

АКАДЕМИЯ НАУК БССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи

Э. А. РУДАК

„ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ
 γ -ЛУЧЕЙ ИЗ РЕАКЦИИ (n, γ)
НА ОБРАЗЦАХ ИЗ РАЗДЕЛЕННЫХ
ИЗОТОПОВ Cr^{50} Cr^{52} Cr^{53} И Fe^{54} “

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

кандидат

Научный руководитель—
математических наук
Е. И. ФИРСОВ

Р
Сел. Дзел
1994 г.

Минск 1965 г

Диссертация принята к защите Объединенным Советом Институтов физики, математики и вычислительной техники и физики твердого тела и полупроводников АН БССР.

Автореферат разослан 1965 года.

Защита состоится 1965 года.

Ваши замечания прошу направлять по адресу: г. Минск, Ленинский проспект, 70, Институт физики АН БССР.

Исследования спектров γ -лучей из реакции (n, γ) на тепловых нейтронах позволяют получить большое количество сведений о структуре ядра. Вследствие этого эксперименты по исследованию реакции (n, γ) на тепловых нейтронах в настоящее время получили широкое распространение. Интерпретация получаемых в результате этих экспериментов данных обычно связана со значительными трудностями. Одна из основных трудностей связана с необходимостью применять для обеспечения работы γ -спектрометров с умеренным и высоким разрешением больших образцов (~ 1 кг). Такие образцы состоят из естественной смеси изотопов, дающих, как правило, сравнимые вклады в сечение реакции (n, γ) . Это обстоятельство сильно затрудняет определение принадлежности обнаруживаемых γ -лучей к тому или иному излучающему изотопу. Настоящая диссертационная работа заключается в разработке методики и исследовании спектров γ -лучей из реакции (n, γ) на тепловых нейтронах на образцах из разделенных изотопов. Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе дается обзор основных теоретических и экспериментальных работ по исследованию реакции (n, γ) на тепловых нейтронах. Во второй главе подробно рассматривается методика настоящего эксперимента. В третьей и четвертой главах приводятся полученные экспериментальные результаты.

В экспериментах по исследованию реакции (n, γ) на тепловых нейтронах на образцах из разделенных изотопов отсутствует трудность в определении принадлежности обнаруживаемых γ -лучей, свойственная исследованиям на образцах с естественной смесью изотопов. Однако в настоящее время образцы из разделенных изотопов доступны в очень малых количествах (~ 10 грамм), что совершенно недостаточно для работы применявшихся ранее для исследования реакции (n, γ) γ -спектрометров с разрешением не хуже 1—2%. К тому же в процессе эксперимента дорогостоящие образцы из разделенных изотопов активируются, что ограничивает возможность их дальнейшего использования для других целей. Поэтому

для осуществления экспериментов по исследованию реакции (n, γ) на образцах из разделенных изотопов с помощью γ -спектрометров даже с умеренным разрешением (1—2%) необходима новая методика, обеспечивающая работу γ -спектрометров на образцах весом порядка 10 грамм. Анализ условий работы нескольких применявшихся ранее γ -спектрометров показывает, что с помощью комптоновского γ -спектрометра с разрешением 2% (1) можно исследовать образцы весом порядка 50 грамм \times барн, если поток тепловых нейтронов в месте расположения образца будет порядка 10^{12} нейтронов \times см⁻² \times сек⁻¹ при условии, что γ -фон используемого канала реактора не будет создавать дополнительные трудности. Наиболее полно этим условиям удовлетворяет схема эксперимента на касательном канале реактора типа ИРТ. Поток тепловых нейтронов в касательном канале против центра активной зоны реактора достигает 5×10^{12} нейтронов \times см⁻² \times сек⁻¹ при мощности реактора 1000 квт γ -фон касательного канала сравнительно невелик и создается, в основном, дном канала. В стандартных касательных каналах реакторов данного типа дно расположено вблизи активной зоны в области потока тепловых нейтронов высокой плотности и является сильным источником захватного γ -фона. Однако если касательный канал продлить, то дно будет выведено из потока тепловых нейтронов высокой плотности и не будет являться источником захватного γ -фона. Подобная реконструкция касательного канала была сделана на реакторе ИРТ АН БССР в 1962 году во время его строительства. На этом канале для исследования спектров γ -лучей из реакции (n, γ) на образцах из разделенных изотопов был установлен комптоновский γ -спектрометр с разрешением 2% типа описанного в работе (1). Предварительно были проведены калибровочные измерения для определения параметров спектрометра, исследованы фоновые условия продленного касательного канала и оценены возможности установки. В результате исследования фоновых условий касательного канала было установлено, что γ -фон канала состоит, в основном, из γ -лучей активной зоны, рассеянных на образце, контейнере образца и первом свинцовом коллиматоре, расположенном в пятой секции шибера канала. Устранение или существенное уменьшение γ -фона касательного канала поэтому связано с уменьшением массы образца и его контейнера и правильным выбором места расположения первого свинцового коллиматора. Проведенные фоновые исследования показали, что при более близком расположении первого свинцового коллиматора

к активной зоне, γ -фон канала может возрасти в десятки раз и будет определяться рассеянием γ -лучей активной зоны на этом коллиматоре. После исследования фоновых условий была произведена оценка возможностей установки. Для этого исследовались спектры γ -лучей из реакции (n, γ) на ядрах Cl^{35} и Cr^{50} . В результате было установлено, что на данной установке можно с достаточной степенью надежности исследовать спектры γ -лучей из реакции (n, γ) на образцах из разделенных изотопов с произведением массы на сечение реакции порядка 40 грамм \times барн. Методика эксперимента и описание установки опубликованы в работах (2—4).

Первые исследования спектров γ -лучей из реакции (n, γ) были проведены на образцах из разделенных изотопов Cr^{50} , Cr^{52} , Cr^{53} и Fe^{54} . Все образцы были порядка 70—80 грамм \times \times барн. Для ядер с $A \approx 50$ в реакции (n, γ) на тепловых нейтронах с большей вероятностью должны происходить γ -переходы типа E1 ядра-продукта из захватного состояния на нижние $p^{1/2}$ - $p^{3/2}$ -уровни. Согласно результатам исследования результатам исследования реакции (d, p) у этой группы ядер

Первые исследования спектров γ -лучей из реакции (n, γ) были проведены на образцах из разделенных изотопов Cr^{50} , Cr^{52} , Cr^{53} и Fe^{54} . Все образцы были порядка 70—80 грамм \times \times барн. Для ядер с $A \approx 50$ в реакции (n, γ) на тепловых нейтронах с большей вероятностью должны происходить γ -переходы типа E1 ядра-продукта из захватного состояния на нижние $p_{1/2}$ - и $p_{3/2}$ -уровни. Согласно результатам исследования реакции (d, p) у этой группы ядер вблизи захватного состояния находится одночастичный $3s_{1/2}$ -уровень, а вблизи основного состояния одночастичные $2p_{1/2}$ - и $2p_{3/2}$ -уровни. Указанные p -уровни обладают значительной приведенной нейтронной шириной, что обуславливает большую вероятность переходов типа E1 из захватного состояния. В исследованных в данном эксперименте ядрах Cr^{51} , Cr^{53} , Cr^{54} и Fe^{55} были обнаружены интенсивные γ -переходы из захватного состояния на нижние $p_{1/2}$ - и $p_{3/2}$ -уровни. Мультипольность этих переходов E1. Интенсивность всех γ -переходов типа E1 из захватного состояния для каждого ядра около 100%, т. е. вероятность других способов распада ядра-продукта из захватного состояния мала. Интенсивность вероятностей γ -переходов типа E1 из захватного состояния на нижние p -уровни должна существенным образом зависеть от величины приведенной нейтронной ширины этих уровней. Поэтому было проведено сравнение вероятностей γ -переходов типа E1 из за-

хватного состояния на конечные p -уровни с приведенными нейтронными ширинами этих уровней, определенных из реакции (d, p) . Хорошая корреляция между этими величинами наблюдается для ядер Cr^{51} и Cr^{53} . Для ядер Cr^{45} и Fe^{55} достаточно хорошая корреляция наблюдается для переходов на уровни с энергией до 3,5 Мэв. Исключение составляет уровень 3,03 Мэв Fe^{55} . На этот уровень идет интенсивный переход с энергией 6,27 Мэв, хотя приведенная ширина этого уровня гораздо меньше, чем для соседних p -уровней.

Представляет интерес сравнение спектров γ -лучей из реакции (n, γ) на ядрах Cr^{52} и Fe^{54} . Ядра Cr^{53} и Fe^{55} имеют одинаковые нейтронные конфигурации. У них заполнена оболочка 28, сверх которой имеется один нейтрон. Отличаются они только по протонной конфигурации. В ядре Cr^{53} сверх замкнутой оболочки 20 находится четыре протона в состоянии $1f_{7/2}$, в ядре Fe^{55} — шесть. Однако спектры γ -лучей из реакции (n, γ) ядер Cr^{53} и Fe^{55} сильно отличаются друг от друга. Спектр Cr^{53} очень простой. Обнаружено всего 6 γ -переходов из захватного состояния на нижние p -уровни. Спектр Fe^{55} самый сложный из всех исследованных в данном эксперименте спектров. Обнаружено 12 γ -переходов из захватного состояния на нижние p -уровни. Это различие объясняется, по видимому, большей плотностью p -уровней в ядре Fe^{55} по сравнению с Cr^{53} . Возможно, что одной из причин различия плотности p -уровней этих ядер является разная степень связи четырех и шести протонов в состоянии $1f_{7/2}$.

На основании полученных результатов удалось составить схемы γ -переходов ядер Cr^{51} , Cr^{53} , Cr^{54} и Fe^{55} из захватного состояния в реакции (n, γ) в основное состояние. Почти все обнаруженные γ -линии соответствуют переходам ядер-продуктов из захватного состояния на нижние p -уровни и переходам с этих уровней в основное состояние. В схемах γ -переходов наблюдается ряд особенностей.

1) В ядре Cr^{51} с p -уровня 1,90 Мэв наблюдается интенсивный γ -переход типа $E2$ в основное состояние. С этого же уровня наблюдается переход типа $M1$ на уровень 0,77 Мэв. Путем сравнения интенсивностей обоих переходов удалось установить, что переход с энергией 1,90 Мэв типа $E2$ ускорен по сравнению с одночастичной оценкой Вайскопфа не менее, чем в 10 раз.

2). С p -уровней ядра Cr^{51} 3,79 и 4,06 Мэв обнаружены прямые переходы в основное состояние, на основании чего можно утверждать, что их спины равны $3/2$. Если бы спины

этих р-уровней были равны $1/2$, то переходы с них в основное состояние должны быть типа МЗ и иметь очень малую вероятность по сравнению с переходами типа М1 на нижние р-уровни.

3). В работе (5) по форме углового распределения протонов из реакции (d, p) был определен спин р-уровня 1,90 Мэв ядра $\text{Cr}^{51} - 1/2$. Известно, что если спин р-уровня равен $1/2$, то в угловом распределении протонов при угле $\approx 130^\circ$ наблюдается глубокий минимум. Если же спин равен $3/2$, то минимум отсутствует. Для р-уровня 1,90 Мэв такой резко выраженный минимум в угловом распределении протонов из реакции (d, p) был обнаружен, на основании чего данному уровню был приписан спин $1/2$. С другой стороны, этот результат противоречит достоверным экспериментальным данным из реакции (n, γ), согласно которым спин уровня 1,90 Мэв равен $3/2$. Повидимому, р-уровень 1,90 Мэв ядра Cr^{51} обладает особыми свойствами, обуславливающими и ускорение перехода типа Е2 с этого уровня во основное состояние и аномалию в угловом распределении протонов из реакции (d, p).

4). В ядре Cr^{53} с р-уровня 2,32 Мэв наблюдается интенсивный γ -переход типа М1 в основное состояние и слабый γ -переход типа М1 с энергией 1,75 Мэв на первый возбужденный уровень 0,56 Мэв. Отношение вероятностей переходов типа М1 $\Gamma_\gamma(2,32)/\Gamma_\gamma(1,75)$ должно быть порядка 2,4 по одночастичной оценке. Эксперимент дает значение завышенное в несколько раз.

5). В работе (6) указывается на существование у ядра Cr^{54} возбужденного р-уровня 4,40 Мэв с большой приведенной нейтронной шириной. Однако переход из захватного состояния в реакции (n, γ) на этот уровень в настоящем эксперименте обнаружен не был. Спин уровня 4,40 Мэв может принимать значения 1, 2 и 3. Спин захватного состояния может принимать значения 1 или 2, четность его положительная. Отсутствие перехода из захватного состояния на данный р-уровень можно объяснить только в случае спина захватного состояния равного 1 и спина уровня 4,40 Мэв равного 3. Согласно правилам отбора данный γ -переход должен быть в этом случае типа М2 и иметь гораздо меньшую вероятность, чем переходы типа Е1 из захватного состояния на другие р-уровни.

Основные результаты настоящей работы опубликованы в статьях (7—11) и доложены на 15-ой Всесоюзной конференции по ядерной спектроскопии в г. Минске в январе 1965 года.

Л и т е р а т у р а

Л. В. Грошев, Б. П. Адыяевич, А. М. Демидов. Физические исследования. (Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). Изд. АН СССР, 1955, стр. 252.

2. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Атомная энергия т. 18, № 3. 285, (1965).

3. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Известия АН БССР Сер. физ., т. (1965).

4. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Известия АН БССР. Сер. физ. 1, (1965)

5. Andrews P. T. et al, Nuclear Physics, 56, 465, (1965).

6. В. П. Бочин и др. Вестник ЛГУ Сер. физики и химии, 22, 68. (1963).

7. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Доклады АН БССР, 8, 8, 514, (1964).

8. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Ядерная физика, 1, 2, 235, (1965).

9. Н. Г. Лоскутова, Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Ядерная физика, (в печати).

10. E. I. Firsov, N. G. Loskutowa, E. O. Rudak. Nucl. Phys., (to be published).

11. Э. А. Рудак, Е. И. Фирсов. Тезисы докладов на 15-ой Всесоюзной конференции по ядерной спектроскопии, и структуре атомного ядра, в г. Минске 25 января — 2 февраля 1965 г., Изд-во «Наука», стр. 105 и 106, (1965).