

## АНИЗОТРОПИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ МАГНОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ $\text{CsMnF}_3$

Б.Я. Котюжанский, Л.А. Прокурова

Обнаружена резкая гексагональная анизотропия порогового поля параметрического возбуждения магнонов в  $\text{CsMnF}_3$  на частоте накачки  $\nu_p = 18 \text{ Гц}$  по направлению статического поля  $\mathbf{H}$  в базисной плоскости кристалла. Проведенные эксперименты, по-видимому, указывают на анизотропное возбуждение магнонов в  $\mathbf{k}$ -пространстве.

В настоящей работе изучалось параметрическое возбуждение электронных магнонов в гексагональном легкоплоскостном антиферромагнетике  $\text{CsMnF}_3$ . Эксперименты проводились на частоте накачки  $\nu_p = 18 \text{ Гц}$  при  $T = 1,2 \pm 0,3 \text{ К}$ . Монокристаллический образец цилиндрической формы помещался на дно цилиндрического СВЧ резонатора в пучность магнитного поля  $\mathbf{h}$  колебания  $H_{011}$  так, что статическое  $\mathbf{H}$  и СВЧ  $\mathbf{h}$  магнитные поля лежали в базисной плоскости кристалла. Направление  $\mathbf{H}$  путем поворота электромагнита могло изменяться. Кроме того, с помощью специального приспособления можно было вращать образец вокруг оси  $S_6$ . Таким образом можно было независимо изменять направления  $\mathbf{h}$  и  $\mathbf{H}$  относительно осей кристалла.

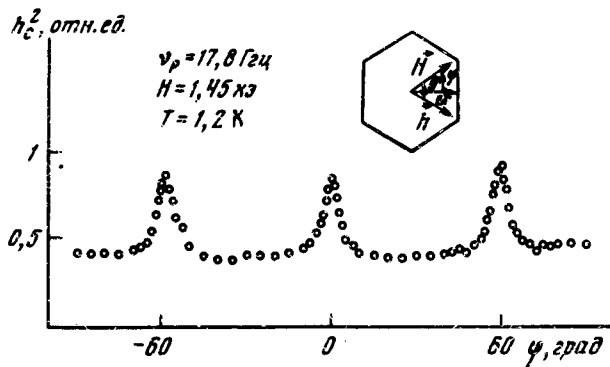


Рис. 1. Зависимость квадрата порогового поля параметрического возбуждения от направления  $\mathbf{H}$  в базисной плоскости кристалла

В результате проведенных экспериментов оказалось, что пороговое поле  $h_c$  аномальным образом зависит от направления статического магнитного поля относительно осей кристалла. На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость  $h_c(\phi)$ , где  $\phi$  — угол между направлением статического поля и бинарной гранью кристалла. Видно, что имеет место резкая гексагональная анизотропия величины порогового поля, приводящая к появлению на зависимости  $h_c(\phi)$  сравнительно узких пиков с шириной  $\sim 10^\circ$ . Эксперименты проводились на ряде образцов, изготовленных в разное время, и каждый раз наблюдались подобные аномалии. От-

ношение  $h_{c \max} / h_{c \min}$  изменялось от образца к образцу и доходило до  $\sim 3$  при  $T = 1,2 \text{ K}$ . Рентгеновское исследование образцов показало, что во всех случаях направление  $\mathbf{H}$ , соответствующее  $h_{c \max}$ , совпадало в пределах точности эксперимента ( $\pm 2^\circ$ ) с направлением кристаллографической бинарной грани.

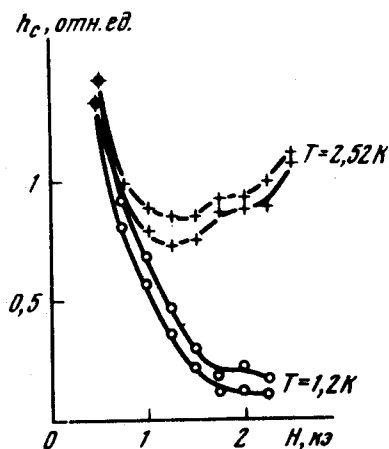


Рис. 2. Зависимости  $h_{c \max}$  и  $h_{c \min}$  от магнитного поля

На рис. 2 представлены зависимости  $h_{c \max}$  и  $h_{c \min}$  от магнитного поля при различных температурах. В пределах точности эксперимента разность  $h_{c \max} - h_{c \min}$  не зависит от  $T$ , в то время, как сами величины изменяются на порядок.

Теория параметрического возбуждения магненов [1] дает следующее выражение для порогового поля

$$h_c = \min(\gamma_{\mathbf{k}} / V_{\mathbf{k}}), \quad (1)$$

где  $\gamma_{\mathbf{k}}$  — релаксация магненов с волновым вектором  $\mathbf{k}$ , а  $V_{\mathbf{k}}$  — связь параметрических магненов с полем накачки. Поскольку в теории рассматривали антиферромагнетик изотропным и дипольным взаимодействием пренебрегали из-за малости макроскопической намагниченности, то  $\gamma_{\mathbf{k}}$  и  $V_{\mathbf{k}}$  получались независимыми от направления  $\mathbf{k}$ , в частности

$$V_{\mathbf{k}} = \frac{2\gamma H \cos \theta}{\nu_p}, \quad \theta = \hat{\mathbf{k}} \mathbf{H}. \quad (2)$$

Объяснить наблюдаемое явление можно, на наш взгляд, двумя способами. Во-первых, в принципе возможно, что  $\gamma_{\mathbf{k}}$  для всех  $\mathbf{k}$  зависит от угла  $\phi$  (аналогичная зависимость в  $V_{\mathbf{k}}$  не позволит объяснить зависимости величины эффекта от температуры, так как  $V_{\mathbf{k}}$  не зависит от температуры). Хотя в теории такая возможность не рассматривалась, к зависимости  $\gamma_{\mathbf{k}}(\phi)$  может приводить, например, допускаемая симметрией кристалла гексагональная магнитная анизотропия в базисной плоскости. Однако существуют два соображения, противоречащие такому объяснению: во-первых, исследование угловой зависимости АФМР на частоте  $9 \text{ Гц}$  на тех же образцах показало, что в пределах точности эксперимента ( $\sim 1\%$ ) резонансное поле  $H_R(\phi) = \text{const}$ , и, таким обра-

зом, анизотропия в плоскости мала ( $H_{a2} < 0,1 \text{ э}$ ). Во-вторых, наличие гексагональной анизотропии  $H_{a2}$  должно, по-видимому, приводить к плавной зависимости  $h_c(\phi)$  вида  $h_c \propto \sin 6\phi$ , в то время как в эксперименте наблюдаются резкие пики.

Наблюдаемое явление можно объяснить другим способом, если предположить, что параметрические магны возбуждаются не изотропно в  $\mathbf{k}$ -пространстве, а в направлении, связанном с  $\mathbf{H}$ , и, что существует гексагональная анизотропия релаксации магнов по направлению  $\mathbf{k}$ . Такая анизотропия релаксации может быть обусловлена дефектами в образце, которые, как известно, могут выстраиваться в кристалле в определенных направлениях. С этим согласуется наблюдаемое изменение величины эффекта от образца к образцу. К анизотропии возбуждения магнов в  $\mathbf{k}$ -пространстве может приводить дипольное взаимодействие. Теоретически этот вопрос был рассмотрен в работе [1]. Из [1] следует, что в  $\text{CsMnF}_3$  в первую очередь должны возбуждаться магны с  $\mathbf{k} \parallel \mathbf{H}$ .

Для исследования анизотропии возбуждения магнов в  $\mathbf{k}$ -пространстве и определения "легкого" направления был поставлен эксперимент, основанный на том, что при  $T = 1,2\text{К}$  собственная релаксация магнов настолько мала, что существенный вклад в релаксацию вносит рассеяние на границах кристалла [2]. Была выточена пластинка из  $\text{CsMnF}_3$  размером  $2,5 \times 2,5 \times 0,5 \text{ мм}^3$  таким образом, что ее плоскость была перпендикулярна базисной. Образец приклеивался в резонатор так, чтобы плоскость пластинки составляла угол  $45^\circ$  с направлением  $\mathbf{h}$  (см. рис. 3). Измерялось отношение  $\sigma = h_c^2(\theta = -45^\circ)/h_c^2(\theta = 45^\circ)$ .

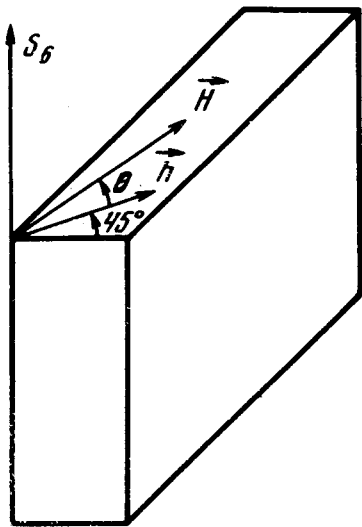


Рис. 3. Геометрия эксперимента с тонкой пластинкой

Предположим, что магны возбуждаются анизотропно (скорее всего, они должны рождаться с  $\mathbf{k} \parallel \mathbf{H}$  или  $\mathbf{k} \perp \mathbf{H}$ ). Тогда в данном эксперименте они будут возбуждаться либо вдоль, либо поперек пластинки и при температурах, где существенно рассеяние на границах,  $\sigma$  должно отличаться от единицы. Измерения проводились в интервале температур  $1,2 \div 1,7\text{К}$ . При  $T = 1,7\text{К}$   $\sigma = 1$ , с уменьшением температуры величина  $\sigma$  возрастала и при  $T = 1,2\text{К}$  достигала значения 1,4. Таким образом

проведенные эксперименты, по-видимому, свидетельствуют об анизотропном распределении параметрических магновов в  $\mathbf{k}$ -пространстве ( $\mathbf{k} \parallel \Pi$ ) вблизи порога возбуждения.

Кроме того, из того факта, что  $h_{c \max} - h_{c \min}$  не изменяется с температурой, следует, что релаксация, связанная с рассеянием магновов на дефектах, входит аддитивно в релаксацию магновов.

Авторы благодарят П.Л.Капицу и А.С.Боровика-Романова за интерес к работе. Благодарим также С.В.Петрова за изготовление монокристаллов  $\text{CsMnF}_3$  и В.С.Воронина за техническую помощь.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
5 июля 1976 г.

Институт кристаллографии  
Академии наук СССР

### Литература

- [ 1 ] В.С.Львов, М.И.Широков. ЖЭТФ, 67, 1932, 1974.  
[ 2 ] Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 65, 2470, 1973.
-