

В. Г. БАРБЯХТАР, академик АН УССР А. А. ГАЛКИН,
С. Н. КОВНЕР, В. А. ПОПОВ

ОСОБЕННОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ДИГИДРАТЕ
ХЛОРИДА МЕДИ В НАКЛОННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ *

1. Исследованию антиферромагнитного резонанса в дигидрате хлорида меди в наклонном магнитном поле посвящены работы (1, 2), относящиеся к высоким частотам.

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости резонансных полей от угла ψ между легкой осью и внешним магнитным полем, лежащим в плоскости (ab), на низких частотах $\nu_1 = 5,2$ ГГц, $\nu_2 = 3,0$ ГГц, $\nu_3 = 1,1$ ГГц и $\nu_4 = 0,65$ ГГц. Резонансное поглощение наблюдалось лишь в том случае, когда угол наклона ψ не превышал некоторого критического значения ψ_K , зависящего от частоты. На частотах ν_1, ν_2, ν_3 было обнаружено по две резонансных линии, а на частоте ν_4 — лишь одна. Кривые зависимости $H_{\text{рез}}(\psi)$ исследовались при $T = 1,52^\circ \text{ К}$. Было найдено, что

имеется характерная впадина на кривых $H_{\text{рез}}(\psi)$ в области малых углов для большего резонансного поля. «Глубина» впадины составляет ≈ 19 эрст. на частоте ν_1 , ≈ 20 эрст. — на частоте ν_2 и ≈ 10 эрст. — на частоте ν_3 . Единственная линия поглощения на частоте $\nu_4 = 0,65$ ГГц существует лишь в том случае, когда магнитное поле H строго параллельно «легкой» оси a (см. рис. 1). На частоте $\nu_2 = 3$ ГГц исследовалось изменение формы кривой $H_{\text{рез}}(\psi)$ с изменением температуры в области температур от $1,52$ до $3,5^\circ \text{ К}$. Найдено, что впадина на этой кривой в области малых углов существует лишь при температурах от $1,52$ до

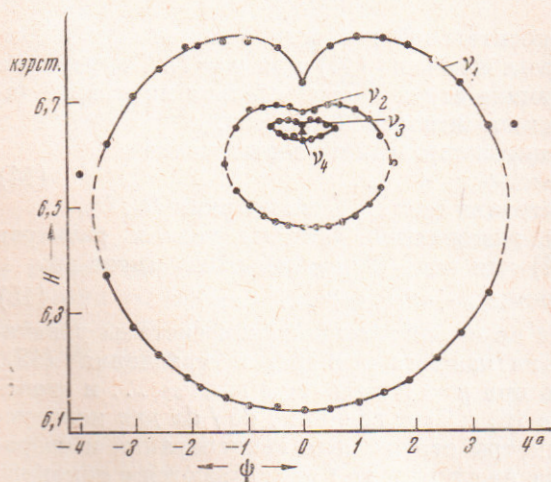


Рис. 1. Зависимость резонансного поля от угла ψ на частотах $\nu_1 = 5,2$ ГГц (точки), $\nu_2 = 3$ ГГц (точки), $\nu_3 = 1,1$ ГГц (точки), $\nu_4 = 0,65$ ГГц (треугольник); температура $T = 1,52^\circ \text{ К}$

$2,2^\circ \text{ К}$. При более высоких температурах впадина отсутствует и кривые зависимости $H_{\text{рез}}(\psi)$ являются выпуклыми (см. рис. 2). При минимальной температуре $T = 1,52^\circ \text{ К}$ на частоте $\nu_2 = 3$ ГГц, помимо двух линий поглощения, со стороны более высокого резонансного поля обнаружена третья линия поглощения (3). Эта линия наблюдалась в области малых углов ψ . По мере увеличения угла ψ интенсивность линии быстро уменьшается. Линия имеет несимметричную форму с большей крутизной со стороны меньших и медленным спадом со стороны больших полей. Исследования в области малых углов $\psi \leq 0,2^\circ$ показало, что значения резонансных

* Работа доложена на Всесоюзном совещании по физическим свойствам монокристаллов ферритов. Красноярск, июнь, 1969 г.

полей, соответствующих основному резонансному поглощению, остаются практически постоянными, тогда как поле, соответствующее максимуму дополнительного поглощения, заметно возрастает с увеличением угла ψ . Эта линия наблюдается при ориентации в.ч. магнитного поля вдоль оси c . Небольшие изменения ориентации кристалла, при которых ось c отклоняется от направления в.ч. магнитного поля, приводят к исчезновению третьей линии поглощения.

2. Для интерпретации описанных свойств поглощения в.ч. поля при антиферромагнитном резонансе будем исходить из следующих выражений для резонансных полей в двухосном антиферромагнетике в поле, параллельном легкой оси (⁴):

$$H_{1p}^2 = H_{\Pi}^2(1 + 2\varepsilon) - 3\omega^2 + (2\omega^2 - 3\varepsilon H_{\Pi}^2) \frac{H_{\Pi}^4 \sin^2 2\psi}{(3\omega^2)^2} + \frac{(72\varepsilon^3 H_{\Pi}^4 - 51\varepsilon H_{\Pi}^2 \omega^2 + \omega^4) H_{\Pi}^8 \sin^4 2\psi}{12\omega^2 (3\omega^2)^4}; \quad (1)$$

$$H_{2p}^2 = H_{\Pi}^2(1 - 2\varepsilon) + \omega^2 + 3\varepsilon H_{\Pi}^6 \omega^{-4} \sin^2 2\psi - \frac{(72\varepsilon^3 H_{\Pi}^4 + 15\varepsilon H_{\Pi}^2 \omega^2 + \omega^4) H_{\Pi}^8 \sin^4 2\psi}{4\omega^2 (3\omega^2)^4}, \quad (2)$$

где H_{1p} , H_{2p} — соответственно меньшее и большее резонансное поле; H_{Π} — критическое поле, при котором происходит опрокидывание магнитных подрешеток путем фазового перехода 1-го рода; ψ — угол между подмагничивающим полем и легкой осью; ω — частота в.ч. поля (разделенная на гиромангнитное отношение); $2\varepsilon = (H_1 - H_2)H_1^{-1}$; H_1 , H_2 — поля лабильности соответственно фаз с неопрокинутыми и опрокинутыми подрешетками. Формулы (1), (2) выписаны применительно к антиферромагнитному $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Экспериментально наблюдаемая впадина на кривой $H_{2p} = H_{2p}(\psi)$ в области малых углов находится в качественном согласии с формулой (2) при $\varepsilon > 0$. Из формул (1) и (2) следует, что глубина впадины уменьшается с уменьшением частоты. Кроме того, угол ψ_k , при котором $H_{1p} = H_{2p} = H_p$, уменьшается, а поле H_p увеличивается с уменьшением ω . Эти следствия из формул (1) и (2) также находятся в соответствии с экспериментальными результатами настоящей работы (см. рис. 1). Из формулы (1) следует, что при $\omega^2 < \frac{3}{2}\varepsilon H_{\Pi}^2$ кривая $H_{1p} = H_{1p}(\psi)$ перестает быть выпуклой в области малых углов. Однако такое поведение меньшего резонансного поля не было обнаружено в настоящей работе.

Возникновение дополнительного максимума на кривой зависимости поглощения в.ч. излучения от внешнего магнитного поля можно связать либо с наличием новой резонансной частоты, либо с особенностями формы второй линии поглощения. Появление новой резонансной частоты в области низких частот можно было бы объяснить особенностями поглощения в.ч. поля в антиферромагнетике, разбитом на домены. Однако разбиение на домены с 90° -ми границами происходит в магнитном поле, меньшем чем поле,

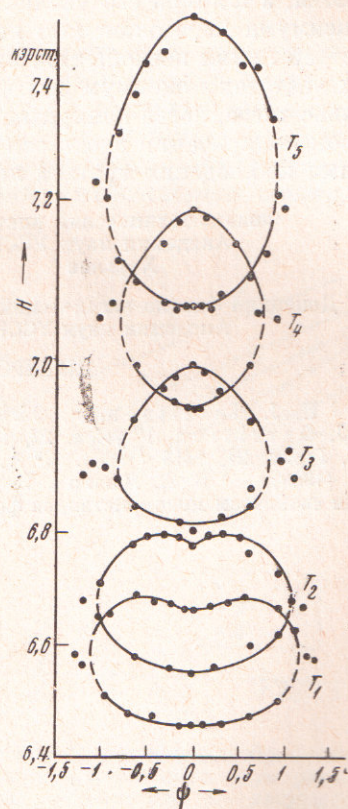


Рис. 2. Зависимость $H_{\text{рез}}(\psi)$ на частоте $\nu_2 = 3$ Гц при температурах $T_1 = 1,52^\circ \text{K}$, $T_2 = 2^\circ \text{K}$, $T_3 = 2,5^\circ \text{K}$, $T_4 = 3^\circ \text{K}$, $T_5 = 3,5^\circ \text{K}$

в котором наблюдается третья линия поглощения. Другая возможность объяснения связана со сложной формой полосы поглощения при заданной частоте. В работе (4) показано, что кроме пика, соответствующего резонансному поглощению при $H = H_{\text{рез}}$, имеется максимум в области нерезонансного поглощения, связанный с характером поляризации в.ч. поля. Причем, в соответствии с результатами работы (4), расстояние по полю между $H_{\text{рез}}$ и $H_{\text{нерез}}$ — полем, соответствующим максимуму нерезонансного поглощения, возрастает с возрастанием угла по закону

$$H_{\text{рез}} - H_{\text{нерез}} = -a \sin^2 \psi,$$

где $a > 0$. С увеличением угла ψ максимум, соответствующий $H_{\text{нерез}}$, уменьшается, а ширина его увеличивается. Следует также отметить, что форма максимума нерезонансного поглощения качественно совпадает с формой третьей линии поглощения, наблюдавшейся в настоящей работе. При низких частотах максимум нерезонансного поглощения может наблюдаться только тогда, когда поляризация в.ч. поля весьма близка к линейной с вектором поляризации вдоль оси c . Это также качественно согласуется с условиями наблюдения третьей линии поглощения в настоящей работе.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
11 XI 1969

Донецкий физико-технический институт
Академии наук УССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. J. Gerritsen, R. Okkes et al., *Physica*, **21**, 629 (1955); M. Garber, H. J. Gerritsen, *Physica*, **22**, 189 (1956). ² M. Date, H. Yamazaki, *J. Phys. Soc. Japan*, **21**, 1615 (1966). ³ А. А. Галкин, С. Н. Ковнер, *Письма ЖЭТФ*, **9**, 456 (1969). ⁴ В. А. Попов, В. Скиданенко, Тр. Всесоюз. совещ. по физическим свойствам монокристаллов ферритов, г. Красноярск, июнь, 1969.