

Ответ на замечания Я. А. Моносова и В. И. Зубкова  
по поводу нашей статьи  
«НОВЫЙ МЕХАНИЗМ»

ОГРАНИЧЕНИЯ АМПЛИТУДЫ СПИНОВЫХ ВОЛН  
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАКАЧКЕ»

*В. Е. Захаров, В. С. Львов и С. С. Старобинец*

Мы ознакомились с письмом в редакцию Я. А. Моносова и В. И. Зубкова, содержащим возражения против нашей работы [1]. Прежде, чем ответить на эти возражения, мы считаем необходимым сделать некоторые замечания общего характера.

Проблема поведения спиновых волн за порогом параметрического возбуждения является существенно многоволновой проблемой, последовательное описание которой требует применения соответствующих методов. Необходимо исходить из точного гамильтониана взаимодействия параметрических спиновых волн (ПСВ)

$$\mathcal{H}_i = \frac{1}{2} \sum_{12, 34} T_{12, 34} a_1^* a_2^* a_3 a_4 \Delta (1 + 2 - 3 - 4), \quad (1)$$

где ядро  $T$  для ферромагнетиков может быть вычислено различным образом [2]. Любое упрощение точной постановки многоволновой задачи требует серьезного физического обоснования. Особенно это относится к такому грубому ее упрощению, как предложенный Моносовым «метод центра тяжести пакета» [3], сводящий проблему к задаче с одной степенью свободы. Разумеется таким обоснованием не может служить ссылка на то, что зачастую в эксперименте имеют дело с пакетом в целом, т. е. затруднительно изучать детальную структуру распределения ПСВ в  $k$ -про-

странстве. Отметим, что такие предельно упрощенные способы описания ПСВ, хотя и полезны в отдельных случаях, не могут служить основой для обсуждения последовательной многоволновой теории [4-6].

Основное приближение, выбранное нами в [4], заключается в замене точного взаимодействия (1) взаимодействием пар волн  $\pm k$ , описываемым диагональной частью гамильтониана  $\tilde{\mathcal{H}}_i$

$$\tilde{\mathcal{H}}_i = \sum_{kk'} T_{kk'} a_k a_k^* a_{k'} a_{k'}^* + \frac{1}{2} \sum_{kk'} S_{kk'} a_k^* a_{-k}^* a_k a_{-k}. \quad (2)$$

Основанием для такого приближения является фазовая корреляция волн с равными и противоположными импульсами, возникающая под действием накачки. В нашей работе [4] сформулированы условия применимости такого приближения, в [6] изучаются эффекты, возникающие при отказе от него.

В рамках многоволновой теории становятся понятными многие явления, которые невозможно понять с точки зрения «метода центра тяжести волнового пакета». К ним относятся основные дискотируемые проблемы.

1. Запишем полный гамильтониан системы в виде

$$\mathcal{H} = \sum_k \left[ \omega_k + \sum_{k'} T_{kk'} a_k a_{k'}^* \right] a_k a_k^* + \sum_k \left\{ \left[ h_p V_k e^{i\omega_p t} + \sum_{k'} S_{kk'} a_k a_{-k'} \right] + \text{к. с.} \right\}, \quad (3)$$

откуда с очевидностью следует, что взаимодействие пар спиновых волн приводит к двум принципиально различным эффектам:

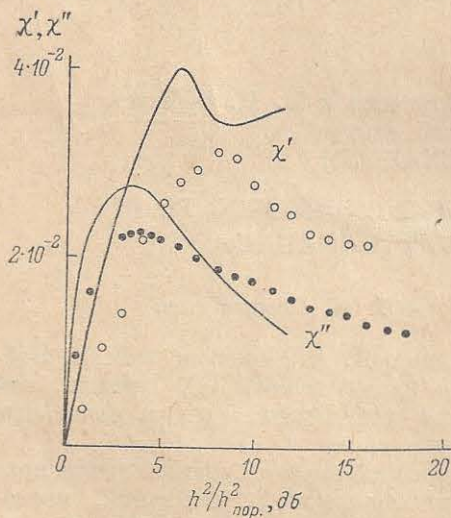
а) постоянный во времени сдвиг собственной частоты волн, не зависящий от их фаз;

б) дополнительная самосогласованная накачка, зависящая от фазовых соотношений в системе. При грубом описании системы эта разница пропадает. Между тем именно параметрическое взаимодействие пар (члены с  $S_{kk'}$ ), как показано в наших работах [1, 4], приводит к ограничению амплитуды в стационарном состоянии. Пояснить это можно следующим образом. Спиновые волны не отличают внешнюю накачку  $hV_k$  от накачки  $\sum S_{kk'} a_k a_{-k'}$ , возникающей из-за коллективного параметрического взаимодействия, и стремятся «подстроиться» под фазу полной накачки  $(hV_k + \sum_{k'} S_{kk'} a_k a_{-k'})$ .

Это ведет к фазовому рассогласованию с внешней накачкой (но не с полной!) и в конечном счете к ограничению амплитуды. Что же касается нелинейного сдвига частоты (члены с  $T$  в (2) и (3)), то,

как совершенно справедливо отмечают наши оппоненты, он не приводит к ухудшению связи между накачкой и спиновыми волнами в стационарном состоянии.

2. Рассуждение наших оппонентов об устойчивости, по Ляпунову, вызывает у нас чувство недоумения, ибо требование внешней устойчивости является не гипотезой, а в строгом смысле необходимым условием



Зависимость вещественной  $\chi'$  и мнимой  $\chi''$  частей продольной восприимчивости от мощности накачки для сферы иттриевого граната.

Частота накачки  $\omega_p = 2\pi \cdot 9.40$  гц, внешнее поле  $H_0 = 1570$  э и параллельно оси [100]. Сплошные линии — результат численного расчета.

устойчивости системы. Отметим, что это требование принципиально не может быть получено в усредненной модели одной пары.

3. В заключение отметим, что сравнение теории, изложенной в [1], с экспериментом в  $\text{RbNiF}_3$ , которое проводят Я. А. Моносов и В. И. Зубков, не является правомерным, так как в [1] рассматривалась простейшая изотропная модель, а  $\text{RbNiF}_3$  является сильно анизотропным, одноосным кристаллом. Между тем в [4] показано, что запороговое поведение спиновых волн радикальным образом зависит от тонких свойств коэффициентов  $S_{kk'}$ , так что возможная картина стационарных состояний является весьма многообразной.

На рисунке в качестве примера приведены экспериментальные и теоретические зависимости стационарных нелинейных восприимчивостей  $\chi'$  и  $\chi''$  монокристалла иттриевого граната. Видно, что теория, изложенная в [1, 4], в основных деталях описывает экспериментальную ситуацию при параллельной накачке в иттриевом гранате.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] В. Е. Захаров, В. С. Львов, С. С. Старобинец. ФТТ, 11, 2047, 1969.
- [2] В. Е. Захаров, В. С. Львов, С. С. Старобинец. Препринт ИЯФ, № 227, 1968; ФТТ, 11, 2922, 1969.
- [3] Я. А. Моносов. ЖЭТФ, 51, 222, 1966; 53, 1650, 1967.
- [4] В. Е. Захаров, В. С. Львов, С. С. Старобинец. ЖЭТФ, 59, 1200, 1970.
- [5] В. С. Львов, С. С. Старобинец. ФТТ, 13, 523, 1971.
- [6] В. Е. Захаров, В. С. Львов. Препринт ИЯФ 69-70, СО АН СССР; ЖЭТФ, 60, 2066, 1971.

Институт полупроводников АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
23 марта 1971 г.