

## РЕЗОНАНСЫ КПН В ЯЧЕЙКЕ С РУБИДИЕМ-87 ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ МОДУЛЯЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ- И ОВЧ-СИГНАЛАМИ \*

✉ К. Н. Савинов, Д. М. Котина, Л. Р. Столярова, Н. Н. Головин, А. К. Дмитриев

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

✉ k.n.savinov@yandex.ru

Основным фактором, влияющим на стабильность стандартов частоты, является световой сдвиг. Для его снижения было предложено использовать многочастотное возбуждение резонансов когерентного пленения населенности (КПН) одновременно несколькими парами спектральных компонент фемтосекундного лазера [1]. В этом случае каждый из наблюдаемых резонансов представляет собой некоторую сумму резонансов, возбуждаемых каждой парой компонент в отдельности. Однако спектр излучения подобных лазеров многократно превышает ширину оптических переходов, используемых для накачки КПН-резонансов, что приводит к низкому отношению сигнала к шуму. Согласование ширины переходов с шириной линии излучения возбуждения выполняется для диодных лазеров с внешним резонатором (ДЛВР) [2]. При совместном действии СВЧ- и ОВЧ-модуляции тока инжекции ДЛВР на каждой из боковых полос формируется серия компонент, разделенных на частоту ОВЧ-модуляции. В этом случае вклад в образование резонанса КПН могут вносить сразу несколько пар компонент, отстоящих друг от друга на частоту часового перехода  $f_0$  ( $\approx 6,835$  ГГц).

При совместном действии СВЧ-модуляции частотой  $f_0/2$  и ОВЧ-модуляции частотой 68 МГц с помощью интерферометра Фабри — Перо были записаны огибающие спектра излучения (рис. 1, а).

Шкала частот калибровалась по интервалу между компонентами, равному частоте модуляции СВЧ. Видно, что боковые полосы по амплитуде практически равны, что позволит

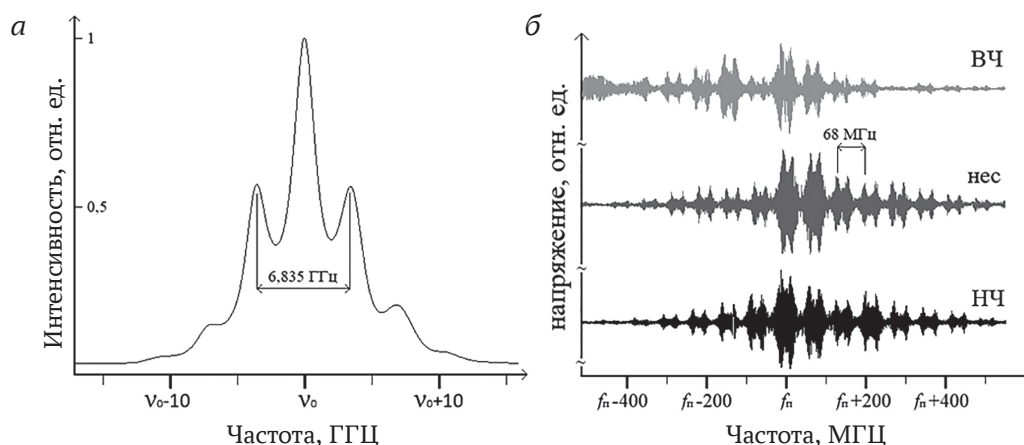


Рис. 1. Спектры излучения лазера при одновременном действии СВЧ-модуляции частотой  $f_0/2$  и ОВЧ-модуляции частотой 68 МГц: а — огибающие, записанные с помощью ИФП; б — биения с аналогичным лазером на различных полосах спектра

\* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSUN-2022-0007).

© К. Н. Савинов, Д. М. Котина, Л. Р. Столярова, Н. Н. Головин, А. К. Дмитриев, 2024

снизить световые сдвиги [3]. При рассмотрении тонкой структуры спектра (см. рис. 1, б) наблюдается набор из 8–10 компонент на каждой из боковых полос, при этом амплитуды ОВЧ компонент на боковых полосах оказываются достаточно близки по значению. Среднее значение амплитуды спектральных ОВЧ-компонент на боковых полосах примерно в 3,5 раза меньше, чем в отсутствие ОВЧ-модуляции. Следовательно, интенсивности компонент различаются на порядок. В общем случае [3] это приведет к уменьшению на порядок светового сдвига.

При совместном действии СВЧ- и ОВЧ-модуляции зарегистрирован КПН-резонанс, возбуждение которого осуществляется сразу несколькими парами ОВЧ-компонент на боковых полосах спектра (рис. 2).

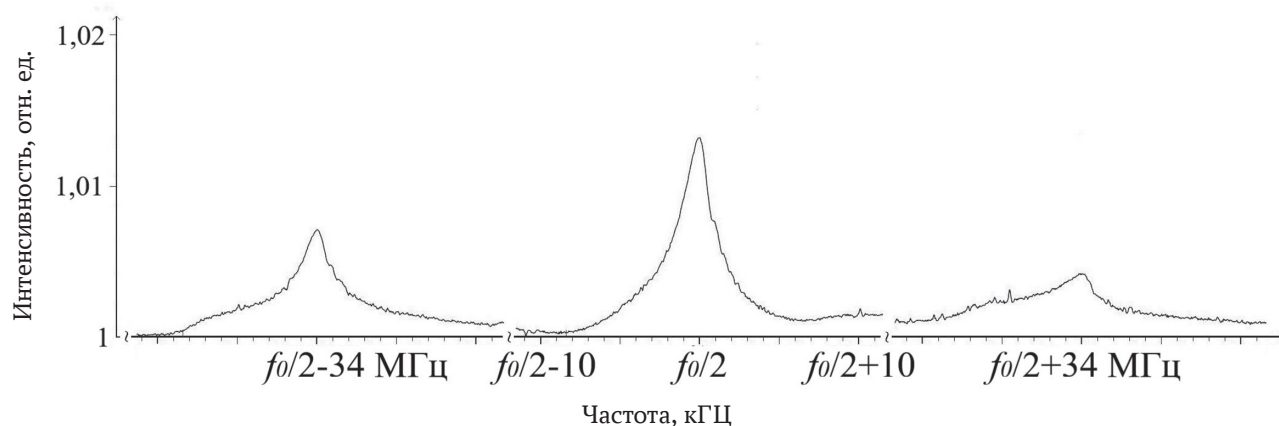


Рис. 2. Серия КПН-резонансов при совместном действии СВЧ- (3,417 ГГц; 28,2 мА) и ОВЧ-модуляции (68 МГц; 3,4 мА)

Справедливость механизма многочастотного возбуждения подтверждает наличие боковых резонансов, отстоящих от исследуемого на половину частоты ОВЧ-модуляции (34 МГц). Поскольку ширина резонансов существенно меньше интервала между ними (примерно в  $10^4$  раз) будет справедливым считать их не влияющими друг на друга. Ширина зарегистрированных резонансов с погрешностью 50 Гц (3,6 %) совпадает с шириной резонанса в отсутствие ОВЧ-модуляции (2,68 кГц). Количество наблюдаемых КПН-резонансов определяется числом ОВЧ-компонент на боковых полосах. В нашем случае была зарегистрирована серия из 5 резонансов, однако боковые резонансы второго порядка имеют на порядок меньшую амплитуду по сравнению с резонансами первого порядка.

В данной работе экспериментально реализовано многочастотное возбуждение резонансов КПН. В этом случае осуществляется суммирование сигналов от различных пар оптических частот, разнесенных на величину, равную частоте часового перехода. Согласно литературным данным [1], подобный механизм возбуждения позволит снизить световые сдвиги КПН-резонансов, что приведет к увеличению стабильности стандарта частоты.

### Литература

1. Baklanov E. V., Bagaev S. N., Dmitriev A. K. et al. Optical frequency standard based on the coherent population trapping resonance // *Laser Phys.* 2014. Vol. 24. P. 074007.
2. Savinov K. N., Golovin N. N., Dmitriev A. K. Coherent population trapping resonances under multifrequency optical pumping // *Bull. of the Lebedev Phys. Inst.* 2023. Vol. 50. P. S227.
3. Vanier J., Godone A., Levi F. Coherent population trapping in cesium: Dark lines and coherent microwave emission // *Phys. Rev. A.* 1998. Vol. 58. P. 2345.