

## СВОЙСТВА РЕЗОНАНСА КПН В ПОЛЕ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН\*

✉ Д. А. Раднатаров, И. В. Громов, П. В. Козьмина,  
С. М. Кобцев, М. Ю. Басалаев, В. И. Юдин

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

✉ d.radnatarov@nsu.ru

Одним из факторов, ограничивающих кратковременную стабильность атомных часов на основе эффекта когерентного пленения населенностей (КПН), является перераспределение части атомов на крайний магнитный подуровень основного состояния под действием оптической накачки. Атомы в данном состоянии не взаимодействуют с полем и не участвуют в формировании реперного резонанса, из-за чего снижается его контраст. Данный эффект можно подавить, восстановив исходное распределение атомов по подуровням, используя для возбуждения резонанса КПН поле двух встречных пучков с ортогональными круговыми поляризациями (так называемая  $\sigma^+$ ,  $\sigma^-$ -конфигурация поля). Контраст резонанса при этом может увеличиться по сравнению со стандартной схемой с одним пучком за счет двух факторов: увеличения количества атомов, участвующих в формировании резонанса; использования встречных пучков, позволяющего задействовать эффект интерференции КПН-состояний, возбуждаемых встречными волнами в одном атоме. Ранее данный подход был исследован в работе [1], где теоретически обоснована возможность кратного увеличения контраста резонанса КПН, а также в работе [2], где было продемонстрировано увеличение контраста резонанса КПН при возбуждении в холодных атомах. В нашей работе впервые была экспериментально исследована возможность использования данного подхода для увеличения контраста резонанса КПН в газовой ячейке, а также возможность улучшения метрологических характеристик атомных часов.

Измерения проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. В основе использовалась классическая схема атомных КПН-часов, в которую были добавлены два элемента, четвертьволновая пластинка и зеркало с частичным пропусканием, которые были установлены между ячейкой и фотоприемником; для управления мощностью излучения был использован акустооптический модулятор. В работе использовались два зеркала: одно с пропусканием 2 %, второе с пропусканием 10 %.

Наличие интерференции когерентных состояний, возбуждаемых разнонаправленными волнами, выражается в том, что контраст резонанса зависит от разности фаз встречных волн. На рис. 2, а представлена зависимость контраста резонанса от смещения зеркала. Результаты измерения согласуются с теорией, зависимость имеет периодический характер с периодом, близким к расчетному. Для того чтобы интерференция была конструктивной и контраст резонанса увеличивался, нужно, чтобы расстояние от центра ячейки до зеркала соответствовало нечетному числу полуволин на частоте сверхтонкого расщепления. Максимальный контраст составил 2,8 %, контраст резонанса без зеркала не превышал 1 %, т. е. использование встречного пучка позволило увеличить контраст резонанса более чем вдвое.

\* Работа выполнялась в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSUS-2020-0036, работа ПВК и ИВГ была поддержана грантом РНФ № 22-22-00264, работа СМК поддержана грантом РНФ и правительства Новосибирской области № 22-12-20010, работа МЮБ поддержана грантом № 22-72-10096.

© Д. А. Раднатаров, И. В. Громов, П. В. Козьмина, С. М. Кобцев, М. Ю. Басалаев, В. И. Юдин, 2023

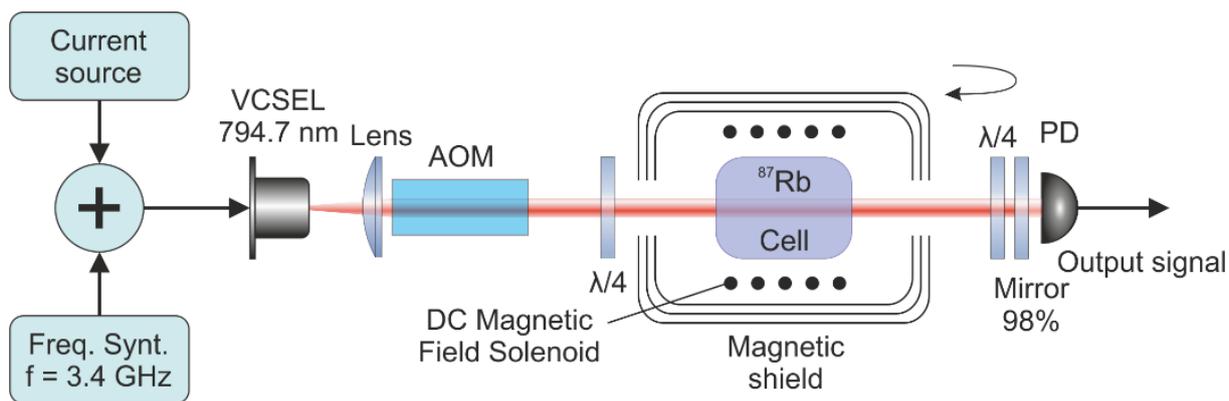


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: AOM — акустооптический модулятор; VCSEL — лазер с вертикальным резонатором; PD — фотоприемник

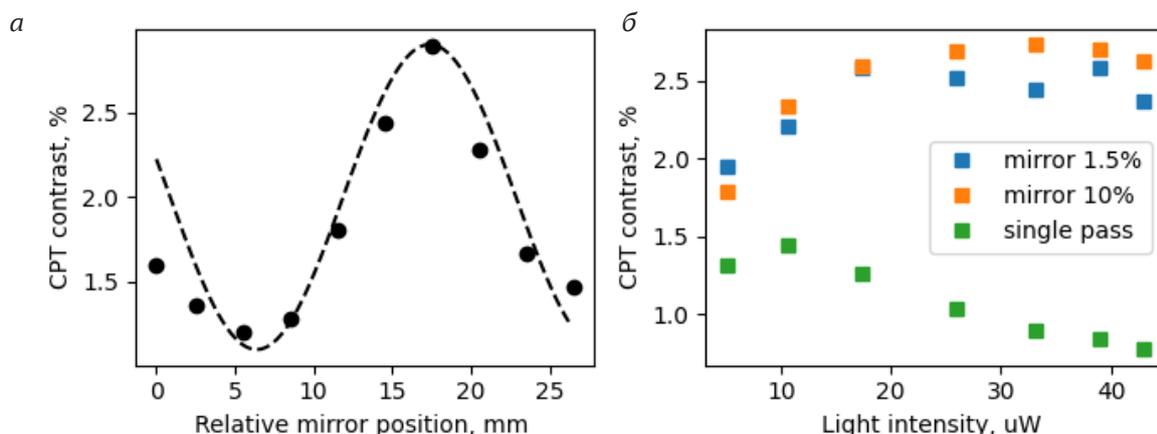


Рис. 2. Результаты измерений контраста резонанса КПН: а — в зависимости от положения зеркала; б — в зависимости от мощности излучения в разных условиях

Измерения показали, что воздействие встречной волны приводит к увеличению контраста резонанса, при этом эффект зависит от мощности излучения. Результаты представлены на рис. 2, б. Из графика видно, что использование двухпроходной схемы позволяет увеличить контраст резонанса в 2–4 раза в зависимости от мощности. Кроме того, оптимальная мощность, при которой достигается наибольший контраст, также увеличивается. Для однопроходной схемы наибольший контраст был зафиксирован при мощности 10 мкВт, в то время как для двухпроходной схемы оптимальная мощность находится в диапазоне 30–40 мкВт.

Включение петли обратной связи для стабилизации частоты по пику резонанса показало, что использование двухпроходной схемы позволяет улучшить стабильность часов до 1,5 раза и достигнуть уровня  $4,5 \times 10^{-11}/t^{1/2}$ .

### Список литературы

1. Taichenachev A. V. et. al. High-contrast dark resonances on the D1 line of alkali metals in the field of counterpropagating waves // J. Exp. Theor. Phys. Lett. 2004. Vol. 80(4). P. 236–240.

Liu X. et.al. High contrast dark resonances in a cold-atom clock probed with counterpropagating circularly polarized beams // Appl. Phys. Lett. Vol. 111(22). P. 1–6.