

ПАРАМАГНИТНАЯ АБСОРБЦИЯ В ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ ПОЛЯХ  
ДЛЯ НЕКОТОРЫХ СОЛЕЙ

Е. Завойский

В этой работе излагаются результаты измерений относительной величины парамагнитной абсорбции в перпендикулярных магнитных полях при частоте  $1,51 \cdot 10^8$  герц для двуххлорной меди с двумя молекулами кристаллизационной воды, пентаводного медного купороса, безводного треххлорного хрома и безводного углекислого марганца. Эти результаты непосредственно связаны с полученными ранее [1], где описана и методика измерений.

В 1936 г. Горттр [2,3] обнаружил уменьшение поглощенной парамагнетиком энергии  $Q$  поля высокой частоты при наложении на вещество сильного постоянного магнитного поля  $H$ , перпендикулярного осциллирующему полю. Измерения Горттера относились к частотам около  $2 \cdot 10^7$  герц и к сильным магнитным полям  $H$  порядка от 50 эрстед и выше.

Нам удалось показать [1], что при этих частотах в области слабых полей  $H$  находится максимум абсорбции, смещающийся в сторону сильных полей  $H$  при увеличении частоты осциллирующего поля. Так, при наибольшей частоте, достигнутой нами ( $9,4 \cdot 10^8$  герц), максимум абсорбции для гидратированной двуххлорной меди отвечал  $H = 350$  эрстед [1].

Далее, измерения показали полную независимость положения максимума и формы кривой от температуры в пределах от комнатной до температуры твердого водорода [1,4].

Теория магнитоспинового резонанса Френкеля [5] объясняет появление максимума абсорбции резонансом между частотой генератора  $\nu$  и частотой прецессии Лармора  $\nu_0 = a \cdot H$  ( $a$  — константа) магнитного момента парамагнитного иона во внешнем магнитном поле  $H$ . При этом в теории формально вводится время  $\rho$  установления равновесия между прецессирующим магнитным моментом и окружающими молекулами. Естественно, это время релаксации должно было бы сказываться как на положении максимума абсорбции  $Q$  по полю  $H$ , так и на форме кривой абсорбции.

Так как, повидимому, нет возможности повлиять на величину  $\rho$  непосредственным внешним воздействием на вещество (например, изменением его температуры), то, ожидая у разных веществ различные значения времени релаксации, представляло интерес проследить у них зависимость абсорбции от внешнего постоянного магнитного поля.

## Результаты измерений

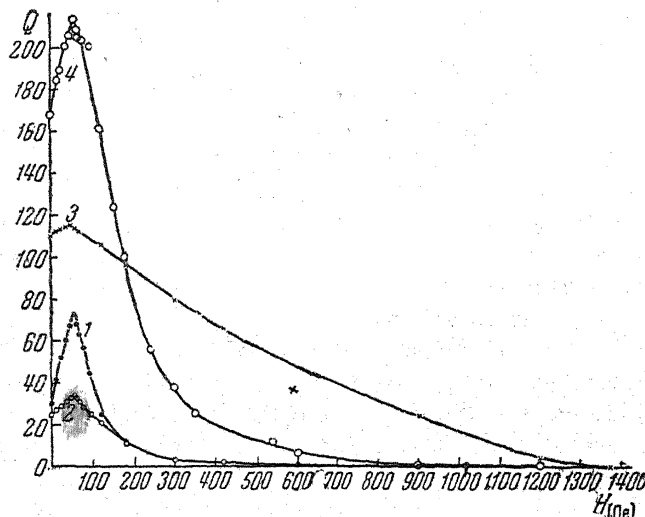
На рисунке приведены результаты измерений относительной величины  $Q$ , парамагнитной абсорбции для разных веществ при температуре  $290^\circ \text{K}$  и частоте  $1,51 \cdot 10^8$  кс. Здесь по оси ординат отложены величины  $Q$ , выраженные в миллиметрах шкалы гальванометра, для препаратов солей, взятых в количествах: гидратированной хлорной меди — 0,253 г, гидратированного медного купороса — 0,244 г, безводного треххлорного хрома — 0,320 г и безводного углекислого марганца — 0,216 г, а по оси абсцисс — напряженности постоянного магнитного поля  $H$  в эрстедах. Надо заметить, что здесь масштабы  $Q$ , хотя и относительны, но одинаковы для всех веществ.



В таблице приведены вычисленные по рисунку величины  $q$  абсорбции для разных веществ, рассчитанные на один парамагнитный ион, а так же частные от деления  $q$  на статические магнитные восприимчивости  $\chi_0$  при температуре  $290^\circ \text{K}$ , взятые из таблиц Ландольта-Бернштейна, причем

$$q = 1,68 \cdot 10^{-24} \cdot \frac{M}{m} Q,$$

где  $M$  — молекулярный вес соли,  $m$  — масса препарата.



Отсюда видно, что положение максимума всех кривых отвечает полю  $H = 54$  эрстеда, в то время как ширина кривых существенно различна. Из таблицы также легко усмотреть, что абсорбция на один парамагнитный ион различна для различных ионов, но для ионов меди величина  $q/\chi_0$  в максимуме почти одинакова в обоих соединениях.

### Дискуссия

Теория магнитоспинового резонанса Френкеля позволяет приписать парамагнетикам, имеющим равную ширину кривой абсорбции по полю  $H$ , разное время релаксации, а именно: чем больше ширина этой кривой, тем меньше время релаксации. Поэтому например, углекислый марганец (см. рисунок) имеет значительно меньшее  $\rho$ , чем двуххлорная медь. Но согласно этой же теории, если допустить независимость  $\rho$  от  $H$ , надо ожидать существенного влияния времени релаксации на положение максимума абсорбции, что экспериментально не обнаруживается, по крайней мере, для частот, больших  $10^8$  герц. Чтобы согласовать эти обстоятельства, а также объяснить форму кривой абсорбции, приходится допустить, что

$$\rho = \frac{1}{B_0 H^2}, \quad (1)$$

где  $B$  — константа [1].

Действительно, по Френкелю

$$Q = A \frac{\nu^2 \nu_0^2 \nu'}{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + 4\nu^2 \nu'^2},$$

где  $A$  — константа,  $\nu$  — частота генератора.

Отсюда видно, что предположение (1) делает положение максимума  $Q$  по полю  $H$  не зависимым от времени релаксации (условие максимума  $Q$  есть  $\nu_0 = \nu$ ) и объясняет расширение области абсорбции с возрастанием частоты  $\nu$  [1].

Формула (1), повидимому, справедлива для не слишком слабых полей  $H$