

Ордена Ленина

ИАЭ-2197

Институт атомной энергии

им. И. В. Курчатова

В. И. Ожогин, А. Ю. Якубовский

Жесткое возбуждение магнонов при параллельной накачке в антиферромагнетике

Москва 1972

ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ИМ. И.В.КУРЧАТОВА

В.И.Ожогин
А.Ю.Якубовский

**ЖЕСТКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ МАГНОНОВ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАКАЧКЕ
В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ**

**М О С К В А
1972**

Ключевые слова:
физика твердого тела, эксперимент,
магноны (спиновые волны), возбужде-
ние, параллельная накачка, антифер-
ромагнетики, сверхвысокие частоты,
клистрон.

0506

А Н Н О Т А Ц И Я

При исследовании параллельной накачки на частоте $\omega_p = 22 \cdot 10^{10}$ сек⁻¹ в MnCO_3 ($T=1,6^\circ\text{K}$) в непрерывном по мощности режиме обнаружено скачкообразное возникновение и исчезновение возбужденного состояния магнонов. Предлагаемое объяснение основывается на четырехчастичном парном взаимодействии магнонов, принадлежащих изоэнергетической поверхности $\omega_{1\vec{k}} = \omega_p/2$.

JUMPLIKE ("HARD") EXCITATION OF MAGNONS

AT PARALLEL PUMPING IN ANTIFERROMAGNET.

V.I.Ozhogin, A.Yu.Yakubovskii.

Kurchatov Institute of Atomic Energy, Moscow, USSR.

The jumplike rise and quenching (with hysteresis) of excited magnons state were observed at the parallel pumping in easy plane antiferromagnet MnCO_3 ($T=1,6\text{K}$) at the frequency $\omega_p = 22 \cdot 10^{10} \text{sec}^{-1}$ ($\lambda_{\text{microwave}} \approx 8 \text{ mm}$). The explanation proposed is based on fourparticle pair interaction of magnons belonging to the isoenergy surface $\omega_{1\vec{k}} = \frac{\omega_p}{2}$.

Исследования параметрического возбуждения спиновых волн (магнонов) в MnCO_3 с помощью параллельной накачки начаты сравнительно недавно [1-3]. В этом методе используется импульсная [1-3] или квазиимпульсная [3,4] СВЧ-накачка. Не представлялось естественным, что использование непрерывного воздействия СВЧ-поля на образец позволит обнаружить детали явления.

В качестве объекта исследования был выбран легкоплоскостный АС MnCO_3 . Источником СВЧ-энергии с частотой $\nu_p = 35$ ГГц служил клистрон мощностью ~ 10 мВт. Частотник монокристаллического MnCO_3 размерами около $1,5 \times 1,5 \times 0,5$ мм³ помещалась в проходной цилиндрический резонатор с добротностью $Q \approx 4000$ (мода TE_{012}), который был наполнен сверхтекучим жидким гелием ($T=1,6^\circ\text{K}$). СВЧ-поле $\vec{h}$ и постоянное магнитное поле $\vec{H}_0$ были параллельны друг другу и базисной ("легкой") плоскости кристалла.

На рис.1а и 2 приведены примеры экспериментальных зависимостей величины прошедшей через резонатор мощности в функции внешнего магнитного поля (при постоянной входной мощности - рис.1а) и входной мощности (при постоянном внешнем поле - рис.2).

Обратим внимание на следующие детали:

1) Наименьший порог возбуждения магнонных пар имеет место при H_0 , близких к H_c , т.е. при $\vec{K} \rightarrow 0$ (кривые 2,3 на рис.1а). Это согласуется с предсказанием простейшей теории [5а]:

$$\gamma h_c = \frac{2\eta_{1k} \cdot \omega_p}{\gamma(2H_0 + H_D)},$$

если не предполагать аномальной зависимости релаксационных частот $\eta_{1k} \equiv \Delta\omega_{1k}/2$ магнонов ω_{1k} от K .

2) Из измерений при малых превышениях мощности накачки над минимальной пороговой обнаруживается, как и в [4], фоновый горб на кривых $h_e(H_0) \approx h_q(H_0) \approx h_c(H_0)$ - см.рис.1б. Ширина горба значительна. Поэтому анализировать его следует с учетом множественности точек пересечения фонового и магнонного спектров в MnCO_3 , в котором предельные скорости магнонов различны для различных $\vec{K}$ [6].

3) Незначительное отклонение самого правого участка кривой $h_c(H_0)$ от вертикали легко объясняется небольшим влиянием диполь-дипольного взаимодействия на спектр магнонов [5б] и их связь с накачкой. Отклонение кривых $h_e(H_0)$ и $h_q(H_0)$ от приблизительно гиперболических (см.формулу (1)) в области малых $H_0 < 50$ э связано с появлением доменной структуры.

4) Пик " H_1 " (см. рис. I в [4a]) ни на одной из кривых прошедшей мощности (рис. 1a), снятых в непрерывном режиме, достаточно четко не проявляется. Это связано, по-видимому, с тем, что ширина гистерезиса по H_0 при возникновении и исчезновении возбужденного состояния (см. ниже) превышает ширину пика, и с наличием неизбежного непостоянства мощности накачки и внешнего поля. Чтобы выявить соответствующий пик на кривой $h_c(H_0)$, мы произвели ряд записей (типа IO и II на рис. 1a) прошедшей мощности от H_0 при модуляции частоты клистрона меандром. Обращает на себя внимание наличие тонкой структуры при малых превышениях мощности над минимальной пороговой.

5) Наибольший интерес представляет наблюдаемый в широком интервале постоянных полей вдали от H_c явно скачкообразный ("жесткий") характер появления и исчезновения параметрических магнонов (рис. 1a и 2). Очевидно также несовпадение соответствующих значений поля при заданной амплитуде на входе резонатора (рис. 1a) и несовпадение амплитуд возбуждения h_e и гашения h_g при постоянном H_0 (рис. 2). К гистерезисам могут приводить нагревание образца (см. например, [7]) и изменение действительной части восприимчивости χ' при $h > h_c$, однако в этих случаях петли гистерезиса имели бы обратный вид - такой, как при $H_0 \approx H_c$ на рис. 1a.

Скачкообразное возникновение возбужденного состояния при параллельной накачке в АФ может быть наблюдеено и в импульсном режиме. Это следует, в частности, из осциллограммы, приведенной в работе [4б], и было отмечено А.С.Боровиком-Романовым (частное сообщение).

"Жесткое" возбуждение и гашение параметрических магнонных пар может быть обусловлено определенными физическими механизмами. Одним из них может быть следующий. В АФЛП благодаря слабому влиянию поля магнонов связь с накачкой практически одинакова для всех пар потенциально нестабильных магнонов. Волновые векторы K последних заполняют в K - пространстве некоторый слой малой толщины $\sim 2\pi k / 17\pi \omega_{1k}$ около изоэнергетической поверхности S_ω , описываемой уравнением $\omega_{1k} = \omega_p/2$ (для $MnCO_3$ это эллипсоид вращения [6]). Среди каналов магнон-магнонной релаксации имеется один, в котором вместе с "пробным" магноном ω_{1k} с поверхности S_ω исчезает его "напарник" $\omega_{1,-k}$, а рождается пара $\omega_{1k} + \omega_{1,-k}$ с K также на S_ω . Эти процессы описываются той же частью полного гамильтониана, которая дает предложенную в [8] "перенормировку накачки". Их вклад $\Delta\eta_{1k}$ в η_{1k} исчезает при равномерном распределении чисел заполнения n_{1k} по S_ω . "Мягкое" (по одной) возбуждение магнонных пар на S_ω задерживается из-за этого канала релаксации. Рост h при постоянном H_0 (или, что то же, соответствующее кривой $h_c(H_0)$ изменение H_0 при постоянном h) приводит лишь к "нагреву"

S_ω до тех пор, пока скачком (т.к. при этом исчезнет $\Delta\eta_{1k}$) не возбудится все магноны этой поверхности. Подобные же рассуждения можно привести для качественного объяснения "жесткого" гашения магнонных пар. Следует учитывать только, что в этом случае при $h_g < h < h_e$ рассматриваемые четырехмагнонные процессы поддерживают амплитуду "пробного" магнона и его "напарника" за счет накачки от всех пар поверхности S_ω . Предлагаемый механизм, естественно, приводит к зависимости ширины гистерезиса по h от H_0 (см. рис. 2), т.к. относительная величина вклада парного четырехмагнонного взаимодействия в частоту релаксации η_{1k} зависит от площади поверхности S_ω .

Мы глубоко признательны И.К.Кикоину за интерес к этой работе. Искренне благодарим Н.Ю.Икорникову за предоставление монокристалла $MnCO_3$, А.С.Боровика-Романова, Л.А.Прозорову и Б.Я.Котюжанского за полезные обсуждения.

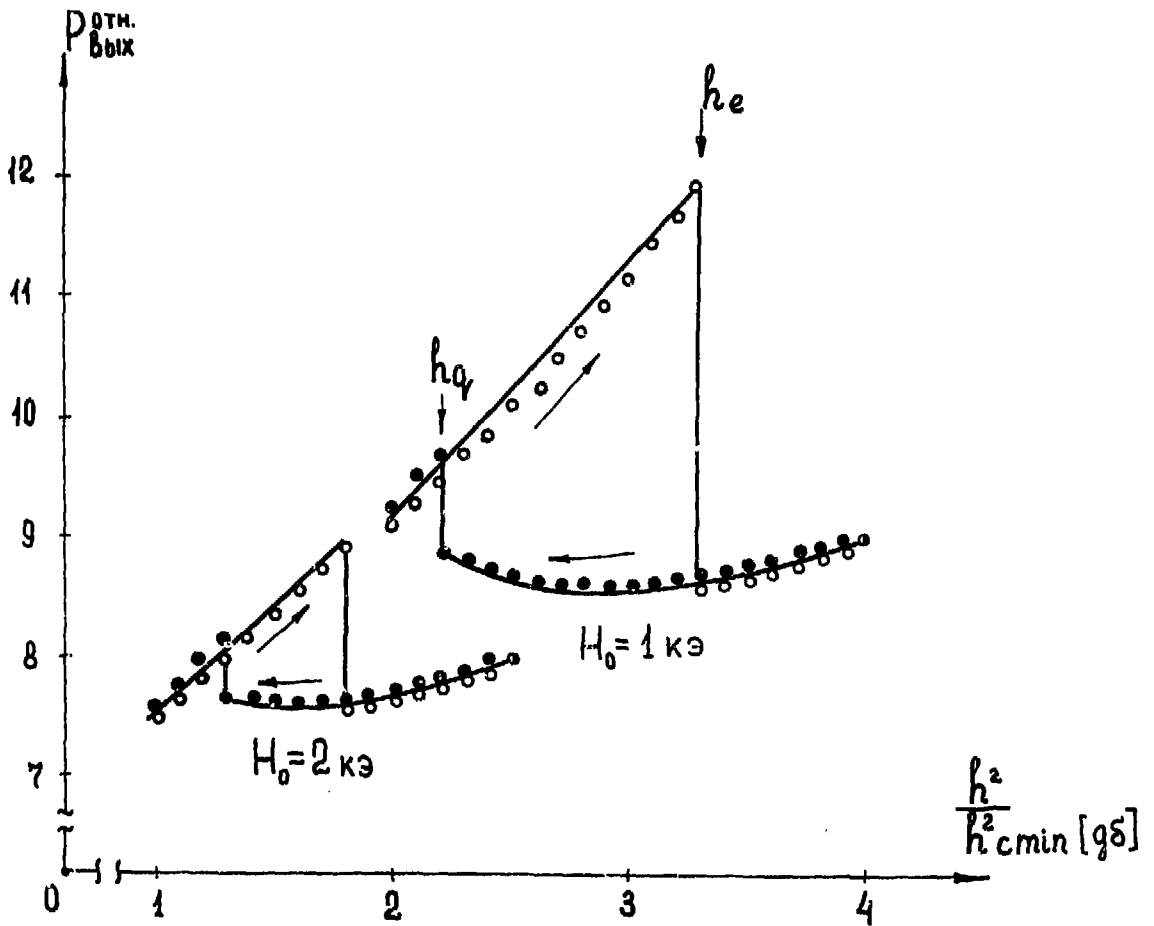


Рис.2. Примеры зависимости прошедшей мощности от мощности на входе резонатора при фиксированных H_0 . (Все мощности измерены относительно минимальной пороговой $h_{c \min} \approx 0,1 \text{ э.}$)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] L.W. Hinderzks, P.M. Richards, J. Appl. Phys. 39, 824 (1968).
- [2] M.H. Seavey, J. Appl. Phys. 40, 1597 (1969).
- [3] Л.А.Прозорова, А.С.Боровик-Романов. Письма ЖЭТФ, 10, 316 (1969).
- [4] Б.Н.Котляжковский, Л.А.Прозорова. а) Письма в ЖЭТФ 13, 430 (1971); б) ЖЭТФ, 62, 1071 (1972).
- [5] В.И.Ожогин а) ЖЭТФ, 58, 2079 (1970); б) ЖЭТФ, 48, 1307 (1965).
- [6] T.M. Holden, P. Martel . Частное сообщение [46].
- [7] H. Yamazaki, M. Date. J. Phys. Soc. Japan, 23, 737 (1967).
- [8] В.Е.Захаров, В.С.Львов, С.С.Старобинец. ЖЭТФ, 59, 1200 (1970).

Рукопись поступила в ОНТИ 3 мая 1972 г.



Техн. редактор Н.И.Мазанова
Корректор В.П.Горачева
Т-07735.12.05.72г.Формат 60х90 1/8.
Уч.-изд.л.0,51.Тир.150 экз.8ак.10129.
ОПТИ. ИАВ.