

Б. М. КОЗЫРЕВ

РЕЗОНАНСНОЕ ПАРАМАГНИТНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В РАСТВОРАХ
СОЛЕЙ Er^{+++} И 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, ν — частота генератора, g — фактор Ланде, μ_0 — магнетон Бора) следует, что g -фактор для Er^{+++} равен $1,14 \pm 0,05$. Это хорошо согласуется с его теоретическим значением ($g = 1,2$) и с данными по статической восприимчивости солей Er^{+++} .

5) "Полуширина" δ 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 δ 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 δ 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 δ в растворах хлорида церия меньше, чем в растворах нитрата эрбия. Положение максимума поглощения ($H \approx 160$ 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 Hz парамагнитное поглощение в перпендикулярных полях (твердые соли Cu^{++} , Mn^{++} , 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 Er^{+++} и 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 веществе¹⁾. 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 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 δ для соединений Er^{+++} должна превосходить δ для соединений Cu^{++} примерно в 10 раз (если не считаться с различиями в пластности 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 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 наблюдаемо 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

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