

СЗУЗ

П-50

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Поликанов С.М.

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Автореферат работы, представленной
на соискание ученой степени канди-
дата физико-математических наук.

Дубна, 1958 г.

СЗ43
П-50

Поликанов С.М.

4-32503
ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Автореферат работы, представленной
на соискание ученой степени канди-
дата физико-математических наук.



Одним из направлений экспериментальных и теоретических исследований в ядерной физике является изучение процесса распада возбужденных ядер, образующихся в ядерных реакциях. В опытах с легкими частицами /протоны, нейтроны, α -частицы и т.д./ было получено большое количество данных, которые позволили составить представление об основных чертах процесса распада возбужденных ядер.

В случае тяжелых ядер основными способами распада являются деление и испарение нейтронов. Экспериментальные данные ^{1/} показывают, что основным параметром, определяющим соотношение между этими двумя процессами, является величина $\frac{Z^2}{A}$, где Z - заряд ядра, A - масса ядра. С увеличением $\frac{Z^2}{A}$ уменьшается барьер деления, что приводит к увеличению величины $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$, где Γ_f - делительная ширина, а Γ_n - нейтронная ширина. Однако из экспериментальных данных следует также, что $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$ зависит не только от величины барьера деления, но и от энергии связи нейтрона. По-видимому, наилучшим параметром, определяющим $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$, является разность между энергией связи нейтрона и барьером деления.

Вообще можно предположить, что соотношение $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$ зависит от энергии возбуждения ядра, однако эксперименты показали, что вплоть до энергий возбуждения, равных ~ 40 Мэв, это отношение остается постоянным для данного изотопа.

Развитие техники ускорения тяжелых ионов открывает новые возможности для изучения процесса распада возбужденных ядер. Это связано с тем, что в реакциях с тяжелыми ионами /C, N, O и т.д./ отсутствует ядерный каскад, что позволяет получить составные ядра со значительно большей энергией возбуждения, чем в реакциях с легкими частицами. Особенностью реакций с тяжелыми ионами является то, что образующиеся возбужденные ядра имеют большой момент количества движения /несколько десятков /, значительно превышающий момент количества движения ядер, получающихся в реакциях с легкими частицами.

Наличие большого спина у возбужденных ядер может несколько изменить характер процесса распада ядер. В частности, для делящихся ядер можно ожидать некоторого изменения в величине $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$ из-за изменения барьера деления ^{2/}. Большой угловой момент ядра может привести к угловой анизотропии продуктов распада ^{3/}. Расчеты показывают, что для осколков деления ^{4/} можно ожидать преимущественное испускание в направлении пучка ионов. Как величина изменения барьера деления, так и степень анизотропии в угловом распределении осколков непосредственно связаны с вращательной энергией ядра, которая, в свою очередь, определяется моментом инерции.

Таким образом, изучение зависимости $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n}$ и степени угловой анизотропии осколков от энергии вращения ядра в какой-то мере позволяет подойти к вопросу изучения моментов инерции у возбужденных ядер.

Темой настоящей работы являлось изучение деления ядер при взаимодействии с ними тяжелых ионов. Проведение этих опытов стало возможным после того, как на циклотроне Института атомной энергии АН СССР удалось получить интенсивные моноэнергетические пучки ионов C^{12} , N^{14} и O^{16} с энергией, соответствующей, примерно, 6,5 Мэв на один нуклон.

Были проведены опыты по измерению сечения деления U , Bi , Au , Re и Yb при взаимодействии с ионами C^{12} , N^{14} и O^{16} . Кроме того, производились опыты по измерению угловой анизотропии осколков деления при облучении U^{238} ионами C^{12} и Au ионами C^{12} и O^{16} . В процессе этих опытов производилось измерение пробегов осколков, что позволяет произвести оценку кинетической энергии осколков.

Основные эксперименты по измерению сечений деления производились на внешнем пучке циклотрона.

Регистрация осколков деления производилась с помощью ионизационной камеры. Для того, чтобы уменьшить фон случайных совпадений импульсов от тяжелых ионов, камера была сделана из двух частей и импульсы от тяжелых ионов во второй половине камеры компенсировали импульсы в первой половине. Осколки деления имеют значительно меньший пробег, чем тяжелые ионы; поэтому они приводили к появлению импульса лишь в первой половине камеры. Для определения абсолютной величины сечения деления необходимо знать поток тяжелых ионов, падающих на мишень. Регистрация числа ионов, прошедших через мишень, осуществлялась с помощью слоя ZnS и фотоумножителя. Изменение энергии ионов производилось путем помещения тормозящих фольг перед камерой.

В некоторых опытах относительное изменение сечения деления с энергией иона определялось с помощью активационной методики на внутреннем пучке циклотрона.

Результаты опытов приведены на рис. 1, 2, 3.

Изучение угловой анизотропии осколков производилось на внутреннем пучке циклотрона. Была использована активационная методика. Собираение осколков производилось на алюминиевые фольги, расположенные под углами 90° и 135° по отношению к пучку ионов. После конца облучения β - активность фольг измерялась на торцевом β -счетчике.

Результаты опытов по исследованию угловой анизотропии осколков деления приведены в таблице 1, где указано отношение интенсивности испускания осколков деления под углами 142° и 100° /в системе центра инерции/. Там же для сравнения указана точка, взятая из опытов Рейнольдса^{5/}, изучавшего угловое распределение осколков при облучении Au ионами C^{12} с энергией 111 Мэв.

Таблица № 1

Реакция	Энергия иона в Мэв	$N / 142^\circ /$
		$N / 100^\circ /$
$U^{238} + C^{12}_6$	78	$1,10 \pm 0,08$
$Au^{197} + O^{16}_8$	100	$1,23 \pm 0,07$
	84	$1,08 \pm 0,07$
	111 /Reynolds/	1,82
$Au^{179} + C^{12}_6$	78	$1,34 \pm 0,07$
	85	$1,00 \pm 0,10$

При проведении опытов по изучению углового распределения осколков были определены пробеги осколков в алюминиевой фольге. Считая, что деление происходит на осколки равной массы и, принимая следующую зависимость пробега осколка от его скорости,

$$R \sim V$$

можно оценить кинетическую энергию осколков. В таблице 2 приведены вычисленные таким образом суммарные кинетические энергии осколков.

Таблица № 2

Реакция	$U + C^{12}$	$Au + C^{12}$	$Au + O^{16}$
$E_{кин.}$ в Мэв	140	110	110

Анализ результатов опытов по изучению деления ядер при взаимодействии с ионами C^{12} , N^{14} и O^{16} позволяет сделать следующие заключения о характере взаимодействия этих ионов с ядрами тяжелых элементов:

1/ Основным процессом взаимодействия ионов С, N и O с ядрами тяжелых элементов является полное слияние ядер с последующим распадом составного ядра.

Полное слияние ядер происходит при их сближении до расстояния $R = r_0 (A_1^{1/3} + A_2^{1/3})$ при $r_0 \approx 1,5 \cdot 10^{-13}$ см.

2/ При облучении U ионами N¹⁴ и O¹⁶ наблюдалось деление U, по-видимому, не связанное с полным слиянием ядер. При энергиях ионов, на несколько процентов меньших кулоновского барьера U, сечение такого процесса равно $\sim 10^{-28}$ см². Возможной причиной такого деления ядер является переход нейтрона из ядра N¹⁴ или O¹⁶ в ядро U²³⁸. Величину сечения деления, равную $\sim 10^{-28}$ см², можно также рассматривать как верхнюю границу сечения деления U в результате электромагнитного взаимодействия ядер.

3/ Результаты измерения сечения деления Au и Re при взаимодействии с ионами N¹⁴ позволяют сделать оценки величины $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$ для изотопов Rn²⁰⁸, Rn²⁰⁷, Rn²⁰⁸ и Pb¹⁹⁴ /см. табл. 3/.

Таблица № 3

Изотоп	$\frac{Z^2}{A}$	$\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$	$\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$
Rn ²⁰⁸ ₈₈	35,9	0,5	1
Rn ²⁰⁷ ₈₆	35,7	0,7	2,3
Rn ²⁰⁸ ₈₆	35,8	0,9	9
Pb ¹⁹⁴ ₈₂	34,6	0,5	1

Сравнение значений $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$ изотопов Rn²⁰⁸ и Pb¹⁹⁴ с данными о $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$ для изотопов U, Th и Pu показывает, что знание параметра $\frac{Z^2}{A}$ недостаточно для определения $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$.

Сравнение между собой значений $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$ изотопов Rn²⁰⁸, Rn²⁰⁷ и Pb¹⁹⁴ говорит о том, что, по-видимому, вращение ядра приводит к уменьшению барьера деления.

Отсутствие точных данных о энергии связи нейтрона для этих изотопов затрудняет проведение количественных оценок изменения барьера деления.

4/ Анализ результатов опытов по изучению углового распределения осколков позволяет произвести грубую оценку ротационной константы ядра в момент деления "переходное ядро", B₂ составляет всего лишь несколько Кэв; это указывает на то, что момент инерции "переходного ядра" близок к моменту инерции твердого тела.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить члена-корреспондента АН СССР Флерова Г.Н. за руководство настоящей работой и научных сотрудников Друина В.А. и Лобанова Ю.В., совместно с которыми производились измерения и обработка результатов.

Результаты настоящей работы опубликованы в ЖЭТФ^{6/}, трудах Гатлинбургской конференции по ядерным реакциям с тяжелыми ионами /США, май 1958/^{1/}, и доложены на Всесоюзной конференции по ядерным реакциям при малых и средних энергиях^{7/} /Москва, ноябрь 1957г./, конференции по физике деления ядер в Институте теоретической физики в Копенгагене /Дания, Копенгаген, февраль, 1958 г./ и на конференции по ядерным реакциям по действию многозарядных ионов /Дубна, март 1958г./^{8/}.

Л и т е р а т у р а

1. Proceedings of the conference on reactions between complex nuclei (USA, Gatlinburg, May 1958).
2. Пик-Пичак Г.А. ЖЭТФ, 34, 341 /1958/.
3. Т. Ericson, V. Strutinski. Nuclear Physics, v. 8, No 3 (1958).
4. Струтинский В.М. "Атомная энергия" т.6, 508 /1957/.
5. Н. Reynolds. частное сообщение.
6. Друин В.А., Поликанов С.М., Флеров Г.Н. ЖЭТФ, 32, 1298 /1957/.
7. Труды Всесоюзной конференции по ядерным реакциям при малых и средних энергиях /Москва, ноябрь 1957 г./.
8. Труды конференции по ядерным реакциям под действием многозарядных ионов /г.Дубна, март 1958 г./.

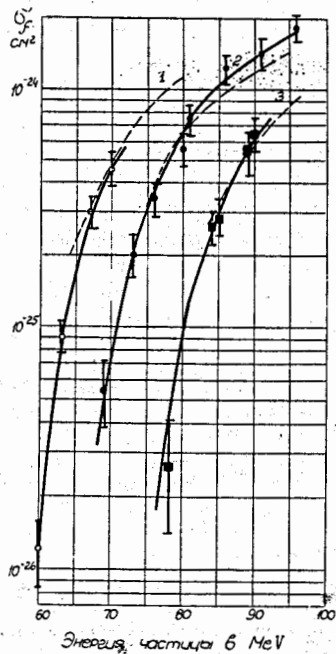


Рис. 1.

Зависимость сечения деления Bi от энергии ионов C^{12} /1/, N^{14} /2/ и O^{16} /3/ /сплошные линии - экспериментальные кривые, пунктирные - рассчитанные по формуле $\sigma = \sigma_0 (1 - \frac{B}{E})$ для значений Z_0 , равных $1,5 f$ /1/, $1,55 f$ /2/ и $3 f$. B - кулоновский барьер ядра.

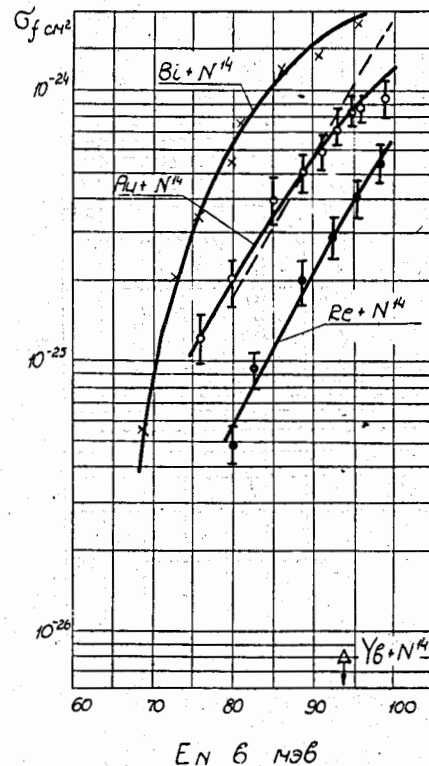
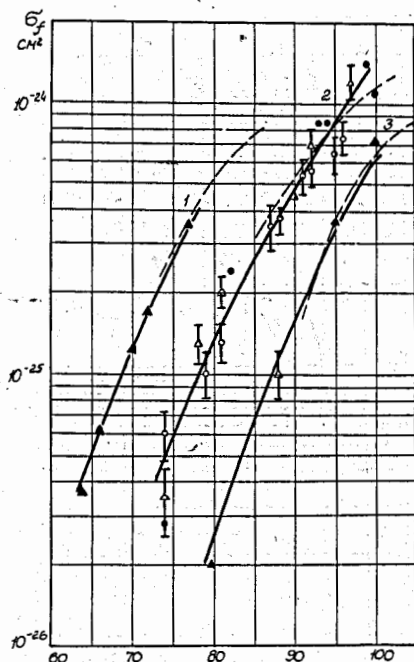
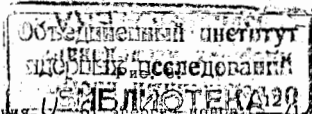


Рис. 2.

Зависимость сечения деления Bi , Au , Re и Yb от энергии ионов N^{14} .



Энергия частицы в MeV



Зависимость сечения деления: U^{238} / U^{235} / N^{14} / O^{16} / O^{18} / O^{17} .

Сплошные кривые - экспериментальные; пунктирные - рассчитанные по формуле $\sigma = \sigma_0 (1 - \frac{E}{E_c})$ при $\tau_0 = 1,40 f$ /1/, $\tau_0 = 1,45 f$ /2/, $\tau_0 = 1,52 f$ /3/.

△ - данные камеры для U^{238}

○ - данные камеры для U^{235}

▲ - активационные данные для U^{238} /кривая /1/ совмещена с теоретической при энергии с¹², равной 78 Мэв /.

U-32503