

Е. ЗАВОЙСКИЙ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ
АТОМОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 26 IV 1947)

Введение. Магнитоспиновый резонанс в твердых и жидких телах ⁽¹⁾ позволяет с большой точностью определить фактор Ланде магнитного иона, но не дает возможности вычислить одновременно значения магнитного и механического моментов. Последнее могло бы быть сделано, если бы удалось экспериментально определить число возможных ориентаций механического момента относительно постоянного магнитного поля. К этому есть достаточные основания: число возможных ориентаций спина S в магнитном поле H равно $2S+1$, и разность энергий для разных ориентаций равна

$$U = m\varepsilon, \quad (1)$$

где $m=1, 2, 3, \dots, 2S$, $\varepsilon = haH$, h —постоянная Планка, a —частота прецессии спина в поле $H=1$. Переходы для $m=1$ наблюдались на опыте ⁽¹⁾, но легко видеть, что также могут существовать переходы, отвечающие и другим значениям m , при условии

$$m\varepsilon = h\nu, \quad (2)$$

где ν —частота достаточна слабого осциллирующего поля, перпендикулярного полю H . Следует отметить, что число возможных переходов для разных m отвечает n , и

$$n = 2S + 1 - m, \quad (3)$$

а вероятности переходов, при прочих равных условиях, зависят от значения m .

Полагая в уравнении (3) $m=1$, получаем для свободного иона максимальное значение $n=n_0$, где

$$n_0 = 2S, \quad (4)$$

откуда $S = n_0/2$. В реальных условиях эксперимента определение n_0 , а значит и S , может быть проведено при наблюдении магнитоспинового резонанса на неизменной частоте ν в значениях постоянного магнитного поля, равных, согласно уравнению (2),

$$H = \frac{\nu}{ma}, \quad (5)$$

где $m=1, 2, 3, \dots, 2S$.

* В кристаллах, где орбита „вморожена“, орбитальный момент не играет роли.

Определив из опыта максимальное число m , которое, очевидно, равно n_0 , по уравнению (4) найдем спин магнитного иона. Так как магнитоспиновый резонанс при любом значении m позволяет также определить a , а значит и фактор Ланде, то становится возможным определить магнитный момент иона. Надо заметить, что такой способ определения спина и магнитного момента имеет все преимущества перед другими благодаря высокой точности резонансного метода.

Экспериментальная установка и результаты измерений. Подробно метод измерения описан в работе (1). Испытуемый парамагнетик ($\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) помещался при комнатной температуре в объемный резонатор емкостью 20 см³, который располагался между полюсами электромагнита Дюбуа. Высокочастотное поле резонатора было перпендикулярно H . Резонатор через фидер возбуждался вблизи резонанса клистроном на волне 8,48 см, и в анодную цепь клистрона включался низкочастотный усилитель с выходом на осциллограф. Изменения анодного тока клистрона были пропорциональны изменениям парамагнитной абсорбции. Постоянное поле электромагнита модулировалось с частотой 50 герц и амплитудой около 2 эрстед специальными кольцами Гельмгольца. В процессе измерений поле электромагнита медленно изменялось, и по шкале осциллографа можно было отсчитать величину отклонения электронного пучка, которая была пропорциональна первой производной абсорбции парамагнетиком поля высокой частоты по полю H . Очевидно, при тех значениях H , где эта производная меняла знак, помещался максимум (или минимум) абсорбции. Это позволяло точно найти значения поля H при магнитоспиновом резонансе.

Таким образом, удалось установить, что для $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ имеется 5 максимумов абсорбции, которые при частоте $\nu = 3,54 \cdot 10^9$ герц лежат в области H , равных, соответственно, ~ 1300 , ~ 650 , ~ 430 , ~ 325 и ~ 260 эрстед. Надо заметить, что в прежних работах наблюдался только первый максимум ($m=1$), как наиболее сильный. Из этих данных непосредственно по уравнению (4) находим спин Mn^{++} равным $S=5/2$, что совпадает с известным уже ранее значением. Кроме того, определив из этих, а также из прежних данных величину $a=2,73 \cdot 10^6$, что соответствует фактору Ланде 1,96, находим значение магнитного момента этого иона:

$$\mu = 4,90 \text{ магнетонов Бора.} \quad (6)$$

Последнее число хорошо совпадает с известным значением μ , измеренным из восприимчивости.

Для $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ был обнаружен только один максимум абсорбции, лежащий при 1300 эрстед, что отвечает спину $S=1/2$, и это значение S хорошо совпадает с найденным ранее для свободного иона меди.

В заключение следует отметить, что приведенные выше результаты являются, насколько нам известно, первым непосредственным доказательством пространственного квантования спина атома в твердом теле.

Казанский
государственный университет
и Казанский филиал
Академии Наук СССР

Поступило
26 IV 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Завойский, Диссертация, 1944; J. of Physics, 10, № 2 (1946); 9, 211, 245 (1945).