

**ЭФФЕКТЫ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА
СПИНОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ
ШИРОКОПОЛОСНЫМ ШУМОВЫМ РАДИОЧАСТОТНЫМ ПОЛЕМ**

Дашевская Е. И., Козлов А. Н.

Целью нашей работы является экспериментальное исследование магнитного резонанса в системе атомов Cs^{133} при возбуждении случайным магнитным полем настолько большой интенсивности, что проявляются нелинейные эффекты «насыщения» резонанса. Регистрировался спектр возбуждаемых колебаний магнитного момента в зависимости от интенсивности возбуждающего поля.¹

Образцы спектральных кривых для различных интенсивностей возбуждающего шумового поля показаны на рис. 1 (кривые *a—в*). Видно, что с возрастанием интенсивности возбуждения интенсивность сигнала сначала возрастает, а затем падает, причем линия уширяется без существенного изменения ее формы и смещения центра.

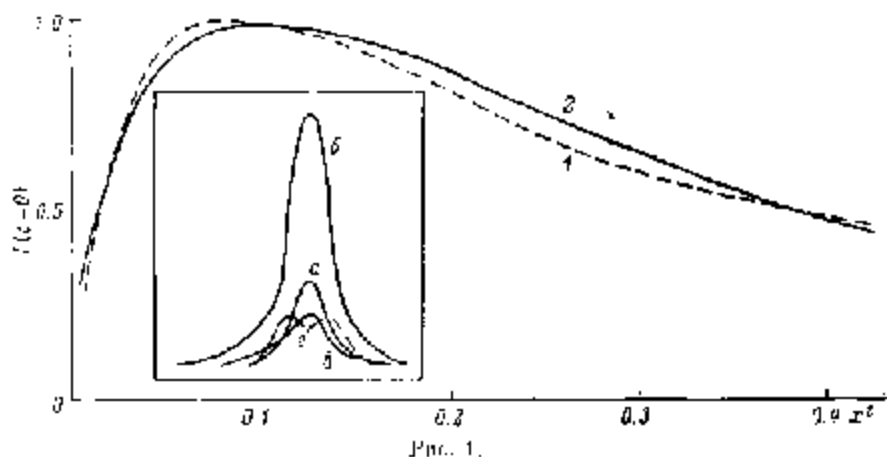
Укажем, что если бы в нашем эксперименте использовалось монохроматическое возбуждающее поле и снимались спектральные кривые модуля поперечной намагниченности при медленном изменении частоты, как это обычно делается, то характер кривых был бы иной. Центр линии заметно смещался бы, а ее форма деформировалась с образованием характерного «провала» (рис. 1, кривая *г*).

Такое различие является вполне естественным, поскольку в этих двух способах снятия спектра регистрируются по существу различные физические величины. В эксперименте с шумом сразу возбуждается весь спектр колебаний

¹ Подчеркнем в связи с этим отличие нашей постановки задачи от [1], в которой исследовалось поглощение слабого монохроматического сигнала в присутствии сильного «шумового» поля.

магнитного момента. При снятии спектра под действием монохроматического поля для каждого значения частоты устанавливается свое значение разности населенностей, что меняет форму линии.

В эксперименте использовались поляризованные оптической накачкой пары Cs^{133} с концентрацией порядка 10^{10} см^{-3} . Поглощающая ячейка находилась



а—в — экспериментальные кривые спектрального распределения мощности узкополосного сигнала для различных интенсивностей возбуждающего поля x^2 , а — $x^2=0.015$, б — $x^2=0.100$, в — $x^2=0.410$. Форма линии при монохроматическом возбуждении — схематически. 1 и 2 — зависимости спектральной плотности в максимуме от интенсивности возбуждающего поля: 1 — теория, 2 — эксперимент.

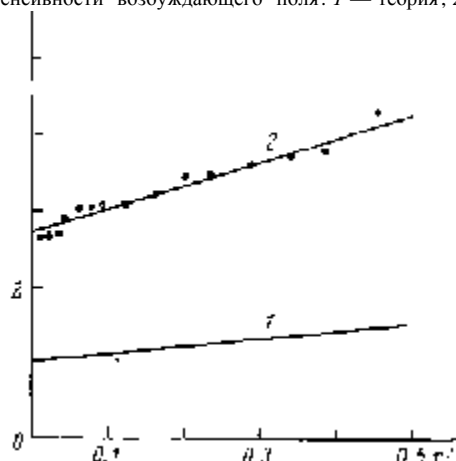


Рис. 2. Зависимость полуширины линии узкополосного сигнала в единицах $(\pi\Gamma_2)^{-1} \approx 45.5$

Гц от интенсивности возбуждающего поля x^2 . 1 — теория 2 — эксперимент

в земном магнитном поле $H_0=51.6$ мкТл. В этих условиях наблюдалась линия резонанса с частотой —179 кГц и полной шириной ~100 Гц, соответствующая переходам между магнитными подуровнями состояния с $F=4$, возбуждавшимся широкополосным шумовым полем с полосой от 30 до 800 кГц. Шумовое поле создавалось генератором — шумовым диодом — с последующим усилением. Возбуждавшиеся колебания магнитного момента проявлялись в виде узкополосной — с шириной порядка ширины линии — шумовой модуляции луча оптической накачки. Эта модуляция регистрировалась фотоприемником, а затем преобразовывалась по частоте в область частот 1—1.5 кГц и вводилась в спектроанализатор типа С4-54 с цифровым синхронным накопителем спектров Ф36.

Экспериментальные данные мы сравнили с теорией [2], в которой получено точное решение уравнений Блоха в гауссовом случайном поле H_{1x} с корреляционной функцией $\gamma^2 \langle H_{1x}(t) H_{1x}(0) \rangle = \sigma^2 \delta(t)$ (в наших опытах σ^2 связан со средним квадратом широкополосного поля H_1^2 и его полосой $\Delta f_{ш}=770$ кГц согласно $\sigma^2 = \gamma^2 H_1^2 / \Delta f_{ш}$, $\gamma=3.5$ Гц/нТл — гиромангнитное отношение для Cs^{133}). Хотя уравнения Блоха строго применимы лишь к двухуровневой системе, представляется разумным применить эту теорию к нашим экспериментам на атомах Cs^{133} , тем более что эти уравнения вполне удовлетворительно описывают такие эксперименты в случае возбуждения монохроматическим полем.

Поскольку наблюдаемый узкополосный шумовой сигнал создается колебаниями магнитного момента, спектральное распределение мощности сигнала

определяется Фурье-образом корреляционной функции компонент момента $\langle M_x(t) M_x(0) + M_y(t) M_y(0) \rangle$, вычисленной в [2].

Произведя преобразование Фурье, находим для спектральной плотности

$$I(\omega) = 2 M_0 T_2 (x^2 (1+x^2) / (1+2lx^2) [1+(2l+1)x^2] / [(1+x^2)+\varepsilon^2]) \quad (1)$$

где $x^2 = \sigma^2 T_2 / 4$, $l = T_1 / T_2$, $\varepsilon = \omega_0 - \gamma H_0$, T_1 и T_2 — продольное и поперечное времена релаксации, M_0 — статический магнитный момент. Сравнение с экспериментом производилось с характерными для цезиевых ячеек, покрытых парафином, значениями $T_1 = 25 \cdot 10^{-3}$ с, $T_2 = 7 \cdot 10^{-3}$ с, $l = 3.6$, полученными ранее в опытах с монохроматическим полем [3].

На рис. 1 (кривая 1) приведена построенная по (1) зависимость $I(\omega_0)$ в центре линии от безразмерной интенсивности возбуждающего поля x^2 . За единицу масштаба по оси ординат принято значение 1 в максимуме кривой. Точки и построенная по ним кривая 2 (нормированные тем же способом) — экспериментальные значения интенсивности узкополосного сигнала. Видно, что согласие теории с экспериментом является достаточно хорошим тем более что при сравнении не использовались подгоночные параметры. Теория объясняет и отсутствие заметного сдвига центра линии. Согласно [2], $T_2 \Delta \omega \approx -x^4 (2T_2 \gamma / H_0)^{-1}$, что в наших условиях пренебрежимо мало.

На рис. 2 показана зависимость полуширины линии сигнала от x^2 . Видно, что увеличение ширины примерно $\sim x^2$, как и следует из (1). Коэффициент пропорциональности в эксперименте, однако, больше теоретического что, вероятно, указывает на недостаточную точность уравнений Блоха в применении к резонансу на Cs¹³³. Другая, разумеется, не объясняемая теорией особенность эксперимента состоит в отсутствии линии, соответствующей переходам между магнитными подуровнями состояния с $F=3$, четко наблюдаемой при монохроматическом возбуждении.

Авторы благодарны Е. Б. Александрову за полезные замечания.

Литература

- [1] Бонч - Бруевич А. М., Пржибельский С. Г., Ходовой В. А. Чигирь Н. А. — ЖЭТФ, 1976, т. 70, с. 445.
- [2] Knight W. R., Kaiser R. — J. Magn. Resonance, 1982, v. 50, p. 467.
- [3] Борисова Ю. П., Козлов А. Н., Синельникова С. Е. — В кн.: Геомагнетизм и приборостроение. М., 1977, с. 22.

Поступило в Редакцию 21 августа 1984 г.