

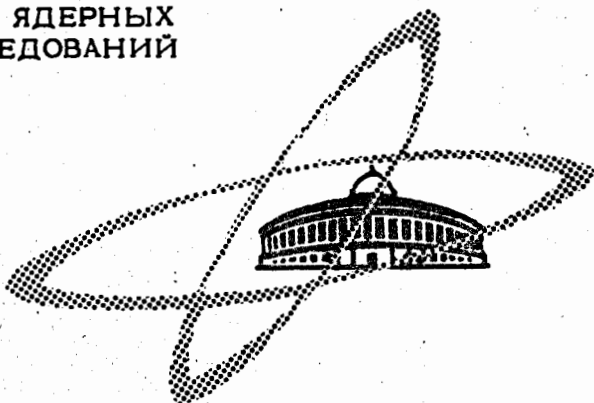
5300

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 5300



С.А. Карамян, Ю.В. Меликов, Ф. Нормуратов,  
О. Отгонсурен, Г.М. Соловьева

НАБЛЮДЕНИЕ ТЕНЕЙ  
В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ  
ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ  
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОНОКРИСТАЛЛА ВОЛЬФРАМА  
УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ  $^{22}\text{Ne}$   
И ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ СОСТАВНЫХ ЯДЕР

P7 - 5300

С.А. Карамян, Ю.В. Меликов, Ф. Нормуратов,  
О. Отгонсурен, Г.М. Соловьева

НАБЛЮДЕНИЕ ТЕНЕЙ  
В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ  
ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ  
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОНОКРИСТАЛЛА ВОЛЬФРАМА  
УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ  $^{22}\text{Ne}$   
И ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ СОСТАВНЫХ ЯДЕР

Направлено в ЯФ

Согласно оценкам по статистической теории, время жизни возбужденных составных ядер, образующихся при взаимодействии ускоренных заряженных частиц со сложными ядрами, очень резко падает в диапазоне  $< 10^{-16}$  сек с ростом энергии возбуждения ядер. Экспериментальное измерение времен жизни составных ядер, возбужденных до энергий, соответствующих сплошному спектру ядерных уровней, представляет принципиальный интерес для определения феноменологических параметров статистической модели ядра.

До недавнего времени подобные измерения были методически неосуществимы, однако несколько лет назад авторами работ<sup>/1,2/</sup> был предложен метод определения столь коротких отрезков времени ( $< 10^{-16}$  сек) путем наблюдения теней в угловых распределениях продуктов ядерных реакций при использовании монокристаллических мишеней. Сейчас этот метод начал получать применение для измерения времени протекания ядерных реакций<sup>/3-8/</sup>. В работах<sup>/3,4/</sup> измерялось время реакции неупругого рассеяния протонов на ядрах Ge и Si. В других работах<sup>/5-8/</sup> изучалось деление ядер U протонами (10-12 Мэв),  $\alpha$  - частицами (25 Мэв), и нейтронами (3Мэв), получена оценка времени жизни компаунд-ядер в этих реакциях  $\approx 10^{-16}$  сек.

Целью данной работы было создание аппаратуры для постановки опытов по наблюдению теней в угловых распределениях осколков деления в реакциях с ускоренными тяжелыми ионами. Компаунд-ядра, образуемые при слиянии сложных ядер, обладают значительной

скоростью отдачи (до  $10^9$  см/сек), в результате чего диапазон времен, измеримых методом теней, смещается в район  $10^{-18}$  сек. Кроме того, использование тяжелых ионов позволяет легко синтезировать различные делящиеся компаунд-ядра, широко варьируя их основные параметры, такие как  $Z$ ,  $A$ , энергия возбуждения и скорость отдачи. Это обстоятельство позволяет надеяться на установление систематических закономерностей в значениях времен жизни компаунд-ядер в зависимости от их энергии возбуждения, углового момента и параметра делимости  $Z^2/A$ .

#### Описание установки

Нами была разработана специальная камера рассеяния, отвечающая специфическим требованиям данных экспериментов. Схематический чертеж этой установки показан на рис. 1. В центре камеры на гониометрическом устройстве, о котором более подробно будет сказано ниже, укреплялась мишень (1), которую служил монокристалл вольфрама площадью  $0,5 \text{ см}^2$ , отполированный электрохимическим способом. Прежде чем попасть на мишень, пучок частиц проходил через тормозящие фольги (2) и систему ограничения линейных и угловых размеров пучка, состоявшую из двух диафрагм (3,4) размером от 0,5 до 3 мм в зависимости от требований того или иного опыта. Диафрагмы и тормозящие фольги могли заменяться только с нарушением вакуума в камере. Также с нарушением вакуума можно было изменять расстояние между диафрагмами и от последней диафрагмы до мишени. Для обеспечения наилучших условий прохождения пучка через коллиматор была предусмотрена возможность без нарушения вакуума перемещать последнюю диафрагму (4) в плоскости, нормальной к пучку в двух взаимно перпендикулярных направлени-

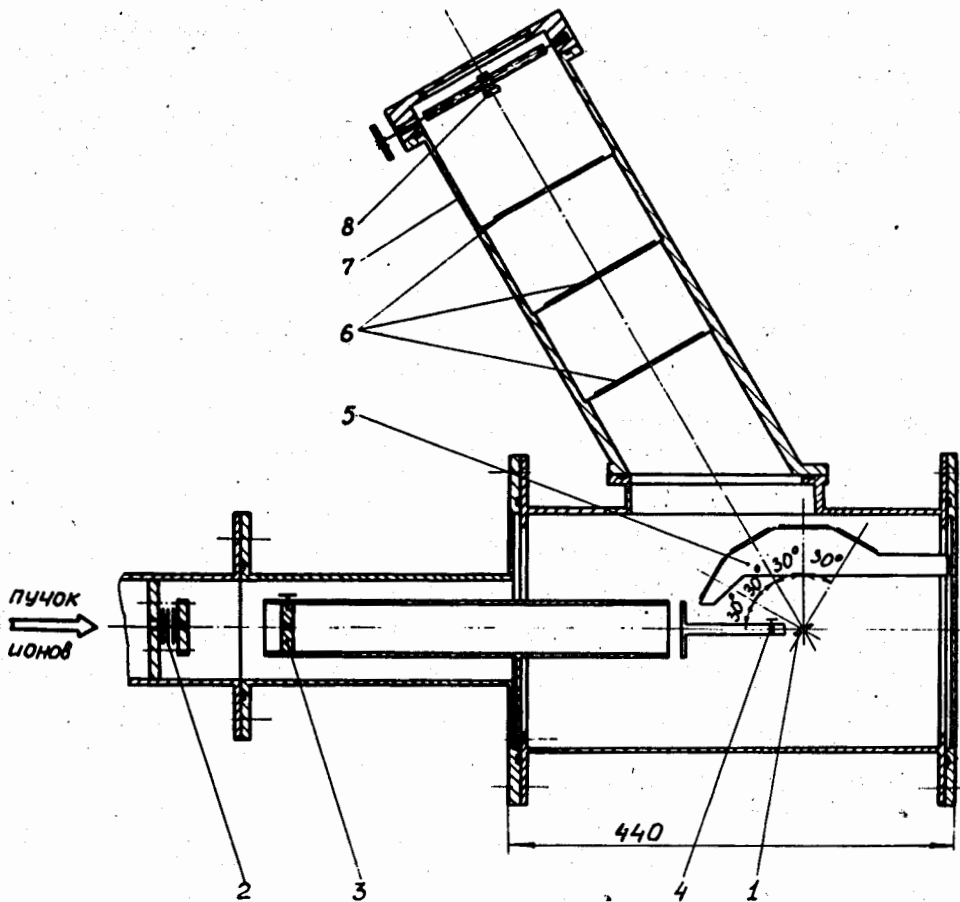


Рис. 1. Схема опыта 1 - монокристалл, 2 - тормозящие фольги, 3,4 - диафрагмы, 5,6 - держатели стекол, 7 - патрубок, 8 - полупроводниковый детектор.

ях не более чем на 5 мм относительно среднего положения. Детекторы осколков деления, которыми являлись пластины из обычного силикатного стекла, укреплялись на специальных держателях (5). Для увеличения расстояния от мишени до детектора можно было использовать также держатели стекол (6), расположенные в специальном патрубке (7). Предусмотрена также возможность установки в камеру полупроводникового детектора (8) и перемещения его без нарушения вакуума в плоскости реакции по полярному углу  $\Theta$  в интервале  $112^{\circ}$ - $128^{\circ}$ . В данных опытах полупроводниковый детектор не использовался, тени в угловых распределениях осколков деления обнаруживались по зависимости плотности треков осколков деления от координат на поверхности стеклянных детекторов. Расстояние от мишени до детектора и размеры диафрагм выбирались таким образом, чтобы обеспечить необходимое угловое разрешение опыта ( $0,5^{\circ}$ ), требования к которому определяются малыми угловыми размерами теней  $1,5^{\circ}$ - $3^{\circ}$ . Координаты треков на поверхности детекторов могли измеряться с очень высокой точностью, поэтому угловое разрешение опыта целиком связано с конечными размерами излучающего пятна на поверхности мишени. При достаточно высокой степени коллимации, если считать, что пучок является строго параллельным после прохождения последней диафрагмы, полное угловое разрешение опыта равно

$$\Delta\Theta \text{ (рад)} = \sqrt{3} \frac{r \sin\beta}{R \sin\alpha},$$

где  $r$  - радиус диафрагмы,  $R$  - расстояние от мишени до детектора,  $\alpha$  - угол между плоскостью мишени и осью пучка,  $\beta$  - угол между направлением на детектор и плоскостью мишени.

Для постановки опыта необходимо иметь возможность совмещать любую ось монокристалла, выходящую из его поверхности, под произвольным углом, с направлением на детектор, располагаемый под

различными углами  $\theta$  к пучку в плоскости реакции. Это можно было осуществить, имея, как минимум, две вращательные степени свободы монокристалла, выбранные специальным образом. Механизм перемещения мишени (гониометрическая система) изображен на рис.2. Монокристалл (1) укрепляется на медной подложке (2), которая электрически изолирована от корпуса камеры для измерения тока пучка, попадающего на мишень. Плоскость мишени перпендикулярна плоскости реакции, которая определяется осью пучка и направлением от центра мишени к центру детектора. Механизмы перемещения монокристалла, собранные на фланце (3), осуществляют следующие движения: а) вращение вокруг оси 1-1, перпендикулярной плоскости реакции путем поворота корпуса (6); б) вращение вокруг оси, перпендикулярной плоскости мишени и, следовательно, оси 1-1, при помощи поворота маховика (4) через коническую передачу (5). Оси вращения пересекаются на поверхности монокристалла в его центре. Нетрудно видеть, что данные вращения позволяют совместить направление любой оси монокристалла с любым заранее выбранным лучом, исходящим из центра мишени. Для индикации каждого из углов поворота предусмотрены соответствующие шкалы, обеспечивающие точность установки угла  $< 1^\circ$ . Кроме вращений, гониометрическая система обеспечивает параллельное перемещение мишени в плоскости, нормальной пучку в двух взаимно перпендикулярных направлениях не более чем на 5 мм от среднего положения. Данные перемещения были необходимы для того, чтобы иметь возможность изменять место попадания пучка на мишень в том случае, если под действием пучка при длительном облучении свойства монокристалла ухудшаются. Перемещение вдоль оси 1-1 производится движением корпуса (6) при повороте двуплечего рычага (7). Второе перемещение осуществляется движением каретки (9) в корпусе (6) через винтовую передачу (8).

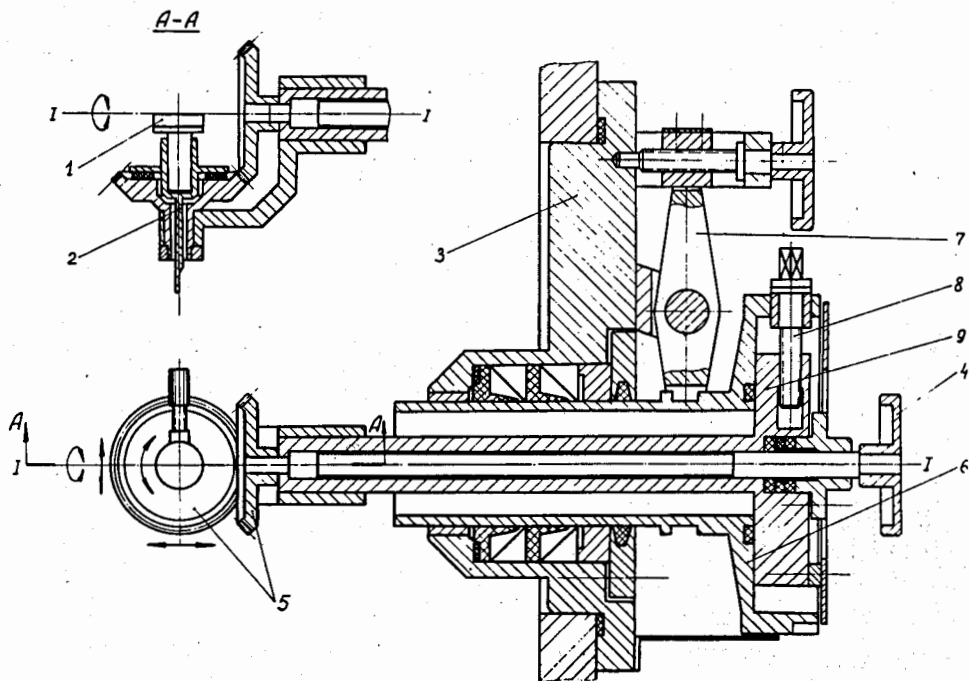


Рис. 2. Гониометрическая система:  
 1 - монокристаллическая мишень, 2 - медная подложка,  
 3 - фланец, 4 - маховик, 5 - коническая передача, 6 - корпус, 7 - двуручий рычаг, 8 - винтовая передача, 9 - каретка.



### Методические опыты

Прежде чем приступить к опытам по наблюдению теней в угловых распределениях осколков деления при облучении монокристалла вольфрама ускоренными тяжелыми ионами, необходимо было проверить качество монокристалла и соответствующим образом ориентировать его. Эта задача была решена в опытах по наблюдению теней при упругом рассеянии малоэнергичных протонов на данном кристалле. В качестве источника протонов с энергией 150–200 кэВ использовался электростатический ускоритель на 200 кВ НГ-200, обычно применяемый для получения нейтронов в реакциях  $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$  и  $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ . Пучок протонов проходил через диафрагмы и попадал на мишень. Ток пучка составлял 2–3 мкА. В качестве детекторов рассеянных протонов использовались либо фотопластинки для регистрации изображения, либо люминесцентный экран для визуального наблюдения полной картины теней. На рис. 3 показана фотография протонограммы вблизи оси  $\langle 111 \rangle$  при энергии протонов 150 кэВ и угле рассеяния  $\Theta = 120^\circ$ . Весьма четкая наблюдаемая картина, проявление теней, соответствующих плоскостям и осям высоких индексов, свидетельствует о неплохом качестве поверхности монокристалла.

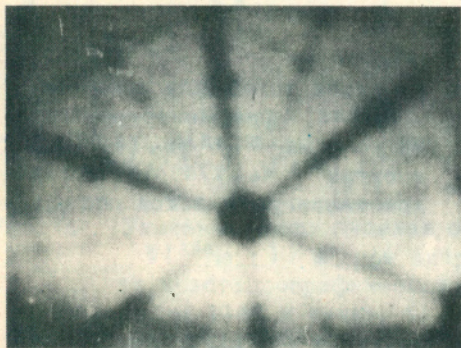


Рис. 3. Картина теней при упругом рассеянии протонов с энергией 150 кэВ на монокристалле вольфрама вблизи кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$



Опыты по наблюдению теней в угловых распределениях осколков деления производились на выведенном пучке циклотрона ЛЯР У-300. Максимальная энергия пучка ионов  $^{22}\text{Ne}$  составляет 174 Мэв, понижение энергии осуществлялось с помощью калиброванных Al фольг. При диаметре диафрагмы 1 мм на мишень проходил пучок интенсивностью до 50 на.

Время экспозиции выбиралось таким, чтобы плотность треков на поверхности детектора составляла  $(0,5-1,0) \cdot 10^4$  1/мм<sup>2</sup>. Стекла-детекторы осколков деления протравливались в 3,5% растворе плавиковой кислоты в течение 5-12 мин. При высокой плотности треков картина теней на поверхности протравленного детектора была видна визуально, это давало возможность легко обнаружить тени, соответствующие осям и плоскостям различных индексов. На рис. 4 дана фотография фрагментограммы, полученной при облучении вольфрама ионами  $^{22}\text{Ne}$  с максимальной энергией, время экспозиции 0,5 часа, детектор располагался на расстоянии 10 см от мишени. На рис. 5а приведена зависимость плотности треков от угла  $\Theta$  для данной фрагментограммы, линия просмотра проходила через центр осевой тени  $\langle 111 \rangle$  и не пересекала на ее периферии плоскостные тени. Точный выбор линии просмотра имеет существенное значение, если необходимо определить количественные характеристики тени (ее глубину и ширину на половине глубины). На рис. 5б и 5в показаны осевые тени  $\langle 111 \rangle$  при  $\Theta = 114^\circ$  и

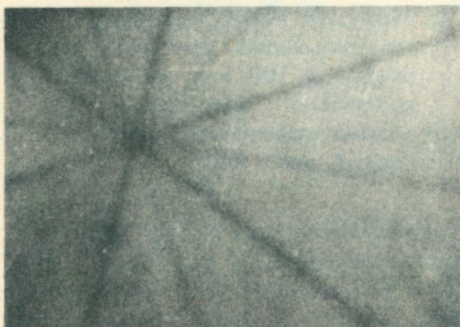


Рис. 4. Картина теней для осколков деления (фрагментограмма) из реакции  $W(^{22}\text{Ne}, f)$  при энергии  $^{22}\text{Ne}$  - 174 Мэв вблизи кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$

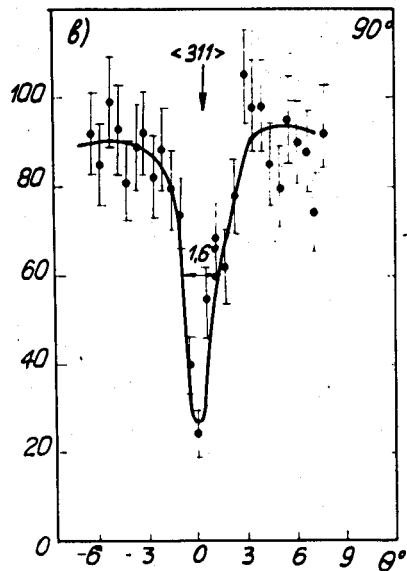
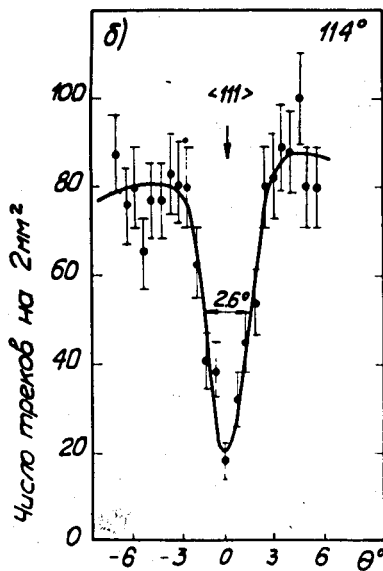
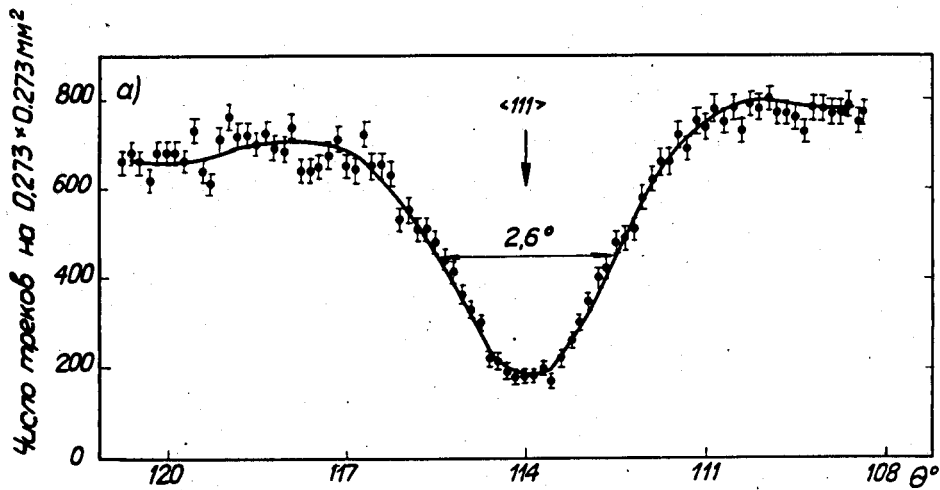


Рис. 5. Угловые распределения осколков деления в реакции  $W(^{22}\text{Ne}, f)$ : а) при энергии ионов - 174 Мэв в окрестности кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$ , направленной под углом  $114^\circ$  к пучку, б) при энергии ионов - 98 Мэв вблизи оси  $\langle 111 \rangle$ , направленной под углом  $114^\circ$  к пучку, в) при энергии ионов - 98 Мэв около кристаллографической оси  $\langle 311 \rangle$ , направленной под углом  $90^\circ$  к пучку.

< 311 > при  $\Theta = 90^\circ$  в угловых распределениях осколков деления при облучении той же вольфрамовой мишени ионами  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 98 Мэв. С уменьшением энергии частицы сечение деления в этой реакции очень резко падает, поэтому нам не удалось обеспечить здесь желаемую статистическую точность результатов. Однако качественный факт наличия достаточно глубоких теней и при этой энергии бомбардирующих частиц является безусловным.

### Коррекция экспериментальных данных и предварительный физический результат

При определении количественных характеристик теней необходимо весьма тщательно ставить эксперимент, учитывая, что некоторые методические погрешности могут существенно влиять на глубину и ширину тени. Нельзя было исключить, что монокристалл, бомбардируемый пучком тяжелых ионов, может после некоторого времени экспозиции существенно ухудшить свои свойства из-за радиационных повреждений. Нами подобные эффекты не были обнаружены, при интегральных экспозициях вплоть до  $10^{17}$  ионов/см<sup>2</sup> уменьшения глубины тени не наблюдалось. Длительная экспозиция отражалась на результатах лишь тогда, когда становилась заметной углеродная пленка на поверхности монокристалла, возникающая под действием пучка в результате разложения молекул масла, имеющих в вакууме, создаваемом паромасляными диффузионными насосами. Свойства монокристалла могут быть неодинаковыми в разных точках его поверхности, поэтому опыты, результаты которых сравниваются количественно, желательно ставить, не меняя места попадания пучка на монокристалл. Форма тени может быть разной для частиц, испускаемых на различной глубине в монокристалле

из-за влияния эффектов рассеяния и каналирования. Поэтому при использовании толстой мишени необходимо обеспечить одинаковую толщину работающего слоя в сравниваемых опытах.

Кроме того, значения плотности треков в зависимости от координаты на поверхности детектора, получаемые в результате просмотра, должны быть поправлены на некоторые факторы, связанные с геометрией опыта. Первая из таких поправок учитывает, что при использовании плоского детектора различные его части находятся на разном расстоянии  $R$  от центра мишени и поэтому одинаковой площади на поверхности детектора соответствует различный телесный угол  $\approx \frac{1}{R^2}$ . Вторая поправка связана с тем, что при движении вдоль линии просмотра меняется угол выхода регистрируемых частиц из монокристалла и поэтому меняется толщина работающего слоя мишени при фиксированном значении пробега частиц. Результаты, показанные на рис. 5, получены с введением данных поправок. Наличие достаточно глубоких теней в угловых распределениях осколков деления свидетельствует, что время жизни составного ядра сравнимо с временем пролета им расстояния атомного экранирования.

Как показано в работе /3/, среди измеряемых параметров тени глубина ее наиболее чувствительна к изменению времени жизни составного ядра.

Следует учитывать, что из-за несовершенства монокристалла, из-за тепловых колебаний атомов и из-за наличия рассеяния продуктов реакции глубина тени будет конечной величиной даже в том случае, если время жизни компаунд-ядер чрезвычайно мало и сдвиг их за счет отдачи в ядерной реакции пренебрежимо мал по сравнению с параметром атомного экранирования. По этой причине наблюдаемая глубина тени состоит из двух компонент, первая из которых связана с указанными аппаратурными эффектами, а вторая — собственно со сдвигом распада-

ющихся ядер за счет импульса отдачи. Выделить вторую компоненту можно, либо измеряя глубину тени в зависимости от угла между направлением пучка и соответствующей осью, либо в зависимости от энергии возбуждения составного ядра. Так как наши данные для энергии  $^{22}\text{Ne}$  -98 Мэв весьма неточны, то такое сравнение произвести затруднительно, и нами была оценена лишь верхняя граница времени жизни составных ядер, образующихся при облучении W ионами  $^{22}\text{Ne}$ . В таблице 1 приводятся эти оценки. При расчетах использовалась формула Линдхарда /9/ для глубины тени

$$\chi = \chi_1 + 2CN\pi d v_{\perp}^2 r^2$$

в предположении, что  $\chi_1 = 0$ , т.е. что аппаратная тень бесконечно глубока, и наблюдаемый выход осколков в направлении оси связан только со сдвигом компаунд-ядер из цепочки атомов за счет импульса отдачи. Полуэмпирический параметр С был взят равным 2,5, так же как в работе /6/.

Таблица 1. Результаты эксперимента.

Реакция	$E_{\text{в}}$ Мэв	$\bar{E}_{\text{в}}$ Мэв	$\bar{E}_{\text{в}}^*$ Мэв	$\bar{E}_{\text{rot}}$ Мэв	$\chi$	см/сек $v_{\perp}$	$\tau$ пред. сек
W + $^{22}\text{Ne}$	174	170,6	117	13,4	0,25	$3,58 \cdot 10^8$	$8,5 \cdot 10^{-18}$
W + $^{22}\text{Ne}$	98	97,5	51,7	2,1	0,25	$2,71 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{-17}$

$E_{\text{в}}$  и  $\bar{E}_{\text{в}}$  - максимальная и средняя энергии бомбардирующей частицы.

$\bar{E}_{\text{в}}^*$  и  $\bar{E}_{\text{rot}}$  - полная и вращательная энергии возбуждения компаунд-ядер.

$\chi$  - выход осколков в центре тени по отношению к выходу осколков вне тени.

$v_{\perp}$  - проекция скорости отдачи компаунд-ядра на направление, перпендикулярное кристаллографической оси.

$\tau$  пред. - верхняя граница времени жизни составного ядра.

Следует отметить, что расчет по статистической модели по формулам /10/ дал для времени жизни составных ядер в изучаемой реакции величину  $\approx (10^{-19} - 10^{-20})$  сек. при разумных значениях параметров плотности уровней. Полученная нами верхняя граница времени жизни на два порядка выше. Если время жизни компаунд-ядер действительно находится на уровне  $10^{-20}$  сек, то его невозможно измерить описанным здесь способом и следует ориентироваться на изучение тонкой структуры теней /11/ для определения времен  $\approx (10^{-19} - 10^{-20})$  сек. Однако расчеты по статистической модели обладают значительной неопределенностью, поэтому кажется бессмысленным уточнить эксперименты, измеряя глубины теней в зависимости от энергии возбуждения компаунд-ядер и угла между направлением пучка и осью монокристалла.

Авторы искренне благодарны Г.Н. Флерову и А.Ф. Тулинову за постановку задачи и ценные советы, Ю.Ц. Оганесяну за постоянное внимание и существенные замечания, Д. Чултэму, Н.Т. Кашукееву и Ю.А. Музычке за полезные обсуждения, Э. Дерменджиеву и А.М. Кучеру за помощь в проведении опытов, С.П. Третьяковой за консультацию при выборе режима обработки стеклянных детекторов, Т.И. Рыбаковой за качественный просмотр стекол, Б.А. Загеру и группе эксплуатации циклотрона У-300 за обеспечение эффективной работы ускорителя.

#### Литература

1. А.Ф. Тулинов, ДАН СССР, 185, 546 (1965).
2. D.S. Gemell and R.E. Holland, Phys. Rev. Lett., 14, 945 (1965).
3. M. Maruyama et al., Phys. Lett., 29B, 414 (1969).

4. M. Maruyama et al., Nucl. Phys., A145, 581 (1970).
5. F. Brown, D.A. Marsden, R.D. Werner, Phys. Rev. Lett., 20, 1449 (1968).
6. W.M. Gibson, K.O. Nielsen, Phys. Rev. Lett., 24, 114 (1970).
7. Ю.В. Меликов, Ю.Д. Отставнов, А.Ф. Тулинов, ЖЭТФ 56, 1803 (1969).
8. Ю.В. Меликов, Ю.Д. Отставнов, А.Ф. Тулинов. Препринт МГУ, Москва (1970).
9. J. Lindhard, KgJ. Danske, Vid. Selsk. Mat. Fys. Medd. 34, 14 (1965).
10. Дж.Р. Юизенга, Р. Ванденбош, сб. "Ядерные реакции", т.П, стр. 51, Атомиздат, 1964.
11. Ю.В. Меликов, Ю.Д. Отставнов, А.А. Пузанов, А.Ф. Тулинов. ЖЭТФ, 55, 1690 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел

4 августа 1970 года.



Наблюдение теней в угловых распределениях осколков деления при облучении монокристалла вольфрама ускоренными ионами  $^{22}\text{Ne}$  и оценка времени жизни составных ядер

Описывается установка, предназначенная для измерения времени жизни составного ядра с использованием монокристаллических мишеней и наблюдением теней в угловых распределениях продуктов реакции. Показано, что при облучении монокристалла вольфрама ионами неона с энергией 174 и 98 Мэв в угловых распределениях осколков деления наблюдаются тени в направлениях кристаллографических осей и плоскостей. Обсуждаются возможности и преимущества измерения времени жизни составных ядер в реакциях с тяжелыми ионами. Приведена верхняя граница времени жизни составного ядра для реакции  $\text{W} + ^{22}\text{Ne}$ , равная  $\sim 10^{-17}$  сек.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1970**

Karamian S.A., Melikov Yu.V., Normuratov F., P7-5300  
Otgonsuren O., Solovieva G.M.

Shadows in the Angular Distributions of the Fission Fragments in Bombarding the Tungsten Single Crystal by Accelerated  $^{22}\text{Ne}$  Ions and Estimation of the Compound Nucleus Lifetime

A design is described meant for the measurement of a compound nucleus lifetime using the single crystal targets and observing the shadows in the angular distributions of the reaction products. It is known that, when bombarding the tungsten single crystal by Ne ions with the energy 174 and 98 MeV, in the angular distributions of the fission fragments the shades are observed in the directions of the crystallographic axes and planes. The possibilities and the advantaged of measuring the lifetimes of compound nuclei in the reactions with heavy ions are described. The upper boundary of the compound nucleus lifetime for the reaction  $\text{W} + ^{22}\text{Ne}$ , equal to about  $10^{-17}\text{s}$ , is given.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1970**