

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАГНОНАХ

Н.Н.Кирюхин, Ф.В.Лисовский

Экспериментально наблюдалась дифракция света на спиновых волнах с волновыми числами $\sim 3 \cdot 10^3 \div 1,2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$. Обнаружены необычный вид поляризационных характеристик и нелинейный характер зависимости интенсивности дифрагированного излучения от мощности СВЧ, свидетельствующие о том, что дифракция происходит на спиновых волнах, параметрически возбужденных в условиях, близких к основному резонансу.

Вопрос о поведении спиновой системы за порогом параметрического возбуждения в течение длительного времени привлекает к себе внимание и является предметом многочисленных дискуссий [1, 2]. Однако исследование возбужденной системы магнонов традиционными радиоспектроскопическими методами затруднено; получаемые при этом данные являются косвенными и не исключают неоднозначности интерпретации. Более эффективными оказываются в данном случае магнитооптические методы, позволяющие непосредственно определить запороговые характеристики системы параметрически возбужденных магнонов [3 – 5]. Подобный метод, в частности, был успешно применен для исследования процессов в области дополнительного поглощения [5]. Нами наблюдалась дифракция света на параметрически возбужденных спиновых волнах (ПСВ) в условиях, близких к основному резонансу.

В экспериментах использовалась продольно намагниченная монокристаллическая призма $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ размером $10,7 \times 3,0 \times 2,9 \text{ мм}^3$, ребра которой были параллельны осям элементарной кубической ячейки. Возбуждение призмы осуществлялось на частоте $f_0 = 1,2 \text{ ГГц}$ прямой проволочной антенной, расположенной у торца. Генератор СВЧ работал в импульсном режиме (длительность импульса $20 \div 500 \text{ мксек}$, частота повторения 1000 Гц); максимальная пиковая мощность излучения составляла около 1 вт . Пучок света от He-Ne- лазера ($\lambda = 1,15 \text{ мкм}$),

пройдя через поляризатор и фокусирующую линзу ($F \approx 10$ см), падал на образец и рассеивался возбужденными в кристалле волнами. Для регистрации дифрагированного излучения использовался фотодиод и схема синхронного детектирования.

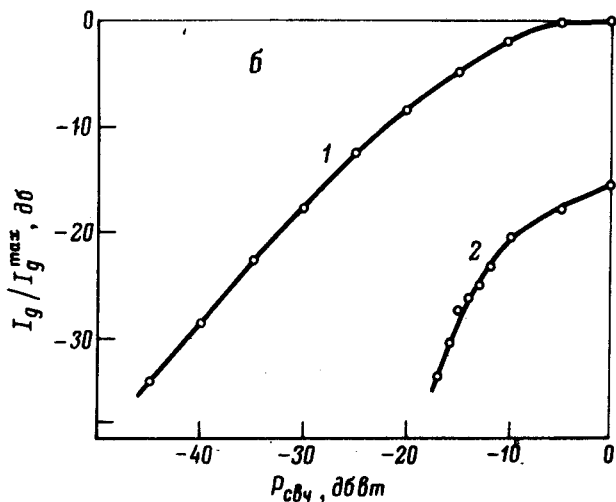
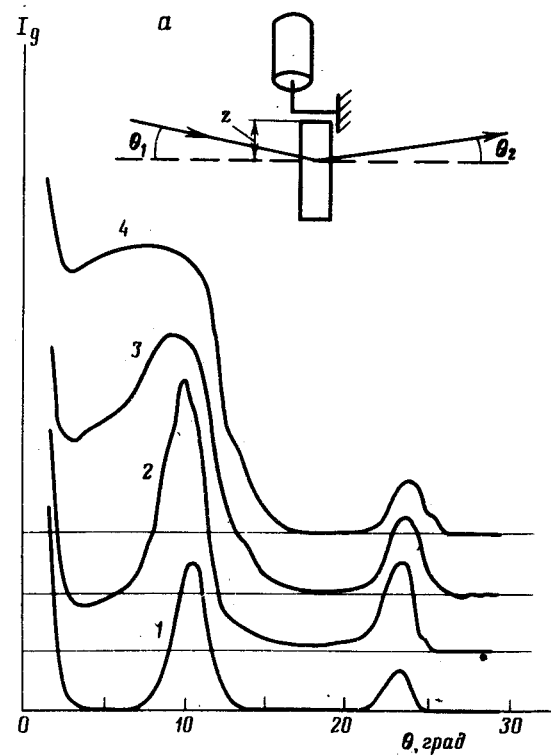


Рис. 1. Зависимость интенсивности дифрагированного излучения при $H \approx 580$ э: а) от угла дифракции $\theta = \theta_1 + \theta_2$ при пиковой мощности СВЧ $\sim 0,3$ вт для z (мм): 1 - 5,3; 2 - 5,1; 3 - 4,9; 4 - 4,7; б) от мощности СВЧ при $z = 5,1$ мм для МСВ максимума (кривая 1) и дополнительного максимума ($\theta = 10^\circ$; кривая 2)

При мощности СВЧ, превышающей некоторое характерное значение $P_{кр}$ (~ 10 мвт), в интервале углов дифракции $3^\circ \lesssim |\theta| \lesssim 12^\circ$, расположенном между магнитоэластическим (МСВ) ($|\theta| \lesssim 1^\circ$) и магнитоупругим (МУВ) ($20^\circ \lesssim |\theta| \lesssim 23^\circ$) максимумами, возникали дополнительные дифракционные максимумы. На рис. 1, а приведены кривые зави-

симости интенсивности дифрагированного излучения от угла дифракции при различных значениях z (см. врезку). Видно, что при удалении точки зондирования от середины образца ($z = 5,35$ мм) дополнительный максимум расширялся и постепенно сливался с максимумом для МСВ (см. работу об "аномальной дифракции" [4]). Зависимость интенсивности дифрагированного излучения от мощности СВЧ для обоих максимумов показана на рис. 1, б. При мощности, превышающей $P_{кр}$, наблюдается заметное отклонение от линейного закона на кривой для МСВ и возникает дополнительный максимум, а при дальнейшем увеличении мощности обе зависимости обнаруживают тенденцию к насыщению. Это позволяет предположить, что существование дополнительного максимума связано с параметрическим возбуждением спиновых волн, причем характерное значение мощности СВЧ $P_{кр}$ соответствует порогу возбуждения.

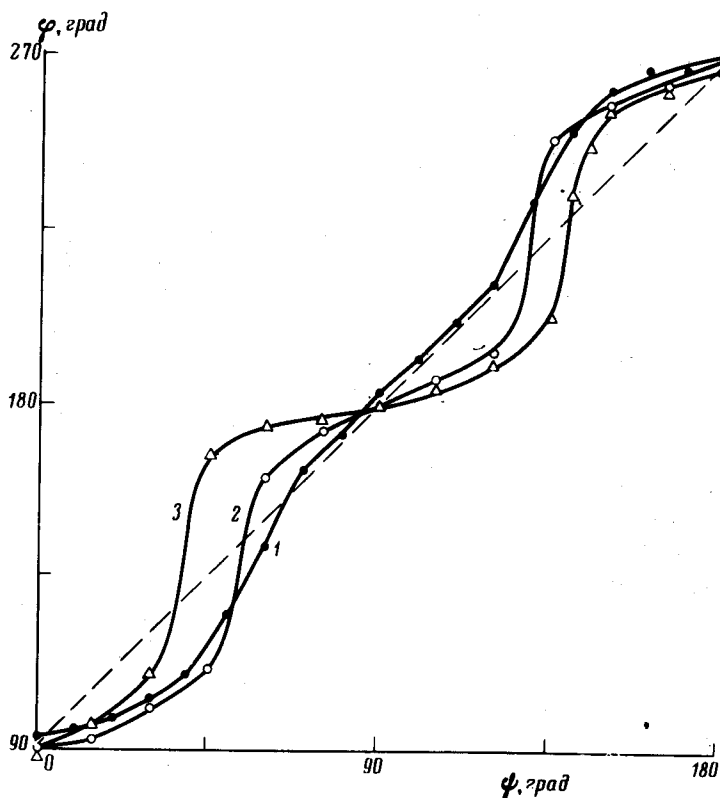


Рис. 2. Поляризационные характеристики дифрагированного излучения при различных значениях мощности СВЧ.

$P_{СВЧ}(\text{дБвт})$: 1 (-14); 2 (-12); 3 - 0. $z = 5,2$ мм; $H \approx 580$ э; $\theta = 10^\circ$

Нами исследовались также поляризационные характеристики для дополнительного максимума. На рис. 2 для различных значений СВЧ мощности P приведены зависимости $\phi(\psi)$, характеризующие связь ориентаций большой оси эллипса поляризации дифрагированной волны (ϕ) и плоскости поляризации падающего света (ψ); углы ϕ и ψ отсчитываются от плоскости дифракции. При небольшом ($\sim 1\text{дБ}$) превышении

над $P_{кр}$ поляризационные характеристики близки по виду к наблюдавшимся ранее для случая дифракции на МСВ [4, 6]. При увеличении мощности характер зависимости $\phi(\psi)$ качественно меняется, и она приобретает вид подобный зависимости $\phi(\psi)$ для "аномальной дифракции" [4]. При дифракции света на любых когерентных элементарных возбуждениях в магнитоупорядоченном кристалле подобных характеристик получить нельзя.

Дополнительные дифракционные максимумы наблюдались в узком интервале полей подмагничивания (для $z = 5$ мм, например, $\delta H \lesssim 8$ э) вблизи значения поля, соответствующего резонансу для спиновых волн с $\theta_k = 0$ на частоте f_0 в точке наблюдения, причем увеличение поля (в интервале δH) смещало максимумы в сторону меньших углов дифракции (в интервале $3^\circ \lesssim |\theta| \lesssim 12^\circ$).

Для определения направления волнового вектора спиновых волн была исследована зависимость интенсивности дифрагированного света от угла падения света на образец θ_1 при неизменном угле дифракции $\theta = \theta_1 + \theta_2$. Результаты этих измерений показали, что дифракция происходит на волнах с $\theta_k = 0$, а ширина углового спектра $(\Delta\theta_k)_{0,5}$ не превышает 1° .

Результаты наших экспериментов позволяют предположить, что появление дополнительных дифракционных максимумов связано с дифракцией на спиновых волнах, параметрически возбужденных в условиях, близких к условиям основного резонанса¹⁾. В качестве наиболее вероятного механизма возбуждения можно указать невырожденное параметрическое возбуждение спиновых волн с частотами и волновыми векторами, удовлетворяющими условиям $f_1 + f_2 = 2f_0$, $\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = 2\mathbf{k}_{МСВ}$, причем частоты f_1 и f_2 близки к f_0 [7]. При этом необычное поведение поляризационных характеристик может быть объяснено, если учесть, что при параметрическом возбуждении большого числа спиновых волн нарушается корреляция между усредненными по ансамблю переменными компонентами намагниченности $\langle m_x \rangle$ и $\langle m_y \rangle$ [8]. Выполненный нами расчет для случая произвольной степени корреляции между $\langle \dot{m}_x \rangle$ и $\langle \dot{m}_y \rangle$ показал, что для стоксовой компоненты дифрагированного излучения зависимость $\phi(\psi)$ имеет вид

$$\phi = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \arctg \frac{(\alpha^2 \langle \dot{m}_y \rangle^2 - \beta_2^2 \langle \dot{m}_x \rangle^2) \sin 2\psi}{(\alpha^2 \langle \dot{m}_y \rangle^2 + \beta_2^2 \langle \dot{m}_x \rangle^2) \cos 2\psi - 2\alpha\beta_2 \sqrt{\langle \dot{m}_x \rangle^2 \cdot \langle \dot{m}_y \rangle^2}}$$

где α и β_2 — магнитооптические константы соответственно первого и второго порядков. При $|r| = 1$ (случай полной корреляции) эта зависимость аналогична полученной в работе [6] для когерентных спиновых волн. Наблюдаемые в эксперименте при различных значениях мощности СВЧ кривые $\phi(\psi)$ хорошо описываются теоретическими зависимостями при соответствующем выборе коэффициента корреляции $0 < |r| < 1$, что позволяет по величине коэффициента корреляции делать

¹⁾ Возможно, аналогичное явление наблюдалось в работе [5], однако приведенные там результаты не позволяют однозначно судить об этом.

вполне определенные выводы о состоянии спиновой системы за порогом возбуждения.

Авторы выражают благодарность А.С.Боровику-Романову и членам руководимого им семинара, а также Я.А.Моносову за обсуждение работы и полезные замечания, Ю.М.Яковлеву за предоставление монокристалла и О.В.Токаревой за помощь в проведении экспериментов.

Поступила в редакцию
15 мая 1976 г.

После переработки
28 сентября 1976 г.

Литература

- Я.А.Моносов. Нелинейный ферромагнитный резонанс. М., 1971.
- [2] В.Е.Захаров, В.С.Львов, С.С.Старобинец. УФН, 114, 609, 1974.
- [3] В. Desormiere, H. Le Gall. IEEE Transactins on Magnetics, MAG-8, 379, 1972.
- [4] Н.Н.Кирюхин, Ф.В.Лисовский, Г.В.Скобелин. Письма в ЖЭТФ, 20, 712, 1974.
- [5] Ю.А.Гайдай, И.И.Кондиленко, А.А.Соломко. Письма в ЖЭТФ, 21, 575, 1975.
- [6] Н.Н.Кирюхин, Ф.В.Лисовский, Г.В.Скобелин. Оптика и спектроскопия, 39, 735, 1975.
- [7] M. Bini, L. Millanta, N. Rubino, V. Tognetti, J. A. P., 40, 1193, 1969.
- [8] А.С.Михайлов. Письма в ЖЭТФ, 20, 353, 1974.
-