

Б. М. КОЗЫРЕВ

РЕЗОНАНСНОЕ ПАРАМАГНИТНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В РАСТВОРАХ  
СОЛЕЙ  $\text{Er}^{+++}$  И  $\text{Ce}^{+++}$

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 1 III 1948)

Нами была изучена методом реакции на генератор зависимость парамагнитного поглощения  $Q$  в нитрате эрбия и его водных растворах от напряженности постоянного магнитного поля  $H$ , расположенного перпендикулярно к слабому осциллирующему магнитному полю частоты  $\nu = 2,07 \cdot 10^8$  Hz. Измерения велись при температуре 295°K; напряженность поля  $H$  могла изменяться от 20 до 400 Ое. Были получены следующие результаты.

1) В твердом нитрате эрбия не обнаруживается заметного изменения  $Q$  при изменении  $H$  от 20 до 400 Ое.

2) В высококонцентрированных водных растворах нитрата эрбия зависимость  $Q = Q(H)$  в том же интервале полей  $H$  также почти не заметна.

3) При дальнейшем разведении этих растворов эффект становится наблюдаемым, причем кривая резонансной абсорбции  $Q = Q(H)$  постепенно сужается с уменьшением концентрации.

4) Положение максимума абсорбции, которое удалось определить с достаточной уверенностью в растворах нескольких концентраций от 0,3 до 0,03 М/л), соответствует  $H^* \approx 130$  Ое. Из условия максимума  $H = h\nu/g\mu_0$  (где  $h$  есть постоянная Планка,  $\nu$  — частота генератора,  $g$  — фактор Ланде,  $\mu_0$  — магнетон Бора) следует, что  $g$ -фактор для  $\text{Er}^{+++}$  равен  $1,14 \pm 0,05$ . Это хорошо согласуется с его теоретическим значением ( $g = 1,2$ ) и с данными по статической восприимчивости солей  $\text{Er}^{+++}$ .

5) "Полуширина"  $\delta$  кривых  $Q = Q(H)$ , т. е. расстояние от  $H^*$  до  $H_{1/2}$  соответствующего поглощению  $Q_{1/2} = Q_{\max}/2$ , измеренное в сторону возрастающих значений  $H$ , остается и в разведенных растворах очень значительной; так, для 0,03 М/л  $\delta$  имеет порядок 100 Ое. Эта величина не может претендовать на точность, так как, к сожалению, наш препарат нитрата эрбия не имел гарантированной чистоты. С другой стороны, нет уверенности, что при 400 Ое наступает полное подавление парамагнитной абсорбции. Точная зависимость  $\delta$  от концентрации  $c$  по указанным причинам пока также не могла быть установлена; но можно считать, что она не сильнее, чем зависимость, наблюдавшаяся автором для растворов солей двухвалентной меди:  $\delta = \text{const} \sqrt{c}$  при частоте  $\nu = 4,54 \cdot 10^8$  Hz.

Результаты, аналогичные приведенным выше, были получены и при изучении хлористого церия и его водных растворов. Здесь также оказалось, что влияние постоянных перпендикулярных полей  $H$  на парамагнитное поглощение очень слабо в твердом хлориде, а в водных растворах этой соли, по мере их разведения, эффект делается все

более заметным. Величина  $\delta$  в растворах хлорида церия меньше, чем в растворах нитрата эрбия. Положение максимума поглощения ( $H \approx \approx 160$  Ое) дает значение  $g$ -фактора для иона  $\text{Ce}^{+++} \sim 0,9$ ; это вполне согласуется с теоретическим значением 0,84.

Приведенные данные интересны с двух точек зрения. Во-первых, все парамагнетики, в которых удавалось до сих пор измерить при частотах  $10^8$ — $10^9$  Нз парамагнитное поглощение в перпендикулярных полях (твердые соли  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Cr}^{+++}$ , свободные радикалы  $\text{C}_{35}\text{H}_{25}$  и  $\text{C}_{36}\text{H}_{27}$ ), обладают практически лишь спиновым магнетизмом; как данные по статической восприимчивости этих веществ, так и положение максимума абсорбции на кривых  $Q=Q(H)$  приводят для них к значениям фактора Ланде, близким к 2. Поэтому можно было предполагать, что наличие у парамагнитной частицы значительного орбитального момента, не подавленного электрическими полями соседних частиц, препятствует возникновению резонансного парамагнитного поглощения. Открытие этого поглощения в растворах солей  $\text{Er}^{+++}$  и  $\text{Ce}^{+++}$  убеждает в противном, указывая на универсальный характер явления.

С другой стороны, следует отметить, что полученные результаты согласуются с представлением о том, что полуширина кривых резонансного поглощения определяется внутренними полями в поглощающем веществе<sup>1)</sup>. Отсутствие эффекта перпендикулярных полей  $H$  в твердом нитрате эрбия до  $H \approx 400$  Ое должно быть истолковано как следствие очень большой ширины резонансной кривой у этого вещества ( $\delta > 400$  Ое). Но, как известно, квантовое число  $J$  для  $\text{Er}^{+++}$  имеет значение  $15/2$ , в то время как для  $\text{Cu}^{++} J = 1/2$ , для  $\text{Cr}^{+++} 3/2$  и для  $\text{Mn}^{++} 5/2$ . Поскольку внутреннее магнитное поле  $H_i$  пропорционально  $\sqrt{J(J+1)}$ , величина  $\delta$  для соединений  $\text{Er}^{+++}$  должна превосходить  $\delta$  для соединений  $\text{Cu}^{++}$  примерно в 10 раз (если не считаться с различиями в плотности и в кристаллической структуре веществ). У твердого нитрата меди, по измерениям автора и С. Г. Салихова,  $\delta \approx 100$  Ое. Поэтому значение  $\delta > 400$  Ое для твердого нитрата эрбия кажется вполне возможным.

В растворах же  $\text{Er}(\text{NO}_3)_3$  по мере разведения средние расстояния между ионами  $\text{Er}^{+++}$  возрастают и соответственно ослабляется магнитное взаимодействие, что должно приводить к постепенному сужению кривой  $Q=Q(H)$ . Поэтому при достаточном разведении эффект должен стать заметным и доступным измерению в полях  $H$  ниже 400 Ое, что действительно и наблюдается.

Аналогичные соображения приложимы и к растворам хлористого церия.

Следует думать, что резонансное поглощение может быть наблюдается в растворах любых парамагнетиков при достаточных разведениях, если только этому не будет препятствовать малость абсолютной величины эффекта.

Физико-технический институт  
Казанского филиала  
Академии Наук СССР

Получено  
18 II 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> С. А. Альтшулер, Е. К. Завойский и Б. М. Козырев, ЖЭТФ, 17, в. 12 (1947).