

## ЯРМ НА ПРОТОНАХ В НЕКОТОРЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ СОЛЯХ

*В.А. Столяров*

Наблюдение ЯМР в парамагнетике возможно, когда уширение линии из-за взаимодействия с электронными спинами невелико. Согласно [12],

$$\Delta\omega = \frac{(\gamma_1 H_{\text{лок}})^2}{\omega_{\text{обм}}}.$$

Поэтому резонанс наблюдался либо в магнитно-разведенных солях, когда  $H_{\text{лок}}$  мало [4], либо в солях с большим обменным взаимодействием ( $\omega_{\text{обм}}$  велико). [1-3, 5].

Однако, существует ряд солей, в которых возможно наблюдение ЯМР. Это соли, обычно используемые для адиабатического размагничивания: квасцы, Тунтоновы соли, двойные нитраты [6]. Несмотря на то, что  $\omega_{\text{обм}}$  невелика, расстояние от парамагнитного центра до протонов сравнительно велико ( $r \approx 4-6 \text{ \AA}$ ), и  $H_{\text{лок}} \approx r^{-3}$  мало.

В работах [7] дана теория ЯМР в парамагнетиках. Согласно [7], ширина линии  $\Delta\omega$  зависит от поля и должна резко меняться, когда

$$\omega_e = \gamma_e H_0 \approx \sqrt{2} \omega_{\text{обм}}.$$

Работы по ЯМР в парамагнетиках в этой области отсутствуют; этой теме и посвящена данная работа.

Мы наблюдали резонанс в хромовокадмевых и железоаммониевых квасцах, а также в медноаммониевом и марганцевоаммониевом сульфате. Образцы представляли собой эллипсоиды, обкатанные из монокри-

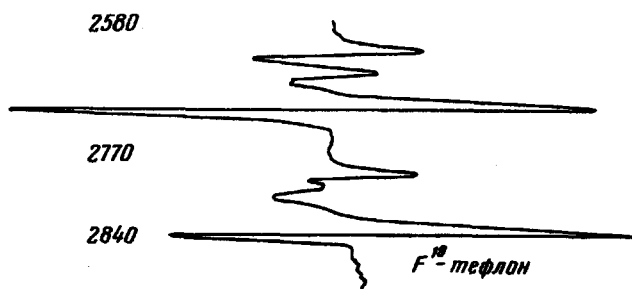


Рис.1. Производная ЯМР-поглощения в медноаммониевом сульфате.  $H_0$  в плоскости [111] = 11,3 Мтс,  $T = 1,5^\circ$

сталлов, как описано в [9]. Для наблюдения использовался датчик Паунда – Найта [8].

Нами получены следующие результаты:

1. В области полей 1–3 ктс все исследуемые соли, за исключением медноаммониевого сульфата, обладают большим парамагнитным поглощением, превосходящим на 3 порядка ядерное. Но поскольку ширина поглощения ЭПР на 3 порядка больше, чем ЯМР, величины производных соизмеримы, и это дает возможность наблюдать ЯМР на фоне парамагнитного поглощения.

2. При температурах 10–20° К все соли дают единственную несмещенную резонансную линию шириной  $\Delta H \approx 20$  тс, не зависящей от поля в области полей 1,1–2,8 ктс.

3. При температурах 1,5–4,2° К линия ЯМР расщепляется. Величина смещения зависит от ориентации. Максимальная величина сдвига при  $T = 1,5^\circ$  составляет около 200 тс для железоаммониевых квасцов ( $H_0 = 2,2$  ктс) и 100 тс для медноаммониевого сульфата ( $H_0 = 2,7$  ктс).

Для оценки смещения и ширины линий мы пользовались простыми формулами [12]:

$$\bar{H}_{\text{лок}} = H_{\text{лок}} \frac{\mu H_e}{kT}, \quad \Delta\omega = \frac{(\gamma_1 H_{\text{лок}})^2}{\omega_{\text{обм}}}$$

Структура квасцов описана в [10], а Туттоновых солей в [11]. Вычисленные значения смещений  $H_{\text{лок}}$  и магнитного вклада в ширину при-

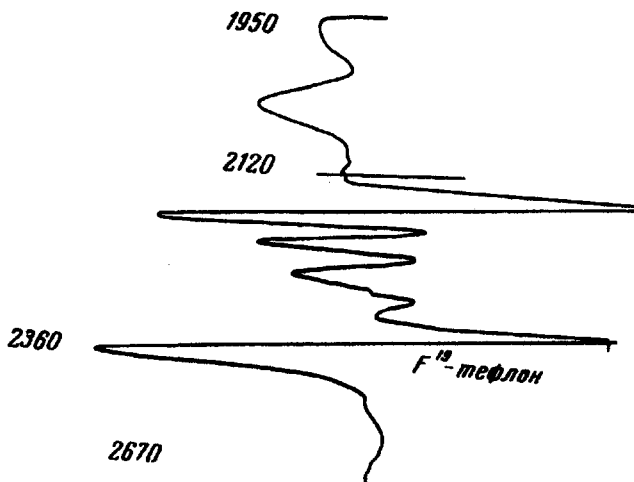


Рис.2. Производная ЯМР-поглощения в железоаммониевых квасцах. Но в плоскости [110] = 9,226 Мэц,  $T = 1,5^\circ$

ведены в таблице. Цифрой 1 обозначена вода, принадлежащая магнитному иону, 2 — немагнитному, 3 — протоны из  $\text{NH}_4^+$ .

Т а б л и ц а

	$\text{Cr}^{3+}$		$\text{Fe}^{3+}$			$\text{Mn}^{2+}$		$\text{Cu}^{2+}$	
	1	2	1	2	3	1	3	1	3
$r, \text{Å}$	2,6	4,01	2,6	4,01	6,15	2,7	3,9	2,7	3,9
$H_{\text{лок}}, \text{э}$	2020	550	3100	850	240	2800	930	900	300
$H_{\text{лок}}$	1000	280	1800	490	130	1100	290	210	70
$H_{\text{экс}}$		-250*		+150	-100		+205; -200	+80	-110
$\Delta H, \text{э}$	60	4,3	50	4,0		5,5	0,6	7,4	0,9

Можно заключить, что в квасцах мы наблюдали резонанс на протонах воды немагнитного иона и протонах аммония, а в Туттоновых солях — на протонах аммония. Поскольку измеренная ширина линий совпадает с

шириной в магнитно-разбавленных солях, парамагнитный вклад мал.  $\Gamma$  не удалось наблюдать резонанс на протонах воды магнитного иона. По видимому, ширина этих линий превосходит 100 э.

В заключение я считаю своим долгом поблагодарить Н.Е. Алексеевского, руководившего работой.

Поступило в редакцию  
21 апреля 1967 г.

### Литература

- [1] N. Bloembergen. *Physica*, 16, 95, 1965.
- [2] N.J. Poulis, C.E.C. Hardeman. *Physica*, 18, 201, 1952.
- [3] W. Van der Lugt, N.J. Poulis. *Physica*, 27, 733, 1961.
- [4] N. Bloembergen. *Physica*, 15, 386, 1949.
- [5] S. Wittekoek, N.J. Poulls. *Physica*, 32, 693, 1966.
- [6] T.L. Estle, H.R. Hart, J.C. Wheatley. *Phys. Rev.*, 112, 1576, 1958.
- [7] Р.Х. Тимеров, К.А. Валиев. *ЖЭТФ*, 41, 1566, 1961; *ЖЭТФ*, 42, 597, 1962.
- [8] R.V. Pound, W.D. Knight. *Rev., Sci. Instr.* 21, 219, 1950.
- [9] W.L. Bond. *Rev. Sci. Instr.*, 22, 344, 1951.
- [10] H. Lipson. *Proc. Roy. Soc.*, A151, 355, 1935.
- [11] W. Hofmann. *Z. Kristall.*, 78, 279, 1931.
- [12] А. Абрагам. *Ядерный магнетизм*. ИЛ, 1963, стр. 184.

---

\* Знак (-) означает, что локальное поле направлено против  $H$ .

## КОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ $\text{InP}$ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ИНЖЕКЦИОННЫМ ЛАЗЕРОМ

*П.Г.Елисеев, И.Исмаилов, Л.Н. Михайлина*

Об оптическом возбуждении генерации света в полупроводниках сообщалось ранее в ряде работ [1-5]. Здесь впервые получено когерентное излучение в фосфиде индия при оптическом возбуждении. В качестве источника возбуждающего излучения использовался инжекционный лазер диффузионного типа на основе  $\text{GaAs}$ . Опыты проводились при температуре 77°К.

Инжекционный лазер имел размеры 500x800x200 мк и пороговый ток 9 а. Длина волны его когерентного излучения составляла около 8500 Å. При токе в импульсе 70 а диод давал полный световой выход 24 см.

Возбуждаемый образец фосфида индия имел резонатор типа Фабри-Перо с расстоянием между зеркалами 300 мк. Третья грань образца