

## СВЧ МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА АНТИФЕРРОМАГНИТНЫМ РЕЗОНАНСОМ В $\text{CoCO}_3$

*А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес,  
А.А.Ланков*

В работе исследуется спектральный состав света, прошедшего через кристалл – слабоферромагнитный  $\text{CoCO}_3$  – в момент возбуждения в нем низкочастотной ветви АФМР на частоте  $\sim 36$  Гц. Зарегистрированный спектр содержит сателлит, частота которого отличается от частоты падающего света ( $\lambda = 0,63$  мкм) на частоту АФМР. Это свидетельствует о том, что часть прошедшего через кристалл света промодулирована частотой АФМР. Модуляция света вызвана наличием в  $\text{CoCO}_3$  анизотропного магнитного двупреломления.

В работе [1] был произведен расчет, показавший, что наличие анизотропного магнитного двупреломления в антиферромагнетиках должно приводить к модуляции света, прошедшего через кристалл, при возбуждении в последнем однородного антиферромагнитного резонанса. Нами была предпринята попытка обнаружить такой эффект на кристалле  $\text{CoCO}_3$ .

$\text{CoCO}_3$ <sup>1)</sup> является хорошо изученным антиферромагнетиком со слабым ферромагнетизмом с анизотропией легкая плоскость [2]. Он обладает довольно большим анизотропным магнитным двупреломлением в базисной плоскости [3], т. е. в антиферромагнитном состоянии в этом кристалле возникает разность показателей преломления  $n_x - n_y = 27 \cdot 10^{-5}$  для луча света, распространяющегося перпендикулярно базисной плоскости. Мы исследовали спектральный состав света, прошедшего через этот кристалл, при возбуждении в нем низкочастотной ветви АФМР [4]. В качестве спектрального прибора использовался высококонтрастный (контрастность  $\sim 10^7 - 10^8$ ) трехпроходный сканируемый интерферометр Фабри – Перо американской фирмы "Burleigh". Сканирование осуществлялось с помощью пьезокерамики. Общая схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Луч света от гелий-неонового лазера ЛГ-56 ( $\lambda = 0,63$  мкм, мощность  $\sim 2$  мвт) проходил последовательно через поляризатор, образец, анализатор, интерферометр Фабри – Перо, коллиматор и попадал на фотоприемник. В качестве фотоприемника использовался охлаждаемый ФЭУ-79, работавший в режиме счета фотонов. Снимаемый с него сигнал подавался на счетчик фотонов с аналоговым выходом и регистрировался двухкоординатным самописцем (y-координата). На x-координату самописца подавался сигнал, пропорциональный сдвигу частоты света, пропускаемого интерферометром, возникающему при его сканировании.

АФМР в кристалле возбуждался клистронным генератором ГЗ-30 на частоте  $\nu = 35 \div 40$  Гц. Исследуемый образец помещался внутри

<sup>1)</sup> Авторы сердечно благодарят Н.Ю.Икорникову и В.М.Егорова за предоставленные кристаллы  $\text{CoCO}_3$ .

закороченного волновода на поршне в пучность магнитной компоненты СВЧ-поля. Сигнал поглощения микроволновой мощности детектировался и регистрировался вторым двухкоординатным самописцем ( $y$ -координата), на  $x$ -координату которого подавался сигнал пропорциональный величине магнитного поля. В резонансе образец поглощал приблизительно половину падающей на него мощности, т. е.  $\sim 3 - 5$  мвт.

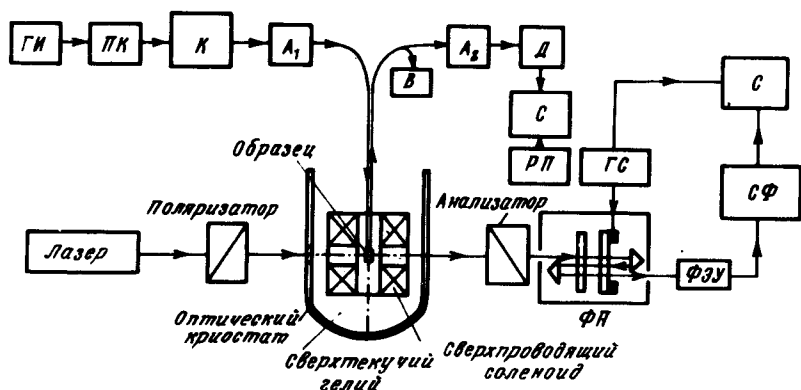


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. ГИ – генератор импульсов, ПК – питание клистрона, К – клистрон,  $A_1$ ,  $A_2$  – аттенюаторы, В – волномер, Д – СВЧ детектор, С – самописец, РП – развертка поля, ГС – генератор сканирования, СФ – счетчик фотонов, ФП – интерферометр Фабри – Перо.

Все эксперименты проводились в оптическом гелиевом криостате при температурах  $1,5 - 2,0$  К в сверхтекучем гелии (так как в нем не рассеивается свет). Свет к образцу подводился через окна в криостате и специальные отверстия в волноводе. Магнитное поле создавалось сверхпроводящим соленоидом и было направлено перпендикулярно лучу света. Резонанс наблюдался в поле  $\sim 1,5 - 2$  кэ в зависимости от частоты подаваемой СВЧ мощности. Образцы  $CoCO_3$  приготавливались в виде дисков  $\phi \sim 0,5 - 0,8$  мм и толщиной от  $0,1$  до  $0,3$  мм. Плоскость диска совпадала с базисной плоскостью кристалла. Юстировка образцов в криостате производилась по коноскопической картине и была не хуже  $1^\circ$ . Ширина линии АФМР в исследованных образцах составляла  $\sim 100 - 150$  э. Образец устанавливался таким образом, что волновой вектор света был направлен вдоль оси  $C_3$  (ось  $z$ ), а магнитное поле лежало в базисной плоскости (оси  $x$  и  $y$  в плоскости не определялись). Поляризация падающего света совпадала с направлением магнитного поля. При эксперименте поляризатор и анализатор полностью скрещивались, так что на интерферометр попадал свет, ослабленный в  $\sim 2 \cdot 10^3$  раза по сравнению с падающим (максимальная степень компенсации  $\sim 4 \div 7 \cdot 10^{-2}\%$ ). Эксперимент проводился следующим образом. В образце возбуждался АФМР, и магнитное поле, соответствующее максимуму линии поглощения, фиксировалось. При этих условиях записывался спектр прошедшего света. Пример такой записи приведен на рис. 2. Видно, что зарегистрированный спектр содержит несмещенную компоненту,

интенсивность которой составляет  $\sim 8 \div 10 \cdot 10^6$  *счетов/сек*, и смещенные на  $\pm \Omega$  существенно более слабые. Их интенсивность составляет  $10^3$  *счетов/сек*, что соответствует  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  от интенсивности падающего на кристалл света. Частота смещенных компонент отличается от частоты падающего света на частоту АФМР. Это свидетельствует о том, что часть прошедшего через кристалл света промодулирована частотой АФМР. Наличие смещенной частоты в спектре можно рассматривать как неупругое рассеяние света на однородной прецессии спинов при АФМР, т. е. на спиновых волнах с  $k = 0$ .

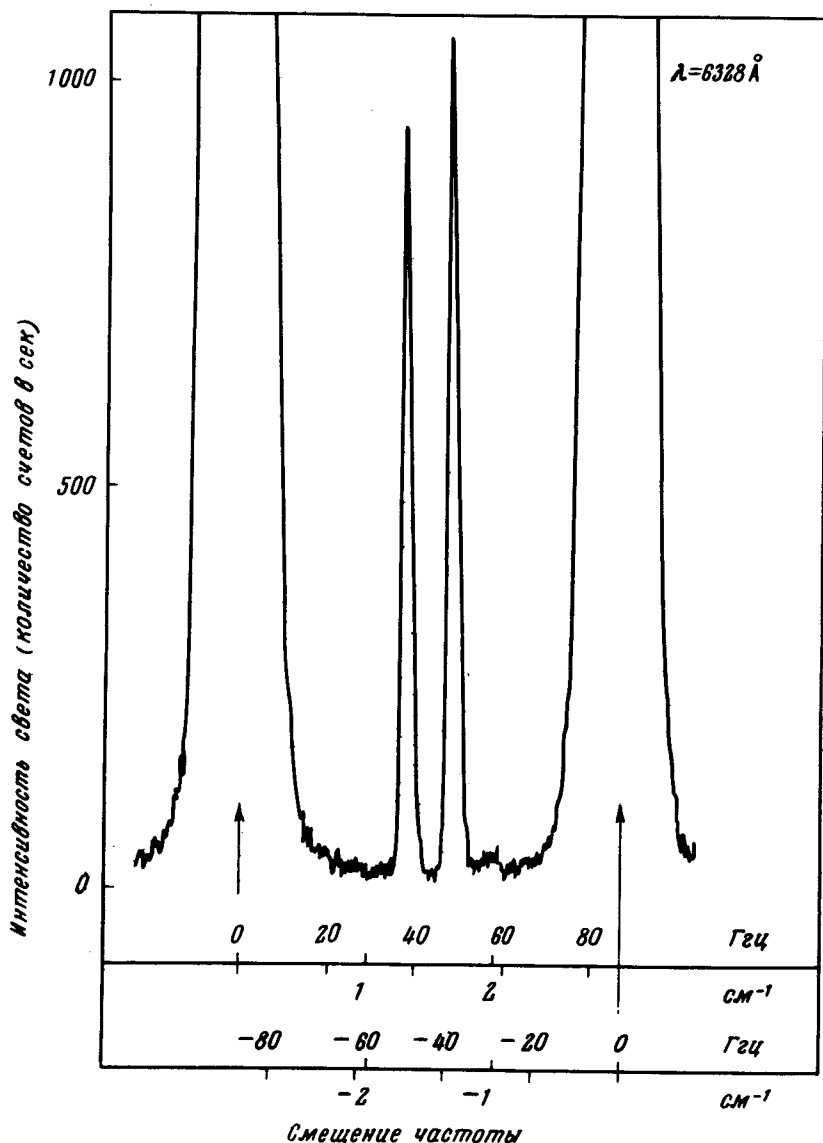


Рис. 2. Спектр прошедшего через кристалл света. Разница в интенсивностях смещенных компонент связана с разъюстировкой интерферометра в процессе сканирования

Описанный выше результат был получен нами на двух образцах  $\text{CoCO}_3$ . Более детальное исследование явления показало, что смещенные компоненты существуют во всем интервале магнитных полей, при которых наблюдается резонансное поглощение СВЧ мощности (т. е. в пределах ширины линии АФМР). Кроме того, оказалось, что модуляция света наблюдается в довольно широком интервале углов  $\pm 40^\circ$  между поляризацией падающего света и направлением магнитного поля. При этом из-за наличия анизотропного магнитного двупреломления в базисной плоскости свет во взаимоскрещенных поляроидах компенсируется значительно хуже.

Результаты настоящего эксперимента и работы [1] позволяют оценить соотношение между числом спиновых волн с  $k = 0$  и с  $k \neq 0$ , возбуждаемых при АФМР<sup>1)</sup>. Число спиновых волн с  $k = 0 - n_{k=0}$ , согласно формуле (2) в [1] пропорционально относительной интенсивности, наблюдавшихся в данной работе сателлитов ( $I/I_0 \sim 5 \cdot 10^{-8}$ ). Спиновые волны с  $k \neq 0$ , возникающие при АФМР, вызывают изменение величины анизотропного магнитного двупреломления, которое наблюдалось нами в [1]. Измерявшееся при этом относительное изменение интенсивности света ( $I/I_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ ) пропорционально числу таких спиновых волн —  $n_{k \neq 0}$ . Отношение величин  $I/I_0$ , определенных в двух экспериментах, дает для  $n_{k=0}/n_{k \neq 0}$  значение  $\sim 2,5 \cdot 10^{-4}$ . Эта оценка не противоречит значению, полученному в [1], при сравнении интенсивности оптического сигнала и величины поглощенной образцом СВЧ мощности.

В заключение следует отметить, что модуляция света на частоте 23,5 Гц при ферромагнитном резонансе наблюдалась с помощью интерферометра Фабри — Перо Диллоном и Ханлоном [5] в ферромагнитном кристалле  $\text{SrV}_2$ . В этом случае модуляция была вызвана наличием большого эффекта Фарадея в исследованном ферромагнитном кристалле.

Авторы выражают сердечную благодарность П.Л.Капице за интерес к работе, а также С.М.Елагину за помощь при монтаже установки.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
19 мая 1976 г.

### Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес, А.А.Панков. ЖЭТФ, 70, 1924, 1976.
- [2] А.С.Боровик-Романов, В.И.Ожогин. ЖЭТФ, 39, 27, 1960.
- [3] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, А.А.Панков, М.А.Талалаев. ЖЭТФ, 66, 782, 1974.
- [4] А.С.Боровик-Романов. Антиферромагнетики с анизотропией типа легкая плоскость. Проблемы магнетизма. М., изд. Наука, 1972.
- [5] J. T. Hanlon, J. R. Dillon. Jr. J. Appl. Phys., 36, 1269, 1965

<sup>1)</sup> Общее число возбужденных спиновых волн пропорционально квадрату амплитуды колебаний спинов, который в работе [1] выражается через средний квадратичный угол отклонения спинов от положения равновесия  $-\psi^2/2$ .