

## РЕЗОНАНС ПЕРЕСЕЧЕНИЯ УРОВНЕЙ В ПОЛЕ ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ СВЕТОВЫХ ВОЛН

© 2010 г. Д. В. Бражников\*, канд. физ.-мат. наук; А. В. Тайченачев\*\*, доктор физ.-мат. наук;  
А. М. Тумайкин\*, доктор физ.-мат. наук; В. И. Юдин\*, доктор физ.-мат. наук;  
И. И. Рябцев\*\*\*, доктор физ.-мат. наук; В. М. Энтин\*\*\*, канд. физ.-мат. наук

\* Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

\*\* Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

\*\*\* Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: LLF@laser.nsc.ru

Исследован резонанс пересечения магнитных подуровней в поле встречных эллиптически поляризованных волн. На основе расчетов для оптического перехода  $F = 2 \rightarrow F' = 1$  показана возможность управления знаком нелинейного узкого резонанса за счет изменения поляризаций волн. Полученные результаты могут найти применение в магнитометрии и нелинейной оптике.

**Ключевые слова:** атомная когерентность, эллиптическая поляризация, резонанс пересечения уровней, когерентное пленение населенностей.

Коды OCIS: 020.1670, 300.6320

Поступила в редакцию 13.04.2010

Образование атомных когерентных состояний служит источником многих интересных нелинейных явлений, таких, например, как электромагнитно-индуцированные прозрачность (ЭИП) [1] и абсорбция (ЭИА) [2]. В основе первого лежит когерентное пленение населенностей (КПН): атомы накапливаются в особом когерентном состоянии, которое перестает поглощать энергию из внешнего поля [3]. Резонанс ЭИА, обратный по знаку к ЭИП, связан со спонтанным переносом когерентности из возбужденного состояния атома в основное [4]. Ширина резонансов ЭИП и ЭИА может быть значительно меньше естественной, поэтому такие резонансы называют “субнатуральными”. ЭИА и ЭИП находят применение, например, в нелинейной оптике [5] и метрологии [6]. Для наблюдения этих резонансов наиболее простой является конфигурация Ханле: исследуется поглощение одной бегущей световой волны в зависимости от магнитного поля, приложенного вдоль кюветы с газом. Субнатуральный резонанс в данном случае связан с пересечением магнитных подуровней в основном состоянии.

Важным представляется вопрос о знаке субнатурального резонанса (ЭИП или ЭИА). Известно, что знак резонанса может зависеть от различных факторов: конфигурации уровней перехода [2], столкновения атомов в газе [7] и др. Влияние именно параметров поляризации световых волн (эллиптичности, ориентации эллипсов) на знак субнатурального резонанса изучено слабо. Так, в работе [8] исследовались ЭИП-резонансы в конфигурации Ханле в пространственно разнесенных односторонних линейно поляризованных пучках, возбуждающих переход  $F = 2 \rightarrow F' = 1$  на  $D_1$ -линии в атоме  $^{87}\text{Rb}$ . На языке спектроскопии Рамси было показано, что в поглощении пробного пучка резонанс ЭИП трансформируется в резонанс ЭИА по мере увеличения угла между линейными поляризациями. В данной работе предлагается более простая конфигурация, позволяющая наблюдать высококонтрастные субнатуральные резонансы и смену их знака как на переходах “темного” типа, где возможно КПН, так и на переходах “яркого” типа, где КПН отсутствует. Для этого используются пространственно со-

вмешанные встречные пучки, возбуждающие общий оптический переход. Изменение знака субнатурального резонанса происходит как за счет изменения угла между линейными поляризациями волн, так и за счет изменения степени эллиптичности.

Рассмотрим взаимодействие оптического атомного перехода  $F \rightarrow F'$  с полем эллиптически поляризованных встречных волн в присутствии продольного магнитного поля (рис. 1). Спектропротокопическим сигналом служит поглощение одного из световых пучков (“пробного”) как функция магнитного поля. В данной работе представлены только некоторые результаты расчетов на основе численного решения уравнения для атомной матрицы плотности с последующим усред-

нением по максвелловскому распределению атомов в газе. На рис. 2 приведено поглощение пробного пучка для перехода  $F = 2 \rightarrow F' = 1$  на  $D_1$ -линии в атоме  $^{87}\text{Rb}$  ( $\gamma = 5,57$  МГц,  $\lambda = 795$  нм). Внешний контур претерпевает доплеровское уширение. Провал в центре, обладающий естественной шириной ( $\approx 7$  Гц), связан с явлениями насыщения и пересечения уровней в возбужденном состоянии. Центральная структура с шириной меньше естественной связана с образованием низкочастотных когерентностей при пересечении подуровней основного состояния. При параллельных линейных поляризациях наблюдается резонанс ЭИП, в то время как при ортогональных – резонанс ЭИА (рис. 2а). Для углов  $0 < \varphi < \pi/2$  резонанс имеет асимметричный вид. При одинаковых эллиптических поляризациях, оси эллипсов которых параллельны, в поглощении формируется ЭИП-резонанс (рис. 2б). Однако с ростом величины  $|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$  может произойти изменение знака резонанса.

Теоретический анализ эффекта на основе модели  $\Lambda$ -атома позволил дать простое качественное объяснение результатам расчетов. Вкратце, физика наблюдаемого эффекта состоит в следующем. При взаимодействии с полем условно “сильной” волны атомы накапливаются в состоянии, которое является темным для данной волны. Вблизи нулевого магнитного поля с этими атомами начинает взаимодействовать также и “пробная” волна. В зависимости от параметров поляризации волн состояние атомов может быть либо темным, либо ярким для пробной волны. Таким образом формируются, соответственно,

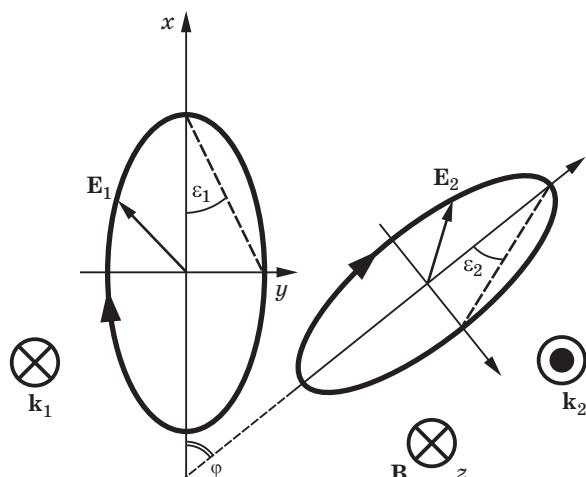


Рис. 1. Конфигурация электромагнитного поля.

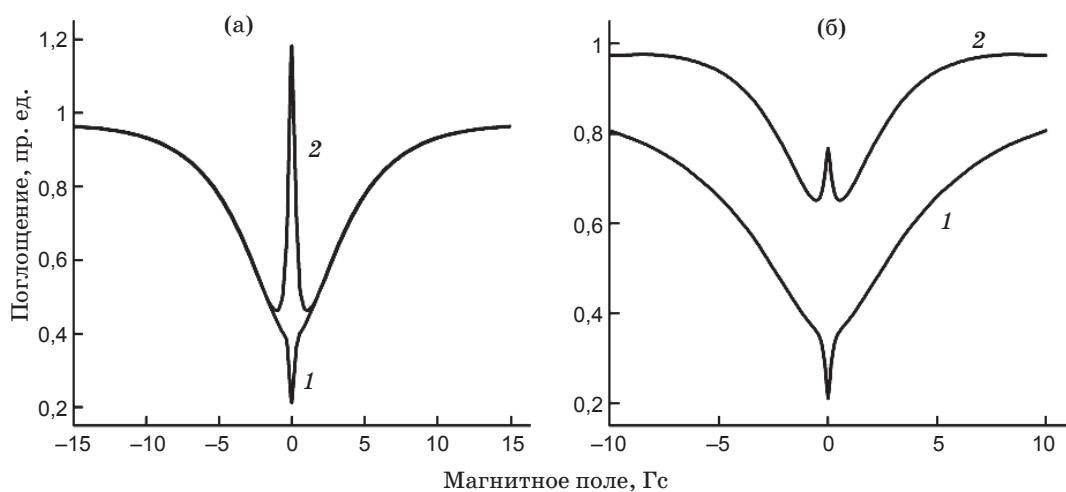


Рис. 2. Поглощение пробной волны. а – параллельные (1) и ортогональные (2) линейные поляризации, б – эллиптические поляризации, где  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 20^\circ$  (1) и  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2 = 20^\circ$  (2) при  $\varphi = 0$ . Частоты Раби:  $R_{\text{probe}} = 0,1\gamma$ ,  $R_{\text{pump}} = 0,5\gamma$ .

резонансы ЭИП и ЭИА в поглощении пробной волны.

## Заключение

Расчеты проводились и для “яркого” перехода, а именно  $F = 2 \rightarrow F' = 3$ , где также наблюдается эффект трансформации ЭИА в ЭИП при изменении параметров поляризации волн. Предложенная схема, в принципе, позволяет наблюдать резонансы ЭИА и в том случае, когда в ячейке присутствует буферный газ и происходит связанные с ним деполяризации возбужденного состояния. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (ГК № 02.740.11.0459 в рамках ФПЦ “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России”), АВЦП “Развитие научного потенциала высшей школы” (2009–2010 гг.), РФФИ (10-02-90717, 10-02-00987, 10-02-91335, 09-02-90427, 09-02-92428, 08-02-01108, 08-07-00127) и Президиума СО РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Alzetta G., Gozzini A., Moi L., Orriols G.* An experimental method for the observation of r.f. transitions and laser beat resonances in oriented Na vapour // *Nuovo Cimento B.* 1976. V. 36. № 1. P. 5–20.
2. *Akulshin A.M., Barreiro S., Lezama A.* Electromagnetically induced absorption and transparency due to resonant two-field excitation of quasidegenerate levels in Rb vapor // *Phys. Rev. A.* 1998. V. 57. № 4. P. 2996–3002.
3. *Arimondo E., Orriols G.* Nonabsorbing atomic coherences by coherent two-photon transitions in a three-level optical pumping // *Lett. Nuovo Cimento.* 1976. V. 17. № 10. P. 333–338.
4. *Тайченачев А.В., Тумайкин А.М., Юдин В.И.* Об изменении знака субнатурального нелинейного резонанса за счет спонтанного переноса когерентности // *Письма в ЖЭТФ.* 1999. Т. 69. № 11. С. 776–781.
5. *Entin V.M., Ryabtsev I.I., Boguslavsky A.E., Brzhazovsky Yu.V.* Laser spectroscopy of spontaneous coherence transfer and optically induced polarization rotation in  $^{87}\text{Rb}$  // *Opt. Commun.* 2002. V. 207. № 1–6. P. 201–208.
6. *Vanier J.* Atomic clocks based on coherent population trapping: a review // *Appl. Phys. B.* 2005. V. 81. № 4. P. 421–442.
7. *Failache H., Valente P., Ban G., Lorent V., Lezama A.* Inhibition of electromagnetically induced absorption due to excited-state decoherence in Rb vapor // *Phys. Rev. A.* 2003. V. 67. № 4. P. 043810 (7 pages).
8. *Grujić Z.D., Mijailović M., Arsenović D., Kovačević, Nikolić, Jelenković.* Dark Raman resonances due to Ramsey interference in vacuum vapor cells // *Phys. Rev. A.* 2008. V. 78. № 6. P. 063816 (7 pages).