

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С341.26

A-406

25/11-78

P3 - 11740

Г.Г.Акопян, В.А.Вагов, К.Зайдель, А.Майстер,
Д.Пабст, Л.Б.Пикельнер, Ш.Салаи

5628 / 2 - 78

ИЗОМЕРНЫЙ СДВИГ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

1. Измерения с разными химическими соединениями

^{238}U

1978

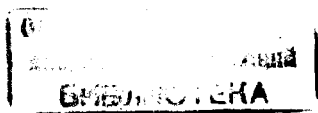
РЗ - 11740

Г.Г.Акопян, В.А.Вагов, К.Зайдель, А.Майстер,
Д.Пабст, Л.Б.Пикельнер, Ш.Салаи

ИЗОМЕРНЫЙ СДВИГ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

1. Измерения с разными химическими соединениями

238U



Акопян Г.Г. и др.

РЗ - 11740

Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. 1. Измерения с разными химическими соединениями ^{238}U

На импульсном реакторе ИБР-30 методом времени пролета измерены спектры пропускания различных соединений ^{238}U с целью обнаружения изомерного сдвига нейтронных резонансов. Предлагаемая работа, являющаяся первой из серии статей, описывает связанные с этим физические проблемы, метод измерения, способ обработки данных, а также первые результаты по экспериментальному определению сдвигов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Akopyan G.G. et al.

РЗ - 11740

The Isomer Shift of Neutron Resonances.
1. Measurements on Various compounds of ^{238}U

Employing the time-of-flight method, the recently predicted isomer shift of neutron resonances has been searched for in various compounds of ^{238}U by precisely measuring their transmission spectra at the IBR-30 pulsed reactor. The present paper, to be regarded as the first of a series of articles, describes the physical problems involved, the pertinent techniques of measuring and data analyzing, as well as first results on the resonance shifts experimentally determined.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1973 году Игнатович, Останевич и Чер предложили ^{/1/} использовать электрическое сверхтонкое взаимодействие электронов с ядром для определения изменения среднеквадратичного радиуса высоковозбужденных состояний ядер путем измерения сдвигов нейтронных резонансов в разных химических соединениях, в которых находится рассматриваемое ядро. Для сдвига резонанса вследствие электрического сверхтонкого взаимодействия - изомерного сдвига - хорошим приближением является выражение:

$$\Delta E_0^{\text{IS}} = \frac{1}{6\epsilon_0} e^2 Z \Delta |\Psi_e(0)|^2 \Delta \langle r^2 \rangle, \quad /1/$$

где $\Delta |\Psi_e(0)|^2$ обозначает разность плотности электронов на месте ядра между двумя рассматриваемыми химическими соединениями, а $\Delta \langle r^2 \rangle$ - изменение среднеквадратичного радиуса ядра при захвате нейтрона. Ожидаемый сдвиг весьма мал /порядка сотен мкэВ/, но недавно магнитное сверхтонкое взаимодействие электронов атома с ядром было успешно использовано в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ для определения магнитных моментов высоковозбужденных состояний ядер ^{/2/}. При этом были развиты методы, позволяющие при помощи спектроскопии нейтронов по времени пролета на пучке быстрого импульсного реактора обнаружить энергетические сдвиги нейтронных резонансов на десятки мкэВ, что на несколько порядков меньше, чем ширины резонансов.

Предлагаемая работа является первой из статей, излагающих результаты поиска изомерного сдвига нейтронных резонансов. В ней описывается измерение и обработка данных для разных химических соединений естественного урана. Уран обладает несколькими благоприятными для таких измерений свойствами. К ним относятся большой ядерный заряд Z и наличие соединений разных валентностей /т.е. $\Delta|\Psi_e(0)|^2$ будет относительно велико/. Кроме того, учитывая большой параметр деформации урана, можно ожидать, что и $\Delta\langle r^2 \rangle$ будет иметь приемлемое значение. Наконец, наличие низкоэнергетических резонансов способствует обнаружению малых изомерных сдвигов методом времени пролета.

Одна из главных трудностей измерения изомерного сдвига, кроме малости эффекта, возникает из-за того, что различие кристаллических решеток у разных химических соединений приводит к изменению формы резонанса. Этой проблеме, а также вопросам плотности электронов на месте ядра посвящены работы /3,4/.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение спектра нейтронов, прошедших через исследуемые образцы, проводилось на пучке импульсного реактора ИБР-30, работавшего в бустерном режиме с линейным электронным ускорителем ЛУЭ-40 /5/. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

Для накопления спектров, управления сменой образцов и оперативного контроля хода эксперимента использовалась малая вычислительная машина ТРА-1 /6/. Чтобы обеспечить одинаковые экспериментальные условия, измерение велось с тремя мишенями, вводимыми в пучок поочередно на 5 минут. Каждый пятиминутный спектр контролировался по показаниям пучкового монитора и счетчика стартовых импульсов и при выполнении заданных условий постоянства добавлялся к хранящемуся в памяти ЭВМ спектру данного образца. После этого в пучок автоматически вводился следующий образец.

Для регистрации нейтронов использовался сцинтилляционный детектор с литиевым стеклом и фотоумножи-

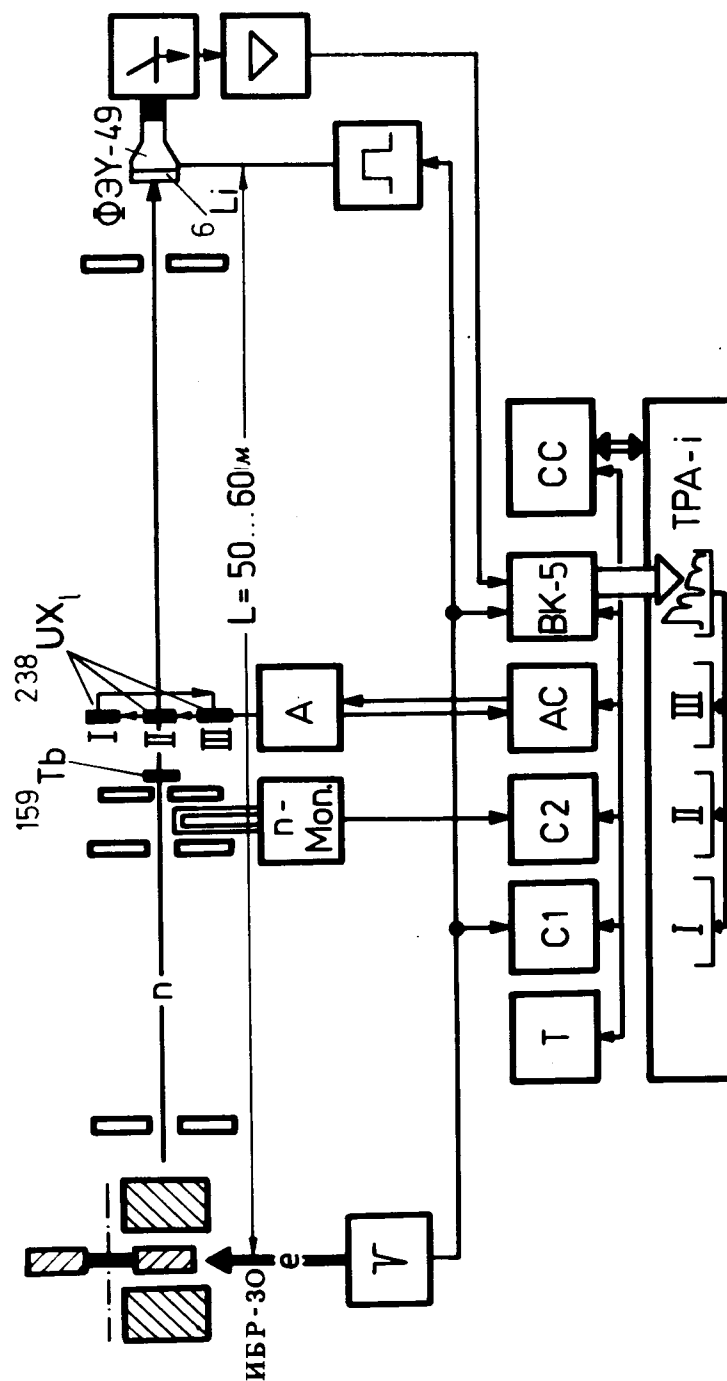


Рис. 1. Схема эксперимента. I, II, III - образцы из трех разных химических соединений урана и принадлежат к разным спектрам по времени пролета; Т - таймер, С1 и С2 - счетчики, А и АС - блоки управления для смены образцов, ВК-5 - временной кодировщик, СС - контроллер каркаса КАМАК.

телем ФЭУ-49. Весь тракт регистрации нейтронов обеспечивал возможность работы при мгновенных нагрузках до $3 \cdot 10^5$ имп/с, что было необходимо для получения достаточно высокой статистической точности спектров.

В пучке постоянно находился образец из тербия, резонансы которого служили для объективного контроля временных спектров. На рис. 2 показан один из спектров, полученных за 10 часов измерения, во время которого накапливались три разных спектра.

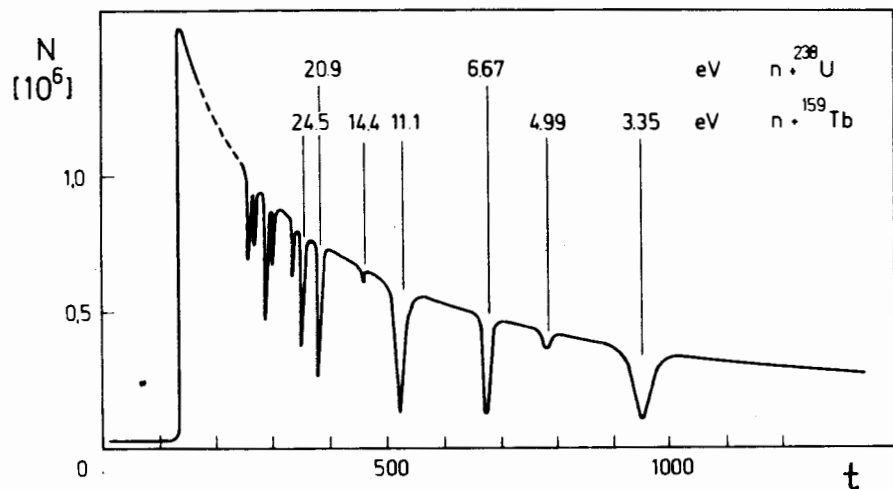


Рис. 2. Экспериментальный спектр одного образца, полученный за 10 часов измерения. t - номер временного канала с шириной 2 мкс, N - число отсчетов.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ.

Полуширина резонанса 6,67 эВ занимает примерно 15 каналов, а ожидаемые сдвиги резонанса - порядка сотых долей канала, поэтому требуется специальная процедура выделения такого сдвига. Обработка спектров по времени пролета производилась так, что в за-

данном диапазоне каналов от t_1 до t_2 соответствующие друг другу резонансы двух образцов подгонялись по методу наименьших квадратов с использованием трех или четырех параметров. Подгонка проводилась по формулам

$$N'_{II} = A [N_{II}(t + \Delta t) + N_B], \quad /2a/$$

$$N'_{II} = A \left[\int_{-\infty}^{+\infty} N_{II}(t + \Delta t + x) \exp\left(\frac{-x^2}{2S^2}\right) / (\sqrt{2\pi} S) dx + N_B \right], \quad /2б/$$

$$\chi^2 = \sum_{t=t_1}^{t_2} \frac{[N_I(t) - N'_{II}(t)]^2}{N_I(t) + N_{II}(t)} \rightarrow \text{Min.}, \quad /2в/$$

где $N_I(t)$, $N_{II}(t)$ обозначают спектры сравниваемых образцов, а Δt - искомый сдвиг резонансов. Параметры A и N_B учитывают небольшие различия в суммарном потоке нейтронов и фоне сравниваемых спектров. В основном обработка проводилась с использованием выражения /2а/. Как показали результаты расчетов с /2б/, введение дополнительного параметра S , учитывающего возможное уширение резонансной кривой, практически не влияет на величину сдвига Δt и лишь немного уменьшает величину χ^2 . Следует отметить, что параметры A , N_B и S , между которыми имеется значительная корреляция, очень слабо коррелируют с Δt .

Резонансы реперного образца ^{159}Tb с энергией 3,35; 11,1 и 24,5 эВ обрабатывались так же, как и резонансы ^{238}U .

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 изображены некоторые распределения значений Δt , полученных для резонанса урана 6,67 эВ из измерений с несколькими соединениями и для резонанса 11,1 эВ реперного образца тербия. Там же указаны диапазоны подгонки $t_2 - t_1$ для резонанса урана. Распределение значений Δt для ^{159}Tb позволяет оценить точность измерения и обработки. Указаны средние значения сдвига и их статистические ошибки. Ока-

зывается, что использованный метод измерения и обработки является достаточно чувствительным, чтобы четко обнаружить сдвиги порядка 100 мкэВ.

Таблица содержит средние значения сдвига Δt и соответствующие статистические ошибки, полученные при подгонке в указанных диапазонах каналов. Значения Δt исправлены на сдвиг реперных резонансов ^{159}Tb .

Энергетический сдвиг ΔE эВ связан с временным сдвигом Δt мкс соотношением

$$\Delta E = 2,77 \cdot 10^{-2} E^{3/2} \Delta t / L,$$

где L - длина пролетной базы в м.

Значения Δt в табл. отличаются друг от друга в зависимости от заданного диапазона подгонки. Это свидетельствует о том, что форма резонансов в различных образцах действительно не вполне одинакова, так как искомый изомерный сдвиг должен быть независим от диапазона подгонки. Как уже отмечено выше, подробное обсуждение вопросов о влиянии кристаллической структуры на форму резонанса и значения изомерного сдвига будет приведено в последующих работах данного цикла. Здесь отметим, что наблюдаемое поведение Δt удовлетворительно описывается при использовании достаточно простой модели кристалла. Это позволяет ожидать, что изомерный сдвиг можно будет выделить или получить его верхнюю оценку, если он мал.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить И.М.Франка и В.И.Лущикова за интерес к работе.

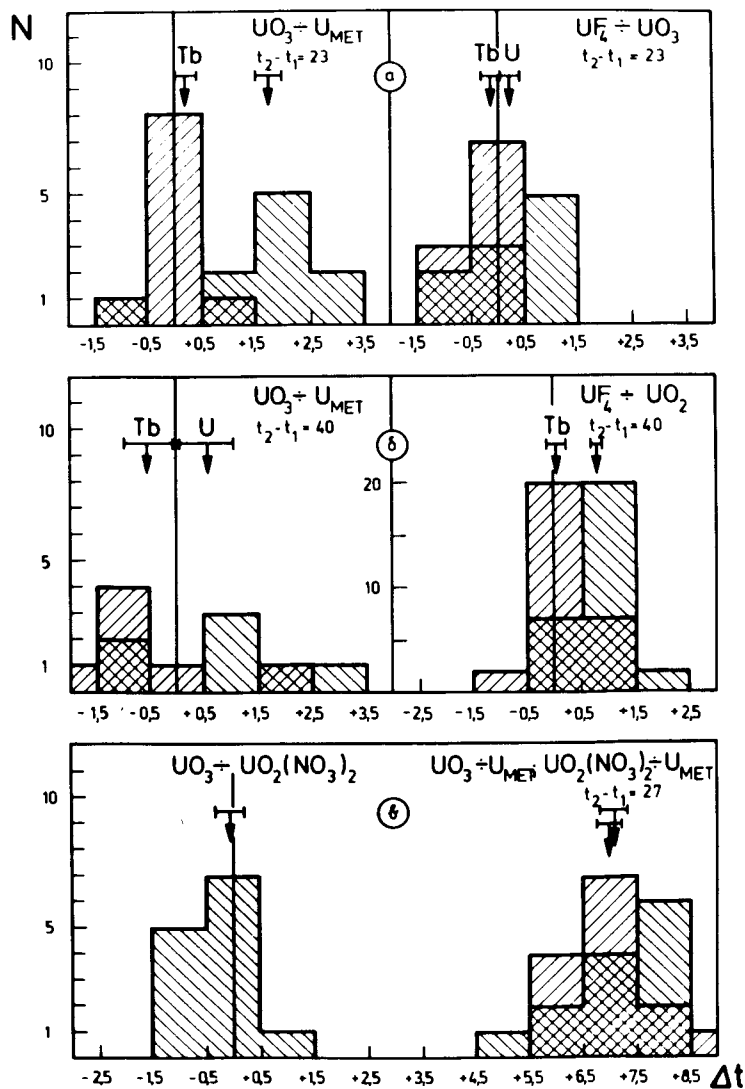


Рис. 3. Распределение экспериментальных значений сдвигов Δt резонанса ^{238}U 6,67 эВ / между указанными соединениями в обозначенном диапазоне каналов / и резонанса ^{159}Tb 11,1 эВ при измерениях с продолжительностью 10 часов / Δt в единицах 10^{-2} канала / а / Толщина образцов - $0,552 \cdot 10^{21}$ ядер/см²; температура образцов - комнатная / -290 К /; пролетная база - 55 м; ширина временного канала - 2,0 мкс. б / Толщина образцов - $0,552 \cdot 10^{21}$ ядер/см²; температура образцов - 374 К; пролетная база - 64 м; ширина временного канала - 2,0 мкс. в / Толщина образцов - $1,19 \cdot 10^{21}$ ядер/см²; температура образцов - комнатная / -293 К /; пролетная база - 60 м; ширина временного канала - 2,5 мкс.

Таблица

Сдвиг резонанса ^{238}U 6,67 эВ при различных диапазонах подгонки в единицах каналов. / Экспериментальные условия сверху вниз такие же, как а, б, в на рис. 3/.

Пара образ- цов	Диапазоны подгонки					
	$t_2 - t_1 = 23$	$t_2 - t_1 = 14$	$t_2 - t_1 = 10$	$t_2 - t_1 = 8$	$t_2 - t_1 = 6$	
$\text{UO}_3 \div \text{U MET.}$	$0,0164 \pm 0,0027$	$0,0099 \pm 0,0028$	$-0,0050 \pm 0,0031$	-	$-0,0156 \pm 0,0047$	
$\text{UF}_4 \div \text{UO}_3$	$0,0043 \pm 0,0020$	-	$0,0089 \pm 0,0023$	$0,0092 \pm 0,0026$	$0,0021 \pm 0,0031$	
$\text{UO}_3 \div \text{U MET.}$	$t_2 - t_1 = 40$	$t_2 - t_1 = 17$	$t_2 - t_1 = 11$	$t_2 - t_1 = 10$	$t_2 - t_1 = 7$	
$\text{UF}_4 \div \text{UO}_2$	$0,0113 \pm 0,0029$	$0,0033 \pm 0,0030$	$-0,0101 \pm 0,0033$	$-0,0039 \pm 0,0036$	$-0,0166 \pm 0,0061$	
	$0,0101 \pm 0,0015$	-	$-0,0007 \pm 0,0017$	$-0,0052 \pm 0,0019$	$-0,0143 \pm 0,0031$	
$\text{UO}_3 \div \text{U MET.}$	$t_2 - t_1 = 30$	$t_2 - t_1 = 27$	$t_2 - t_1 = 20$	$t_2 - t_1 = 12$	$t_2 - t_1 = 8$	
$\text{UO}_2 (\text{NO}_2) \div \text{U MET.}$	$0,0650 \pm 0,0020$	$0,0697 \pm 0,0019$	$0,0653 \pm 0,0025$	$0,0411 \pm 0,0021$	$0,0196 \pm 0,0027$	
$\text{UO}_3 \div \text{UO}_2 (\text{NO}_2)$	$0,0699 \pm 0,0025$	$0,0708 \pm 0,0026$	$0,0661 \pm 0,0023$	$0,0426 \pm 0,0025$	$0,0218 \pm 0,0030$	
	$-0,0015 \pm 0,0025$	$-0,0008 \pm 0,0023$	$-0,0024 \pm 0,0023$	$-0,0028 \pm 0,0025$	$-0,0034 \pm 0,0035$	

Выражаем свою благодарность Д.Зеелигеру за полезные обсуждения результатов работы, П.Экштейну - за предоставление электронных приборов, З.Экштейн - за помощь при обработке данных, а также Х.Брухерт-зайферу - за приготовление соединения UF_4 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатович В.К., Останевич Ю.М., Чер Л. ОИЯИ, Р4-7296, Дубна, 1973.
2. Алфименков В.П. и др. ОИЯИ, РЗ-6611, Дубна, 1972.
3. Зайдель К. и др. ОИЯИ, РЗ-11741, Дубна, 1978.
4. Зайдель К., Майстер А., Пабст Д. ОИЯИ, РЗ-11742, Дубна, 1978.
5. Голиков В.В. и др. ОИЯИ, З-5736, Дубна, 1971.
6. Салаи Ш. ОИЯИ, 10-10027, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1978 года.