

1189/
2-78

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



13/III - 78

A-768

7 - 11142

С.Апостолеску, В.Н.Бугров, П.Вертеш,
В.В.Каманин, С.А.Карамян, Р.Макрин,
Ю.Ц.Оганесян, М.Титиричи

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННОГО СОСТАВНОГО ЯДРА
В РЕАКЦИИ $^{238}\text{U}({}^3\text{He}, f)$
С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ТЕНЕЙ

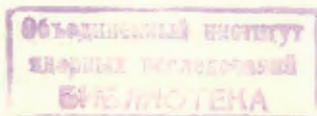
1977

7 - 11142

С.Апостолеску, В.Н.Бугров, П.Вертеш,
В.В.Каманин, С.А.Карамян, Р.Макрин,
Ю.Ц.Оганесян, М.Титиричи

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННОГО СОСТАВНОГО ЯДРА
В РЕАКЦИИ $^{238}\text{U}({}^3\text{He}, f)$
С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ТЕНЕЙ

Направлено в ЯФ



Апостолеску С. и др.

7 - 11142

Измерение времени жизни возбужденного составного ядра в реакции $^{238}\text{U} (^3\text{He}, f)$ с помощью эффекта теней

Измерялось время жизни составного ядра плутония-241 при энергии возбуждения 42 МэВ, образованного в реакции $^{238}\text{U} + ^3\text{He}$ при энергии ионов гелия 33 МэВ. Мишенью служил монокристалл из двуокиси урана. В качестве рабочих осей были выбраны наиболее плотноупакованные кристаллографические оси $\langle 110 \rangle$, которые ориентировались под углами 110° , 115° и 170° по отношению к пучку ионов. Наблюдался эффект различия глубин теневых минимумов в угловом распределении осколков деления $\Delta X_{\text{эфф}} = 0,029 \pm 0,015$, который соответствует эффективному времени жизни составного ядра $\tau_{\text{эфф}} = 2,8 \cdot 10^{-17}$ с.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

ВВЕДЕНИЕ

Полученный к настоящему времени объем экспериментальных данных по временам жизни возбужденных составных ядер, измеренным с помощью эффекта теней, можно разделить на две группы. Одна группа данных относится к энергиям возбуждения до 10 МэВ, другая — к области от 60 до 120 МэВ^{1/1}. Для промежуточной области по энергии возбуждения от 10 до 60 МэВ сделано единственное измерение, которое дало верхнюю границу времени жизни составного ядра ^{242}Pu ($\tau < 10^{-17}$ с), образующегося в реакции $^{238}\text{U}(\alpha, f)$ при облучении монокристалла UO_2 α -частицами с энергией 25 МэВ^{2/2}. В связи с почти полным отсутствием экспериментальной информации представляло интерес проведение измерения времен жизни в промежуточном диапазоне энергии возбуждения.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Монокристаллическая мишень UO_2 облучалась пучком ионов ^3He с энергией 33 МэВ циклотрона У-120 Института ядерной физики и технологии (Бухарест). Осколки деления регистрировались стеклянными детекторами, расположенными на расстоянии 140 мм от мишени в геометрии, показанной иллюстративно на рис. 1. Теневые минимумы наблюдались в трех направлениях, соответствующих кристаллографическим осям $\langle 110 \rangle$, которые имели одинаковые углы выхода из монокристал-

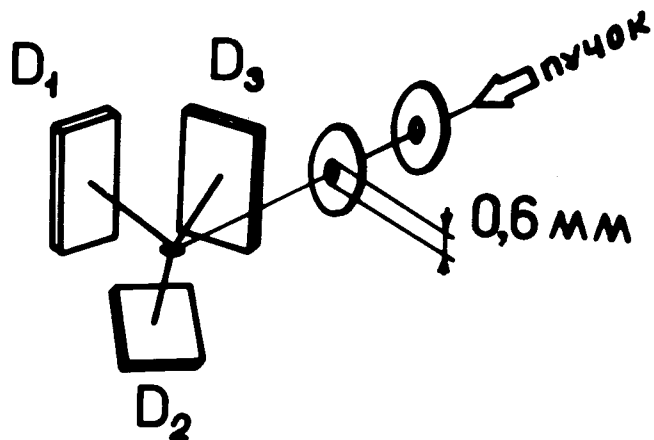


Рис.1. Схема геометрии эксперимента, D_1 , D_2 и D_3 - стеклянные детекторы осколков деления, расположенные под углами, соответственно, 110° , 115° и 170° по отношению к направлению пучка бомбардирующих частиц.

ла. Предварительная ориентация мишени осуществлялась на пучке ионов ^{16}O тандем-генератора ИЯФТ с энергией 20 МэВ по наблюдению теневой картины упруго рассеянных ионов на детекторах из триацетата целлюлозы после травления их в растворе щелочи NaOH с последующей коррекцией углов установки мишени на гониометре. В эксперименте использовался гониометр, описанный в работе ^{/3/}, имеющий точность установки углов $0,5^\circ$. Диаметр пучка ионов составлял 0,6 мм, что обеспечивало угловое разрешение около $0,25^\circ$.

Облучение проводилось в течение 13 ч при средней величине тока ^3He на мишень 4 нА. После облучения детекторы подвергались травлению в течение 5-7 мин в 3,5%-ном растворе HF при комнатной температуре.

Просмотр детекторов производился с помощью оптического микроскопа в ИЯФТ (Бухарест) и ЛЯР ОИЯИ (Дубна) по методике, подробно описанной в работе ^{/4/},

которая позволяет регистрировать различие глубин тени $\Delta\chi$, если оно не меньше чем 2-3%.

Определение центров теневых минимумов осуществлялось по критерию наименьшей суммы треков в квадрате из 81 (9x9) поля зрения.

Область из 81 поля зрения занимает сравнительно большой угловой интервал относительно полуширины тени, тем не менее такая площадь была необходима для достижения достаточной статистической точности величин χ . Это, естественно, приводило к ухудшению углового разрешения опыта и завышению величин χ на величину $\delta\chi_{\text{угл.}}$. Ввиду различия линейных ширины теней, связанного с некоторым различием расстояний детекторов от мишени и небольшим различием угловой ширины тени, вклад $\delta\chi_{\text{угл.}}$ для осей, ориентированных под углами 110° , 170° и 115° , был различным. Аппроксимируя форму тени в районе минимума в первом приближении параболоидом вращения, можно получить выражение для расчета поправок $\delta\chi_{\text{угл.}}$ для случая области просмотра, имеющей форму квадрата:

$$\delta\chi_{\text{угл.}} = \frac{a^2(1-\chi)}{3kb^2 + a^2},$$

где a - сторона квадрата в центре тени, b - полная ширина тени на половине глубины, k - коэффициент, учитывающий отклонение формы тени от параболоида вращения, который можно определить из разности величин χ , получаемых при различных размерах просматриваемой области в центре тени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты просмотра теневого минимума для оси, расположенной под углом 110° вдоль линии, пересекающей центр осевой тени $\langle 110 \rangle$, показаны на рис.2. Точки на рисунке отнормированы к единице, которая соответствует статистике около 90 треков в поле зрения площадью - $0,1 \times 0,1 \text{ мм}^2$. Светлые точки в об-

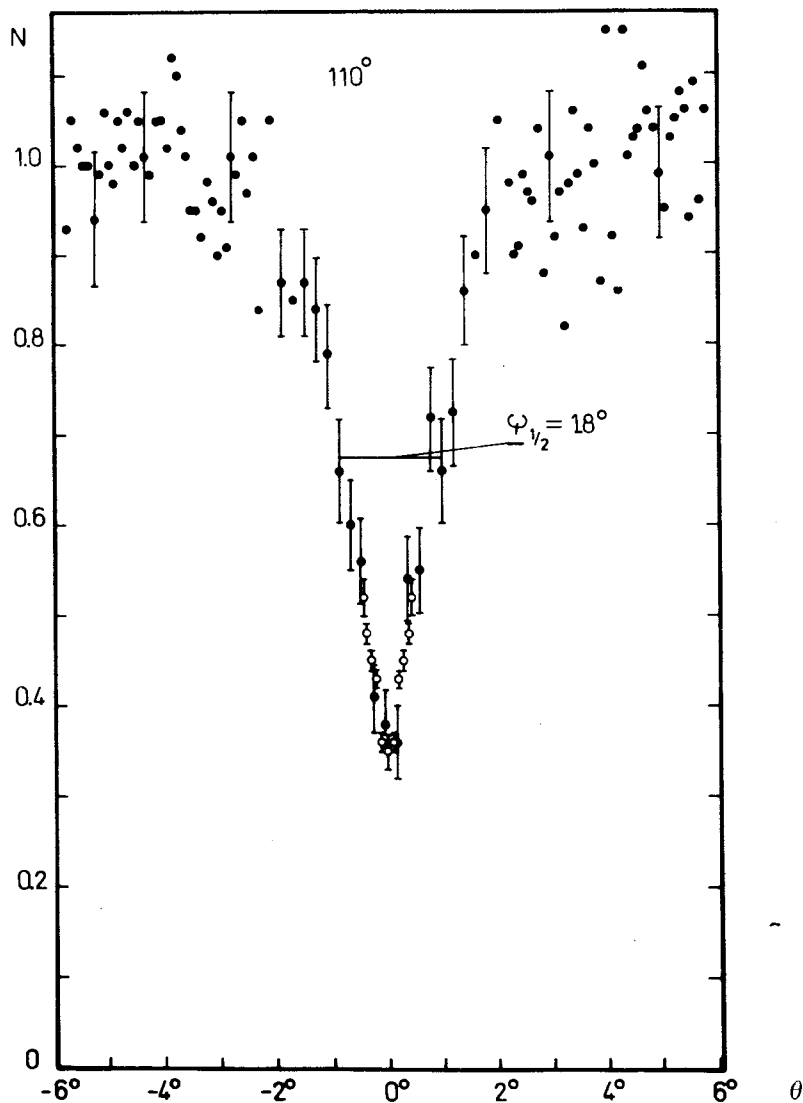


Рис.2. Картина тени в угловом распределении осколков деления вблизи оси $\langle 110 \rangle$ монокристалла UO_2 , ориентированной под углом 110° к пучку.

ласти минимума тени имеют лучшую статистическую точность, так как они рассчитаны по числам треков, определенным в концентрических замкнутых областях вокруг найденного центра тени.

Величины χ для трех осей в зависимости от $\sin^2\theta$, полученные по результатам просмотра центров теней, с учетом поправок на угловое разрешение опыта представлены на рис.3. С помощью метода наименьших квадратов через экспериментальные точки была проведена прямая и определено значение $\Delta\chi_{\text{эфф}} = 0,029 \pm 0,015$. Эффективное время жизни составного ядра связано с $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ выражением ^{/2/}, полученным в упрощенных представлениях о процессе формирования тени при движении заряженных частиц в монокристаллах:

$$\Delta\chi_{\text{эфф}} = 2\pi CNd(v\tau_{\text{эфф}})^2(\sin^2\theta_1 - \sin^2\theta_2),$$

где $C=2,5$, $d=3,868 \cdot 10^{-8}$ см для оси $\langle 110 \rangle$ монокристалла UO_2 , $N=2,44 \cdot 10^{22}$ см⁻³ и $v=5,15 \cdot 10^7$ см/с – скорость отдачи составного ядра. Отсюда было получено $\tau_{\text{эфф}} = 2,8 \cdot 10^{-17}$ с, соответствующее исходной энергии возбуждения составного ядра ^{241}Pu 42 МэВ. Является возможным применение для перехода от $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ к $\tau_{\text{эфф}}$ других формул, которые могут дать $\tau_{\text{эфф}}$, отличающиеся в 1,5 – 1,6 раз в большую или меньшую сторону. Трудно сказать, какая из этих формул дает более правильный результат. Это зависит от точности моделирования процесса формирования тени при выводе формул, а также от вида временной функции распада составных ядер. Если временная функция имеет несколько компонент, в том числе и долгоживущие, то более правильным является, по-видимому, применение формулы из работы ^{/5/}.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемое нами небольшое значение $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ может объясняться следующими причинами.

В величину $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ может давать вклад процесс деления тяжелых продуктов прямых реакций на ядре урана.

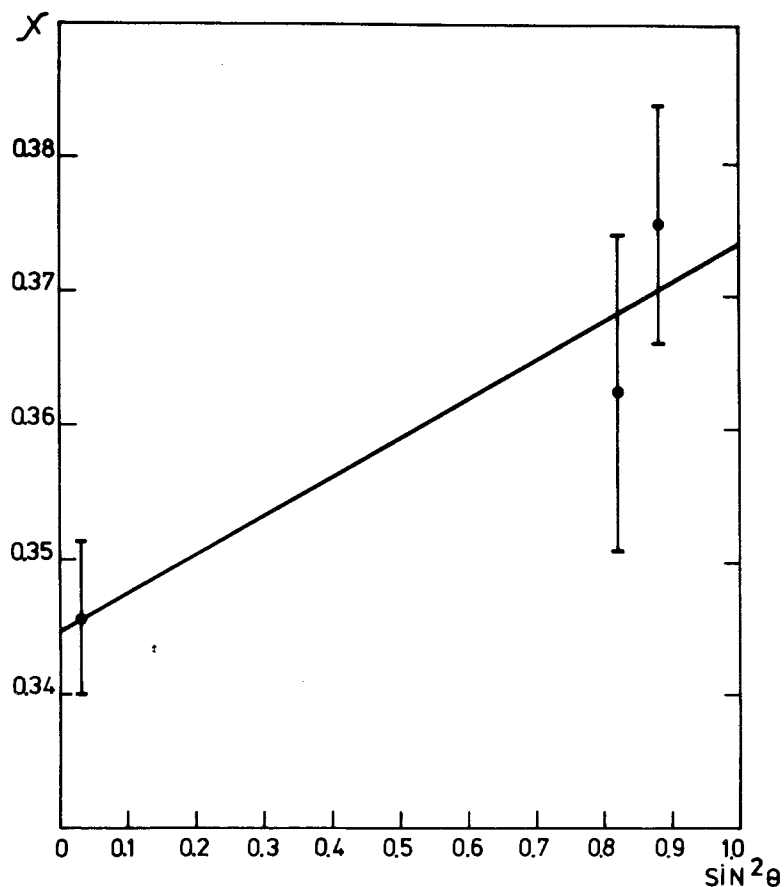


Рис. 3. Зависимость величин χ от $\sin^2 \theta$ для осей $\langle 110 \rangle$.

Можно предполагать, что вклад в $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ от таких реакций имеет отрицательный знак, т.е. уменьшает наблюдаемый эффект. Это, как показано в работе /4/ для реакций с тяжелыми ионами, возникает за счет кинематических особенностей прямых реакций. Для реакций с ${}^3\text{He}$ такой расчет не проводился. Ненаблюдение $\Delta\chi_{\text{эфф}}^{/2/}$

в реакции ${}^{238}\text{U} + \alpha$ не является доказательством малой роли процесса деления после реакций передачи, так как эта реакция изучена при значительно меньшей энергии бомбардирующей частицы.

Значительный вклад в $\Delta\chi_{\text{эфф}}$ может вносить деление после испарения нейтронов /6/. В этом случае рассчитанное время жизни $\tau_{\text{эфф}}$ может оказаться в несколько раз больше, чем время жизни составного ядра при исходной энергии возбуждения. Для ядер плутония величины Γ_f/Γ_n не очень велики, поэтому вклад деления после испарения одного или нескольких нейтронов может быть не малым. Следует отметить также, что в изученной реакции составное ядро является четно-нечетным в отличие от ${}^{242}\text{Pu}$. Вследствие того, что четно-нечетное ядро обладает меньшей делимостью (больше разность $B_f - B_n$) по сравнению с четно-четным ядром, вклад деления после испарения нейтронов может быть большим для реакции ${}^{238}\text{U} + {}^3\text{He}$, чем для реакции ${}^{238}\text{U} + \alpha$.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флеорову и профессору И.Петрашку за поддержку работы, а также коллективу ускорителя У-120 ИЯФТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карамян С.А., Меликов Ю.В., Тулинов А.Ф. ЭЧАЯ, 1973, т.4, с.456.
2. Melikov Yu.V. et al. Nucl. Phys., 1972, A-180, p.241.
3. Карамян С.А. и др. ЯФ, 1971,13, с.944.
4. Бугров В.Н. и др. ЯФ, 1977, 25, с.713.
5. Gibson W.M., Nielsen K.O. Phys.Rev.Lett.,1970, 24, p.114.
6. Каманин В.В., Карамян С.А. ОИЯИ, P7-10281, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 декабря 1977 года.