

**ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР
ДВОЙНОГО ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО γ -РЕЗОНАНСА В Ta^{181}**

В.К.Войтовецкий, С.М.Черемисин, А.Ю.Дудкин, Е.Г.Плоскирев

Измерен частотный спектр двойного ядерного магнитного γ -резонанса на возбужденном состоянии ядер источника Ta^{181*} . Результаты эксперимента сопоставлены с расчетом.

Воздействие на мессбауэровские ядра достаточно сильного высокочастотного магнитного поля на частоте ядерного магнитного резонанса приводит к расщеплению зеемановских подуровней ядра и изменению структуры мессбауэровского спектра ¹. Линии в спектре расщеп-

яются на $(2J_0 + 1)$ или $(2J_B + 1)$ компонент ($J_{0, B}$ — спины основного и возбужденного состояний ядра): отдельные компоненты экспериментально не разрешаются, а расщепление приводит к изменению формы и амплитуды наблюдаемых линий, имеющему резонансный характер.

Экспериментально это явление — двойной ядерный магнитный γ -резонанс (ДЯМГР) наблюдалось на ядрах Ta^{181} ². В работе² было обнаружено характерное изменение вида мессбауэровского спектра при воздействии резонансного высокочастотного поля на ядра источника излучения и отсутствие такого изменения при частоте поля, далекой от частоты ЯМР.

В настоящей работе измерен частотный спектр ДЯМГР, т.е. зависимость интенсивности отдельной линии в мессбауэровском спектре от частоты переменного магнитного поля.

Схема спектрометра ДЯМГР представлена на рис. 1. Установка содержит мессбауэровский спектрометр, электромагнит, генератор в.ч. с возбуждающей катушкой и блок управления, обеспечивающий необходимые режимы работы.

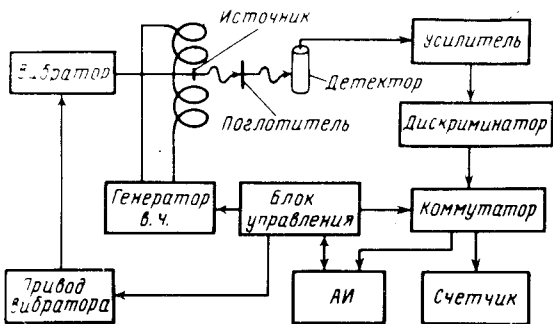


Рис. 1. Блок-схема установки

В режиме частотной развертки движение вибратора производится с постоянной скоростью, соответствующей выбранной линии мессбауэровского спектра, а частота генератора в.ч. перестраивается в соответствии с переключением каналов анализатора импульсов (АИ). Конденсаторы колебательного контура генератора коммутируются высокочастотными реле, которые управляются двоичным кодом регистра адреса АИ (используется 32 канала). Для того, чтобы при перестройке частоты амплитуда переменного поля существенно не изменялась, производится синхронная регулировка анодного напряжения генератора. Долговременная стабильность частоты генератора после прогрева не хуже $\pm 0,2\%$.

Эксперимент проводился в геометрии поглощения при возбуждении магнитным в.ч. полем переходов между зеемановскими подуровнями возбужденного состояния ядер источника $Ta^{181}*(W^{181})$ в постоянном магнитном поле $3330 \pm 0,5\%$. Согласно расчету, наибольшая величина эффекта (вызванное расщеплением линий испускания ослабление поглощения) должна наблюдаться на линиях переходов $1/2 \rightarrow 1/2$ и $-1/2 \rightarrow -1/2$, которые, следовательно, наиболее удобны для эксперимента.

На рис. 2 представлены расчетные (по¹, без учета влияния основного состояния) частотные спектры ДЯМГР для линии $1/2 \rightarrow 1/2$ при различных амплитудах переменного магнитного поля H_{\sim} , а также зависимость величины эффекта и ширины линии частотного спектра от амплитуды H_{\sim} . Видно, что наиболее удобные для наблюдения эффекта значения H_{\sim} лежат в области $(0,2 - 0,3)$ экспериментальной ширины мессбауэровской линии Γ_3 . В работе был использован поглотитель более высокого качества, чем в² ($2\Gamma_3 = 0,1$ мм/с); измерения проводились при $H_{\sim} = 150 \pm 20$ Э ($H/\Gamma_3 = 0,3$)¹.

¹) В работе³ была предпринята попытка наблюдения частотного спектра ДЯМГР Ta^{181} на линии $9/2 \rightarrow 7/2$. (для которой ожидаемая амплитуда эффекта в четыре раза меньше) при $H_{\sim} \approx 10$ Э; в этих условиях полное изменение интенсивности линии по крайней мере в 60 раз меньше, чем для перехода $1/2 \rightarrow 1/2$ при $H_{\sim} = 150$ Э.

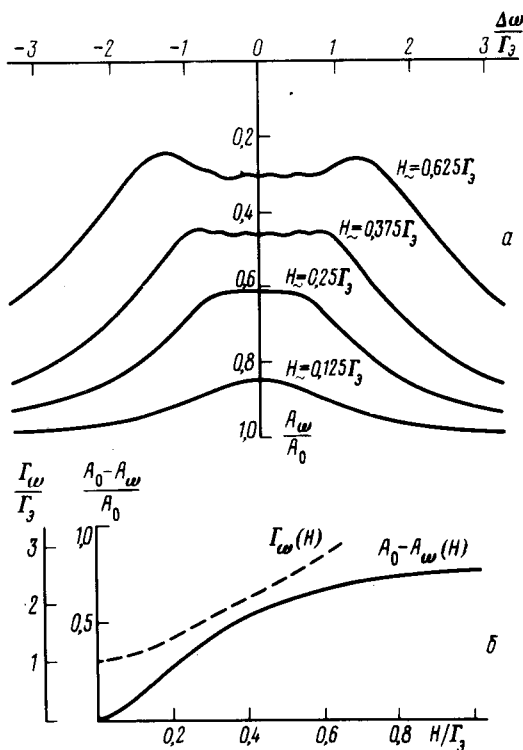


Рис.2. Зависимость относительной интенсивности линии перехода $1/2 \rightarrow 1/2$ от величины расстройки частоты переменного магнитного поля при различных его напряженностях (а). Зависимость относительной ширины линии частотного спектра Γ/Γ_3 и величины эффекта ДЯМГР $(A_0 - A_{\omega})/A_0$ от напряженности переменного поля (б).

На рис.3 а, представлены мессбауэровский спектр Ta^{181} в постоянном магнитном поле (линии $1/2 \rightarrow 1/2$ и $-1/2 \rightarrow -1/2$); стрелкой отмечена скорость, при которой измерялся частотный спектр. Мессбауэровский спектр в магнитном поле и частотный спектр измерялись в течение двух месяцев сериями попеременно, так что амплитуды линий в этих спектрах можно сопоставлять количественно. Положения нулевых уровней спектров связывались с помощью нормировки по нерезонансной (отрицательной) скорости с точностью $\pm 0,15\%$. За время измерений параметры одиночной линии не изменились. ($2\Gamma_3 = 0,105 \pm 0,006$ мм/с; $v_0 = 0,773 \pm 0,006$ мм/с)

На рис.3,б представлен частотный спектр ДЯМГР, измеренный в диапазоне 2,2 – 4,6 МГц со статистической точностью $\pm 0,035\%$ в каждой точке спектра. Для контроля отсутствия паразитных эффектов (например, наводок от мощного генератора в.ч. на тракт детектирования) были проведены измерения в режиме частотной развертки, но в одном случае при настройке дифференциального дискриминатора на рентгеновские линии источника Ta^{181*} (8,15 и 9,34 кэВ), а в другом – на мессбауэровскую линию 6,25 кэВ, но без поглотителя, статистическая точность 0,025% в каждой точке.

Теория ДЯМГР с учетом одновременного воздействия в.ч. поля на основное и возбужденное состояние резонансного ядра построена Габриэлем⁴. Согласно⁴, в общем случае каждая линия мессбауэровского спектра расщепляется в в.ч. поле на $(2J_B + 1)(2J_0 + 1)$ компонент (в непосредственной близости от точного резонанса достаточно, как в¹, учитывать расщепление на $(2J + 1)$ компонент). В работе Митина⁵ были получены результаты, уточняющие⁴. Согласно⁵, общий характер расщепления теория⁴ описывает верно, но учет интерференции основного и возбужденного состояний ядра приводит к изменению амплитуд отдельных компонент.

На рис.3, б экспериментальный спектр сопоставлен с расчетом (по⁴ и⁵). При аппроксимации экспериментальных точек расчетными линиями кроме масштаба кривой в качестве свободных параметров были приняты нулевой уровень (его значение, полученное из нормировки спектра с точностью $\pm 0,15\%$, включалось в набор аппроксимируемых экспериментальных точек с соответствующим весом), значение амплитуды в.ч. магнитного поля (точность

экспериментального определения его разными способами не превышает 10 – 15 %) и магнитный момент возбужденного изомерного состояния Ta^{181} (в работах ^{6,7} получены различные, хотя и близкие значения g_B/g_0 от 1,75 до 1,80).

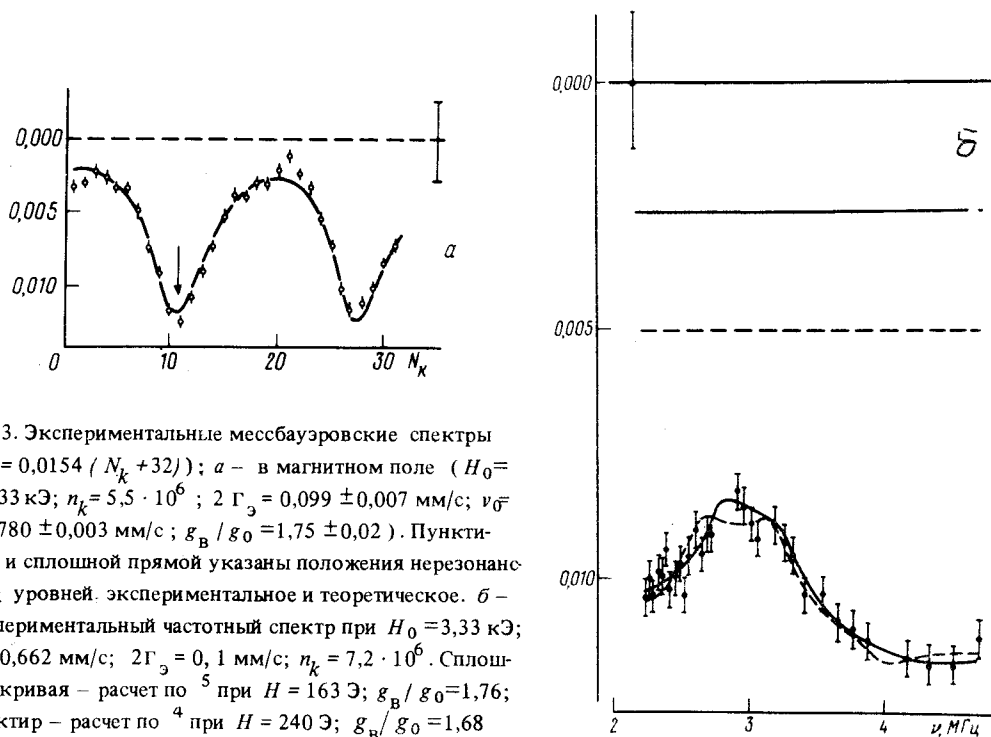


Рис.3. Экспериментальные мессбауэровские спектры ($\nu = 0,0154 (N_k + 32)$); а – в магнитном поле ($H_0 = 3,33$ кЭ; $n_k = 5,5 \cdot 10^6$; $2 \Gamma_0 = 0,099 \pm 0,007$ мм/с; $\nu_0 = 0,780 \pm 0,003$ мм/с; $g_B/g_0 = 1,75 \pm 0,02$). Пунктиром и сплошной прямой указаны положения нерезонансных уровней. экспериментальное и теоретическое. б – экспериментальный частотный спектр при $H_0 = 3,33$ кЭ; $\nu = 0,662$ мм/с; $2 \Gamma_0 = 0,1$ мм/с; $n_k = 7,2 \cdot 10^6$. Сплошная кривая – расчет по ⁵ при $H = 163$ Э; $g_B/g_0 = 1,76$; пунктир – расчет по ⁴ при $H = 240$ Э; $g_B/g_0 = 1,68$

При сопоставлении экспериментального спектра с расчетом ⁵ получается согласующееся с независимо определенным наиболее точным значением отношения $g_B/g_0 = 1,797 \pm 0,0007$ отношение $g_B/g_0 = 1,76 \pm 0,07$, близкое к номинальному (150 ± 20) значение $H_{\sim} = 160 \pm 90$ э и лучше согласуются нулевые уровни теоретического и экспериментального спектров. При оптимальной аппроксимации экспериментального спектра расчетом по ⁴ $H_{\sim} = 240 \pm 180$ Э, полученное при этом значение $g_B/g_0 = 1,68 \pm 0,12$ согласуется со значением $1,797$ лишь на пределе погрешности. При подстановке $H_{\sim} = 160$ Э (с оптимизацией остальных параметров) наблюдается систематическое расхождение теоретических и экспериментальных точек на высокочастотном крыле линии. Таким образом, экспериментальные результаты, по-видимому более близки к расчету по теории ⁵.

Авторы благодарны И.А. Семину за изготовление мессбауэровского источника, А.В. Митину за обсуждение расчета ДЯМГР.

Литература

1. Hack M., Hamermesh M. Nuovo Cim., 1961; 19, 546.
2. Войтовецкий В.К., Черемисин С.М., Сазонов С.Б. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 711; Voitovetskii V.K., Chermisin S.M., Sazonov S.B. Phys. Lett., 1981, 83A, 81.
3. Kaindl G., Salomon D. Bull. Am. Phys. Soc., 1971, 16, 640.
4. Gabriel H. Phys. Rev., 1969, 184, 359
5. Mitin A.V. Phys. Lett., 1981, 84A, 278
6. Kaindl G., Salomon Phys. Lett., 1970, 32B, 364.
7. Salomon D., West P. Z. Physik, 1978, A288, 291.

Институт

атомной энергии им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию

9 июля 1982 г.