

ВЛИЯНИЕ КОСВЕННЫХ СПИН-СПИНОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА КВАДРУПОЛЬНОЕ СПИНОВОЕ ЭХО

В.С.Гречишкин, С.И.Гущин, В.А.Мишкин

Мультиплетность линий ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР), возникающая в результате косвенных спин-спиновых взаимодействий ядер через посредство электронных оболочек, впервые наблюдалась Кожимой с сотрудниками, которые обнаружили с помощью стационарной методики расщепление линии J^{127} для перехода $1/2 \rightarrow 3/2$ в кристаллическом J_2 .

Сложная структура линии не может быть связана с неэквивалентными положениями молекул J_2 в решетке, поскольку положения всех молекул в элементарной ячейке могут быть получены путем преобразований симметрии [2,3].

Гамильтониан косвенного спин-спинового взаимодействия между ядрами J^{127} был взят в виде [4]:

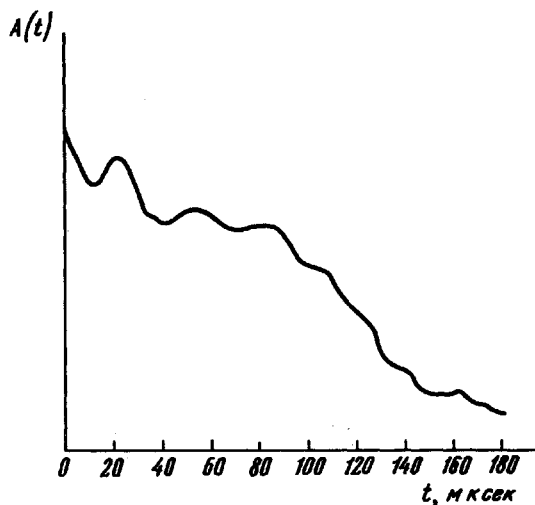
$$H_{AB} = J \hat{I}_{Az} \hat{I}_{Bz} + K (\hat{I}_{Ax} \hat{I}_{Bx} + \hat{I}_{Ay} \hat{I}_{By}), \quad (1)$$

где \hat{I}_{Az} ; \hat{I}_{Bz} ; \hat{I}_{Ax} ; \hat{I}_{Bx} ; \hat{I}_{Ay} ; \hat{I}_{By} — операторы спинов ядер A и B ; J и K — постоянные спин-спинового взаимодействия. Для перехода

$1/2 \rightarrow 3/2$ согласие теории и эксперимента получено в предположении, что $J = K = 3 \text{ кГц}$.

Применение стационарной методики для исследования косвенных спин-спиновых взаимодействий между ядрами в ЯКР всегда оставляет сомнения, не связана ли тонкая структура линии с неэквивалентными положениями молекул в решетке. Для однозначного решения вопроса нужно знать структуру кристалла, а также исследовать зееман-эффект в монокристаллах [5].

Из экспериментов в ядерном магнитном резонансе [6] известно, что косвенные спин-спиновые взаимодействия вызывают появление "медленных биений" в огибающей сигнала эхо при изменении интервала времени между импульсами τ . Если имеется несколько линий ЯКР, обусловленных неэквивалентными положениями в решетке, то в нулевом магнитном поле никаких биений в огибающей эхо не наблюдается [7].



Огибающая сигналов спинового эхо при $t = 2\tau$, где τ — интервал времени между 90° и 180° — импульсом

Нами сделана попытка обнаружить явление "медленных биений" в полупроводнике J_2 при 77°K . Была создана установка квадрупольного спинового эхо на диапазон частот $130\text{-}600 \text{ МГц}$. Импульсный генератор на длинных линиях Лехера с настроенным анодом и катодом имел сеточный модулятор. В качестве приемника применен серийный супергетеродин с переделанным входным предусилителем. Использован предусилитель с заземленной сеткой и контуром типа "бабочка". Длительность импульсов была взята такой, чтобы их спектр захватывал весь диапазон тонкой структуры (80 кГц).

При 77°К на частоте 333,94 МГц для перехода $\pm 1/2 \rightarrow \pm 3/2$ обнаружен в J_2 (J^{127}) интенсивный сигнал спинового эхо ($t = 2\tau$). Ложный сигнал эхо при $t = 3\tau$ малой интенсивности иногда наблюдается в полупроводниках.

Из спада амплитуды стимулированного эхо после третьего 90° — импульса при 77°К для перехода $\pm 1/2 \rightarrow \pm 3/2$ определено время спинрешеточной релаксации $T_1 = 450$ мксек. При изменении интервала времени τ между импульсами огибающая сигналов эхо испытывала "медленные биения" (см. рисунок). Частоты "медленных биений" оказались равны 7 и 25 кГц. В других веществах, например, в $Sn J_4$ никаких "медленных биений" в нулевом внешнем магнитном поле не обнаружено. Не обнаружено "медленных биений" и в огибающей эхо ядер Br^{79} в $Sb Br_3$ и т.д., т.е. там, где отсутствуют спин-спиновые расщепления линий. С другой стороны в Br_2 частота "медленных биений" оказалась порядка 10 кГц, что не противоречит стационарной методике измерений.

Остается предположить, что впервые в ЯКР удалось наблюдать "медленные биения" в огибающей сигналов эхо, обусловленные косвенными спин-спиновыми взаимодействиями между ядрами иода. Это открывает путь к исследованию косвенных спин-спиновых взаимодействий между ядрами в кристаллах в ЯКР с помощью импульсных методов.

Наши исследования примыкают к недавно начатым экспериментам по исследованию сверхтонких расщеплений в ЭПР методом спинового эхо [8], которые также приводят к появлению "медленных биений" в огибающей.

Обнаружение этого нового явления в ядерном квадрупольном резонансе потребует разработки теории для различных взаимодействующих спинов применительно к импульсным методам.

Пермский
Государственный университет
им. А.М.Горького

Поступило в редакцию
3 ноября 1967 г.
После переработки
29 ноября 1967 г.

Литература

- [1] S.Kojima, K.Tsukada. J. Phys. Soc. Japan, 10, 591, 1955.
- [2] S.Kojima, S.Ogawa, S.Hagiwara, Y.Abe, M.Minematsu. J. Phys. Soc. Japan, 11, 964, 1966.
- [3] A.Shimauchi. Sci. Light, 6, 58, 1957.
- [4] T.Jtoh, K.Kambe. J.Phys. Soc. Japan, 12, 763, 1957.
- [5] K.Tsukada. J.Phys. Soc. Japan, 11, 956, 1956.
- [6] E.L.Hahn, D.E.Maxwell. Phys. Rev., 84, 1246, 1951.
- [7] В.С.Гречишкин. ЖСХ, 6, 162, 1965.
- [8] L.G.Rowan, E.L.Hahn, W.B.Mims. Phys. Rev., 137, A61, 1965.