

02:07:09

Об индуцировании зеемановской когерентности в ансамбле атомов цезия при их взаимодействии с двухчастотным (СВЧ + РЧ) магнитным полем

© Н.А. Доватор

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 30 декабря 1997 г.

Сообщается о наблюдении интерференции зеемановских состояний, соответствующих запрещенному магнитно-дипольному переходу $\Delta F = 0$, $\Delta m_F = 2$, при одновременном взаимодействии $6^2S_{1/2}$ -атомов цезия с резонансным СВЧ полем и РЧ полем, изменяющимся с удвоенной ларморовской частотой и направленным перпендикулярно постоянному магнитному полю $H_0 = 0.2$ Ое.

В настоящее время отмечается повышенный интерес к исследованиям в области когерентных проявлений взаимодействия излучения с веществом. Во многом это обусловлено тем, что когерентная связь атомных состояний приводит к существенному изменению макроскопических характеристик вещества. К такого рода эффектам можно, например, отнести явления типа "когерентного пленения населенностей" [1] и "электромагнитно индуцированной прозрачности" [2]. Следует заметить, что в этих исследованиях, а также в работах, посвященных изучению интерференционных эффектов в ансамблях с оптически ориентированными атомами [3–5], когерентное связывание атомных состояний происходило в результате двухфотонного процесса в трехуровневой квантовой системе. При этом каждое из пары интерферирующих состояний (между которыми не происходило прямого перехода) связывалось с третьим состоянием путем взаимодействия с одним из двух резонансных электромагнитных полей, принадлежащих к одному и тому же частотному диапазону (оптическому или микроволновому).

В представленной работе описывается эксперимент по наблюдению когерентности между зеемановскими уровнями (4.4) и (4.2) $6^2S_{1/2}$ -атомов цезия (между которыми запрещен прямой магнитно-

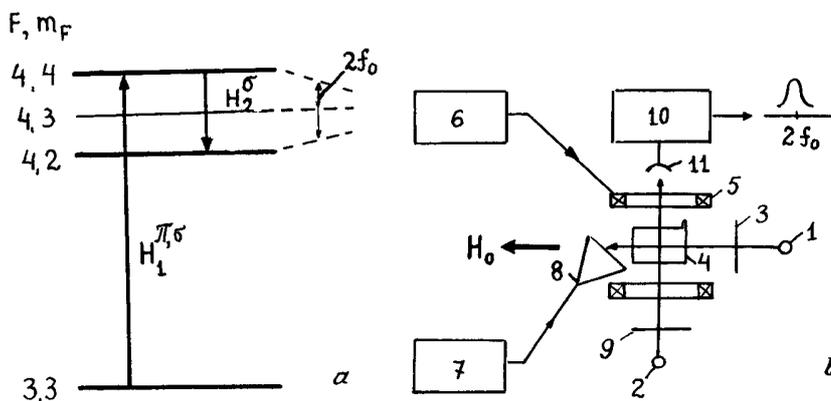


Рис. 1. *a* — схема уровней основного состояния атомов цезия, учитываемая при рассмотрении взаимодействия этих атомов с двухчастотным (СВЧ + РЧ) магнитным полем; *b* — блок-схема экспериментальной установки: 1, 2 — цезиевая спектральная лампа, 3 — циркулярный поляризатор, 4 — рабочая кювета, 5 — кольца Гельмгольца, 6 — РЧ генератор, 7 — СВЧ генератор, 8 — рупорная антенна, 9 — линейный поляризатор, 10 — полосовой усилитель, 11 — фотодиод.

дипольный переход ($\Delta F = 0, \Delta m_F = 2$) в условиях трехквантового когерентного процесса, индуцированного с помощью двух переменных магнитных полей, существенно отличающихся по частоте (СВЧ и РЧ).

На рис. 1, *a* представлена часть уровней основного состояния атомов цезия, которые когерентно связываются между собой в процессе взаимодействия СВЧ и РЧ магнитных полей с атомным ансамблем. Экспериментальная установка изображена на рис. 1, *b*.

Суть эксперимента состояла в следующем. С помощью резонансного циркулярно поляризованного излучения накачки, направленного вдоль постоянного магнитного поля $H_0 \simeq 0.2$ Ое, создается неравновесная заселенность уровней $6^2S_{1/2}$ -атомов цезия. Микроволновое излучение от СВЧ генератора 3 см диапазона направляется через волновод и прямоугольную рупорную антенну на стеклянную кювету, содержащую пары цезия (при комнатной температуре) и в качестве буферного газа — неон. Выбирается такая ориентация рупорной антенны, чтобы направление вектора магнитной индукции СВЧ поля составляло угол

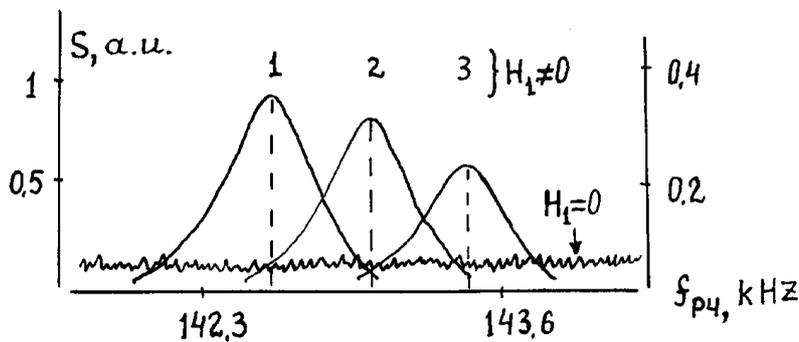


Рис. 2. Запись выходного напряжения полосового усилителя, полученная при сканировании частоты РЧ поля при включенном ($H_1 \neq 0$, $P_{\text{СВЧ}} \sim 10^{-1} \text{ W}$) и выключенном СВЧ поле ($H_1 = 0$). (Масштаб для оси ординат справа относится к случаю $H_1 = 0$. Кривые 1-3 получены соответственно при $U = 20, 15, 8 \text{ V}$, где U — выходное напряжение РЧ генератора).

45° с направлением поля H_0 . В результате СВЧ поле имело компоненты напряженности магнитного поля с σ (H_1^σ) и π (H_1^π) поляризацией. При этом частота СВЧ поля настраивалась на частоту сверхтонкого (СТС) перехода (4.4) \leftrightarrow (3.3), что контролировалось с помощью S_z -сигнала для оптически ориентированных атомов [6]. Для создания РЧ магнитного поля с σ поляризацией (H_2^σ) использовались кольца Гельмгольца, ось которых была перпендикулярна полю H_0 . Частота РЧ генератора, от которого запитывались кольца, была близка к удвоенной ларморовской частоте $f_{\text{РЧ}} = 2f_0 \equiv 2 \cdot \gamma / 2\pi \cdot H_0$ ($\gamma / 2\pi = 350 \text{ kHz/Oe}$). Для регистрации возникающей в ходе эксперимента когерентной суперпозиции состояний (4.4) и (4.2) использовался пробный поперечный (к полю H_0) луч света, линейно поляризованный в направлении, ортогональном к H_0 . Модуляция поглощения поперечного луча света, возникающая на частоте РЧ поля в условиях трехквантового когерентного процесса и означающая обнаружение искомой зеемановской когерентности, детектировалась с помощью фотодиода, помещенного у выходного окошка кюветы (см. рис. 1, b). Сигнал с фотодиода поступал затем на полосовой усилитель ($f_{\text{пу}} = 2f_0$, $\delta_{\text{пу}} = 10 \text{ kHz}$) и после амплитудного детектирования фиксировался самописцем.

Сигнал зеемановской когерентности регистрировался в виде резонансного изменения модулированного поглощения паров цезия при сканировании частоты РЧ поля. На рис. 2 представлены записи этого сигнала, полученные при разных значениях напряженности РЧ магнитного поля (постоянная колец $K = 2.5 \cdot 10^{-3}$ Ое/В).

Возникновение сигнала когерентности между зеемановскими уровнями (4.4) и (4.2) можно объяснить с помощью модели трехуровневой квантовой системы, взаимодействующей с двумя монохроматическими электромагнитными полями разной частоты (рис. 1, а). Из этой модели следует, что уровень (4.4) когерентно связывается с уровнем (4.2) через третий уровень (3.3) в результате одноквантового процесса возбуждения перехода СТС (3.3) \leftrightarrow (4.4) с помощью H_1^σ компоненты СВЧ поля и двухквантового процесса возбуждения смежного перехода СТС (3.3) \leftrightarrow (4.2) путем поглощения СВЧ кванта с π -поляризацией (H_1^π) с одновременным испусканием РЧ кванта (H_2^σ) с σ -поляризацией. В этом случае выполняются условия возбуждения магнитно-дипольных переходов ($\Delta F = 1$, $\Delta m_F = |1|$) как по энергии, так и по магнитному квантовому числу.

К особенностям обнаруженного сигнала зеемановской когерентности следует отнести уменьшение его резонансной частоты, когда мы увеличивали амплитуду РЧ поля. Такой частотный сдвиг можно объяснить тем, что используемое в эксперименте РЧ магнитное поле с σ -поляризацией и частотой, близкой к удвоенной ларморовской частоте, является нерезонансным возмущением для каждой пары соседних зеемановских уровней (с $\Delta F = 0$, $\Delta m_F = 1$). Как показано в работе [7], такое возмущение должно приводить к уменьшению частоты магнитного резонанса, что наглядно можно представить в виде "схлопывания" зеемановских уровней (пунктирные линии на рис. 1, а). В результате резонансная частота сигнала когерентности $f_{\text{рез}} = 2f_0$ должна также уменьшаться, что и наблюдалось в настоящем эксперименте.

Список литературы

- [1] Агапьев Б.Д., Горный М.Б., Матисов Б.Г. и др. // УФН. 1993. Т. 163. № 9. С. 1–30.
- [2] Harris S.E. // Phys. Today. 1997. V. 50. N 7. P. 36–57.
- [3] Васютинский О.С., Доватор Н.А., Житников Р.А. // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. В. 3. С. 928–937.

- [4] Доватор Н.А., Житников Р.А. // ЖЭТФ. 1979. Т. 77. В. 2. С. 505–518.
- [5] Александров Е.Б., Мамырин А.Б., Чидсон Ю.С. // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. В. 4. С. 1568–1574.
- [6] Померанцев Н.М., Рыжков В.М., Скряцкий Г.В. Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972. 448 с.
- [7] Новиков Л.Н., Малышев А.Г. // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. В. 3. С. 129–133.