

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА КВАДРУПОЛЬНОЕ СПИНОВОЕ ЭХО

Д.Г.Светлов, Н.Е.Айбидев

Наложение постоянного электрического поля E на квадрупольную спин-систему приводит к сдвигу резонансной частоты ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). В случае ядерного спина $I = 3/2$ для монокристаллов теория возмущений первого порядка приводит к следующему простому выражению [1]:

$$\frac{\Delta \nu_E}{\nu_0} = \frac{R_{zzz} E}{e q_0} \cos \theta = \frac{\Delta \nu_E^{\max}}{\nu_0} \cos \theta, \quad (1)$$

где ν_0 — частота ЯКР без поля E , θ — угол между полем E и осью z , градиента электрического кристаллического поля, невозмущенная компонента которого вдоль этой оси равна q_0 . R_{zzz} — компонента тензора (третьего ранга) влияния электрического поля.

В поликристаллических образцах происходит уширение линий ЯКР, форма которых зависит от взаимной ориентации постоянного электрического и радиочастотного магнитного полей. Величины параметра R_{zzz} , оцененные из измеряемой ширины или второго момента линий ЯКР [2] в стационарном методе довольно неточны, особенно, при небольших значениях E , когда электрическое уширение лежит в пределах ширины невозмущенной линии ЯКР.

Нам удалось наблюдать влияние электрического поля на амплитуду квадрупольного спинового эха. Однако, как показывают физические соображения [3] и математический расчет, в данном эксперименте необходимо накладывать электрическое поле в виде широких импульсов либо в промежутке между первым и вторым радиочастотным импульсами (временной интервал τ), либо между вторым импульсом и сигналом спин-эхо (рис. 1).

Огибающая сигналов спинового эха испытывает при этом "медленные биения". Расчет амплитуд сигналов квадрупольного эха методом матрицы плотности, проведенный аналогично описанному в работе [4], приводит к следующему выражению для огибающей сигналов квадрупольного эха:

$$A = A_0 \cos(2\pi \Delta \nu_E \tau), \quad (2)$$

где A_0 — амплитуда эхо в отсутствие электрического поля.

Заметим, что исчезновение биений амплитуды эхо в случае наложения постоянного E следует хотя бы из того факта, что накопившиеся в интервале τ разности фаз отдельных спиновых пакетов (во вращающейся системе координат) за счет электрических сдвигов частот $\text{ЯКР} \pm 2\pi\Delta\nu$ компенсируются во втором интервале τ и сигнал эхо остается нечувствительным к сдвигу частоты. Между тем, при таком стационарном воздействии внешнего электрического поля время затухания сигнала индукции T_2^* сокращается [5] в соответствии с уширением линий ЯКР, обнаруженным в работе [6], в то время, как T_2 остается малочувствительным к такому воздействию.

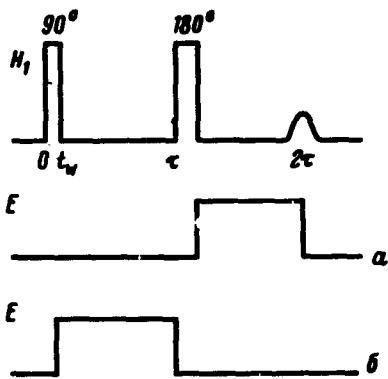


Рис. 1. Последовательность радиочастотных и электрических импульсов, применяемая в импульсной серии при воздействии на квадрупольную спиновую систему для получения сигналов спин-эхо; a — импульс высокого напряжения подается в интервале $(\tau, 2\tau)$, b — в интервале $(0, \tau)$

Усреднение выражения (2) по порошку не изменяет вид и период биений, заменяя только $\Delta\nu_E$ на $\Delta\nu_E^{max}$. Таким образом, получаем соотношение $\Delta\nu_E^{max} = 1/2 \Delta r_n$, где Δr_n — период биений огибающей сигналов эха.

Эксперимент проводился на ядрах Cl^{35} ($I = 3/2$) в поликристаллических хлорзамещенных углеводородах. Использовалась последовательность импульсов, показанная на рис. 1, a . Источником импульсов высокого напряжения запускался передним или задним фронтом второго радиочастотного импульса. Длительность импульса высокого напряжения изменялась от 10 мксек до 5 мсек. Частота следования импульсов выбиралась такой, чтобы избежать процессов насыщения. Электрическое поле в пределах от 0 до 50 кВ/см накладывалось на образец перпендикулярно магнитной составляющей радиочастотного поля H_1 . Сигнал регистрировался осциллографом либо самописцем.

Вид огибающей сигналов спин-эхо в поликристаллическом транс-дихлорэтаноле для трех значений электрического поля (0, 25, 50 кВ/см)

приведен на рис. 2. Значения сдвигов частот $\Delta \nu_E$ и величин $R_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}}$ для серии кристаллов CCl_4 , CHCl_3 , C_2Cl_6 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, Cl_2 хорошо согласуются с данными, полученными стационарным методом ЯКР [2].

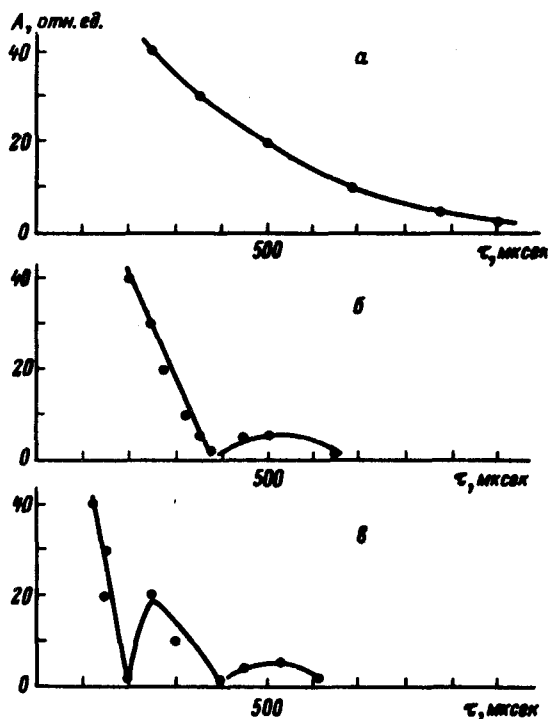


Рис. 2. Огибающая сигналов квадрупольного эхо ядер Cl^{35} в поликристаллическом транс-дихлорэтане ($\nu_0 = 34,36 \text{ мГц}$, $T = 77^\circ\text{К}$) а – в отсутствие импульса высокого напряжения, б – при $E = 25 \text{ кВ/см}$, в – при $E = 50 \text{ кВ/см}$

В заключение отметим преимущество нестационарной методики, заключающееся в том, что, во-первых, интерпретация экспериментальных данных при импульсной методике гораздо проще, чем при стационарных измерениях; во вторых, в первой методике не требуется точного измерения абсолютных частот ЯКР. И, наконец, в третьих, в предлагаемом методе возможно измерение сдвигов частот даже в случае слабых электрических полей, когда эти сдвиги лежат в пределах ширины линии, что весьма затруднительно в стационарном случае.

Авторы выражают благодарность профессору В.С.Гречишкину за интерес к работе.

Пермский
государственный университет
им. А.М.Горького

Поступила в редакцию
13 ноября 1969г.

Литература

- [1] N. Blombergen. Magn. and Electr. Res. and Relax, Amsterdam, 1963, p. 39.

- [2] R.W.Dixon. Proc. XIII Colloq. Ampere, Amsterdam, 1965, p.213
- [3] W.B.Mims. Phys. Rev. 133. 835, 1964; А.А.Богуславский, В.В.Печенов.
Тезисы докл. Всесоюзн. конф. по парамагн. резонансу. Казань.
1969, стр. 246
- [4] Н.Е.Айнбиндер, В.С.Гречишкин. Изв. высш. уч. зав., Радиофизика.
10, 186, 1967; В.С.Гречишкин, Н.Е.Айнбиндер, С.И.Гушин,
В.А.Шишкин. ЖЭТФ, 55, 787, 1968.
- [5] Г.Г.Клюева. Дипломная работа, ИГУ, 1966.
- [6] J.Armstrong, N.Blombergen, D.Gill. J. Chem. Phys., 35, 1132, 1961.
-