

С 341.3 + С 343

К-211

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 4448

С.А.Карамян

**ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ
ВОЗБУЖДЕННЫХ КОМПАУНД-ЯДЕР,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИЯХ
С УСКОРЕННЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

**Специальность Г-055 - физика атомного ядра
и космических лучей**

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Ю.Ц. Оганесян

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Ю.С. Замятнин

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Г.А. Пик-Пичак.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физико-энергетический институт.

Автореферат разослан *26 мая* 1969 г.

Защита диссертации состоится *30 июля* 1969 г. на заседании Объединенного Учёного совета Лаборатории ядерных реакций и Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Адрес: г.Дубна, Московской области, ОИЯИ, конференц-зал ЛЯР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Ю.Т. Чубурков

6127 вр.

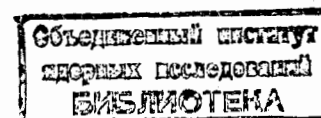
7 - 4448

С.А. Карамян

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ
ВОЗБУЖДЕННЫХ КОМПАУНД-ЯДЕР,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИЯХ
С УСКОРЕННЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность Г-055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук



Изучение процесса деления более чем за 30 лет с момента его открытия привело к развитию достаточно широкого и обособленного раздела ядерной физики. Интенсивное исследование этого явления продолжается, однако до настоящего времени физическое существо процесса деления остается туманным для физиков. Достижение Бора и Уиллера^{/1/} и Френкеля^{/2/}, предложивших в 1939 году жидко-капельную модель деления и сделавших основополагающие расчёты в этой модели, по сей день является основным достижением физиков в понимании деления. Несмотря на значительные успехи жидко-капельной модели деления, последняя не в состоянии хотя бы качественно объяснить основные закономерности деления ядер при низких энергиях возбуждения, что связано с чрезвычайно сильным влиянием на процесс деления особенностей микроскопической структуры ядер (оболочечных эффектов).

Возможности экспериментального изучения деления существенно расширились с появлением ускорителей заряженных частиц и развитием ускорительной техники. Бомбардировка тяжелых и средних ядер быстрыми заряженными частицами позволяет изучать деление возбужденных состояний ядер в очень широком интервале параметра делимости Z^2/A и энергии возбуждения, в то время как деление при энергиях возбуждения порядка энергии связи нейтрона в ядре испытывают лишь элементы тяжелее Ra.

Экспериментально установлено, что при энергии возбуждения ядра, большей 40 Мэв, хорошо известные структурные осо-

бенности деления ядер вблизи порога исчезают, деление становится симметричным в согласии с жидко-капельной моделью. Обычно это обстоятельство связывают со значительной дисперсией распределения нуклонов около границы Ферми для возбужденных состояний ядер, приводящей, по-видимому, к разрушению оболочечных эффектов в ядре. Можно думать поэтому, что изучение деления возбужденных ядер способно дать некоторые сведения о "гидродинамической стороне" процесса деления, которые нельзя извлечь из данных по низкоэнергетичному делению. Естественно, что результаты, полученные для нагретого ядра, нельзя непосредственно использовать при объяснении всех закономерностей деления вблизи порога, однако некоторые характерные черты механизма коллективной необратимой деформации ядра в процессе деления могут быть общими для деления любых ядер (например: характер движения ядра вблизи точки разрыва, распределение нуклонов между разделяющимися осколками и т.д.).

Перечисленные преимущества использования ускоренных заряженных частиц в полной мере относятся к тяжелым ионам как частицам, вызывающим деление. Для последних имеется еще и то преимущество, что ядерные реакции с тяжелыми ионами в основном идут через полное слияние ядра мишени и бомбардирующей частицы вплоть до энергий ≈ 10 Мэв/нуклон. Это дает возможность изучать деление очень высоко возбужденных состояний ядер (до $E = (150-200)$ Мэв) при строгой фиксации Z, A и энергии возбуждения делящейся системы. Использовать для этих целей энергичные легкие частицы (p, d) весьма затруднительно, так как в этом случае образованию компаунд-ядра предшествует быстрый процесс каскадного выбивания нуклонов, приводящий к значительной дисперсии компаунд-ядер по Z, A и энергии возбуждения. Несмотря на это, до настоящего времени деление ядер тяжелыми ионами было изучено очень слабо, особенно в области высоких Z^2/A делящихся компаунд-ядер. Это обстоятельство объясняется, по-видимому, ограниченным количеством ускорителей тяжелых ионов, имеющихся сейчас во всем мире.

Данная работа посвящена экспериментальному изучению деления возбужденных тяжелых ($Z^2/A > 37$) компаунд-ядер, образующихся при слиянии ядер ^{197}Au , ^{209}Bi , ^{238}U с ускоренными ионами ^{12}C , ^{16}O , $^{20,22}\text{Ne}$, ^{40}Ar .

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

I.

Первая глава: "Деление возбужденных ядер и жидко-капельная модель" содержит краткий обзор литературы по экспериментальному изучению деления сильновозбужденных ядер, а также некоторые сведения о теории процесса деления. Изложены основные предположения жидко-капельной модели деления, описываются схемы расчетов в различных модификациях теории, делается попытка анализа экспериментальной обоснованности некоторых предположений и предсказаний существующих расчетов. Обсуждается вопрос о месте жидко-капельной модели деления среди других теорий этого процесса, в специальном параграфе рассматриваются теоретические и экспериментальные данные о развитии процесса деления во времени. Показано, что знание временных характеристик процесса деления является принципиально важным для правильного теоретического описания процесса. Подробно изложены современные физические представления о формировании массы и заряда осколков деления и об их угловом распределении. По существу в первой главе изложен весь литературный материал для трех последующих глав. Сформулирована также задача опытов по изучению деления ядер тяжелыми ионами, для решения которой была осуществлена следующая программа экспериментов:

1. Измерение угловой анизотропии осколков деления тяжелых ядер ускоренными ионами ^{14}N , ^{16}O , ^{22}Ne , ^{40}Ar с целью определения эффективного момента инерции делящейся системы в седловой точке, сравнения результатов с предсказаниями жид-

ко-капельной модели деления и оценки одного из основных параметров этой модели (Z^2/A) крит.

2. Измерение массовых и зарядовых распределений осколков деления возбужденных компаунд-ядер, обладающих различной энергией возбуждения в широком интервале значений параметра делимости $37 < Z^2/A < 44$ для получения сведений о характере движения делящейся системы от седла до точки разрыва и сравнения с расчётами по статистической теории массовых и зарядовых распределений.

Для осуществления целей, сформулированных в этих двух пунктах, потребовалось также:

а) измерить угловые распределения упруго рассеянных тяжелых ионов для определения распределения компаунд-ядер по угловому моменту l .

б) измерить угловые корреляции осколков деления для изучаемых реакций, с тем, чтобы определить величину вклада реакций неполного слияния бомбардирующей частицы с ядром мишени в полное сечение деления;

в) экспериментально определить значение среднего числа нейтронов на акт деления $\bar{\nu}$ в изучаемых реакциях для того, чтобы сделать возможным построение первичных (до испускания нейтронов) массовых и зарядовых распределений осколков по измеренным выходам различных изотопов-продуктов реакции деления.

II

Во II главе описана методика и представлены результаты измерения дифференциальных сечений реакций упругого рассеяния и деления, а также угловых корреляций пар осколков при облучении тяжелых мишеней ^{197}Au , ^{209}Bi , ^{238}U различными ускоренными ионами. В опытах использовались выведенные пучки тяжелых ионов циклотрона ЛЯР ОИЯИ У-300. Измерения проводились с помощью полупроводниковых поверхностно-

барьерных детекторов, регистрирующих быстрые заряженные частицы, рождающиеся в тонкой делящейся мишени под действием пучка тяжелых ионов. Осуществлялось измерение энергетического спектра частиц для многих значений полярного угла θ вылета частиц относительно пучка бомбардирующих ионов. Из экспериментальных данных по угловым распределениям упруго рассеянных ионов определялось распределение компаунд-ядер по угловому моменту для каждой из изученных реакций.

С использованием этих данных, а также результатов измерения угловой анизотропии осколков деления, были получены значения эффективного момента инерции делящихся ядер в седловой точке $J_{\text{эфф}}$. При обработке экспериментальных данных использовалось теоретическое описание угловых распределений осколков деления, развитое в работе^{/3/}. Полученные экспериментально значения $J_{\text{эфф}}$ хорошо согласуются с результатами расчётов в жидко-капельной модели, учитывающих зависимость поверхностного натяжения от кривизны диффузной ядерной поверхности^{/4/}. На рис. 1 представлены значения $J_{\text{сф}}/J_{\text{эфф}}$ в зависимости от Z^2/A делящегося ядра, приведены также результаты расчётов по обычной капельной модели с $(Z^2/A)_{\text{крит}}$, $50,1/5/$ и расчётов^{/4/}. Полученные значения $J_{\text{эфф}}$ хорошо согласуются с результатами экспериментального исследования деления тяжелых ядер дейтонами и α -частицами^{/6/} и противоречат результатам ранней работы^{/7/}, в которой изучалась угловая анизотропия осколков деления ядер тяжелыми ионами. Некоторые экспериментальные данные и результаты их обработки представлены в таблице 1.

Совпадение экспериментальных данных и расчётных^{/4/} значений $J_{\text{эфф}}$ свидетельствуют о том, что термодинамическое равновесие в делящейся системе в седловой точке определяет вид углового распределения осколков деления. Отсюда можно найти нижнюю границу времени существования делящейся системы в седловой точке и верхнюю границу времени спуска от седла до точки разрыва ($\tau_{\text{седл.}} \gg \tau_{\text{вращ.}}; \tau_{\text{спуск.}} < \tau_{\text{вращ.}}$).

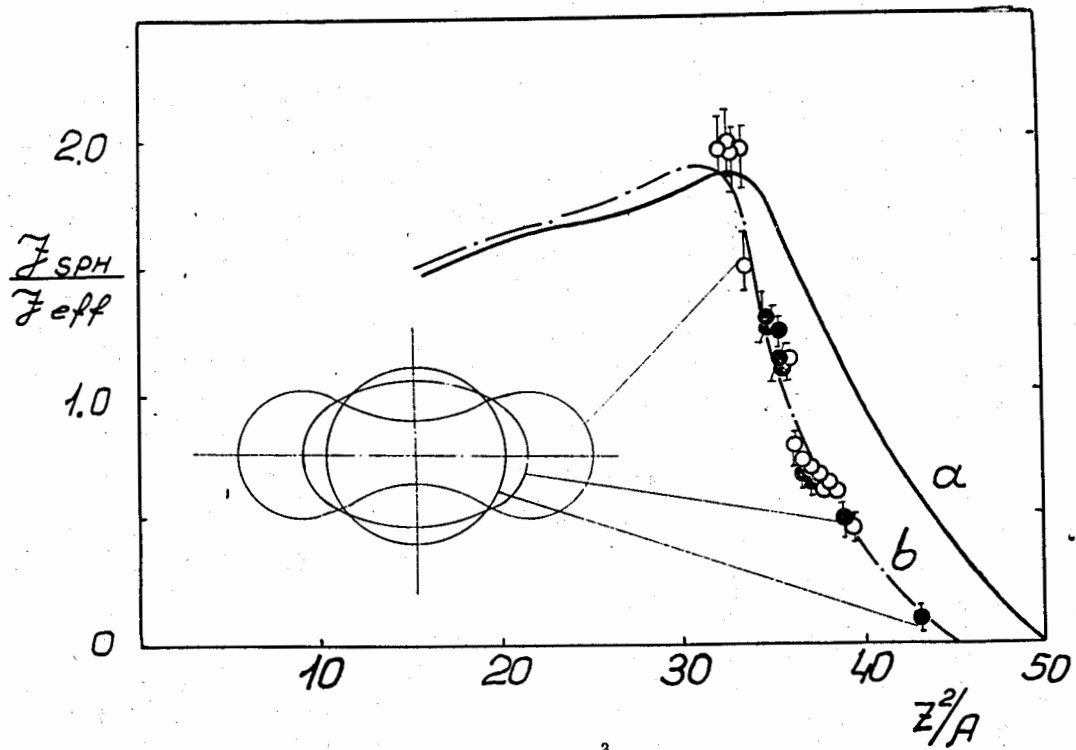


Рис. 1. Зависимость $J_{\text{сф.}} / J_{\text{эфф.}}$ от Z^2/A делящегося ядра. Кривая а - расчёт по обычной капельной модели^{/5/}, кривая б - расчёт из работы^{/4/}. Показаны также формы ядер в седловой точке для ядер с различными Z^2/A . Открытые точки - результаты работы^{/6/}, зачерненные - наши данные.

Таблица 1

Результаты обработки экспериментальных данных по угловым распределениям осколков деления и упруго рассеянных ионов

Реакция	Z^2/A	$E_{\text{в}}$ (Мэв)	E^* (Мэв)	L	θ_0^{max} (градусы)	$\frac{W(\theta_0^{\text{max}})}{W(90^\circ)}$	K_0^2	$\frac{J_{\text{сф.}}}{J_{\text{эфф.}}}$
$^{197}\text{Au} + ^{14}\text{N}$	35,1	102	58	42,3	164	$2,65 \pm 0,13$	127	$1,25 \pm 0,12$
		110	65	50,6	168	$3,20 \pm 0,15$	145	$1,30 \pm 0,13$
$^{209}\text{Bi} + ^{12}\text{C}$	35,8	81	36	28,5	170	$2,38 \pm 0,10$	106	$1,23 \pm 0,13$
$^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$	36,2	154	75	57,0	170	$3,54 \pm 0,15$	153	$1,12 \pm 0,10$
		175	93	67,5	170	$3,84 \pm 0,17$	174	$1,11 \pm 0,10$
$^{209}\text{Bi} + ^{16}\text{O}$	36,8	94	35	35,0	166	$2,00 \pm 0,10$	216	$0,62 \pm 0,07$
		112	51	56,0	166	$2,60 \pm 0,12$	249	$0,64 \pm 0,07$
		134	71	67,0	166	$2,91 \pm 0,12$	261	$0,70 \pm 0,07$
$^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$	39,3	114	60	52,0	166	$2,22 \pm 0,15$	385	$0,50 \pm 0,05$
$^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$	43,5	300	98	92	170	$1,50 \pm 0,15$	1500	$0,10 \pm 0,03$

$E_{\text{в}}$ - энергия бомбардирующей частицы, E^* - энергия возбуждения делящегося ядра в седловой точке L - параметр, характеризующий распределение компаунд-ядер по моменту^{/12/}, K_0^2 - средний квадрат проекции углового момента на ось деления, θ_0^{max} - максимальное значение полярного угла, до которого измерялось угловое распределение осколков деления.

Значения эффективного момента инерции определены для ядер с различными Z^2/A вплоть до $Z^2/A = 43,5$, что позволяет с высокой точностью определить один из основных параметров жидко-капельной модели деления $(Z^2/A)_{\text{крит.}} = 46 \pm 1$.

Опыты по измерению угловых корреляций пар осколков в изучаемых реакциях показали, что основным процессом взаимодействия тяжелых ионов с ядрами является полное слияние, и ролью реакций неполного слияния можно пренебречь при определении состояния ядра, из которого происходит деление.

III

Глава III содержит описание опытов по измерению массовых и зарядовых распределений осколков деления ядер тяжелыми ионами методом измерения выходов радиоактивных продуктов реакции деления. Производилось радиохимическое разделение элементов - продуктов реакции деления ядер тяжелыми ионами и измерение спектров γ - излучения полученных источников с помощью Ge(Li) - детекторов. По интенсивности γ -линий того или иного радиоиотопа с введением соответствующих поправок определялся выход изотопа в реакции деления. Ошибка в измерении относительных выходов изотопов не превышала 15%. Из полученных данных путем специальной обработки, описанной в работах^{/8,9/}, можно было сконструировать массовые и зарядовые распределения первичных осколков (до испарения нейтронов).

В таблице 2 приведены результаты измерения массовых распределений осколков деления для всех изученных нами реакций. На рис. 2 для примера показаны спектры масс осколков деления для реакций $^{197}\text{Au}(^{12}\text{C}, f)$, $^{238}\text{U}(^{20}\text{Ne}, f)$, $^{238}\text{U}(^{40}\text{Ar}, f)$. Видно сильное расширение массовых распределений с ростом Z^2/A делящегося ядра. Этот факт находится в резком противоречии с предсказаниями статистической теории^{/11/}, что свидетельствует о необходимости рассмотрения всего процесса спуска ядра от седла до точки разрыва при расчёте массовых распре-

Таблица 2

Экспериментальные результаты по массовым распределениям осколков
деления

Реакция	Z^2/A	E^* (МэВ)	σ^2	\bar{v}
$^{209}\text{Bi} (^{20}\text{Ne}, f)$	37,7	100	710	10,8
$^{238}\text{U} (^{16}\text{O}, f)$	39,4	81	1280	11,2
$^{238}\text{U} (^{20}\text{Ne}, f)$	40,3	120	2280	12,6
		95	1660	11,5
		65	1130	8,9
$^{209}\text{Bi} (^{40}\text{Ar}, f)$	41,0	115	2200	9,5
$^{238}\text{U} (^{40}\text{Ar}, f)$	43,5	110	2790	13,3
		75	1980	10,6

σ^2 - параметр ширины массового распределения при аппроксимации последнего распределения Гаусса видя

$$P(A_t - A_c/2) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma^2}} \exp - \frac{(A_t - A_c/2)^2}{\sigma^2}$$

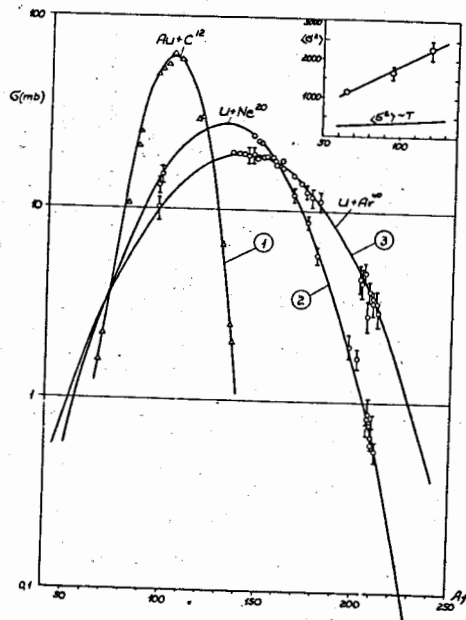


Рис. 2. Спектры масс осколков деления для различных реакций:
 1 - $^{197}\text{Au}(^{12}\text{C}, f)$ /10/, 2 - $^{238}\text{U}(^{20}\text{Ne}, f)$ /8/,
 3 - $^{238}\text{U}(^{40}\text{Ar}, f)$ /8/. Во всех реакциях энергия
 возбуждения делящегося ядра была близка к 100 Мэв.

лений, так как этот процесс, по-видимому, нельзя считать квазистационарным. Последнее утверждение не противоречит оценке времени спуска ядра от седла до точки разрыва, сделанной в главе II, а скорее находится в согласии с этой оценкой.

При изучении зарядового распределения показано, что наиболее вероятный заряд осколков фиксированной массы $Z_p(A_f)$ для всех изученных реакций находится в соответствии с расчетом согласно гипотезе равного смешения зарядов обоих осколков от линии β -стабильности, а также с $Z_p(A_f)$, определенным из условия минимума потенциальной энергии осколков деления /11/. Эти результаты свидетельствуют о наличии статистического равновесия в делящейся системе по отношению к той степени свободы ее, которая отвечает за распределение заряда между осколками, т.е. к дипольным колебаниям ядра (смещениям центра заряда системы относительно центра массы). Наличие статистического равновесия в системе по отношению к дипольным колебаниям не является удивительным, так как $\tau_{\text{дип.кол.}} < 10^{-22}$ сек $\ll \tau_{\text{спуск}}$. Несмотря на это, дисперсия заряда осколков деления обнаруживает закономерности изменения, совершенно не согласующиеся с предсказаниями статистической теории /11/.

Дисперсия заряда (σ_z^2) резко возрастает с увеличением параметра делимости компаунд-ядер в районе $Z^2/A > 37$, зависит от температуры делящегося ядра более слабо, чем $\sigma_z^2 \approx T$, наконец, существенно уменьшается с увеличением асимметрии разделения A_{1f}/A_{2f} .

Перечисленные закономерности позволяют думать, что в дисперсию заряда вносят существенный вклад не только температурные флуктуации объемной плотности заряда, которые учитываются в статистической модели, но и некоторые другие эффекты в делящейся системе. Одно из таких явлений заключается в обогащении протонами того или другого осколка в результате случайного распределения нуклонов между осколками на линии разрыва. Этот эффект обязательно должен при-

существовать, так как разрыв шейки является, по-видимому, существенно нестационарным процессом даже в масштабе времени нуклонного движения. Учёт дополнительной дисперсии заряда из-за случайного распределения нуклонов между осколками на линии разрыва позволяет качественно объяснить наблюдаемые на опыте закономерности изменения дисперсии заряда^{19/}. В таблице 3 приведены некоторые данные о ширине зарядовых и изотопных распределений осколков деления в изученных нами реакциях.

Таблица 3

Результаты измерений зарядовых и изотопных распределений осколков деления в различных реакциях для симметричного разделения ядра ($A_{1f} / A_{2f} \approx 1$)

Реакция	Энергия падающего пучка Ер (МэВ)	Z^2/A	Энергия возбуждения соответствующего ядра E* (МэВ)	σ_A^2	число нейтронов $\bar{\nu}$ на акт деления	σ_z^2
$U^{238}(C^{12}f)$	82	32,4	45	$11 \pm 1,0$	8	$16 \pm 0,15$
$U^{238}(Ni^{58}f)$	195	40,3	115	$22 \pm 1,0$	13,5	$31 \pm 0,15$
	166		90	$20 \pm 1,0$	12,5	$28 \pm 0,15$
	141		70	$18,5 \pm 1,0$	10,5	$26 \pm 0,15$
	116		50	$16,5 \pm 1,5$	8	$23 \pm 0,15$
$U^{238}(Ni^{58}f)^{ns}$	173	40,0	75	$18,5 \pm 1,0$	12	$26 \pm 0,15$
$U^{238}(Ar^{36}f)^{ns}$	270	43,5	70	$20,8 \pm 1,5$	11	$28,5 \pm 0,20$

σ_z^2 – дисперсия заряда осколков при фиксированной массе,

σ_A^2 – дисперсия массы при фиксированном Z осколка.

На рис. 3 показана зависимость дисперсии заряда σ_z^2 от параметра делимости Z^2/A компаунд-ядра. Построение массовых и зарядовых распределений первичных осколков (до испарения нейтронов) требовало знания числа нейтронов, возникающих в акте деления $\bar{\nu}$. Величина $\bar{\nu}$ вводилась параметрически в расчёты по обработке экспериментальных результатов и подбиралась из условия наилучшего самосогласования данных. Получаемые при этом значения $\bar{\nu}$ согласуются с теоретическими оценками, однако полная определенность данных может быть достигнута лишь путем непосредственного измерения числа нейтронов на один акт деления ядер тяжелыми ионами.

IV

В главе IV содержится описание прямых опытов по измерению числа $\bar{\nu}$ в реакции деления ядер ионами ^{12}C , ^{16}O , ^{22}Ne ,

^{40}Ar . В качестве детектора быстрых нейтронов использованы стекла, находящиеся в контакте со слоем делящегося вещества

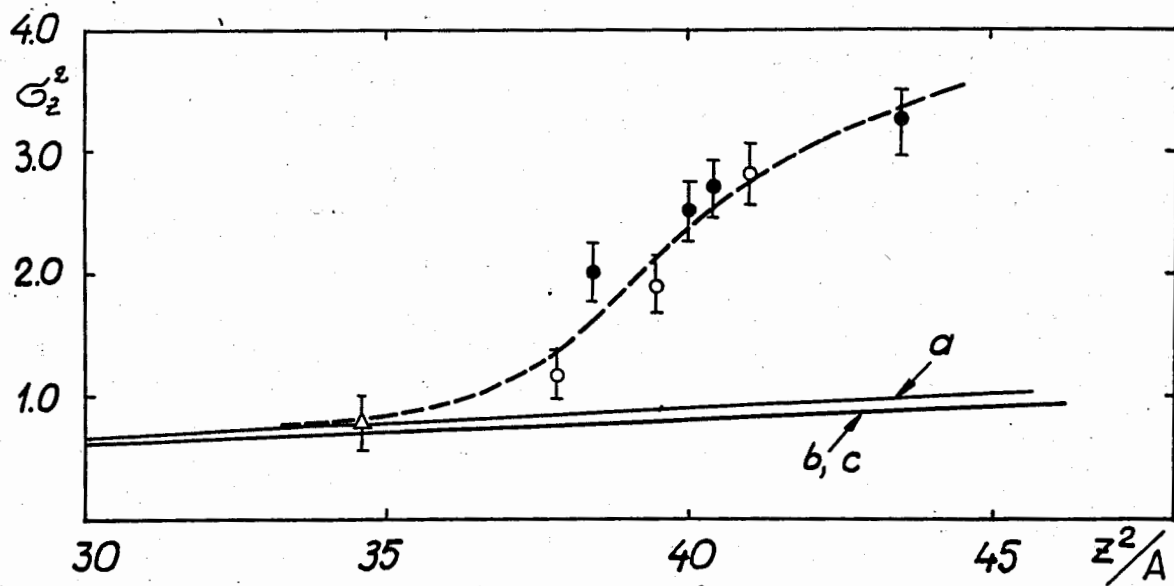


Рис. 3. Зависимость дисперсии заряда σ_z^2 от параметра делимости делящегося ядра.

(²³⁷Np), обладающего низким порогом деления ($\approx 0,5\text{МэВ}$).
Постановка опыта состояла в одновременной регистрации числа нейтронов и осколков, возникающих при облучении тонкой делящейся мишени пучком тяжелых ионов. Детекторы нейтронов были тщательно экранированы от внешних источников нейтронов и были чувствительны лишь к потоку быстрых нейтронов, рождаемых в мишени. Для определения числа $\bar{\nu}$ потребовалось измерить угловые распределения осколков деления и нейтронов для каждой из изученных реакций. Полученные результаты представлены в таблице 4. Сравнение данных со значениями $\bar{\nu}$, указанными в таблицах 2,3, показывает хорошее согласование результатов непосредственного измерения $\bar{\nu}$ и значений, полученных косвенным образом при изучении массовых и зарядовых распределений. Как видно из таблицы 4, величина $\bar{\nu}$ существенно зависит от энергии возбуждения делящегося ядра. Не совсем однозначная связь между $\bar{\nu}$ и энергией возбуждения для разных реакций свидетельствует о некоторой зависимости $\bar{\nu}$ от Z и A делящегося ядра.

Основные итоги работы подведены в заключительной части диссертации.

1. Созданы экспериментальные установки и разработаны методики различного типа для изучения деления возбужденных компаунд-ядер, образующихся в реакциях с тяжелыми ионами:

а) Прецизионная аппаратура для измерения угловых распределений осколков деления и упруго рассеянных ионов методом регистрации быстрых заряженных частиц полупроводниковым поверхностно-барьерным детектором при облучении тонких делящихся мишеней пучком тяжелых ионов.

б) Методика измерения массовых и зарядовых распределений осколков деления путем γ -спектрометрии продуктов реакции с помощью Ge(Li) - полупроводникового γ -спектрометра.

в) Аппаратура для измерения среднего числа ($\bar{\nu}$) и углового распределения нейтронов деления ядер тяжелыми ионами с использованием диэлектрических детекторов (стекол) для регистрации нейтронов и осколков деления.

Таблица 4

Результаты измерения среднего числа нейтронов, возникающих
в акте деления ядра тяжелым ионом

Реакция	E_b Мэв	E^* Мэв	$\bar{\nu}$
$^{197}\text{Au}(^{16}\text{O}, f)$	134	88	$9,8 \pm 1,0$
$^{197}\text{Au}(^{22}\text{Ne}, f)$	183	109	$11,5 \pm 1,0$
$^{209}\text{Bi}(^{16}\text{O}, f)$	134	74	$10,4 \pm 1,0$
$^{209}\text{Bi}(^{22}\text{Ne}, f)$	183	97	$11,0 \pm 1,0$
$^{209}\text{Bi}(^{40}\text{Ar}, f)$	302	105	$12,9 \pm 1,5$
$^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, f)$	183	106	$14,0 \pm 1,2$

2. С помощью перечисленных установок:

а). Измерены дифференциальные сечения реакций упругого рассеяния тяжелых ионов и деления ядер в различных комбинациях мишень-частица при изменении энергии бомбардирующих частиц. Из экспериментальных данных извлечены значения эффективного момента инерции делящихся ядер в седловой точке в зависимости от параметра делимости в интервале $35 < Z^2/A \leq 43,5$.

б). Впервые систематически изучены массовые и зарядовые распределения осколков деления возбужденных тяжелых компаунд-ядер в районе $43,5 \geq Z^2/A > 37$ и определены закономерности изменения дисперсии заряда и массы осколков в зависимости от Z^2/A и энергии возбуждения делящегося ядра.

в). Впервые поставлены опыты по непосредственному измерению числа $\bar{\nu}$ для деления ядер тяжелыми ионами.

На основе проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Время нахождения возбужденного делящегося ядра в седловой точке значительно превышает характерное время вращения ядра для всех изученных нами компаунд-ядер вплоть до $Z^2/A = 43,5$.

2. Эффективный момент инерции ядра в седловой точке не зависит в пределах точности эксперимента от способа образования, температуры и углового момента компаунд-ядра, и является однозначной функцией параметра делимости Z^2/A .

3. Значения эффективного момента инерции $J_{\text{эфф}}$, полученные экспериментально, хорошо согласуются с расчетом $J_{\text{эфф}}$ в модели жидкой капли с учетом зависимости поверхностного натяжения от кривизны диффузной границы ядра. Путем экстраполяции $\frac{1}{J_{\text{эфф}}} \rightarrow 0$ найден один из основных параметров капельной модели $(Z^2/A)_{\text{крит.}} = 46 \pm 1$. Первые три вывода внесли определенную ясность в вопрос об угловой анизотропии осколков при делении ядер тяжелыми ионами и об $J_{\text{эфф}}$, извлекаемых из этих опытов. Показана ошибочность результатов ранее проделанной работы [7], дававшей существенную зависимость $J_{\text{эфф}}$ от энергии возбуждения компаунд-ядра.

4. Получены данные, показывающие, что дисперсия заряда и массы осколков деления резко возрастает с ростом Z^2/A в районе $Z^2/A > 37$. Это находится в противоречии с предсказаниями статистической теории деления. Обнаружена также существенная зависимость дисперсии заряда осколка фиксированной массы от асимметрии разделения компаунд-ядра (A_{1f}/A_{2f}).

5. Показано, что весьма существенную роль в формировании массы и заряда осколков деления может играть момент разрыва шейки. Дается качественное объяснение результатов по зарядовому распределению осколков деления. Выдвинуто предположение о том, что для объяснения массовых распределений осколков деления тяжелых компаунд-ядер требуется учет процессов, происходящих в делящейся системе на всем ее пути от седла до точки разрыва.

6. Разработан простой метод измерения среднего числа нейтронов ($\bar{\nu}$) на акт деления ядер тяжелыми ионами; полученные первые физические результаты находятся в неплохой согласии с предварительными теоретическими и экспериментальными оценками величины $\bar{\nu}$.

Результаты, лежащие в основе диссертации, докладывались на XVIII и XIX всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре ядра, на Гордоновской конференции в 1968 году (США), на Международной конференции по физике тяжелых ионов (1968 г., Дубна), на Международном симпозиуме по структуре ядра (1968, Дубна), а также опубликованы в журналах "Ядерная физика", "Атомная энергия", "Приборы и техника эксперимента" и в виде препринтов ОИЯИ.

Диссертация написана по материалам работ /8-9, 12-16/.

Л и т е р а т у р а

1. Bohr N., Wheeler J. Phys. Rev., 56, 426 (1939).
2. Я.И.Френкель. ЖЭТФ, 9, 641 (1939).

3. Halpern I., Strutinsky V.M. Second U.N. Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atom. Energy, Geneva 1958 Paper P/1513
4. В.М.Струтинский. ЯФ, 2, 821 (1965).
5. В.М.Струтинский, Н.Я.Лященко, Н.А.Попов. ЖЭТФ 43, 584 (1962).
6. Chaudry R., Vandenbosch R., Huizenga J. P. Phys.Rev., 126, 220 (1962).
7. Viola V.E., Thomas T.D., Seaborg G.T. Phys.Rev., 129, 2710 (1963).
8. С.А.Карамян, Ф.Нормуратов, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, Б.И.Пустыльник, Г.Н.Флеров. ЯФ 8, 69С (1968).
9. С.А.Карамян, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, Б.И.Пустыльник. Препринт ОИЯИ Р7-4024, Дубна (1968).
10. Blann H.M. Phys. Rev., 123, 1356 (1962).
11. Г.А.Лик-Пичак, В.М.Струтинский. Физика деления атомных ядер. Госатомиздат, Москва (1962), стр. 12.
12. С.А.Карамян, И.В.Кузнецов, Ю.А.Музычка, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, Б.И.Пустыльник. ЯФ 6, 494 (1967).
13. С.А.Карамян, Ю.Э.Пенионжкевич, ПТЭ №5, 219 (1968).
14. С.А.Карамян, Я.Липтак, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, Я.Урбанец. АЭ, 23, 864 (1967).
15. Б.А.Гвоздев, С.А.Карамян, Н.С.Мальцева, Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, А.М.Сухов, Б.В.Фефилов, З.Шегловски. Препринт ОИЯИ 13-3771, Дубна (1968).
16. С.А.Карамян, Ю.Ц.Оганесян. Препринт ОИЯИ Р7-4339, Дубна (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 апреля 1969 года.