

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУ1.36
Е-25

P1 - 7443

В.С.Евсеев, Т.Н.Мамедов

4525/2-73

ДЕЛЕНИЕ Pu^{239} ОТРИЦАТЕЛЬНО
ЗАРЯЖЕННЫМИ МЮОНАМИ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P1 - 7443

В.С.Евсеев, Т.Н.Мамедов

ДЕЛЕНИЕ P_{μ}^{239} ОТРИЦАТЕЛЬНО
ЗАРЯЖЕННЫМИ МЮОНАМИ

Направлено в ЯФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Настоящая работа посвящена изучению взаимодействия мю-мезона с делящимся изотопом ^{239}Pu . После остановки в мишени мю-мезон захватывается на атомную орбиту с большим квантовым числом и затем переходит путем Оже- и радиационных переходов до $1S$ -состояния и из $1S$ -состояния захватывается ядром.

В ^{1/1} было предсказано существование безрадиационных переходов в тяжелых мезоатомах; этот эффект был обнаружен в ^{2/}.

Так как энергия $2P - 1S$ перехода мю-мезона в ^{239}Pu $\approx 6,5 \text{ МэВ}^{1/3/}$ больше порога деления $5,31 \pm 0,27 \text{ МэВ}^{1/4/}$ и энергии связи последнего нейтрона $5,4 \text{ МэВ}$, см., например ^{5/} /, то при безрадиационном переходе возможны следующие каналы девозбуждения ядра: 1/ испускание γ -кванта; 2/ вылет нейтрона и 3/ деление. Эти процессы, происходящие в течение очень короткого времени по сравнению с временем жизни мю-мезона и не сопровождающиеся его гибелью, называют мгновенными, а процессы, которые следуют после захвата мю-мезона ядром, называют задержанными или мю-захватными.

Если в результате безрадиационного перехода произошло испускание нейтрона или γ -кванта, то мю-мезон захватывается соответственно ядром ^{238}Pu или ^{239}Pu , а если произошло деление, мезон либо остается на одном из осколков, либо происходит реэмиссия, т.е. мезон становится свободным, вновь захватывается ядром ^{239}Pu и картина повторяется ^{1/}.

В настоящем эксперименте измерен спектр нейтронов от мю-захвата в ^{239}Pu в интервале энергии 2,4 - 10 МэВ и выход нейтронов Δn /мгновенные + захватные/ на один акт останки мю-мезона в интервале 2,6 - 8,6 МэВ. Измерения проводились на чистом мюонном пучке синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ^{/6/}. Экспериментальная установка и методика измерений описаны ранее^{/7,8/}.

Спектр нейтронов от мю-захвата представлен на рис.1. Область спектра $2,4 \leq E_n \leq 5$ МэВ хорошо описывается формулой, которая используется для описания спектра делительных нейтронов:

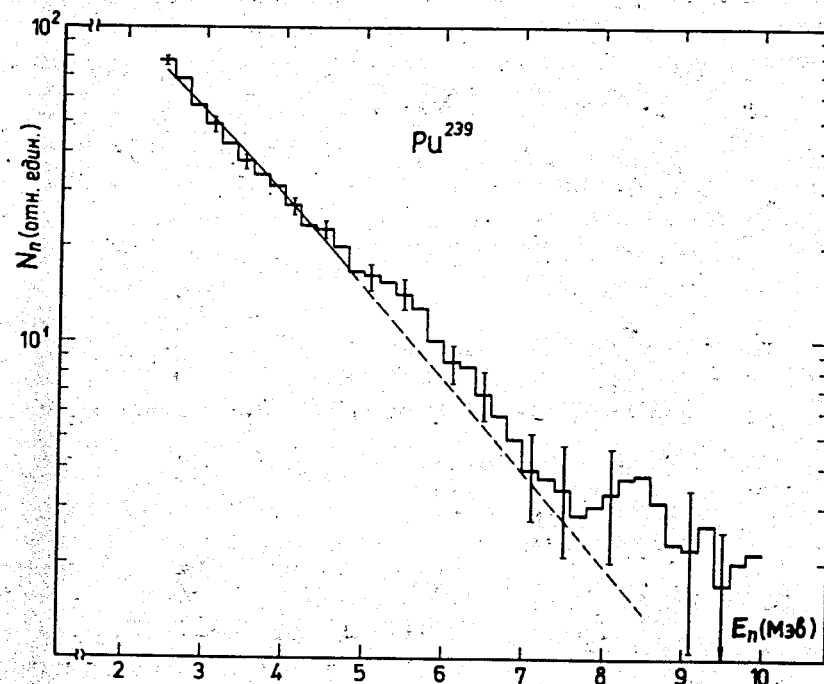
$$N_n(E_n) \approx \sqrt{E_n} \exp\left[-\frac{E_n}{T}\right] \quad /1/$$

Для параметра T /"температура"/ получено значение $1,29 \pm 0,04$. Следовало бы сравнить спектр нейтронов от мю-захвата в ^{239}Pu со спектром нейтронов из реакции $^{238}\text{Np} + n \rightarrow$ или $^{239}\text{Np} + \gamma \rightarrow$. Но поскольку в литературе такие данные отсутствуют, мы сравниваем полученное нами значение T со значением T , вычисленным по известным соотношениям $T = T(\bar{\nu})$ и $\bar{\nu} = \bar{\nu}(E)$, определенным для реакции^{/9/} $^{237}\text{Np} + n$, где E - энергия возбуждения промежуточного ядра. Если предположить, что энергия возбуждения порядка 17 МэВ /так как при мю-захвате ядро ^{239}Np имеет примерно такое возбуждение/, то получаем $T = 1,44 \pm 0,06$. Это значение, возможно, завышено, так как для ^{239}Np Γ_n / Γ_f несколько больше, чем для ^{238}Np . Если учесть это обстоятельство, то можно считать, что полученное нами значение параметра T не противоречит расчетному.

Измеренный суммарный выход нейтронов на одну останку мюона в ^{239}Pu в интервале энергии 2,6 - 8,6 МэВ составляет $\Delta n = 1,15 \pm 0,11$. Так как известно отношение мгновенных нейтронов к задержанным $C = \Delta n_{\text{мг}} / \Delta n_{\text{зад}}$, равное $0,16 \pm 0,02$ ^{/10/}, то можно определить количество мгновенных и задержанных нейтронов:

$$\Delta n = \Delta n_{\text{зад}} + \Delta n_{\text{мг}}$$

$$\Delta n_{\text{мг}} = \Delta n (1 + 1/C) \quad /2/$$



Спектр нейтронов из реакции мю-захвата в ^{239}Pu .

$$\Delta n_{\text{МГ}} = 0,16 \pm 0,03$$

$$\Delta n_{\text{зад.}} = 0,99 \pm 0,12$$

Соотношение между энергией $2P - 1S$ перехода мю-мезона в ^{239}Pu и энергией связи последнего нейтрона таково, что в исследованный нами энергетический интервал 2,6 - 8,6 МэВ спектра мгновенных нейтронов дают вклад только нейтроны деления. При $2P - 1S$ -переходе ядро ^{239}Pu получает примерно такую же энергию возбуждения, как ^{238}Pu при захвате тепловых нейтронов, поэтому возможно сравнение выходов деления в этих двух процессах. В^{/11/} измерен спектр и среднее число нейтронов при делении ^{238}Pu тепловыми нейтронами. Так как спектр делительных нейтронов хорошо описывается формулой /1/ с параметром $T = 1,35 \pm 0,04$ ^{/11/}, выход нейтронов в интересующем нас интервале 2,6 - 8,6 МэВ можно определить следующим образом:

$$\Delta \bar{\nu} = A \int_{2.6}^{8.6} E_n^{1/2} \exp \left[-\frac{E_n}{T} \right] dE_n, \quad /3/$$

где A - нормировочная постоянная, определяемая из условия

$$\bar{\nu} = A \int_0^{\infty} E_n^{1/2} \exp \left[-\frac{E_n}{T} \right] dE_n$$

$$\bar{\nu} = 2,92 \pm 0,12$$
^{/11/}

Таким образом, $\Delta \bar{\nu} = 0,775 \pm 0,035$.

Вероятность безрадиационного и задержанного деления после остановки мю-мезона в ^{239}Pu :

$$W_{\text{бр.дел}} = \Delta n_{\text{МГ}} / \Delta \bar{\nu} = 0,21 \pm 0,04; \quad W_{\text{зад.дел}} = W_{\text{бр.дел}} / K,$$

где K - отношение мгновенных делений к задержанным - было измерено ранее на камере деления^{/12/} и составляет $0,28 \pm 0,04$. Тогда $W_{\text{зад.дел.}} = 0,74 \pm 0,18$.

Полученное значение вероятности безрадиационного деления ^{239}Pu , возможно, несколько завышено, так как могут быть другие безрадиационные переходы из высоко-возбужденных атомных состояний в $1S$ -состояние, что может давать вклад как делительных, так и прямых ней-

ронов в измеренном нами энергетическом интервале. Энергия $3P - 1S$ перехода мю-мезона в ^{239}Pu составляет $\approx 9,5$ МэВ, энергия связи последнего нейтрона 5,4 МэВ, тогда прямые нейтроны должны присутствовать в районе 4,1 МэВ и выше в спектре мгновенных нейтронов в виде линии над плавным делительным спектром. Вклад таких прямых нейтронов, определенный из спектра мгновенных нейтронов при остановке мю-мезонов в ^{239}Pu ^{/10/} составляет $3 \pm 1,5\%$ в интервале энергий 2,6 - 8,6 МэВ; величиной этого вклада можно пренебречь.

В^{/13/} определена доля безрадиационных переходов в мезоатоме ^{239}Pu , которая составляет $0,41 \pm 0,06$.

На основе наших данных и данных работы^{/13/} можно заключить, что отношение $\Gamma_f / \Gamma = 0,51 \pm 0,12$, где Γ - полная ширина для ^{239}Pu при энергии возбуждения $\approx 6,5$ МэВ. Если предположить, что $\Gamma = \Gamma_n + \Gamma_f$, то $\Gamma_n / \Gamma_f = 0,96 \pm 0,33$, что не противоречит значению $0,7 \pm 0,4$ ^{/14/}.

Вероятность мгновенного деления составляет 21%, следовательно, в 79% мю-мезон захватывается в ^{239}Pu , и на один акт остановки приходится 0,74 задержанных делений, откуда вероятность задержанного деления на один акт захвата $0,74 \pm 0,18 / 0,79 \pm 0,04 = 0,94 \pm 0,23$ в предположении, что вероятность резмиссии мю-мезонов равна нулю. Если предположить, что после мгновенного деления мю-мезон с вероятностью 100% вновь захватывается другим ядром ^{239}Pu , то для вероятности задержанных делений на акт захвата получим значение $0,74 \pm 0,18$. Таким образом, вероятность задержанного деления на акт захвата может меняться в пределах $0,74 \pm 0,18 \leq W_{\text{зад.дел.}} \leq 0,94 \pm 0,23$.

В заключение приносим нашу благодарность С.М.Полликанову, Д.Ф.Зарецкому за обсуждение результатов и А.Зглински, В.С.Роганову за помощь в проведении экспериментов.

Литература

1. D.F.Zaretsky. *Int. Conf. of Peaceful Uses of Atomic Energy*. vol. 13, p.175 (1958); D.F.Zaretsky and V.M.Novikov. *Nucl. Phys.*, 14, 540 (1960).
2. М.Я.Балац и др., ЖЭТФ 39, 1168 /1960/.
3. А.О.Вайсенберг. "Мю-мезон", изд. "Наука", 1965.
4. H.W.Koch et al. *Phys. Rev.*, 77, 329 (1950).
5. P.A.Seeger. *Nucl. Phys.*, 25, 1, (1961).
6. В.Г.Варламов, Ю.М.Грашин и др. Препринт ОИЯИ, 1-4084, Дубна, 1968.
7. И.Войтковска, В.С.Евсеев, Т.Козловски, Т.Н.Мамелодов, В.С.Роганов. ЯФ, XIV 624 /1971/.
8. В.С.Евсеев, Т.Н.Мамелов. Препринт ОИЯИ, P1-7115, Дубна, 1973.
9. Ping-Shiu Tu and A.Prince. *J.Nucj.Energ.*, 25 559 (1971); A.Veyssiere et al. *Nucl. Phys.*, A199, 45 (1973).
10. V.S.Evseev. T.Kozlovski, T.Mamedov et al. *Int. Conf. on Photonic Reaction and Applications. Asilomor, March. 26-30 (1973) California, p. 5D4.*
11. Н.И.Крошин, Ю.С.Замятин. АЭ, 29, 95 /1970/.
12. A.Buta et al. *Revue Roumanie de Physique*, 16, 215 (1971).
13. М.Я.Балац и др., ЖЭТФ 49, 7 /1965
14. J.T.Caldwell et al. *Int. Conf. on Photonic Reaction and Applications. Asilomor, March 26-30 (1973), California, p. 5D9.*

Рукопись поступила в издательский отдел
4 сентября 1973 года.