

СДВИГ ЛИНИИ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЗА СЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПИН-СИСТЕМЫ С НЕРЕЗОНАНСНЫМ РАДИОЧАСТОТНЫМ ПОЛЕМ

Л. Н. Новиков, Л. Г. Малышев

В работе [1] было впервые показано, что влияние компоненты линейно поляризованного радиочастотного поля, вращающейся вокруг постоянного магнитного поля H_0 в направлении, противоположном направлению прецессии спинового момента атома, состоит в сдвиге линии магнитного резонанса спин-системы в сторону меньших значений H_0 . Этот сдвиг, получивший название эффекта Блоха – Зигерта, наблюдался экспериментально в ряде работ (например, [2, 3]). Зейде-ном [4] был теоретически рассмотрен более общий случай сдвига резонансной частоты спина, взаимодействующего с вращающимся радиочастотным полем $H_1(t)$, имеющим произвольную частоту, отличную от резонансной. Однако малость этого эффекта, пропорционального отношению $H_1^2 / (4H_0^2)$, делала его практически ненаблюдаемым в обычных экспериментах по ядерному или электронному магнитному резонансу ($H_1^2 / (4H_0^2) \sim 10^{-12}$).

В данной работе сообщается об экспериментальном наблюдении таких сдвигов в системе оптически ориентированных атомов Cs^{133} . Возможность регистрации резонанса в очень малых полях H_0 при значительных амплитудах поля $H_1(t)$ позволяет в этих условиях сделать сдвиг существенно превышающим ширину линии магнитного резонанса.

Методика эксперимента по существу совпадает с обычной методикой наблюдения продольной компоненты среднего углового момента оптически ориентированной спин-системы [5]. Циркулярно поляризованный луч резонансного света распространяется вдоль магнитного поля $H_0 \approx 0,077$ э и создает ориентацию атомов Cs^{133} в ячейке с парафиновым покрытием стенок. На систему атомов накладываются два ли-

нейно-поляризованных радиочастотных поля $h_1(t) = h_1 \cos \omega t$ и $H_1(t) = H_1 \cos \Omega t$, параллельных друг другу и перпендикулярных к полю H_0 . Поле $h_1(t)$ служит для возбуждения магнитного резонанса атомов Cs^{133} . Его частота близка к частоте $\omega_0 = -\gamma H_0$, а амплитуда выбрана очень малой и остается неизменной. Поле $H_1(t)$ служит для "взбалтывания" спин-системы, и именно его влияние на резонанс атомов Cs^{133} исследуется в эксперименте. Амплитуда и частота поля $H_1(t)$ могут изменяться в широких пределах. Для регистрации магнитного резонанса Cs^{133} используется обычная методика медленного прохождения линии при наличии малой низкочастотной модуляции поля H_0 . Для исключения влияния магнитных помех на результаты измерений в слабом поле H_0 вся система помещена в четырехслойный магнитный экран, остаточное поле в котором компенсируется по трем осям системой колец Гельмгольца с точностью до $\sim 10^{-5}$ э.

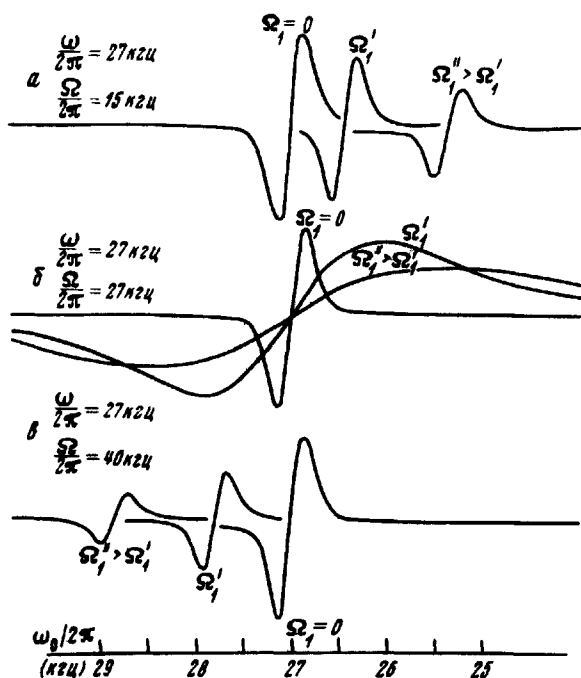


Рис. 1. Сигнал магнитного резонанса Cs^{133} при наличии нерезонансного радиочастотного поля $H_1(t)$: а - $\Omega < \omega$, б - $\Omega = \omega$, в - $\Omega > \omega$

Из теоретического расчета для линейно поляризованного поля $H_1(t)$ следует, что величина сдвига $\Delta\omega' = \omega_0' - \omega_0$, где ω_0' измеряется в присутствии поля $H_1(t)$, а ω_0 - в отсутствии этого поля, равна:

$$\Delta\omega' = - \frac{\omega \Omega_1^2}{4} \frac{\Gamma^2 + \omega^2 - \Omega^2}{(\omega^2 + \Omega^2 + \Gamma^2)^2 - 4\omega^2\Omega^2}, \quad (1)$$

где $\Omega_1 = -\gamma H_1$, а Γ - ширина линии магнитного резонанса. При условии $\omega - \Omega \gg \Gamma$ имеем:

$$\Delta\omega' = - \frac{\omega \Omega_1^2}{4} \frac{1}{(\omega - \Omega)(\omega + \Omega)}. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что знак сдвига определяется знаком разности частот ($\omega - \Omega$), а его величина в первом приближении пропорциональна квадрату амплитуды "взбалтывающего" поля.

На рис. 1 приведена запись сигнала магнитного резонанса атомов Cs^{133} для случаев, когда частота "взбалтывающего" поля удовлетворяла условиям: а) $\Omega < \omega$, б) $\Omega = \omega$, в) $\Omega > \omega$. В каждом из случаев сигнал записывался двухкоординатным самопишущим потенциометром для различных значений амплитуды H_1 этого поля.

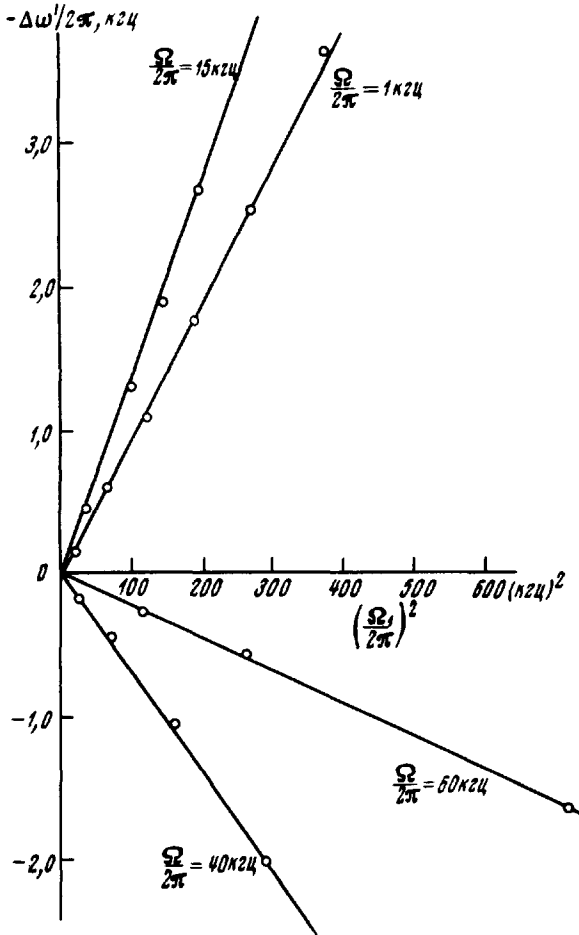


Рис. 2. Зависимость сдвига линии резонанса Cs^{133} от квадрата амплитуды нерезонансного поля $H_1(t)$

Результаты эксперимента с хорошей точностью подтвердили выводы теории. Действительно, при $\Omega < \omega$ сдвиг $\Delta\omega' < 0$, и линия резонанса смещается в сторону меньших значений поля H_0 , тогда как при $\Omega > \omega$ направление сдвига изменяется на обратное. Что касается зависимости величины сдвига от амплитуды поля $H_1(t)$, то, как видно из рис. 2, она является квадратичной во всем диапазоне исследованных значений Ω_1 .

Литература

- [1] F.Bloch, A.Siegert. Phys. Rev., 57, 522, 1940.
 - [2] J.Brossel , F.Bitter. Phys. Rev., 86, 308, 1952.
 - [3] J.Brossel, J.Margerie, J.Winter. Compt. rend., 241, 556, 1955.
 - [4] J.Seiden. Compt. rend., 240, 2228, 1955.
 - [5] B.Cagnac. Thèse, l'Université de Paris, 1960.
-