

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУ1.25
А-537

У/к-74

РЗ - 8004

3934/2-74

В.П.Алфименков, В.А.Вагов, В.Н.Замрий, Л.Ласонь,
Ю.Д.Мареев, О.Н.Овчинников, Л.Б.Пикельнер, Ш.Салаи,
Э.И.Шарапов

МАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ
ДИСПРОЗИЯ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P3 - 8004

В.П.Алфименков, В.А.Вагов, В.Н.Замрий, Л.Ласонь,
Ю.Д.Мареев, О.Н.Овчинников, Л.Б.Пикельнер, Ш.Салаи,
Э.И.Шарапов

МАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ
ДИСПРОЗИЯ

Направлено в Physics Letters

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Несколько лет назад Ф.Л.Шапиро ^{/1,2/} был предложен метод измерения магнитных моментов компаунд-состояний ядер, возбуждаемых при захвате резонансных нейтронов. Было показано, что магнитные моменты компаунд-состояний ядер можно определить, измеряя в экспериментах с поляризованными нейтронами или поляризованными ядрами энергетические сдвиги нейтронных резонансов, возникающие за счет сверхтонкого взаимодействия. В случае поляризованных ядер сдвиг ΔE -резонанса по отношению к резонансу, наблюдаемому при отсутствии поляризации, составляет

$$\Delta E = -f_N H \left\{ \left[1 - \frac{1}{(2I+1)(I+1)} \right] m_J - m_I \right\} \quad (J = I + 1/2)$$

$$\Delta E = -f_N H (m_J - m_I) \quad (J = I - 1/2).$$

Здесь H - магнитное поле на ядре, f_N - ядерная поляризация, I и J - спины ядра-мишени и компаунд-ядра, m_I и m_J - магнитные моменты соответствующих состояний. Ожидаемый сдвиг для $f_N = 1$, $m_J - m_I = 1 \text{ нм} / \text{нм}$ - ядерный магнетон/ даже при использовании сверхтонкого магнитного поля на ядре $H = 10^7$ Э составляет всего 30 мкэВ. Это предъявляет очень высокие требования к точности эксперимента, поскольку ширины резонансов обычно имеют порядок 0,1 эВ.

Первые экспериментальные данные о m_J были получены для двух резонансов ^{167}Er в Брукгейвской лаборатории ^{/3/} и в Дубне ^{/4/}. В настоящей работе в качестве объекта исследований был выбран Dy , имеющий несколько удобных для исследований резонансов и большую величину сверхтонкого поля. При температуре ниже 87К металлический Dy ферромагнитен с $H = 5,2 \cdot 10^6$ Э, ^{/5/}, что

позволяет получать ядерную поляризацию внутри доменов путем охлаждения образца без приложения внешнего магнитного поля. Отсутствие средней по всей мишени поляризации упрощает наблюдение сдвига резонансов, так как при этом не меняется форма кривой пропускания. По методу времени пролета измерялось пропускание нейтронов через поляризованную и неполяризованную диспрозиевые мишени на импульсном реакторе ИБР-30 в бустерном режиме работы с линейным электронным ускорителем ЛУЭ-40^{/6/}. Измерения проводились в следующих условиях: длительность нейтронного импульса - 4 мксек, частота импульсов - 100 Гц, средняя мощность реактора - 4 кВт, пролетное расстояние - 58,5 м. В качестве мишени использовалась пластинка из естественного металлического Dy 200 x 60 x 0,6 мм³. Охлаждение мишени в криостате с растворением ³He в ⁴He и контроль за ее температурой осуществлялись так же, как в работе /4/. Минимальная температура на мишени во время измерений составляла 0,03 К. При величине магнитных моментов изотопов ¹⁶¹Dy и ¹⁶³Dy, равных, соответственно, 0,47 нт и +0,66 нт, ядерная поляризация f_N в доменах составляла 0,84 и 0,92. Для разрушения поляризации температура мишени повышалась до 0,5 К, что приводило к уменьшению поляризации до 0,09 и 0,12 для указанных изотопов. Учет возможного аппаратного сдвига осуществлялся по резонансу 5,4 эВ ¹⁶²Dy и по резонансам 1,3; 6,24; 15,4; и 21,6 эВ контрольных образцов Ir и Sb, постоянно находившихся в пучке нейтронов. Нейтроны, прошедшие через образцы, регистрировались жидкостным сцинтилляционным детектором. Временной анализ импульсов детектора проводился анализирующей системой /7/, созданной на основе малой вычислительной машины ТРА-1001.

Измерения проводились следующим образом. В течение шести часов в памяти ЭВМ ТРА накапливался спектр нейтронов при температуре диспрозиевой мишени 0,03 К, после чего информация из ТРА передавалась на ЭВМ БЭСМ-4. Затем мишень нагревалась до 0,5 К, и измерение повторялось. На рис. 1 представлен участок одного из экспериментальных спектров. Полученные таким путем

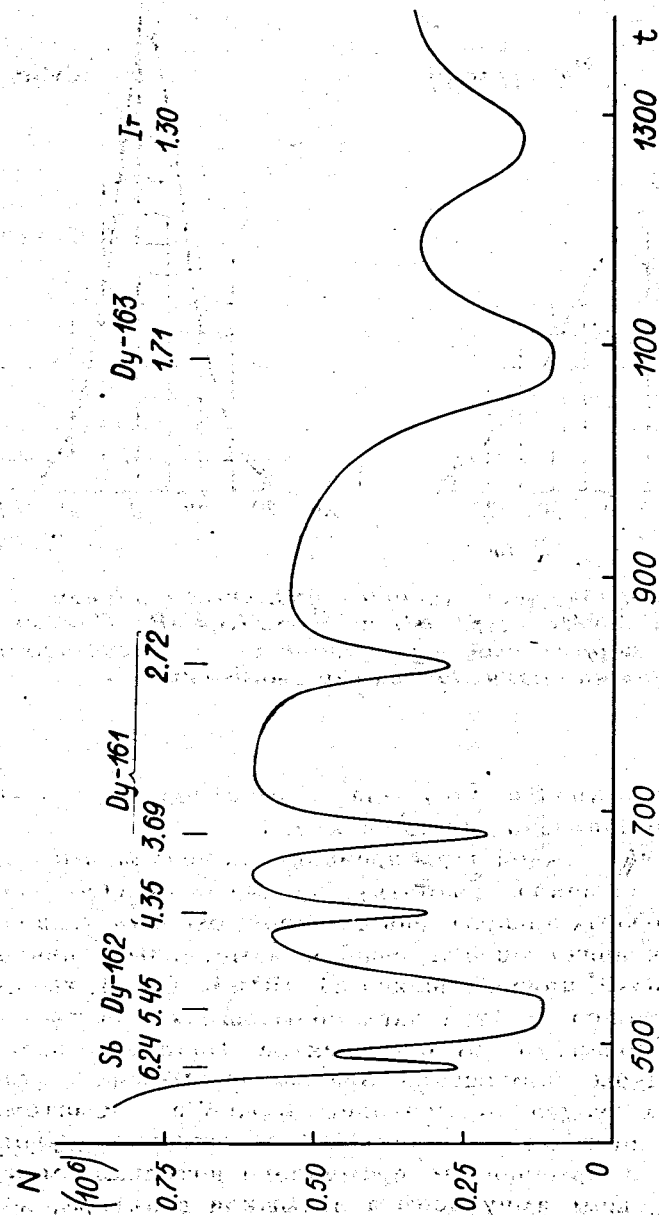


Рис. 1. Участок экспериментального спектра, полученного за 6 часов. По оси абсцисс - номер временного канала шириной 2,5 мксек, по оси ординат - число отсчетов на канал.

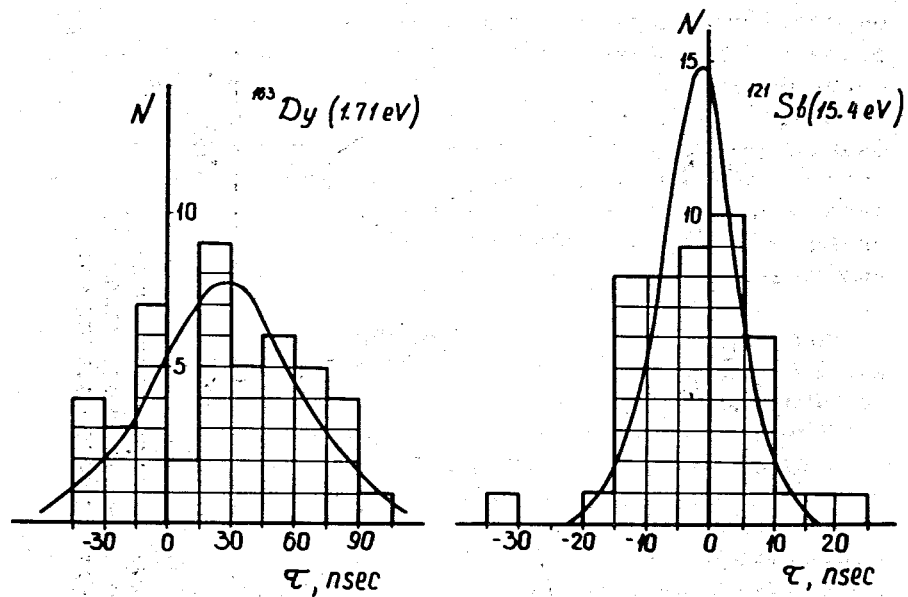


Рис. 2. Распределения экспериментальных значений τ для резонансов ^{163}Dy /1,71 эВ/ и ^{121}Sb /15,4 эВ/. Сплошные кривые - нормальные распределения с дисперсиями, обусловленными статистическими ошибками.

спектры составляли пару для совместной обработки. Всего было получено 48 пар спектров.

Обработка каждой пары проводилась независимо. Это несколько удлиняло обработку, однако позволило избежать возможных аппаратных ошибок; была также получена объективная оценка ошибок измеренных сдвигов. При обработке, проводившейся на ЭВМ БЭСМ-4, каждый резонанс одного спектра пары совмещался с соответствующим резонансом другого спектра. Подробное описание процедуры совмещения при использовании метода наименьших квадратов приведено в работе⁴. Систематический сдвиг одного спектра относительно другого, связанный с изменением временного интервала между синхронизирующим импульсом и вспышкой реактора, возможными задержками в измерительной аппаратуре и т.д.,

определялся как среднее значение $\langle \Delta t \rangle$ по контрольным резонансам. Разность $\tau = \Delta t - \langle \Delta t \rangle$ характеризовала сдвиг резонанса, обусловленный поляризацией ядер. В результате обработки каждого из исследуемых резонансов был получен набор значений τ , которые при отсутствии систематических ошибок должны быть нормально распределены вокруг соответствующих средних значений. Среднеквадратичные отклонения полученных экспериментальных значений τ оказываются в хорошем согласии с полученными по МНК и обусловленными статистическими ошибками в измерении спектров. Это проиллюстрировано на рис. 2 для резонансов ^{163}Dy / 1,71 эВ/ и Sb /15,4 эВ/.

Энергетический и временной сдвиги резонанса связаны соотношением $\Delta E = -2E_0\tau/t$ где t и E_0 - время пролета нейтронов и энергия резонанса. Окончательная величина сдвига $\langle \Delta E \rangle$ и его ошибка определялись из экспериментального распределения ΔE , полученного для отдельных пар. Магнитные моменты m_j вычислялись из $\langle \Delta E \rangle$ по формуле /1/, куда вместо f_N подставлялась разность $f_N(0,03) - f_N(0,5)$. Ошибка m_j определялась через ошибку $\langle \Delta E \rangle$. Все экспериментальные результаты сведены в табл. 1 и 2.

Имеются теоретические оценки магнитных моментов возбужденных состояний ядер с энергиями возбуждения, близкими к энергии связи нейтрона. В работе Воронова и Соловьева⁸ на основании полумикроскопического подхода сделан вывод о том, что эти магнитные моменты по порядку величины равны одночастичным. К аналогичному выводу приходит Куклин⁹, использовавший статистическое рассмотрение. Для среднего значения g -фактора им получена величина $\bar{g} = Z/A$ при среднеквадратичном отклонении $\sqrt{(1-Z/A)Z/A}$,

где Z и A - заряд и массовое число ядра. Для Dy эти величины равны, соответственно, 0,4 и 0,5. Как видно из табл. 2, экспериментальные результаты согласуются с теоретическими оценками.

Таблица 1

Экспериментальные результаты для сдвигов контрольных резонансов

Изотоп	^{193}Ir	^{162}Dy и ^{121}Sb	^{121}Sb	^{123}Sb
E_0 эВ	1,303	5,45 и 6,24	15,4	21,6
$\langle \tau \rangle$ нсек	$9,2 \pm 14,1$	$2,5 \pm 2,4$	$-2,5 \pm 1,4$	$0,6 \pm 1,6$

Таблица 2

Экспериментальные результаты для сдвигов нейтронных резонансов и магнитных моментов компаунд-состояний диспрозия

Изотоп	^{163}Dy	^{161}Dy	^{161}Dy	^{161}Dy
E_0 эВ	1,71	2,72	3,69	4,35
$\langle \tau \rangle$ нсек	$26,6 \pm 5,5$	$-0,6 \pm 4,2$	$4,8 \pm 3,2$	$-2,7 \pm 3,4$
$\langle \Delta E \rangle$ мкэВ	$-28,3 \pm 5,9$	$1,3 \pm 8,9$	$-16,1 \pm 10,7$	$11,4 \pm 14,8$
m_j нм	$2,8 \pm 0,5$	$-0,4 \pm 0,7$	$-1,8 \pm 0,9$	$0,5 \pm 1,2$
g	1,4	-0,13	-0,9	0,25

В заключение мы выражаем глубокую благодарность академику И.М.Франку за интерес к работе и Б.И.Аполлонову, Т.С.Афанасьевой, Б.А.Родионову, А.И.Иваненко и Н.Т.Хатько за помощь в подготовке аппаратуры и проведении измерений.

Литература

1. F.L.Shapiro. "Research Applications of Nuclear Pulsed Systems", p. 176, Vienna, IAEA, 1967.
2. F.L.Shapiro. "Polarized Targets and Ion Sources", p. 339, Saclay, CEA, 1967.
3. K.H.Beckurts and G.Brunhart. Phys.Rev., C1, 726 (1970).
4. В.П.Алфименков, Г.П.Жуков, Г.Н.Зимин и др. ЯФ, 17, вып. 1, 13 /1973/.
5. G.Brunhart, H.Postma, D.Rorrer, V.Saolir, L.Vanneste, Z.Naturforsch. 26a, 3, p. 334 (1971).
6. В.В.Голиков, Ж.А.Козлов, Л.К.Кулькин и др. Препринт ОИЯИ, 3-5736, Дубна, 1971.
7. В.А.Вагов, В.Н.Замрий, Ш.Салаи. VII Международный симпозиум по ядерной электронике. Будапешт-73, ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974, стр. 358.
8. В.В.Воронов, В.Г.Соловьев. ЯФ, 16, вып. 6, 1188 /1972/.
9. Р.Н.Куклин. ЯФ, 6, вып. 5, 969 /1967/.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июня 1974 года.