

Д-763

18/IX-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13 - 3975

В.А.Друин, Н.К.Скобелев, Г.Я.Сун - Цзин - Ян

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

СБОР ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
НА ФИЛЬТРЫ И ПЕРФОРИРОВАННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ

1968

13 - 3975

В.А.Друин, Н.К.Скобелев, Г.Я.Сун - Цзин - Ян

СБОР ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
НА ФИЛЬТРЫ И ПЕРФОРИРОВАННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ

Направлено в А.Э.



4461/2 нр.

В в е д е н и е

Для сбора продуктов взаимодействия ядер с тяжелыми ионами в настоящее время используются методы, основанные на передаче большого импульса составному ядру при слиянии бомбардирующей частицы с ядром мишени. При этом ядра отдачи выбиваются из мишени значительной толщины /1/, а затем улавливаются различными способами /2/.

Наиболее широкое применение в спектроскопических исследованиях получил метод адсорбции атомов отдачи из газовой струи /3/. Существенными недостатками этого метода является ограниченное время выноса ядер, что особенно важно при изучении короткоживущих изотопов, и довольно жесткие требования к качеству газа и поверхности сборника для получения устойчивой величины: коэффициента сбора. Пока не существует способов преодолеть эти недостатки. Вероятно, можно надеяться на успех в этом направлении, собирая продукты реакций на небольшую поверхность перфорированных материалов или тонких высокоэффективных фильтров с малым сопротивлением, установленных в потоке откачиваемого газа /4/.

Для выяснения этой возможности и была предпринята настоящая работа. В опытах проверялась эффективность использования в качестве сборников продуктов ядерных реакций ряда материалов из волокнистых фильтров: фильтроткань ФПП-15 и более тонкие образцы ЛФС, (лента "спектрометрическая") /5,6/, металлокерамических и металлических по-

ристых фильтров^{17/}, а также перфорированных материалов: нитроцеллюлозы, тефлона и никелевых фольг (никелевых сеток).

Методика эксперимента

Для изучения сбора ядер отдачи различными материалами непосредственно на пучке многозарядных ионов использовалась реакционная камера, изображенная на рис. 1.

Пучок ионов, проходя вакуумноплотную фольгу, попадал на мишень. Продукты реакций выбивались в газовый объем, в котором поддерживалось определенное, заранее выбираемое давление с помощью специальной системы подачи и откачки газа (рис.2).

Для очистки газа от пыли, паров масла и влаги были применены комбинированные фильтры из ваты и предварительно обезвоженного силикагеля с последующей очисткой газа специальными фильтрами из ФПП-15. Такая сравнительно простая схема очистки позволяла удлинить срок службы фильтров.

В трубопроводе для откачки газа из реакционной камеры устанавливался быстросъемный патрон с перфорированными материалами или фильтрами в качестве сборников.

При конструировании камеры размеры ее выбирались такими, чтобы уменьшить диффузию продуктов реакций на стенки камеры. С этой целью расстояние от мишени до выходной вакуумной фольги реакционного объема, равное 26 мм, превышало расстояние от оси пучка до поверхности фильтра - сборника продуктов реакций в 1,7 раза.

Такие размеры камеры (объем $\approx 11,5 \text{ см}^3$) накладывали определенное ограничение на величину рабочего давления в камере и время выноса продуктов реакций.

Опыты по изучению эффективности сбора ядер продуктов реакций проводились на изотопах диспрозия ^{150}Dy и ^{151}Dy , образующихся в реакциях: $^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, \text{xп}) ^{150,151}\text{Dy}$ и $^{187,188}\text{Ba} (^{20}\text{Ne}, \text{xп}) ^{150,151}\text{Dy}$.

Для этой цели были приготовлены мишени из естественной смеси изотопов бария и разделенного изотопа неодима-142, содержащие соответственно $\approx 90 \text{ мкг/см}^2$ и $\approx 150 \text{ мкг/см}^2$ вещества.

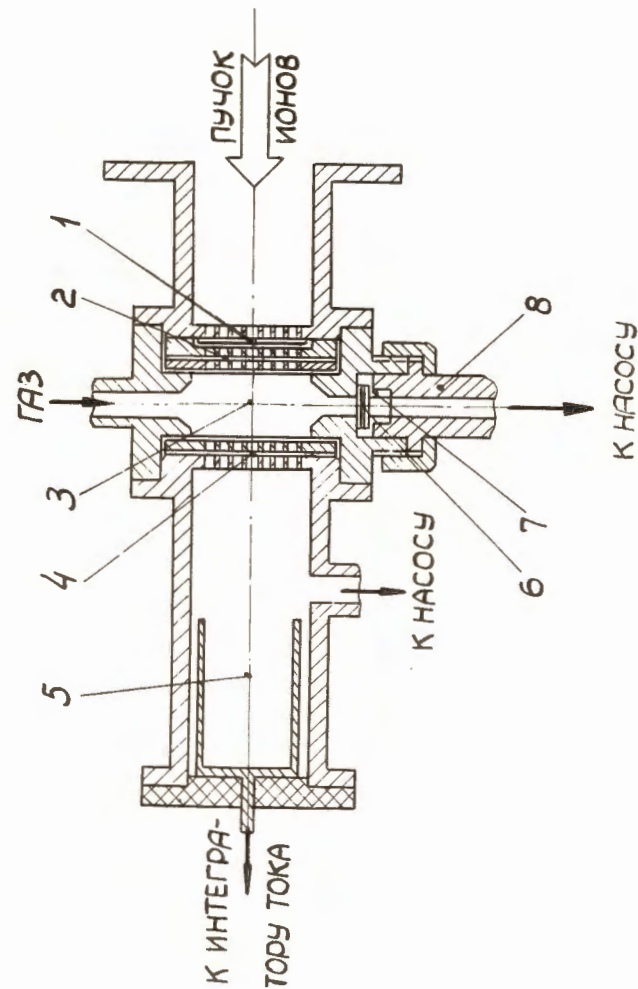


Рис. 1. Схема реакционной газовой камеры. 1 - входная фольга-поглотитель, 2 - мишень, 3 - газовый объем для торможения продуктов ядерных реакций, 4 - выходное окно камеры, 5 - цилиндр Фарадея, 6 - фильтр или перфорированный материал, 7 - быстросъемный патрон, 8 - газопровод.

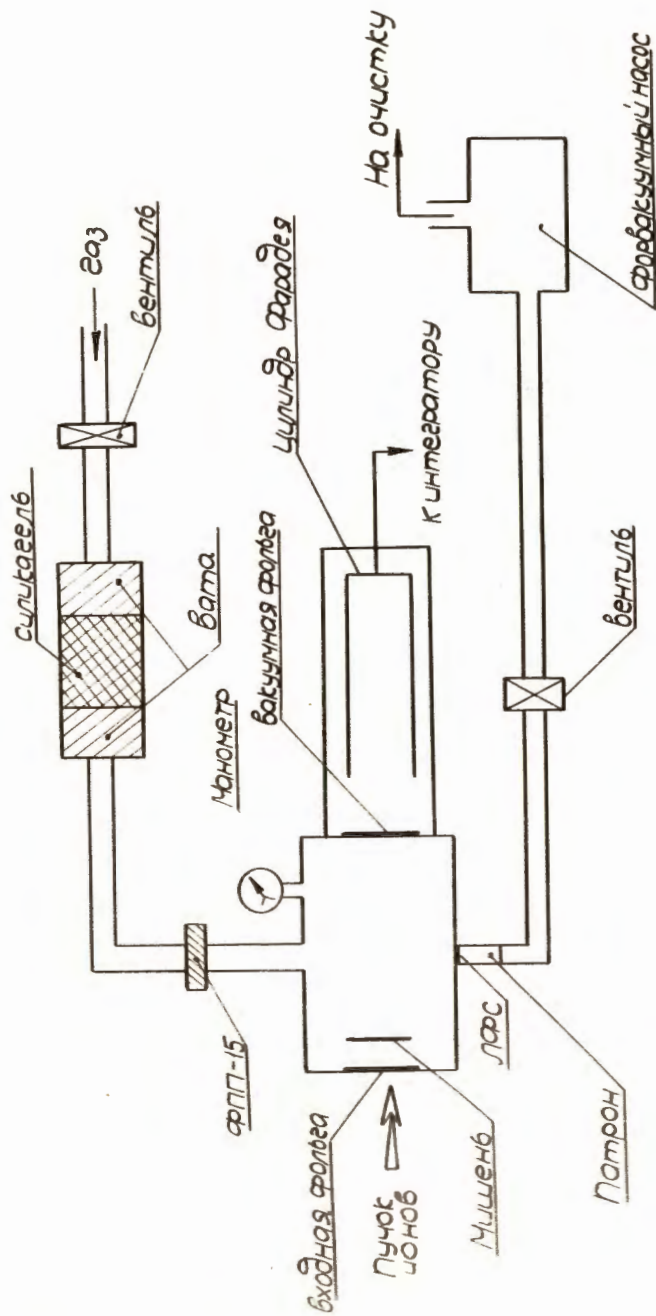


Рис. 2. Блок-схема системы подачи и откачки тормозящего газа

Для регистрации потока бомбардируемых ионов применялся вакуумный цилиндр Фарадея, размещенный за выходной алюминиевой фольгой реакционной камеры.

После 5–10-минутного облучения патрон с фильтром площадью $\approx 0,5 \text{ см}^2$ быстро извлекался из трубопровода и помещался в α -спектрометр на расстоянии $\approx 4 \text{ мм}$ от детектора. В качестве детектора α -частиц использовался полупроводниковый Si-Au-детектор, сигналы с которого поступали на зарядочувствительный предусилитель и транзисторный спектрометрический усилитель. Амплитудные спектры α -частиц измерялись с помощью 256-канального анализатора АИ-256.

Экспериментальная часть и результаты измерений

В рассматриваемых опытах в качестве тормозящего газа в основном использовался азот. Для выбора оптимальных условий работы была использована зависимость сбора продуктов реакций $^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, \alpha n) ^{150, 151}\text{Pu}$ и $^{138}\text{Ba} (^{20}\text{Ne}, \alpha n) ^{160, 151}\text{Pu}$ от давления газа в камере. В качестве сборников при этом были применены перфорированные материалы: нитроцеллюлоза, никелевые сетки, а также фильтроткань ФПП-15 и специальная фильтрующая лента ЛФС-2.

Оптимальный сбор ядер отдачи в данной реакции достигался при одном и том же давлении газа в камере. На рис. 3 представлена зависимость сбора ядер отдачи от давления газа в камере. Сравнение расчётных значений средних пробегов ядер отдачи^{/8,9/} и экспериментальных данных показывает, что наименьшим отклонением от экспериментальных данных обладают расчётные значения пробегов, полученные по формуле Фирсова^{/1/}.

Абсолютная величина сбора продуктов реакций сильно зависит от материала сборника, и, вероятно, электрических свойств его поверхности.

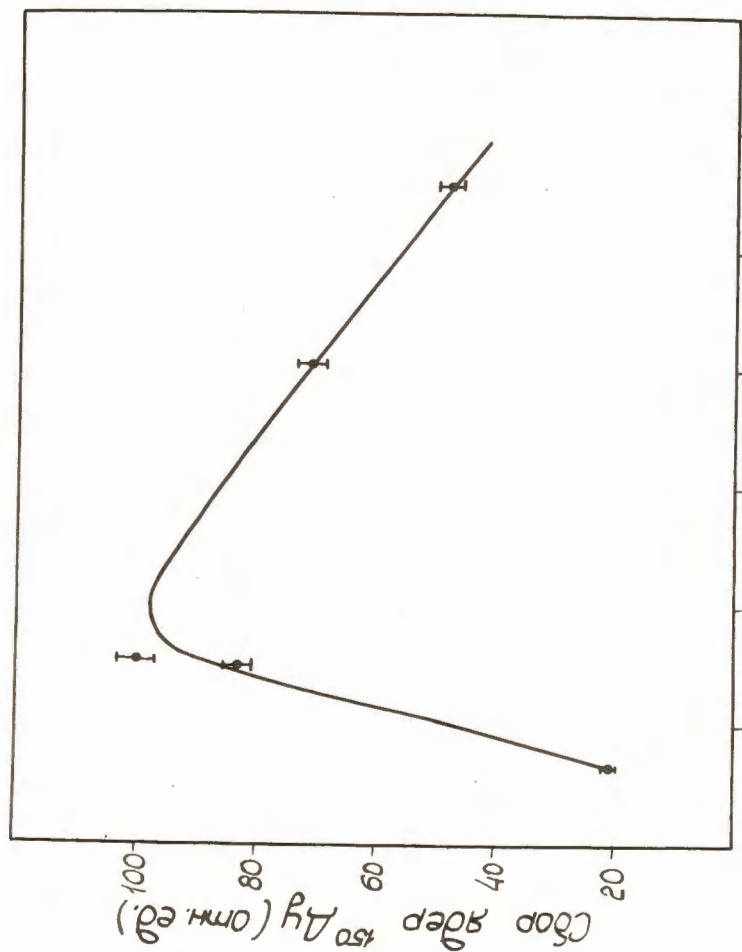


Рис. 3. Зависимость сбора ядер отдачи от давления газа в реакционной камере.

Таблица 1

Коэффициент сбора ядер отдачи различными фильтрами

Тип фильтра	Характеристика фильтра	Коэффициент сбора (%)
1. Тефлон перфорированный	прозрачность \approx 5%	1,5 - 2
2. Нитроцеллюлоза	прозрачность \approx 5%	\approx 4
3. ФПП-15	-	(60 \pm 10)
4. Металлокерамический фильтр	-	(19 \pm 5)
5. Никелевый фильтр	диаметр зерен 0,1 мм, толщина фильтра \approx 2 мм	(21 \pm 5)
6. ЛФС-2	плотность \approx 150 $\frac{\text{мкг}}{\text{см}^2}$	(71 \pm 17)
7. Перфорированная никелевая фольга (никелевая сетка)	прозрачность \approx 60%	(20 \pm 5)

В таблице 1 приведены измеренные коэффициенты сбора ядер отдачи различными фильтрами - сборниками. Эти данные пронормированы на выход продуктов реакций, собранных при прямом выбивании ядер отдачи в алюминиевый сборник.

Как следует из качественной теории эффективности фильтров для улавливания аэрозолей^{/10/}, наибольшим коэффициентом сбора должны обладать волокнистые фильтры (ФПП-15 и ЛФС-2).

Однако полученная нами величина коэффициента сбора продуктов реакций на ЛФС-2 (70%) ниже ожидаемого значения. Вероятно, в рассмотренных экспериментах такие факторы как диффузия продуктов на стенки камеры и возможно малая коагуляция продуктов реакций при больших линейных скоростях потока газов (\approx 1000 см/сек) приводили к уменьшению эффективности сбора.

Была исследована зависимость величины коэффициента сбора от сорта тормозящего газа. Такие эксперименты были проведены с азотом, воздухом и аргонном. В таблице 2 приведены полученные оптимальные значения коэффициентов сбора. Очевидно, что при замене сорта тормозящего газа величина коэффициента сбора существенно не меняется.

Таблица 2.

Зависимость сбора ядер отдачи от сорта тормозящего газа
(при оптимальных условиях)

Сорт газа	Коэффициент сбора (%) на:	
	ФПП-15	ЛФС-2
Азот	≈ 60	71±15
Воздух	≈ 58	67±10
Аргон	≈ 63	65±10

Эксперименты по изучению энергетического разрешения α -линий ^{150}Dy , ^{151}Dy ($E_{\alpha}=4,23$ Мэв и $E_{\alpha}=4,06$ Мэв соответственно) показали, что при применении металлокерамических фильтров и никелевых сеток разрешение этих α -спектров определяется полностью разрешающей способностью аппаратуры с распределенным источником (≈ 50 кэв). В случае ЛФС-2 вклад фильтров в энергетическое размытие α -линий оценивается не превышающим 40-50 кэв (Рис.4). С увеличением плотности фильтров типа ЛФС коэффициент сбора ядер отдачи существенно не возрастал, в то время как энергетическое разрешение α -спектров значительно ухудшалось.

Оценки времени сбора продуктов реакций были сделаны на основании измерения скорости откачки газа из реакционной камеры методом постоянного объема [11]. Расчетные значения времени выноса ядер отдачи на рассмотренные фильтры-сборники приведены в таблице 3. Из таблицы 3 видно, что данным методом можно собирать продукты реакций за времени 10^{-2} - 10^{-3} сек.

Таблица 3

Оценка времени выноса продуктов реакций на различные фильтры-сборники.

Тип фильтра	Время выноса (сек)
1. Никелевые и металлокерамические фильтры	≈ $4-5 \cdot 10^{-2}$
2. ЛФС-2	≈ $1,0 \cdot 10^{-2}$
3. Никелевая сетка (прозрачность 60%)	≤ $(1,9 \cdot 10^{-3})$

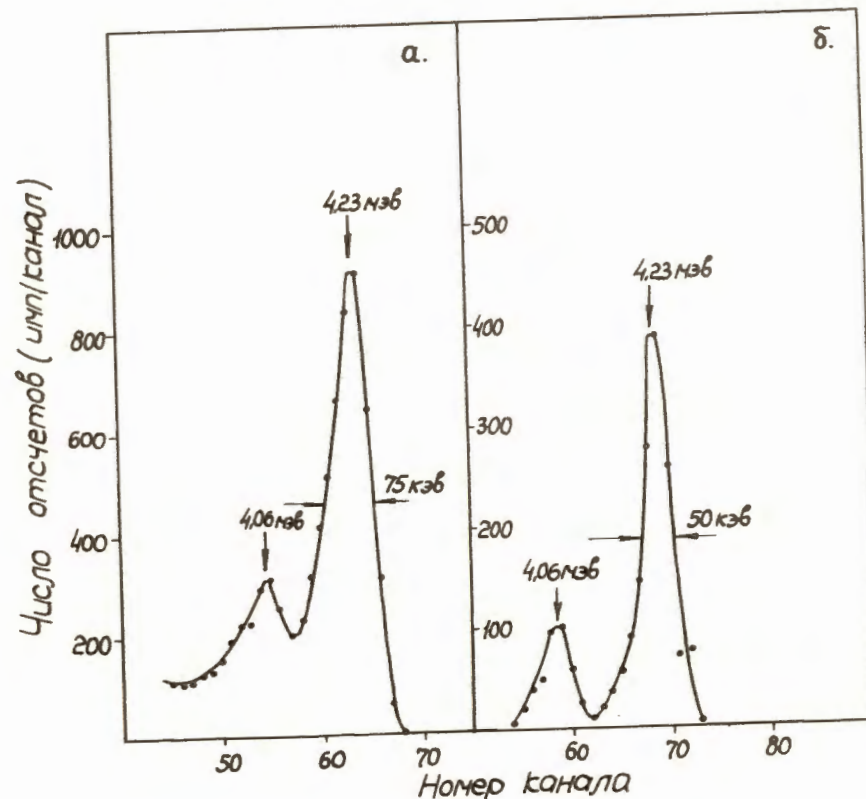


Рис. 4. Энергетические спектры α -частиц от распада ядер ^{150}Dy и ^{151}Dy , собранных: а) на ЛФС-2 и б) на никелевую сетку.

Стабильность работы металлокерамических фильтров и ЛФС-2, как наиболее перспективных фильтров-сборников, проверялась в более длительных экспериментах на пучке ускорителя с вышеописанной системой очистки газа. Многочасовые эксперименты на пучке ионов показали, что не происходит существенного изменения сопротивления фильтров и коэффициента сбора продуктов реакций.

Все это позволяет применять ЛФС-2 (коэффициент сбора $\approx 70\%$) и металлокерамические фильтры (коэффициент сбора $\approx 20\%$) для спектрметрического изучения как короткоживущих, так и долгоживущих продуктов ядерных реакций.

Применение фильтров для изучения продуктов реакций



С этой целью мишень из ^{288}U облучалась в течение 1-1,5 часов ионами ^{18}O с энергией, соответствующей максимальной величине сечения рассматриваемой реакции $^{12}/^{260}\text{Fm}$ идентифицировался по энергии α -частиц и периоду полураспада ($T_{1/2} \approx 30$ мин.). Сборники из ЛФС-2 и металлокерамики с измеренным количеством ядер ^{260}Fm помещались в контакт со слюдяными детекторами на 6-8 часов, т.е. практически до полного распада ^{260}Fm . Слюдяные детекторы затем подвергались химической обработке $^{13}/$ и просматривались на микроскопе. При распаде 10^4 ядер ^{260}Fm не было зарегистрировано ни одного акта спонтанного деления. Отсюда можно заключить, что доля распада ядер ^{260}Fm путем спонтанного деления $\leq 1 \cdot 10^{-4}$, а, следовательно, и период полураспада изотопа ^{260}Fm по отношению к спонтанному делению больше 0,6 года (≥ 200 суток).

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность проф. И.В.Петрянову-Соколову, В.И.Козлову и Э.А.Дружинину за ценные консультации и содействие в работе. Мы признательны проф. Г.Н.Флерову за ряд полезных советов, а также И.В. Колесову, В.И.Крашонкину и Е.Я.Юрину за помощь в разработке аппаратуры и проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н.Флеров, С.М.Поликанов, А.С.Карамян, А.С.Пасюк и др., Ж.эксперим. и теор. физ., 38, 82 (1960).
2. В.Л.Михеев, ПТЭ, №4, 22 (1966).
3. R.D.Macfarlane, R.D.Griffioen, Nucl. Instr. and Meth., 24, 461 (1963).
4. A.M.Friedman, W.C.Mohr., Nucl. Instr. and Meth., 17, 78 (1962).
5. В.П. Григоров. Атомная энергия. 21, 499 (1966).
6. О.А.Чуткин, В.Ф.Болотин. Сборник работ по вопросам дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений. Под редакцией А.Д.Туркина. Атомиздат, стр. 58, 1966.
7. Ю.И.Токарев, Ф.Ф.Богданов, Е.И. Павловская, А.П.Чернопятова. Атомная энергия, 18, 478 (1965).
8. M.Kaplan and R.D.Fink. Proceedings of the Third Conference on Reactions between Complex Nuclei. Asilomar, USA, p.353. 1963.
9. О.Б.Фирсов. ДАН СССР, 91, 515 (1953).
10. Н.А.Фукс. Механика аэрозолей. М., Академия наук, 1955.
11. Дж.Ярвуд. Техника высокого вакуума. М., Госэнергоиздат, стр. 123, 1960.
12. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков. Ядерная физика. 2, 1015, (1965).
13. А.Капусцик, В.П.Перелыгин, С.П.Третьякова. ПТЭ 5, 72 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июля 1968 года.