

ЭН. ФТ. Зала

Ю.С. Язвический

2425

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ НЕКОТОРЫХ ЯДЕР
НА НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

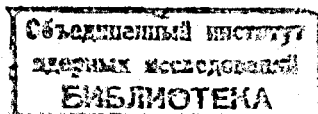
Дубна 1965

Ю.С. Язвцкий

2425

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ НЕКОТОРЫХ ЯДЕР
НА НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук



Дубна 1985

3180 69.

Исследование нейтронных резонансов ядер позволяет получить ряд сведений о ядерных уровнях при энергиях возбуждения, близких к энергии связи нейтрона. Такие эксперименты ведутся уже длительное время, однако, вследствие трудоемкости и сложности измерений в накопленных к настоящему времени данных имеется ряд пробелов. Так, например, резонансные параметры ряда ядер, особенно в области редкоземельных элементов и в районе атомных весов около 100, известны с неудовлетворительной точностью; для многих ядер изучено всего по несколько резонансов, сведения о спинах резонансов настолько неполны, что пока еще невозможно установить влияние спинов на важнейшие ядерные характеристики (силовая функция, средняя нейтронная ширина и т.д.). Существующий экспериментальный материал для большинства ядер периодической системы элементов фактически не может дать вполне надежных сведений о распределении ряда резонансных параметров и не позволяет получить удовлетворительную точность при усреднении параметров по резонансам одного ядра. Вследствие этого очень ограничены возможности сопоставления результатов опыта с теоретическими выводами, так как современная теория, будучи неспособной предсказать параметры индивидуальных резонансов, ограничивается лишь выводами о форме функций распределения резонансных параметров или же оценками средних значений этих параметров и предсказаниями зависимости этих средних от спина, атомного веса, энергии возбуждения ядра и т.п.

Такая ситуация наряду с необходимостью удовлетворять растущие требования ядерной энергетики к точности данных об эффективных сечениях взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами и ядрами конструкционных материалов привела к тому, что в последние годы в ряде стран было значительно увеличено число нейтронных спектрометров и в первую очередь спектрометров, действующих по методу времени пролета, которые наиболее перспективны в области резонансных нейтронов.

Развитие методов спектроскопии нейтронов шло в основном по линии усовершенствования ранее известных типов источников нейтронов. В конце 50-х и начале 60-х годов в Советском Союзе и за рубежом запущены спектрометры с сильноточными

ускорителями заряженных частиц, а также спектрометры с механическими селекторами в сочетании с ядерными реакторами непрерывного действия. Однако потребность в расширении средств нейтронной спектроскопии этим не была удовлетворена. В эти годы появились и новые возможности генерации импульсных потоков нейтронов.

В 1958 г. в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне было начато строительство принципиально нового импульсного источника нейтронов - импульсного реактора на быстрых нейтронах (ИБР)^{1/}. Предварительные оценки параметров нейтронных импульсов ИБРа показали, что на его базе может быть создан спектрометр времени пролета нейтронов с разрешением 0,04 мксек/метр, которое в то время было сравнимо с разрешением лучших действующих установок, поэтому одновременно со строительством ИБРа производилась разработка аппаратуры для нейтронной спектроскопии. Исследование резонансов на ИБРе было начато в 1960 г. практически одновременно с пуском реактора. В качестве первого варианта применения спектрометра было выбрано исследование полных эффективных сечений взаимодействия нейтронов с ядрами. Наряду с получением физических результатов эти опыты позволили проверить сделанные ранее оценки параметров спектрометра и изучить условия работы на ИБРе. Несколько позднее была введена в действие аппаратура для измерения радиационного захвата и рассеяния нейтронов. Этим был обеспечен более многосторонний подход к изучению резонансов, следствием чего явилась возможность определения спинов резонансов.

В данной диссертации дается описание выполненных под руководством и при участии автора работ, связанных с постановкой и проведением на ИБРе исследований полных эффективных сечений взаимодействия резонансных нейтронов с атомными ядрами. Эти работы можно разделить на 2 этапа:

1. Создание аппаратуры спектрометра и освоение ИБРа как источника нейтронов.
2. Исследование нейтронных резонансов.

Среди работ первого этапа должны быть отмечены исследования основных параметров импульса мощности реактора. Так как ИБР является первым реактором, работающим в режиме периодических импульсов, изучение импульсов мощности диктовалось не только запросами нейтронной спектроскопии, но и интересами физики реакторов. Основное внимание было обращено на изучение формы и флуктуаций импульсов мощности. Для этих исследований были разработаны специальные датчики. Основные результаты изучения формы импульсов сводятся к следующему:

1. Импульс мощности имеет несимметричную форму и в пределах 2-х ширины импульс приближенно может быть описан формулами

$$f(t) = \text{Const} \exp \left[-\frac{t}{2(20,6)^2} \right] - 0,1t$$

слева от максимума

$$f(t) = \text{Const} \exp \left[-\frac{t^2}{2(15,9)^2} \right] - 0,1t$$

справа от максимума

(t - в микросекундах).

2. Ширина импульса на 1/2 высоты равна 41 ± 1 мксек, что соответствует расчетным оценкам.

3. Отношение максимальной амплитуды импульса к постоянному фону при частоте импульсов 8,3 1/сек равно $1,2 \cdot 10^5$.

4. При работе с частотой 8,3 1/сек помимо основного импульса мощности имеется 9 дополнительных импульсов-спутников, несколько различных по силе. Суммарная мощность, выделяющаяся во всех спутниках, составляет около 2,5% полной мощности.

При исследовании флуктуаций импульсов мощности реактора измерялись дисперсии интенсивностей индивидуальных импульсов мощности в функции средней мощности. Измерения показали, что относительная дисперсия интенсивности импульсов мощности может быть описана законом

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \frac{a}{W}$$

(σ_0^2 - экспериментальное значение относительной дисперсии, W - средняя мощность, σ_0^2 и a - постоянные). Член σ_0^2 , обусловленный флуктуациями при бесконечно большой средней мощности, не предсказывается теорией. По-видимому, он связан не с цепной реакцией, а с какими-то механическими процессами в активной зоне реактора. При средней мощности 1 квт среднеквадратичное отклонение интенсивности импульсов приблизительно равно 3%. Эта оценка существенна при выборе метода введения поправок на аппаратурные просчеты.

Установление закона изменения дисперсии интенсивности импульсов со средней мощностью ИБРа позволило обосновать новый метод абсолютной калибровки мощности импульсных реакторов по данным о флуктуациях. Этот метод нашел практическое применение при эксплуатации ИБРа.

Одной из центральных методических проблем первого этапа работ по спектроскопии резонансных нейтронов на ИБРе явилось создание нейтронного детектора. Важность выбора оптимального типа детектора очевидна. Анализ свойств детекторов различного типа привел к выводу, что в условиях работы на ИБРе (малый γ -фон, воз-

возможность использования широких пучков) наилучшим оказывается жидкостный сцинтилляционный детектор с метилборатом. Детектор такого типа впервые был разработан в США^{12/}. В Советском Союзе впервые он разработан нами. Трудности создания детектора с метилборатом связаны в основном с тем, что импульсы, соответствующие регистрации нейтронов (за счет α -частиц реакции $B^{10}(n, \alpha)Li^7$), лежат, обычно, в шумах фотоэлектронных умножителей. Серия мероприятий по повышению светового выхода сцинтилляторов с метилборатом и по обеспечению оптимальных условий соби- рания света на катодах ФЭУ при одновременном применении радиоэлектроники, подавля- ющей шум ФЭУ, а также тщательная индивидуальная отборка ФЭУ дали возможность достичь практически 100%-ной эффективности регистрации актов расщепления бора ней- тронами в сцинтилляторе. Ниже приведены основные параметры рабочего детектора.

1. Рабочая площадь - 500 см².
2. Сцинтиллятор содержит 50% метилбората на естественном боре.
3. Эффективность регистрации нейтронов в области $1 \text{ эв} \leq E_n \leq 1000 \text{ эв}$ может быть выражена формулой

$$\epsilon_n = 0,82(0,9 - 0,19 \lg E_{эВ})$$

(численные значения эффективности при энергиях 1 эв, 10 эв, 100 эв и 1000 эв равны соответственно 74%, 68%, 42% и 28%).

4. Эффективность к γ -лучами $Co^{60} E_\gamma = 4\%$.
5. Время жизни нейтронов в детекторе $\tau_n = 2$ мксек.
6. Собственный фон детектора в свинцовой защите толщиной 5 см = 22 имп/сек.

На рис. 1 приведена блок-схема спектрометра времени пролета на базе ИБРа. Основные параметры спектрометра таковы:

1. Пролетное расстояние 1000 м (при измерении пропускания нейтронов).
2. Реальные скорости счета нейтронов, полученные с описанным выше детекто- ром, на канал анализатора 32 мксек при мощности $W = 0,7$ квт и при коллиматоре диаметром 25 см для энергий 10 эв, 100 эв и 1000 эв равны 1800 1/час, 4500 1/час и 10500 1/час соответственно.

3. Абсолютное энергетическое разрешение установки при длительности нейтрон- ного импульса 40 мксек и базе 1000 м

$$\Delta E_{эВ} = 1,1 \cdot 10^{-3} E^{3/2} \text{ эв.}$$

4. Фон в измерениях пропускания обусловлен в основном запаздывающими ней- тронами и спадает в сторону малых энергий, составляя 20% при $E_n=1$ эв и 5% при $E_n = 337$ эв (при работе с борным фильтром $\alpha = 0,21$ г/см² и с коллиматором диа- метром 20 см).

Перейдем к изложению физической части диссертации.

В качестве первых образцов для исследования были выбраны Rh, Tb, Pr и Yb. Было измерено пропускание нейтронов для образцов из Rh^{103} , Pr^{141} , Tb^{159} и из естественной смеси изотопов Yb. Кроме того были измерены кривые выхода γ -излучения радиационного захвата нейтронов образцами из изотопов Yb^{171} , Yb^{172} , Yb^{173} , Yb^{174} и Yb^{176} . Ядра, выбранные для исследований, находятся в райо- нах атомных весов, представляющих особый интерес. Ядро Rh^{103} расположено в об- ласти минимума силовой функции S_0 для s -нейтронов и максимума силовой функции S_1 для p -нейтронов. В этой области возможно проявление p -резонан- сов при малых энергиях нейтронов, сведений о которых в настоящее время очень мало. Желательно также уточнение данных о S_0 и S_1 , так как имеющиеся данные о S_1 дают возможность сделать лишь оценку величины S_1 , а данные о S_0 систематиче- ски превышают теоретические предсказания и также очень неточны. Pr, Tb и Yb принадлежат к редкоземельным элементам, свойства ядер которых мало изучены. От- метим, что Pr^{141} - ядро магическое по нейтронам, и что ядро Tb и ядра изотопов Yb находятся в области сильно деформированных ядер.

Данные о Rh и Tb, имевшиеся к началу наших измерений, были получены в 1953-1955 г.г. при разрешении в несколько раз худшем, чем у нашего спектро- метра. Вследствие этого наши измерения дали возможность расширить диапазон энергий, где определяются параметры изолированных резонансов и помимо этого обнаружить более слабые резонансы и в ранее исследованной области. В случае Rh это особен- но интересно, как уже отмечалось, с точки зрения получения новых данных о свойствах p -резонансов. Отметим, что одновременно с нами полные эффективные сечения взаимо- действия нейтронов с Rh изучались на спектрометре в Сакле^{13/}. Хотя разреше- ние этого спектрометра превосходило разрешение спектрометра с ИБРом, исследова- ния в нашей лаборатории имели, однако, некоторые преимущества, так как здесь на- ряду с полными эффективными сечениями производились измерения радиационного зах- вата и рассеяния нейтронов. Что касается измерений с празеодимом, то помимо при- чин, указанных выше, интерес к нему был вызван тем обстоятельством, что в рабо- те^{13/}, выполненной в 1960 г. методом измерения пропускания, было найдено разногла- сие с данными предыдущих работ о величине радиационных ширин резонансов. Кроме того в указанной выше работе был сделан вывод о том, что распределение приведен- ных нейтронных ширин резонансов описывается χ^2 -распределением с числом степе- ней свободы $\nu = 8$ в противоположность установленному для других ядер распределе- нию Портера-Томаса (χ^2 -распределение с $\nu = 1$). Так как обнаружение отклон- ний от закона Портера-Томаса должно привести к пересмотру теоретических представ- лений о природе флуктуаций ширин уровней, нам представлялась необходимой проверка

выводов работы ^{/3/} о значении ν . Данных об измерениях с изотопами Yb до нашей работы опубликовано не было.

Методика измерений и обработки непосредственных данных измерений описывается достаточно подробно в диссертации. При обработке данных используется электронно-вычислительная машина. Существенно, что при вычислении кривых пропускания применяется статистический анализ данных многоканального анализатора, позволяющий исключить из рассмотрения показания каналов, которые противоречат полной совокупности данных, полученных во всех однотипных сериях измерений.

Определение резонансных параметров по экспериментальным кривым пропускания производилось хорошо известным методом площадей. Использовался вариант, в котором учитывался эффект Доплера, вызванный тепловым движением исследуемых ядер в образцах, и не принималась во внимание интерференция резонансного и потенциального рассеяния. Корректность применения метода площадей обосновывается проведенными измерениями формы импульса реактора.

Данные о пропускании образцов нескольких толщин из данного элемента позволили определить значения $\sigma_{\text{д}}$ и Γ резонанса. Привлечение данных о радиационном захвате и рассеянии нейтронов ^{x)} позволило снизить погрешности значений параметров резонансов и, что особенно важно, в наиболее благоприятных случаях определить спины резонансов.

В таблицах 1-4 приведены полученные данные о резонансах исследованных ядер. В правых столбцах таблиц 1-3 даются значения параметров резонансов, определенные другими авторами. Параметры резонансов Yb определены впервые. Следует отметить гораздо более высокую точность значений Γ_{γ} и обнаружение слабых резонансов для Pt , в сравнении с ^{/3/} ^{/8/} и существенное отличие данных о резонансах Tb с $E < 50$ эв от данных, приведенных ^{/8/}. Первые два факта объясняются применением методики измерений сечений радиационного захвата и рассеяния, третий - более высоким разрешением спектрометра на ИБРе, которое позволило получить лучшие данные.

Рассмотрение построенных по данным таблиц 1-4 графиков числа обнаруженных резонансов в функции энергии нейтронов приводит к выводу, что доля незарегистрированных резонансов в исследованной области энергий для всех ядер невелика. Это дает основание считать достаточно надежными данные о средних параметрах резонансов, которые приводятся ниже.

x) Разработка методики измерения парциальных сечений ^{/4/}, измерения радиационного захвата и рассеяния на Rh , Pt и Tb , а также обработка данных о захвате и рассеянии на Rh , Pt и Tb были выполнены в группе Л.Б. Пикельнера.

Заслуживает внимания вопрос о распределении приведенных нейтронных шири резонансов. В случае 3-х ядер: Tb^{159} , Yb^{171} и Yb^{173} экспериментальные распределения приведенных нейтронных шири с большой степенью достоверности согласуются с распределением Портера-Томаса $\rho(x > A) = 1 - \int_0^x \frac{1}{2\pi t} e^{-t^2} dt$ (критерий Колмогорова $\rho(\lambda) = 1$). При этом подтверждается ранее сделанный вывод о малой доле пропущенных резонансов. Для Rh и Pt найдено отступление от распределения Портера-Томаса. В случае Rh (см. рис. 2) отступление от закона Портера-Томаса можно устранить, исходя из предположения о проявлении p -резонансов.

Для получения согласия с законом Портера-Томаса действию p -нейтронов достаточно приписать четыре-пять наиболее слабых резонансов. Достоверность гипотезы об обнаружении p -резонансов Rh^{103} подкрепляется полученной оценкой значения силовой функции для p -нейтронов S_1 , которое находится в согласии с другими данными и с общим ходом S_1 в функции атомного веса.

Экспериментальное распределение приведенных нейтронных шири резонансов Pt^{141} также не дает хорошего согласия с кривой Портера-Томаса. В противоположность положению, имеющему место в случае Rh^{103} , для Pt^{141} нельзя улучшить согласие за счет отнесения части резонансов к нейтронам с $l \neq 0$. Малая статистика резонансов не позволяет сделать достаточно определенные выводы о причинах расхождения. Требуется дальнейшие исследования резонансов Pt^{141} с гораздо более высоким разрешением. Поскольку ядро Pt^{141} имеет магическое число нейтронов, не исключена возможность наблюдения аномалий в статистических свойствах резонансов.

По данным таблиц 1-4 были найдены средние характеристики резонансов и силовые функции исследованных ядер. Эти результаты приведены в таблице 5.

На рис. 3 (заимствован из работы ^{/7/}) приведено сопоставление наших данных о $\langle \Gamma_{\gamma} \rangle$ с данными для других ядер. Видно, что наши данные разумно согласуются с общей картиной. Конечно, из-за больших экспериментальных ошибок многих значений $\langle \Gamma_{\gamma} \rangle$ это согласие с какой-то степенью можно считать условным. Интересно, что по нашим данным значение $\langle \Gamma_{\gamma} \rangle$ ядра Pt^{142} , близкого к магическому, в пределах экспериментальных ошибок равно значениям $\langle \Gamma_{\gamma} \rangle$ для ядер Tb^{160} , Yb^{172} и Yb^{174} , которые далеки от области магичности. Данные о средних расстояниях между резонансами Yb^{171} и Yb^{173} были использованы для оценки значения параметра σ в формуле плотности уровней, основанной на модели ферми-газа.

$$\rho = \frac{c}{U^2} (2J+1) \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} J(J+1) + 2(aU)^{1/2} \right],$$

где c и a есть некоторые константы, связанные со структурой ядра, J - спин ядра, σ - параметр, определяющий зависимость от спина, U - энергия возбужде-

ния. Эта оценка представляет несомненный интерес, так как точных определений параметра σ не имеется. Основанием для проведения оценки послужило то, что ядра Yb^{172} и Yb^{174} имеют близкие массы и близкие энергии связи нейтронов, далекие от области магических ядер, а их спины ядер Yb^{171} и Yb^{173} сильно различны (1/2 и 5/2). В предположении, что ядра Yb^{172} и Yb^{174} имеют одинаковые a и одинаковые c , мы получили, что $\sigma = 2,5$. 10%-ая разница в значениях a для Yb^{172} и Yb^{174} приводят к следующим границам для σ :

$$\sigma = 2,5 \begin{matrix} +1,8 \\ -1,5 \end{matrix}$$

Относительно значений силовых функций следует заметить следующее. Нами уточнены силовые функции Rh , Tb и Pr и вновь определены силовые функции 2-х изотопов Yb , эти данные укладываются в общую совокупность имеющихся данных. Существенный физический результат из данных о силовых функциях может быть получен лишь при значительном повышении точности экспериментальных данных. Эта точность, по-видимому, недоступна даже для спектрометров, имеющих гораздо более высокое разрешение, чем 0,04 мксек/метр, как на ИБРе.

Ранее отмечалось, что комбинация результатов, полученных в различных типах измерений, позволила определить спины некоторых резонансов (см. табл. 1-4). Хотя полученные данные относятся к малому числу резонансов, их можно использовать для проверки правильности передачи плотности уровней от спина приведенной выше формулой для плотностей уровней, сравнив экспериментальные значения отношений $\gamma = \frac{\rho(1-\frac{1}{2})}{\rho(1+\frac{1}{2})}$ для данного ядра с отношениями, вычисленными по теоретической формуле. Это сравнение приведено в таблице 6. Из таблицы видно, что согласие между теоретическими и экспериментальными значениями имеется для Tb . Тем не менее, таблица не позволяет сделать вывод о действительном отступлении от расчетных значений γ , так как наблюдаемое различие может быть вызвано либо аппаратными эффектами (Rh), либо малой статистикой резонансов. Более подробно это рассмотрено в диссертации.

x x
x

Перечислим основные итоги работ, описанных в диссертации.

1. На базе импульсного реактора ИБР создан спектрометр времени пролета для исследования полных эффективных сечений взаимодействия резонансных нейтронов с атомными ядрами. При этом был разработан первый в Советском Союзе жидкостный детектор

медленных нейтронов большой площади и высокой эффективности /П/. Существенной частью этого этапа работ явилось изучение свойств ИБРа как источника нейтронов. Изучение импульсов ИБРа позволило обосновать методы обработки данных и проверить правильность реакторных расчетов. Часть результатов нашла применение в практике эксплуатации реактора (обоснование нового метода абсолютной калибровки мощности).

2. Были разработаны методы математической обработки результатов с помощью электронно-вычислительной машины. Особое внимание обращено на статистический анализ непосредственных данных аппаратуры.

3. Были проведены измерения кривых пропускания для образцов из Rh , Pr , Tb , Yb и кривые выхода γ -лучей радиационного захвата на образцах из естественного Yb и из изотопов Yb . Эти измерения позволили получить ряд новых данных о резонансах, в том числе впервые провести изотопическую идентификацию резонансов Yb и определить параметры этих резонансов.

4. Совместный анализ данных о пропускании данных о радиационном захвате и упругом рассеянии нейтронов дал возможность уменьшить экспериментальные ошибки и определить спины резонансов Rh , Tb и Pr .

5. По данным о параметрах резонансов определены средние параметры ядер (силовые функции, средние расстояния между резонансами, средние радиационные ширины). Изучены формы распределений приведенных нейтронных ширин. Обнаружено, что распределения приведенных нейтронных ширин резонансов Tb^{159} , Yb^{171} и Yb^{173} описываются законом Портера-Томаса, а распределения приведенных нейтронных ширин Rh^{103} и Pr^{141} не согласуются с законом Портера-Томаса.

6. По данным о средних расстояниях между резонансами Yb^{171} и Yb^{173} сделана оценка параметра σ , определяющего зависимость плотности уровней от спина в формуле плотности уровней, основанной на модели Ферми-газа.

7. Сравнение числа резонансов со спином $1+\frac{1}{2}$ с числом резонансов со спином $1-\frac{1}{2}$ Tb^{159} позволило подтвердить правильность предсказаний упомянутой формулы плотности уровней о зависимости числа уровней в данном энергетическом интервале от спина. Аналогичные данные о резонансах Rh^{103} и Pr^{141} расходятся с предсказаниями теории. В случае Rh разногласие можно объяснить "неравноправием" уровней со спином 0 и 1 по отношению к возможности экспериментального определения спина.

x x
x

Проведенный цикл исследований на спектрометре резонансных нейтронов с ИБРом показал, что он является вполне работоспособным и позволяет получать новые данные и решать актуальные задачи нейтронной спектрометрии. Осуществленный в 1964–65 г. г. подъем мощности реактора до 6 квт увеличил темп получения данных. Благодаря этому увеличилась ценность спектрометра.

Однако в настоящее время совершенно ясна необходимость улучшения параметров спектрометра. В первую очередь это относится к разрешению спектрометра. Более высокое разрешение позволит расширить область исследований, увеличить число изучаемых резонансов для данного ядра, и благодаря этому появится возможность более надежных заключений о средних параметрах и о статистических свойствах резонансов. Для спектрометра на ИБРе единственным радикальным решением вопроса об улучшении разрешения является перевод реактора в режим размножителя при "вспрыскивании" нейтронов короткими импульсами от другого источника. По предложению Ф.Л. Шапиро в ЛНФ проводятся работы по сопряжению ИБРа с микротроном. Опыты показали, что в такой комбинации реально сокращение импульса до 1–2 мксек при средней мощности порядка 100–200 вт. Это позволяет повысить разрешение спектрометра примерно в 20 раз. В настоящее время работы с микротроном находятся в стадии пуска физических экспериментов. Здесь уместно упомянуть, что для работ с микротроном желательно создание нейтронных детекторов с большей площадью, чем у существующего детектора. Возможные пути решения этой задачи отмечены в диссертации.

Следует указать и на некоторые возможные пути расширения фронта исследований резонансов. Как видно из предыдущего, анализ данных о резонансах дает гораздо более определенный материал, если идентификация четности резонансов будет проводиться более однозначно и если будут определяться спины не только наиболее сильных резонансов, но и большинства слабых резонансов. Для этих целей можно рекомендовать изучение спектров γ -лучей радиационного захвата с помощью полупроводниковых детекторов γ -излучения, которые, как известно, сочетают в себе разрешение, близкое к разрешению магнитных спектрометров, с принципиальной возможностью получения высоких эффективностей счета. Универсальным методом определения спинов резонансов является использование поляризованных пучков резонансных нейтронов. В Лаборатории нейтронной физики ведутся работы по развитию обоих указанных методов. Отметим, что для получения поляризованных пучков резонансных нейтронов по предложению Ф.Л. Шапиро применяется пропускание нейтронов через поляризованные водородосодержащие фильтры.

Проведение комплекса мероприятий по увеличению разрешения спектрометра и внедрению новых экспериментальных методов значительно расширит область исследований на ИБРе.

Основной материал диссертации опубликован в следующих работах:

- I. Г.Е. Блохин, Д.И. Блохинцев, Ю.А. Блюмкина, И.И. Бондаренко, Б.Н. Дерягин, А.С. Займовский, В.П. Зиновьев, О.Д. Казачковский, Ким Хен Бон, Н.В. Краснов, А.И. Лейпунский, В.А. Малых, П.М. Назаров, С.К. Николаев, Ю.Я. Стависский, Ф.И. Украинцев, И.М. Франк, Ф.Л. Шапиро, Ю.С. Язвницкий. "Physics of Fast and Intermediate Reactors", p.399 (1962) Vienna.
- II. И.Визи, Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, Э.Н. Каржавина, Л.Б. Пикельнер, А.Б. Попов, Э.И. Шарапов, Ю.С. Язвницкий "Nuclear Electronics" I p. 27 (1962) Vienna.
- III. Люй Минь, Е.П. Шабалин, Ю.С. Язвницкий "Атомная энергия" 13, 152 (1962).
- IV. Ван Най-янь, И.Визи, В.Н. Ефимов, Э.Н. Каржавина, Ким Хи Сан, А.Б. Попов, Л.Б. Пикельнер, М.И. Пштула, Т. Стадников, Чен Лин-янь, Э.И. Шарапов, И.И. Шелонцев, Н.Ю. Ширикова, Ю.С. Язвницкий. ЖЭТФ 45, 1745 (1963).
- V. Ван Най-янь, Н.Илеску, Э.Н. Каржавина, Ким Хи Сан, А.Б. Попов, Л.Б. Пикельнер, Т. Стадников, Э.И. Шарапов, Ю.С. Язвницкий. ЖЭТФ 47, 43 (1963).

Л и т е р а т у р а

1. И.И. Бондаренко, Ю.Я. Стависский. "Атомная энергия" 7, 417 (1959). Препринт ОИЯИ № 856 Дубна (1962).
2. Bollinger L., J. Thomas. Rev Sci. Instr., 28, 489 (1957).
3. C. Corge, V. Huynh et al. Journ. Phys. Rad., 22, 719 (1961).
4. Л.Б. Пикельнер, Н.И. Пштула и др. ПТЭ № 2, стр. 48, стр. 51 (1963).
5. Moxon M.C., E.K. Rae. "Neutron Time of Flight Methods" 412, Brussel, 1961.
6. J.D. Hughes, P.R. Schwartz. ENZ-325 (1958).
7. J.D. Garrisson, B.W. Roos. Nucl. Science and Eng., 12, 115 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 ноября 1965 г.

Таблица 1.

Данные о резонансах родия Rh^{103} .

E_0 (эВ)	σ_n (мэВ)	Γ (мэВ) \downarrow	Γ_γ	Другие авторы \downarrow [5] σ_n [6]	
1,257					0,39 \pm 0,005
34,3 \pm 0,1	0,011 \pm 0,002				
46,7 \pm 0,1	0,37 \pm 0,03	155 \pm 16	155 \pm 16		0,28 \pm 0,03
69,3 \pm 0,2	0,15 \pm 0,01				0,12 \pm 0,02
95,5 \pm 0,4	1,7 \pm 0,1	150 \pm 15	0	143 \pm 15	0 1,65 \pm 0,45
98,4 \pm 0,4	0,06 \pm 0,02				
110,7 \pm 0,5	0,12 \pm 0,02				
114,0 \pm 0,5	0,10 \pm 0,02				
125,3 \pm 0,6	6,1 \pm 0,4	175 \pm 15	1	167 \pm 15	1,9 \pm 0,7
154,5 \pm 0,6	46 \pm 5	280 \pm 30	0	96 \pm 36	55 \pm 5
178,7 \pm 1	0,10 \pm 0,03				
187,0 \pm 1	30 \pm 2	182 \pm 10	1	142 \pm 13	1 28 \pm 4
205 \pm 1,1	0,20 \pm 0,05				
253,7 \pm 1,6	20 \pm 1,5	190 \pm 20	1	163 \pm 21	23 \pm 9
263 \pm 1,7	1,5 \pm 0,4				
272,5 \pm 1,8	41 \pm 3	300 \pm 15	0	136 \pm 20	
290,2 \pm 1,9	11 \pm 1	160 \pm 40	0	116 \pm 40	
320,7 \pm 2,3	57 \pm 10	380 \pm 50	0	152 \pm 63	

Таблица 2.

Резонансы празеодима Pr^{141} .

E_0 эВ	σ_n мэВ	Γ_γ мэВ	Данные др. авторов Γ_γ [6] Γ_γ [3]	
50,5 \pm 0,2	0,030 \pm 0,005			
85,1 \pm 0,2	3,2 \pm 0,4	80 \pm 20	150 \pm 30	73 \pm 12
112,0 \pm 0,3	0,23 \pm 0,03			
216,7 \pm 0,8	570 \pm 40	71 \pm 15	3	340 \pm 210
234 \pm 1	460 \pm 25	93 \pm 15	(3)	370 \pm 150
359 \pm 2	790 \pm 50	60 \pm 15	3	
384 \pm 3	27 \pm 4	125 \pm 30		
411 \pm 5	1,2 \pm 0,2			
470 \pm 5	1,7 \pm 0,3			
515 \pm 4	380 \pm 25	75 \pm 15	3	
631 \pm 5	1200 \pm 50	107 \pm 20		
718 \pm 6	1200 \pm 60	68 \pm 15		
839 \pm 7	2200 \pm 100	83 \pm 15	3	
942 \pm 8	1470 \pm 70	107 \pm 20	2	

Таблица 3.

Параметры резонансов тербия ¹⁶⁰.

E ₀ эВ	εΓ _n мЭВ	Γ _y мЭВ	J	Данные работы [3]	
				E ₀ эВ	εΓ _n мЭВ
3,340±0,005	0,21±0,02	80±10	2	3,35±0,03	0,21±0,03
4,98±0,01	0,032±0,003		1	4,99±0,05	0,028±0,004
11,05±0,02	5,0±0,2	87±6	2	11,14±0,1	4,6±0,9
14,38±0,03	0,084±0,008			14,4±0,2	0,27±0,06
21,20±0,05	0,62±0,06			21,4±0,2	1,1±0,1
24,6±0,07	2,7±0,2	76±11	2	24,7±0,3	2,6±0,4
27,6±0,08	0,47±0,05			27,8±0,3	0,45±0,06
33,9±0,11	1,4±0,2	81±15	1	34,1±0,4	1,6±0,4
40,7±0,15	0,29±0,05				
43,7±0,17	2,5±0,2	76±16	2	44,2±0,6	2,8±0,4
46,1±0,18	6,7±0,5	89±11	2	46,6±0,6	7,5±1,5
50,3±0,20	1,3±0,3			51,1±0,7	1,9±0,4
51,6±0,20	0,54±0,07				
54,2±0,23	0,30±0,05			54,9±0,7	0,8±0,3
57,3±0,25	0,66±0,07				
58,7±0,25	0,85±0,15			58,7±0,8	2,3±0,6
65,5±0,30	5,0±0,5	92±20			
66,8±0,30	1,2±0,1			66,1±1,1	7,5±2
74,0±0,35	8,5±0,6	87±16	2	74,6±1,3	10±3
76,8±0,4					
78,0±0,4				78,2±1,4	7,5±2
88,8±0,5	1,8±0,2				
90,6±0,5	3,8±0,3				
97,5±0,5	14±1	103±14	1		

Таблица 4.

Параметры резонансов изотопов иттербия.

№ ПП	E ₀ эВ	Изотоп	Γ мЭВ	εΓ _n мЭВ	2εΓ _n ⁰
2.	8,13±0,02	I71		0,49±0,06	0,34±0,04
3.	8,85±0,04	I71		0,025±0,010	0,017±0,007
4.	13,13±0,07	I71	93±10	2,5±0,1	1,38±0,06
5.	21,8±0,1	I71		0,19±0,03	0,081±0,013
6.	28,2±0,1	I71	70±10	1,8±0,1	0,68±0,04
7.	34,7±0,2	I71		3,8±0,8	1,3±0,3
8.	41,5±0,2	I71	168±70	7,2±0,7	2,2±0,2
9.	46,5±0,3	I71		0,90±0,15	0,26±0,04
10.	53,2±0,3	I71		5±1	1,4±0,3
11.	54,4±0,3	I71		16±3	4,3±0,8
12.	60,4±0,4	I71	143±36	4,3±0,3	1,10±0,08
13.	65,0±0,4	I71		7±1	1,74±0,25
14.	77,3±0,6	I71		11±2	2,5±0,5
15.	82,6±0,6	I71		2,4±0,3	0,53±0,07
16.	84,7±0,7	I71		2,5±0,4	0,54±0,09
17.	96,1±0,8	I71		3,0±0,4	0,61±0,08
18.	108±1	I71		37±7	7,1±1,4
19.	113±1	I71		14±3	2,6±0,5
20.	128±1,2	I71		20±5	3,5±0,9
21.	141±1,4	I71		10±2	1,7±0,3
22.	147±1,5	I71		7±2	1,2±0,3
23.	4,53±0,01	I73		0,082±0,009	0,077±0,008
24.	17,80±0,07	I73	100±10	14±1	6,6±0,5
25.	31,6±0,15	I73	165±14	36±3	12,8±1,1
26.	35,8±0,2	I73		24±4	8,0±1,3
27.	45,5±0,2	I73	104±16	15±1,4	4,4±0,4
28.	53,8±0,3	I73		6,6±1,2	1,8±0,3

№ п/п	E_0 эВ	Изотоп	Γ МэВ	$2\Gamma_n$ МэВ	$2\sigma_{\Gamma_n}^0$ МэВ
29.	59,0±0,4	I73	I4I±65	4,0±0,7	I,0±0,2
30.	66,7±0,5	I73	I43±24	I5,6±I,2	3,8±0,3
3I.	69,I±0,5	I73		5,3±0,7	I,3±0,2
32.	74,8±0,6	I73		4,I±0,7	0,95±0,I2
33.	76,7±0,6	I73		I8±3	4,I±0,7
34.	97,5±0,8	I73		6,4±0,8	I,3±0,2
35.	I06±I	I73		26±5	5±I
36.	I12±I	I73		5,4±0,8	I±0,2
37.	I25±I,2	I73		9,4±I,4	I,7±0,2
38.	I30±I,2	I73		I3,6±I,8	2,4±0,3
39.	40,3±0,2	I70	306±46	I97±I4	3I±2
40.	73,2±0,5	I70		77±I2	9,0±I,4
4I.	22,6±0,I				
42.	I4I±I,5	I72			

Таблица 5.

Усредненные характеристики резонансов ядер
(по данным таблиц I±4)

Ядро-мишень	Средняя радиационная ширина $\langle \Gamma_y \rangle$ МэВ	Силовая функция $s_0 \cdot 10^4$	Силовая функция $s_1 \cdot 10^4$	Среднее расстояние между резонансами D эВ
^{103}Rh	I48±I0	0,46±0,I8	I,8±I,4	I7±4
^{141}Pr	8I±6	3,6±I,4		64±I3
^{159}Tb	86±4	0,9±0,3		4,2±0,6
^{171}Yb	84±II	I,I±0,4		5,8±I,5
^{173}Yb	77±7	2,4±0,9		8,5±I,3

Таблица 6.

Данные о числе резонансов с измеренными значениями спина.

Ядро-мишень	Спин ядра-мишени	Число резонансов		Отношение τ	
		со спином I-½	со спином I+½	эксперимент	по форм.
^{103}Rh	I/2	5	3	5/3	I/3
^{159}Tb	3/2	3	6	3/6	3/5
^{141}Pr	5/2	I	4(5)	I/4(I/5)	5/7

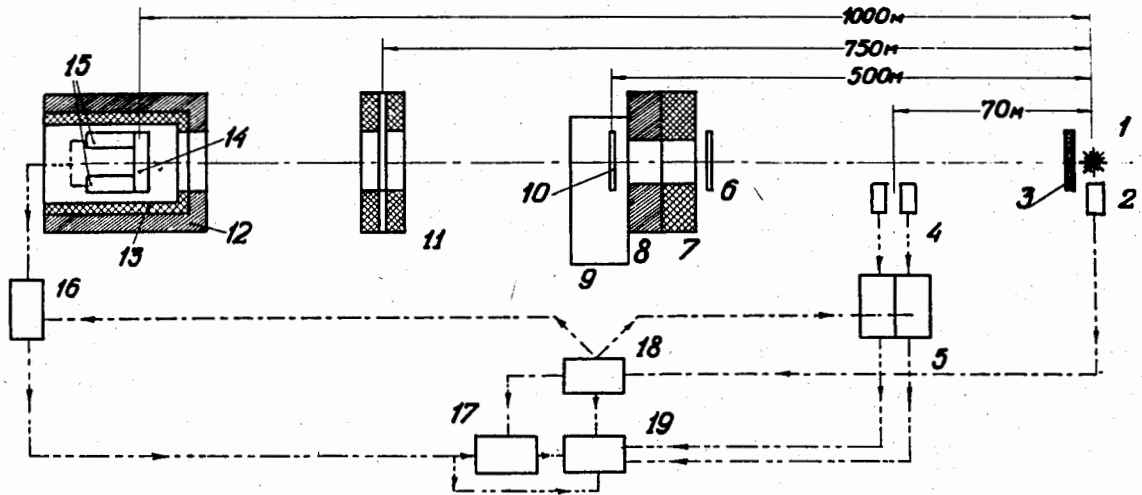


Рис. 1. Общая схема установки для измерения полных эффективных сечений взаимодействия медленных нейтронов с атомными ядрами. 1 - активная зона реактора ИБР; 2 - датчик стартовых импульсов; 3 - замедлитель; 4 - счетчики мониторов; 5 - электронная аппаратура мониторов; 6 - борный фильтр; 7 - коллиматор из парафина и бора; 8 - свинцовый коллиматор; 9 - аппаратура дистанционного перемещения образцов; 10 - исследуемый образец; 11 - коллиматор из парафина с карбидом бора; 12 - контейнер нейтронного детектора; 15 - фотоумножители; 16 - электронная аппаратура нейтронного детектора; 17 - временной анализатор^{х)}; 18 - блок распределения стартовых импульсов; 19 - пересчетные схемы и нумераторы. Штрихами с одной точкой обозначены коммуникации стартовых импульсов; штрихами с двумя точками - коммуникации импульсов детектора и мониторов.

х) В работе использовался 1000-канальный анализатор, изготовленный под руководством Маталина Л.И. (ПТЭ № 3, 54 (1960)).

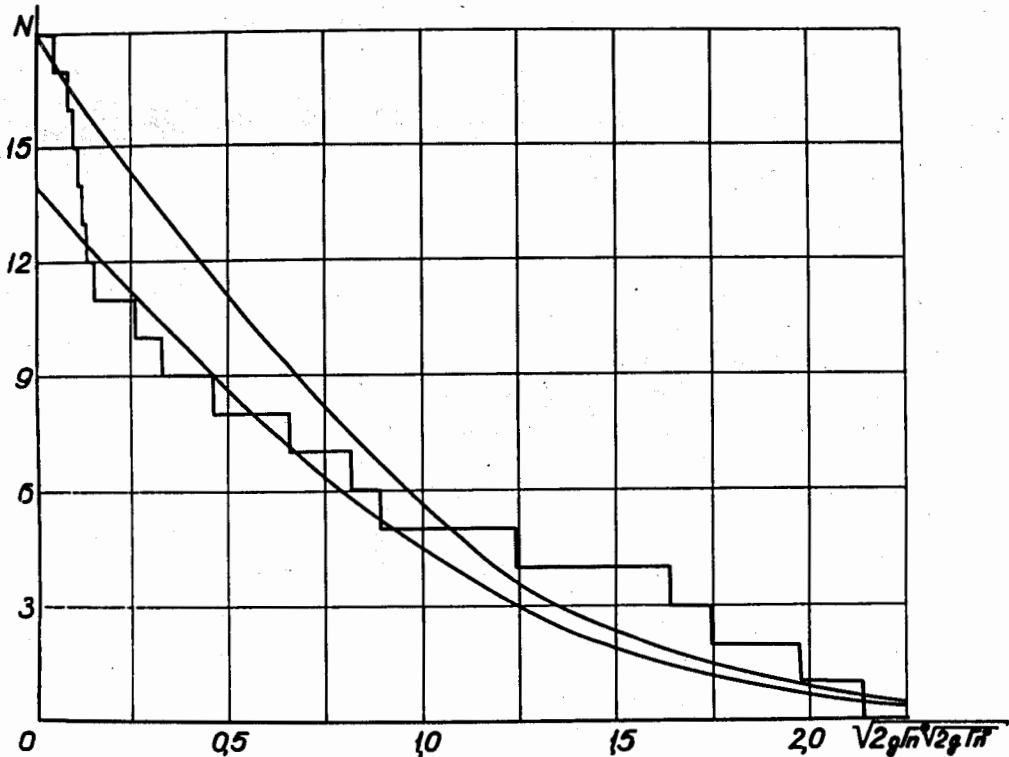


Рис. 2. Распределение приведенных нейтронных ширин резонансов Rh^{103} . Гладкие кривые построены по закону Портера-Томаса и нормированы на полное число резонансов 14 и 18 соответственно.

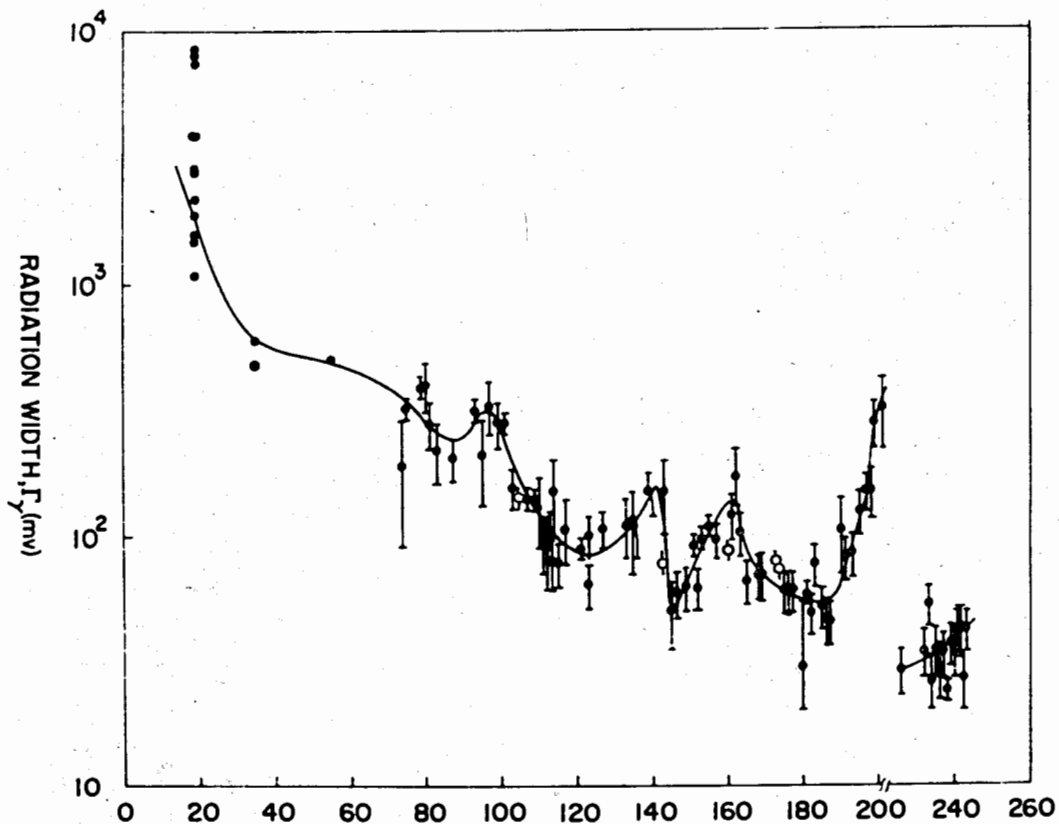


Рис. 3. Данные о средних радиационных ширинах ядер. Рисунок заимствован из работы [7]. Наши данные изображены светлыми кружочками.