

11  
B67



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тис, Г.Н. Флеров

1192

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИЙ ПЕРЕДАЧИ  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С ЯДРАМИ  
С ПОМОЩЬЮ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ  
НЕЙТРОННОЙ АКТИВНОСТИ

Доклад, представленный на Международную конференцию  
до прямых взаимодействиям и механизмам ядерных реакций

Дубна 1963 год

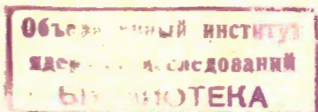


В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тис, Г.Н. Флеров

1192

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИЙ ПЕРЕДАЧИ  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С ЯДРАМИ  
С ПОМОЩЬЮ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ  
НЕЙТРОННОЙ АКТИВНОСТИ

Доклад, представленный на Международную конференцию  
по прямым взаимодействиям и механизмам ядерных реакций



Дубна 1963 год

### А н н о т а ц и я

В настоящей работе предложен новый метод изучения реакций передачи при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами, состоящий в наблюдении запаздывающей нейтронной активности ядер  $N^{17}$ . На внутреннем пучке циклотрона тяжелых ионов Объединенного института ядерных исследований облучались мишени из  $C, Al, Si$  и  $Ta$  ионами  $N^{14}, N^{15}, O^{16}, Ne^{20}, Ne^{22}$ . Наблюдались следующие реакции передачи: подхвата 2-х и 3-х нейтронов /  $N^{14}, N^{17}$  / /  $N^{15}, N^{17}$  /, срыв 3-х протонов, 3-х протонов и 2-х нейтронов /  $Ne^{20}, N^{17}$  /; /  $Ne^{22}, N^{17}$  /, обмен протона и 2-х нейтронов /  $O^{16}, N^{17}$  /. Поперечные сечения этих реакций были измерены вплоть до энергии ионов 8-9 Мэв на нуклон.



При касательном столкновении тяжелого иона с ядром /рис. 1/ могут происходить реакции, в которых от одного ядра к другому передается один или несколько нуклонов без образования составного ядра. Реакции такого типа получили название реакций передачи. Обычный метод экспериментального изучения таких реакций состоит в детектировании  $\beta$ -активных продуктов реакций ( $C^{11}$ ,  $N^{13}$ ,  $O^{15}$ ,  $F^{18}$ ).

В настоящей работе кратко излагаются результаты изучения реакций передачи с помощью нового метода - путем наблюдения запаздывающей нейтронной активности ядер  $N^{17}$ .

Как известно, ядро  $N^{17}$  в процессе  $\beta$ -распада /  $T_{1/2} = 4,15$  сек / переходит на возбужденные уровни ядра  $O^{17}$ , которые лежат выше энергии связи нейтрона; поэтому вслед за  $\beta$ -распадом происходит мгновенное испускание нейтрона. Облучая мишень различными частицами и наблюдая запаздывающую нейтронную активность ядер  $N^{17}$ , можно получить сведения о реакциях передачи различного типа.

Предложенный метод изучения реакций передачи позволяет легко избавиться от фона, создаваемого продуктами других реакций, поскольку запаздывающая нейтронная активность является уникальным явлением среди неделящихся ядер.

Эксперименты проводились на внутреннем пучке циклотрона тяжелых ионов Объединенного института ядерных исследований /рис. 2/. Детектор нейтронов состоял из пропорциональных счетчиков, наполненных  $BF_3$  и помещенных в замедлитель из плексигласа /рис. 3/. Блок-схема аппаратуры показана на рис. 4. Импульсы от счетчиков поступали одновременно на временной анализатор и пересчетный прибор. Мишень облучалась пучком ионов в течение 30 сек, после чего снималось высокочастотное напряжение на дуантах и в течение 50 сек регистрировалась распадающаяся нейтронная активность. При изучении энергетической зависимости реакций детектор с мишенью устанавливался на различные расстояния от центра циклотрона.

Толстые мишени из углерода, алюминия, меди и тантала облучались ионами  $N^{14}$ ,  $N^{15}$ ,  $O^{16}$ ,  $Ne^{20}$ ,  $Ne^{22}$ . Во всех случаях наблюдалось образование запаздывающей нейтронной активности, период полураспада которой в пределах погрешности измерений совпадал с табличными данными для периода полураспада ядер  $N^{17}$ . Типичные кривые распада нейтронной активности представлены на рис. 5. Полученные данные свидетельствуют о том, что в наших экспериментах удалось наблюдать следующие типы реакций /рис. 6/:

- 1- подхват 2-х и 3-х нейтронов в случае облучения мишеней ионами  $N^{15}$  и  $N^{14}$ ;
- 2- срыв 3-х протонов, 3-х протонов и 2-х нейтронов в случае облучения ионами  $N^{20}$  и  $N^{22}$ ;
- 3- обмен протона на 2 нейтрона в случае облучения  $O^{16}$ .

Выход реакций из толстых мишеней был измерен в интервале энергий ионов 4-8,5 Мэв на нуклон.



На рис. 7 в качестве примера приведены экспериментальные кривые выхода  $N^{17}$ , полученные при облучении  $Al$  и  $Ta$  ионами  $Ne^{20}$ .

Эффективные сечения реакций были рассчитаны обычным методом дифференцирования кривых энергетической зависимости выхода с учетом опубликованных данных по проходам тяжелых ионов и тормозной способности различных веществ. На графиках величины эффективного сечения реакции даны в зависимости от энергий ионов в системе центра масс, уменьшенной на величину кулоновского барьера. Этот параметр характеризует относительную скорость сталкивающихся ядер в момент передачи нуклонов. Такое представление облегчает сравнение данных реакции, полученных для различных элементов.

На рис. 8 представлены сечения подхвата 2-х и 3-х нейтронов при облучении  $Al$ ,  $Cu$  и  $Ta$  ионами  $N^{14}$  и  $N^{15}$ ; для сопоставления на этом же рисунке приведены данные относительно срыва одного нейтрона, полученные для алюминия и никеля в нашей работе и для золота в работе Макинтайра, Джобса и Уотса, выполненной в Иельском университете. Обращает на себя внимание, что все кривые распадаются на три семейства, соответственно числу передаваемых нейтронов. Сечение реакции падает вместе с ростом числа передаваемых нуклонов. Для данного типа реакции  $+2n$  или  $+3n$  сечение увеличивается при переходе от  $Al$  к  $Cu$  и  $Ta$ . Можно указать, по крайней мере, на два фактора, которые должны изменять сечение для разных элементов именно в этом направлении: радиус ядра и  $Q$  реакции. Соответствующие данные представлены в таблице 1. Далее следует отметить разницу в характере энергетической зависимости реакций передачи нечетного и четного числа нуклонов. В первом случае после резкого подъема сечения вблизи кулоновского барьера наблюдается характерное "насыщение", тогда как во втором сечение продолжает возрастать и за кулоновским барьером. Пока не найдено исчерпывающего объяснения этому факту. Можно указать на то обстоятельство, что в реакциях  $-n$ ,  $+3n$  бомбардирующей частицей является ядро с нечетным числом нейтронов  $N^{14}$  и передается также нечетное число нуклонов, тогда как в случае реакции  $+2n$  частица с четным числом нейтронов  $N^{15}$  подхватывает два нейтрона. Возможно также, что в случае реакции  $-n$  сказывается слабая связь протона в ядре  $N^{13}$ , а в случае реакции  $+3n$  ядру  $N^{17}$  передается большая энергия возбуждения. Оба эти фактора будут приводить к уменьшению эффективных сечений реакций при больших энергиях.

На рис. 9, 10 приведены сечения срыва 3-х протонов, 3-х протонов и 2-х нейтронов. Энергетическая зависимость имеет такой же характер, как и в случае подхвата нейтронов, что свидетельствует об однотипности реакций. Сравнение абсолютных значений сечений  $-3p$  и  $-3p2n$  указывает на возможность коррелированной передачи нескольких нуклонов из одного ядра в другое. Действительно, если бы нуклоны передавались независимо, передача 3-х протонов была бы более вероятна, чем передача 3-х протонов и 2-х нейтронов. Экспериментально найденные сечения для второй реакции оказались больше. Возможно, что в случае реакции  $-3p -2n$  в действительности переходят или  $\alpha$ -частица и протон или  $Li^5$ .

Полученные результаты указывают на возможность использования реакций передачи для изучения поверхностной корреляции нуклонов.



Наконец, на рис. 11 показаны эффективные сечения реакции обмена протона и 2-х нейтронов, полученные при облучении тантала и алюминия ионами кислорода.

В заключение следует отметить, что наряду с  $N^{17}$  для изучения реакций передачи может быть использована запаздывающая нейтронная активность ядер  $C^{16}$   
 $T_{1/2} = 0,7$  сек/ и  $Li^9 / T_{\frac{1}{2}} = 0,15$  сек/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
 5 февраля 1963 года

Т а б л и ц а 1  
Реакции при передаче нейтронов

Р е а к ц и я	Т и п п е р е д а ч и	Q М э в
$Al + N^{14} \rightarrow N^{13}$	/ - 1n /	-2,83
$Ni + N^{14} \rightarrow N^{13}$		-1,55 ( $Ni^{58}$ )
$Au + N^{14} \rightarrow N^{13}$		-2,73 ( $Ni^{60}$ ) - 4,96
$Al + N^{15} \rightarrow N^{17}$	/ + 2n /	- 16,18
$Cu + N^{15} \rightarrow N^{17}$		-11,48 ( $Cu^{63}$ )
$Ta + N^{15} \rightarrow N^{17}$		-9,58 ( $Cu^{65}$ ) - 4,79
$Al + N^{14} \rightarrow N^{17}$	/ + 3n /	- 22,42
$Cu + N^{14} \rightarrow N^{17}$		- 11,48 ( $Cu^{63}$ )
$Ta + N^{14} \rightarrow N^{17}$		-9,58 ( $Cu^{65}$ ) - 2,19

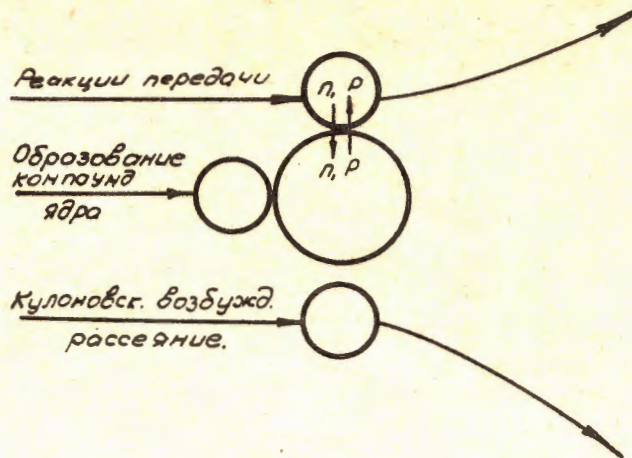


Рис. 1. Схема взаимодействий тяжелых ионов с ядрами.

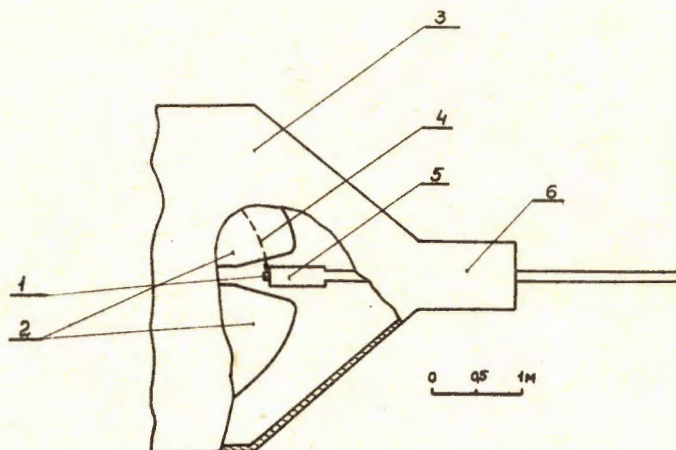


Рис. 2. Схема расположения пробника в циклотроне.

1. Мишень.
2. Дуанты циклотрона.
3. Камера циклотрона.
4. Пучок тяжелых ионов.
5. Детектор нейтронов.
6. Шлюз камеры циклотрона.



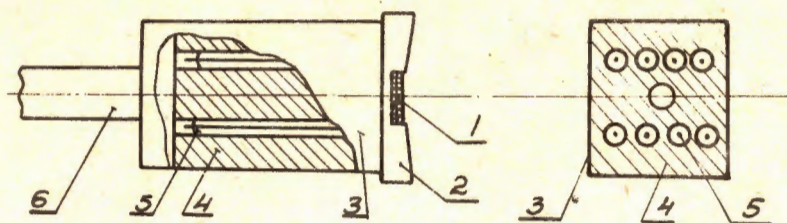


Рис. 3. Детектор нейтронов.

1. Мишень.
2. Диафрагма из графита.
3. Медный кожух.
4. Плексигласовый замедлитель.
5. Счетчики с  $BF_3$ .
6. Шток пробника.

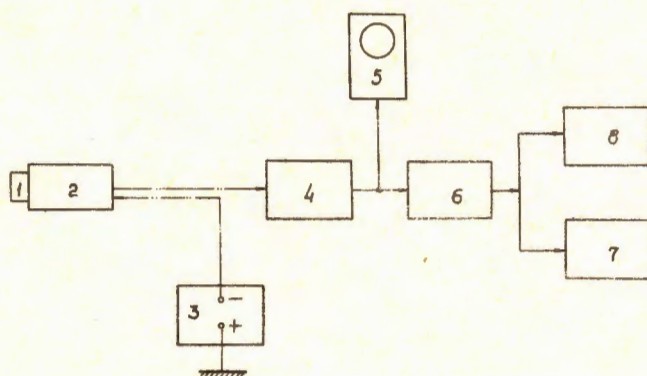


Рис. 4. Блок-схема электронной аппаратуры.

1. Мишень.
2. Нейтронный детектор.
3. Источник высокого напряжения.
4. Усилитель.
5. Осциллоскоп.
6. Дискриминатор.
7. Временной анализатор.
8. Пересчетный прибор.



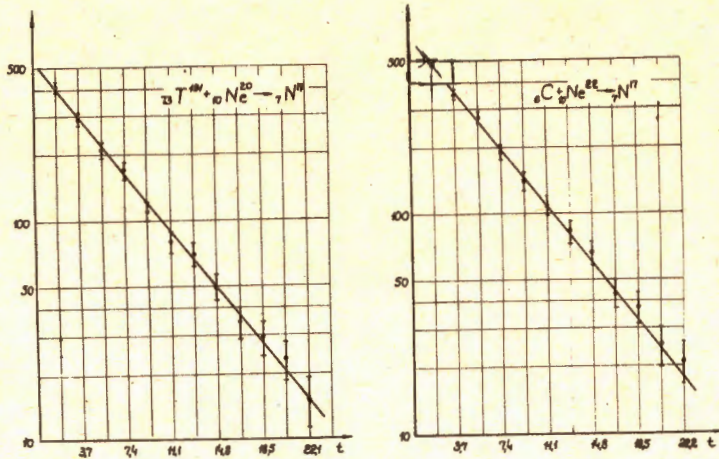


Рис. 5. Распад нейтронной активности, измеренной на временном анализаторе.

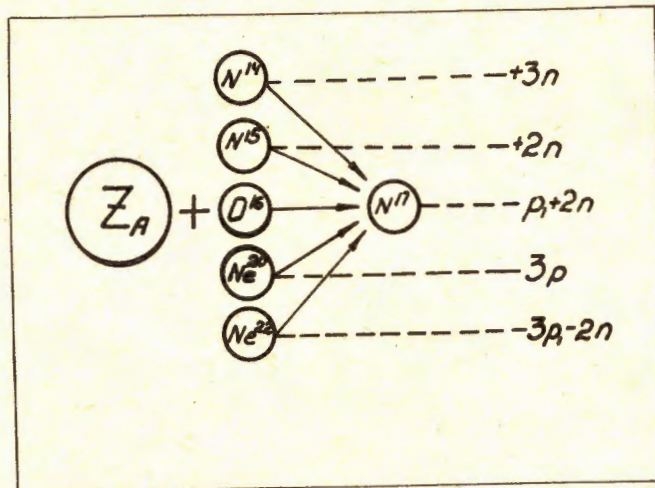


Рис. 6. Типы наблюдавшихся реакций передачи.



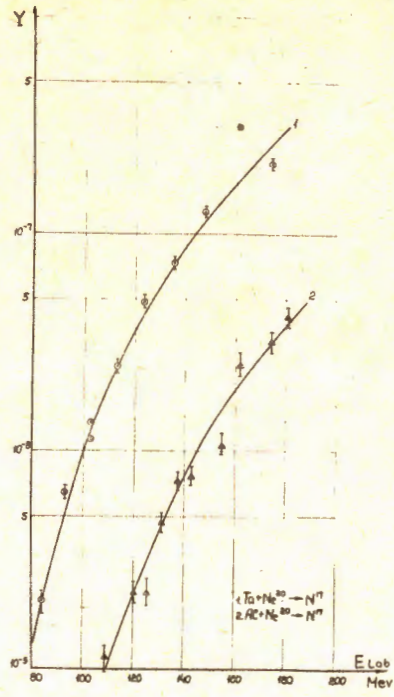


Рис. 7. Выход ядер  $N^{17}$  при облучении  $Al$  и  $Ta$  ионами  $N^{20}$ .

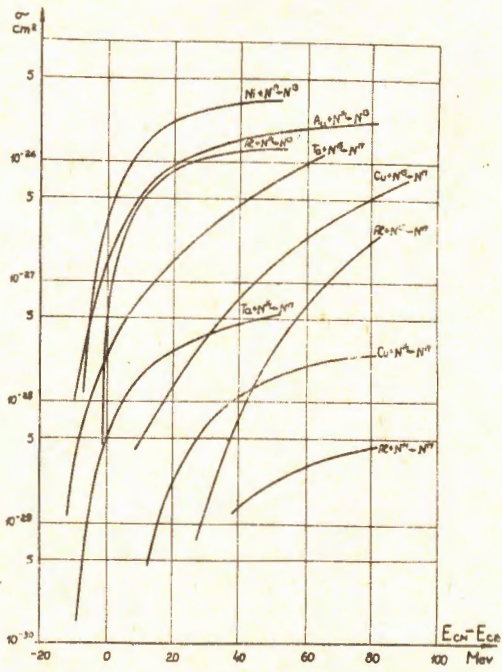


Рис. 8. Эффективные сечения реакций  $+2n$  / и  $+3n$  /.



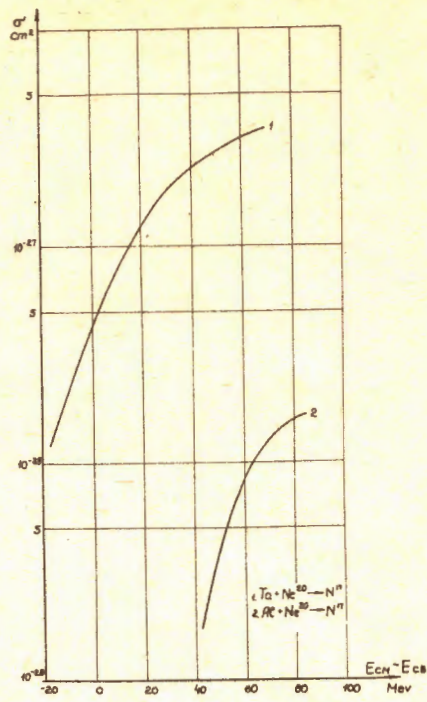


Рис. 9. Эффективные сечения реакций /-3p /.

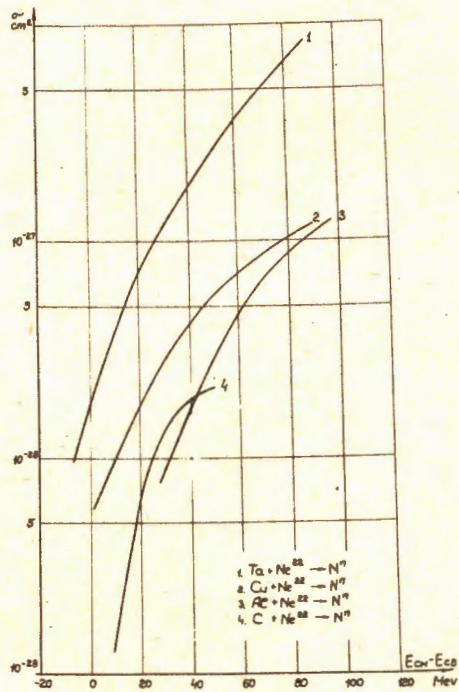


Рис. 10. Эффективные сечения реакций /-3p 2n /.



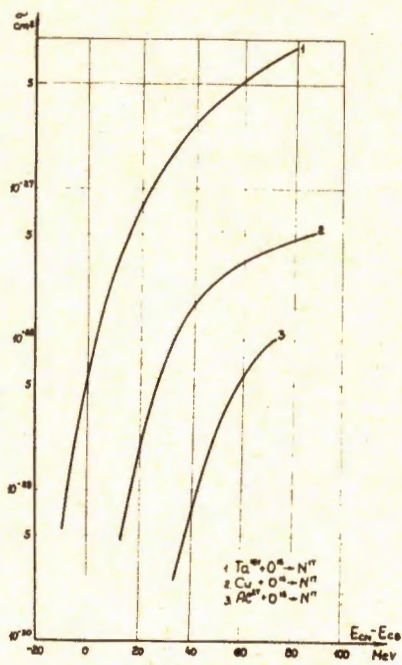


Рис. 11. Эффективные сечения реакций  $-1p, +2n$ .