

- [4] М. Н. Бурнашев, В. Е. Привалов, Я. А. Фофанов. Опт. и спектр., 42, 546, 1977.
 [5] М. Н. Бурнашев, Ю. Г. Захаренко, В. Е. Привалов. Изв. вузов, радиофизика, 18, 1638, 1975.
 [6] У. Лэмб. В кн.: Квантовая оптика и квантовая радиофизика. «Мир», М., 1966.
 [7] С. Л. О'Вуан, М. Sargent. Phys. Rev., A8, 3071, 1973.

Поступило в Редакцию 3 февраля 1977 г.

УДК 539.184

ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ СИГНАЛА ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКИ В He^3

Ю. К. Долманский и В. М. Рыжков

При исследовании качества ячеек с He^3 было обнаружено медленное затухание сигнала оптической накачки, которое не наблюдалось в He^4 . Сигнал оптической накачки равен разности между светом, поглощенным ориентированным образцом, и образцом, частично дезориентированным с помощью сильного резонансного РЧ поля, приложенного на частоте метастабильного состояния $F=3/2$ в виде импульсов.

Рассмотрим поведение образца He^3 в условиях оптической накачки. Наиболее важную роль играют две спин-системы: основное состояние с $I=1/2$ и метастабильное с $F=3/2$ и $F=1/2$. Эти системы сильно связаны между собой метастабильным обменом. Светом от лампы с He^4 ориентируется только метастабильное состояние, а основное состояние ориентируется через метастабильный обмен. Простые уравнения, описывающие процесс ориентации в этих условиях, даны в работе [1].

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_m &= \frac{P_m^0}{\tau_p} - \frac{P_m}{\tau'} + \frac{P_f}{\tau}, \\ \dot{P}_f &= \frac{P_m}{T} - \frac{P_f}{T'}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$\frac{1}{\tau'} = \frac{1}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau}, \quad \frac{1}{T'} = \frac{1}{T_R} + \frac{1}{T}.$$

В этих уравнениях P_m и P_f — параметры ориентации метастабильного и основного состояний соответственно, а P_m^0 — стационарная ориентация, достигаемая оптической накачкой при отсутствии тепловой релаксации и метастабильного обмена. Величины временных констант, входящих в уравнения (1), известны [2]. Для обычно используемых условий при накачке He^3 светом лампы с He^4 они равны: для метастабильного состояния — время накачки $\tau_p=10^{-4}$ с, время тепловой релаксации $\tau_R=10^{-3}$ с, время метастабильного обмена $\tau=10^{-7}$ с, для основного состояния — время тепловой релаксации в разряде $T_R=100$ с, время метастабильного обмена $T=0.1$ с.

В работе [1] показано, что при накачке из неориентированного состояния (при $t=0$, $P_m(0)=P_f(0)=0$) обе ориентации растут экспоненциально с одной постоянной времени $T_m=50$ с до практически одинаковых величин $P_m(\infty)=P_m^0(\tau T_p/\tau_p T)$, $P_f(\infty)=P_m^0(\tau T_p/\tau_p T)T_R/(T_R+T)$ (поскольку $T_R \gg T$). Таким образом, процесс накачки основного состояния протекает достаточно медленно.

Мы будем предполагать, что внешнее поле H_0 достаточно велико $\gamma_m \tau H_0 \gg 1$. В этом случае, как показано в работе [3], циркуляции когерентности между двумя спин-системами не происходит и связь между ними осуществляется только через продольные компоненты спинов или ориентации, что учитывается в уравнениях (1). Радиочастотное поле H_1 , приложенное на зеемановской частоте метастабильного состояния $F=3/2$, будет разрушать соответствующую ориентацию и, следовательно, уменьшать P_m . Стационарную ориентацию P_m^* при одновременном действии оптической накачки, радиочастотного поля и метастабильного обмена можно определить обычным для магнитного резонанса способом через фактор насыщения α

$$P_m^* = P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T} \frac{1}{1 + \alpha},$$

где $\alpha = \gamma_m \tau_p \tau H_1^2$. Здесь учтено, что ширина резонанса определяется в основном временем метастабильного обмена τ , поскольку это наименьшая величина из всех временных констант. Стационарная ориентация P_m^* при включении сильного радиочастот-

ного поля достигается очень быстро — за время порядка τ . Поэтому можно приближенно принять, что при включении радиочастотного поля P_m мгновенно достигает величины P'_m и в дальнейшем остается постоянной и равной P'_m .

Используя приведенные выше соображения, найдем решение системы (1) для двух случаев.

1. К первоначально ориентированному образцу с Ne^3 (при $t=0$, $P_m(0) = P_f(0) = P_m^0$ ($\tau T_p / \tau_p T$)) прикладывается резонансное радиочастотное поле, в результате чего P_m все время поддерживается на уровне $P'_m < P_f(0)$. Решение уравнения для P_f имеет вид

$$P_f = P'_m + \left(P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T} - P'_m \right) e^{-t/T}$$

(здесь учтено, что $T' \simeq T$). Оно показывает, что ориентация основного состояния уменьшается до величины P'_m с постоянной времени $T = 0.1$ с. Таким образом, процесс дезориентации основного состояния, когда метастабильная ориентация частично разрушена радиочастотным полем, протекает значительно быстрее, чем описанный выше процесс ориентации.

2. Радиочастотное поле выключается, когда ориентация метастабильного состояния достигает величины $P'_m < P'_f$. С этого момента начинается процесс ориентации. Таким образом, начальные условия имеют вид: при $t=0$ $P_m(0) = P'_m$, $P_f(0) = P'_f$. Решения уравнений (1) в этом случае имеют вид

$$P_f = \left(P'_f - P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T} \right) e^{-t/T_p} + P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T},$$

$$P_m = \left(P'_f - P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T} \right) e^{-t/T_p} + (P'_m - P'_f) e^{-t/\tau} + P_m^0 \frac{\tau T_p}{\tau_p T}.$$

Из этих выражений видно, что ориентация P_m сначала быстро нарастает с постоянной времени $\tau = 10^{-7}$ с до величины P'_f , а затем обе ориентации P_f и P_m изменяются одинаково: они нарастают с постоянной времени $T_p = 50$ с до равных значений.

Таким образом, основное состояние играет роль своеобразного маховика, который очень медленно раскручивается, но довольно быстро тормозится.

Сигнал оптической накачки, наблюдаемый по поглощению света, будет пропорционален P_m . Для его наблюдения требуется прикладывать к ансамблю атомов резонансное радиочастотное поле в виде последовательности импульсов с заданной скважностью (отношение интервала между импульсами к длительности импульса). Приведенные выше соображения позволяют отметить следующие особенности наблюдения сигнала оптической накачки.

а. При скважности, равной единице, наблюдаемый сигнал будет постепенно уменьшаться по амплитуде. Это связано с тем, что в период действия импульса ориентация P_f уменьшается с постоянной времени $T = 0.1$, а в период между импульсами нарастает с постоянной времени $T_p = 50$ с. Таким образом, наибольшее значение P_f будет уменьшаться от импульса к импульсу, что приведет к такому же уменьшению P_m .

б. Затухание оптического сигнала будет тем меньше, чем больше скважность, и совсем прекратится, когда скважность будет больше величины $T_p/T = 500$.

Отмеченные эффекты наблюдались экспериментально.

Литература

- [1] F. D. Colegrove, L. D. Schearer, G. K. Walters. Phys. Rev., 132, 2561, 1963.
- [2] J. Dupont-Roc, M. Leduc, F. Laloë. J. Phys., 34, 961, 1973.
- [3] J. Dupont-Roc, M. Leduc, F. Laloë. J. Phys., 34, 977, 1973.

Поступило в Редакцию 11 февраля 1977 г.