO_3)_4$  в течение 1 часа и затем просушивались. Количество тория, введенного в эмульсию, определялось путем счета следов альфа-частиц длиной 14 - 18  $\mu$  и составляло 0,027 г/см<sup>3</sup> - 0,032 г/см<sup>3</sup> в разных пластинках. Было проведено два типа облучений.

1. Облучение  $\mu^-$ -мезонами производилось в условиях работы /4/. Среднее число остановок мезонов в эмульсии равнялось 400 1/см<sup>2</sup>.

11. Облучение медленными  $\pi^-$ -мезонами проводилось в пучке  $\pi^-$ -мезонов с энергией 150 Мэв за медным фильтром толщиной 8 см. Среднее число остановок в этом случае равнялось 2200 1/см<sup>2</sup>. Регистрация остановок  $\pi^-$  и  $\mu^-$ -мезонов и актов деления ядер тория производилась при просмотре "по площади" на микроскопе МБИ-3 с увеличением 300X. Зарегистрированные случаи анализировались при увеличении 1350X.

Экспериментальные результаты

а/ Деление тория при захвате  $\pi^-$ -мезонов.

В пластинках, облученных  $\pi^-$ -мезонами, было наблюдеено 11075 остановок. В таблице 1 приводится распределение для 2847  $\sigma$  "звезд".

Таблица 1

Число лучей в "звезде"	0	1	2	3	4	5	6
Число звезд	1379	571	393	342	128	31	3

Сравнивая распределение "звезд" по лучам с данными работы /5/, можно заключить, что примесь  $\mu^-$ -мезонов в нашем случае составляет  $\sim 15\%$ . Следовательно, из 11075 остановок около 9400 являются  $\pi^-$ -мезонами. На той же площади было зарегистрировано 17 актов деления тория. Длина пробега осколков деления в этих случаях приводится в таблице 2.



Таблица 2

№ случая	Пробеги осколков в микронах		№ случая	Пробеги осколков в микронах	
	1	11		1	11
1	14	14	10	12	14
2	9	10	11	10	14
3	11	11	12	14	8
4	12	11	13	13	14
5	12	12	14	12	13
6	11	12	15	12	10
7	12	11	16	14	10
8	13	11	17	12	11
9	10	11			

Учитывая результаты, полученные при захвате  $\mu^-$ -мезонов, которые приведены ниже, можно отметить, что  $\sim 0,5$  случаев деления из 17 возможны за счет  $\mu^-$ -мезонов. Таким образом вероятность  $P / \pi^-$ , с которой отрицательный  $\pi^-$ -мезон при остановке в эмульсии вызывает деление, равна  $1,8 \pm 0,4 / 10^{-3}$ .

б/ Деление тория при захвате  $\mu^-$ -мезонов.

В пластинках, облученных  $\mu^-$ -мезонами, было наблюдеено 11270 остановок. Примесь  $\pi^-$ -мезонов составляла  $0,2 \pm 0,1\%$ . Можно ожидать, что не более  $1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \approx 0,1$  деления являются результатом захвата  $\pi^-$ -мезонов. Всего было обнаружено 3 случая, которые следует считать результатом деления тория  $\mu^-$ -мезонами. Длина пробегов осколков деления приведена в таблице 3.

Таблица 3

№ случая	Пробеги осколков в микронах	
	1	11
1	13	11
2	14	9
3	13	10

Вероятность  $P / \mu^-$ , с которой  $\mu^-$ -мезон вызывает деление при остановке получена равной  $2,7 \pm 1,7 / 10^{-4}$ .

Обсуждение результатов

Вероятность атомного захвата  $P_c$  мезонов тория была рассчитана на основе закона Ферми-Теллера<sup>/6/, /7/, /4/</sup> с учетом того, что атомы тория при наполнении эмульсии входят только в желатину<sup>/8/</sup> и получена равной  $3,6 \pm 0,3 \cdot 10^{-2}$ . Вероятность деления  $P_f$   $\pi^-$  тория  $\pi^-$ -мезонами рассчитана по формуле  $P_f / \pi^- = \frac{P(\pi^-)}{0,4 P_c}$ <sup>/9/</sup> и составляет  $0,13 \pm 0,04$ . Вероятность деления  $P_f$   $\pi^-$  для урана по данным работы<sup>/9/</sup> равна  $0,42 \pm 0,15$ . Сравнивая эти результаты, можно видеть, что в пределах ошибок измерений отношение вероятностей деления тория и урана равно отношению соответствующих сечений фотоделения. Отношение сечений фотоделения тория и урана для  $\gamma$ -квантов с энергией 140 Мэв по данным работы<sup>/10/</sup> равно  $43,3 \pm 1,4 \text{ mb} / 147 \pm 4 \text{ mb}$ .

Вероятность деления тория  $\mu^-$ -мезонами равна  $P_f(\mu^-) = \frac{P(\mu^-)}{0,4 P_c} = 0,018 \pm 0,012$ . Этот результат позволяет оценить отношение вероятностей безрадиационного возбуждения и испускания гамма-кванта при  $2p - 1s$ -перехода. Считая, что процесс идет целиком по схеме /1/, имеем

$$\frac{W_b}{W_\gamma} = 0,1 \pm 0,07$$

Верхний предел этого отношения в несколько раз меньше соответствующего результата для урана. Возможно это расхождение объясняется на основе схемы /1/, предполагая, что в случае тория обратная передача энергии возбуждения ядра мезону с переходом последнего из  $1s$  в  $2p$ -состояние вероятнее, чем для урана.

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что каталитическое деление<sup>/1/</sup> тория  $\mu^-$ -мезонами путем безрадиационного захвата является маловероятным. Используя оценки из работы<sup>/1/</sup> для вероятности внутренней конверсии получается, что необходимо около 300 захватов  $\mu^-$ -мезонов атомами тория, чтобы произошло одно каталитическое деление.

В заключение авторы выражают благодарность профессорам Х.Хулубею, В.П.Джелепову, Б.М.Понтекорво, а также В.М.Сидорову, А.Е.Игнатенко и С.Ионеску за постоянный интерес к работе и ценные советы и М.Антоновой и С.Василенко за помощь при просмотре пластинок.

Л и т е р а т у р а

1. Д.Ф.Зарецкий. Работа 15/P 2227 представлена к 2 Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии.
2. J.R. Huizenga, Phys.Rev., 109, 484, (1958).
3. Л.Е.Лазарева, Б.И.Гаврилов, Б.Н.Валуев, Г.Н.Зацепина, В.С.Ставинский. Доклады на конференции по мирному использованию атомной энергии в Москве, 1955г., отд.физ.-матем.наук, стр.306.

4. А.К.Михул, М.Г.Петрашку /в печати/. ДАН, 124 /1959/.
5. M. Demeur, H. Huleux, G. Vanderhaeghe, Nuovo Cimento, 10, 509, (1956)
6. E. Fermi, E. Teller, Phys.Rev., 72, 399, (1947).
7. J.C. Sens, R.A.Swanson, V.L.Telegdi, D.D.Yovanovitch,  
Nuovo Cimento, 7, 536, (1958).
8. О.В.Ложкин, В.П.Шамов. ЖЭТФ, 28, 739 /1955/
9. Н.А.Перфилов, Н.С.Иванова. ЖЭТФ, 28, 732 /1955/.
10. J.A. Jungerman, H.M. Steiner, Phys.Rev., 105, 585, (1958).

Работа поступила в издательский отдел 13 января 1959 года.