

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАРКОВСКОГО СДВИГА ПРИ ПРЯМОЙ МОДУЛЯЦИИ DBR-ЛАЗЕРА И ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД НАБЛЮДЕНИЯ СУБДОПЛЕРОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ\*

✉ И. С. Месенцова<sup>1</sup>, Д. В. Бражников<sup>1,2</sup>, С. М. Игнатович<sup>1</sup>, М. Н. Скворцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

✉ mesenzova.i@yandex.ru

Спектроскопия высокого разрешения атомов и молекул имеет множество приложений как в фундаментальной, так и в прикладной науке [1, 2]. Один из широко применяемых методов основан на резонансах насыщенного поглощения, он обеспечивает надежные способы стабилизации частоты лазерного излучения. Обычно в нем используются две встречные световые волны с одинаковой оптической частотой  $\omega$ . Однако, будучи успешно реализуемым для разработки мобильных квантовых стандартов частоты (КСЧ) [2], этот метод пока не продемонстрировал приемлемых результатов при создании миниатюрных КСЧ. Например, предложена и успешно реализована двухфотонная спектроскопия паров рубидия в миниатюрных КСЧ на основе микрочаек [3].

В данной работе мы рассматриваем альтернативный подход, основанный на двухчастотной субдоплеровской спектроскопии атомов цезия [4]. Высокая стабильность оптической частоты ( $\sigma_y \approx 2 \times 10^{-12}$  в 1 с) продемонстрирована в первых экспериментах с микрочаечкой из паров Cs [5]. Кроме того, недавно этот подход был испытан в ячейке с парами  $^{87}\text{Rb}$  [6]. Поэтому он имеет хорошие перспективы для разработки миниатюрных КСЧ. Для решения проблемы миниатюризации здесь мы предлагаем отказаться от использования ЭОМа, как в [4–6]. Вместо этого мы изучаем возможность применения лазерного диода с распределенным брэгговским отражателем (DBR) с прямой модуляцией для создания необходимого двухчастотного режима возбуждения атомов. На рис. 1, а представлена схема эксперимента для наблюдения

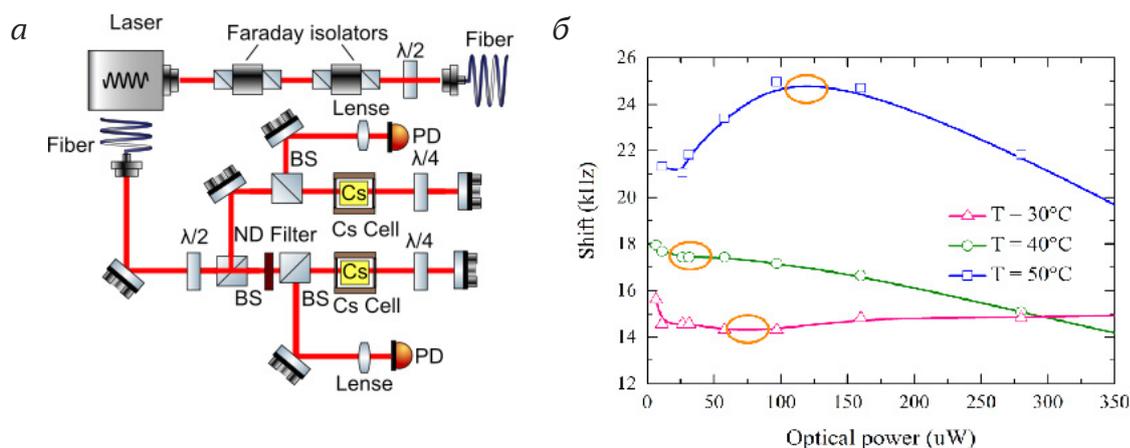


Рис. 1. а — схема экспериментальной установки для наблюдения сдвигов; б — зависимость смещения центра субдоплеровского резонанса от центра от оптической мощности

© И. С. Месенцова, Д. В. Бражников, С. М. Игнатович, М. Н. Скворцов, 2022

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-32-90029).

сдвигов центра резонанса, а на рисунке 1, б — результаты эксперимента. Для схемы с волоконным ЭОМ вместо обычного волокна, соединяющего части установки и формирующего пучок для DBR-лазера, подключаются ЭОМ и усилитель для него. В схеме используются две ячейки с парами  $^{133}\text{Cs}$ , одна ячейка — для стабилизации частоты лазера по центру субдоплеровского резонанса при различных интенсивностях оптических полей, регулируемых с помощью нейтрального фильтра перед ячейкой, а вторая — для измерения сдвига реперного резонанса. Стабилизация и анализ центра резонанса проводились методом синхронного детектирования резонанса. Сдвиг резонансов между ячейками вычислялся из измеренного уровня сигнала ошибки реперного резонанса с учетом крутизны квантового дискриминатора. Такой способ позволил измерять центр резонанса с точностью  $\sim 10$  Гц за 1 с.

Поставлены эксперименты по наблюдению светового сдвига субдоплеровского резонанса в многочастотном поле DBR-лазера и проанализировано его поведение при разных оптических мощностях и температуре ячейки с парами Cs. Цель этих исследований — поиск экстремумов в наблюдаемых зависимостях, т. е. точек (параметры поля при заданной температуре ячейки), где сдвиг обращается в ноль, на рис. 1, б такие точки отмечены оранжевыми кругами. Такой режим наблюдения резонанса является перспективными для получения долговременной нестабильности.

Оценивая шумы сигнала ошибки на выходе синхронного детектора, мы получили расчетную кратковременную нестабильность  $\sigma(1s) \approx 1 \cdot 10^{-13}$ :

$$\sigma(1s) \approx \frac{1}{v \cdot Q} = \frac{\lambda}{c \cdot Q},$$

где  $\lambda = 895$  нм. Из экспериментов для дифференциального режима регистрации  $Q \approx 3 \cdot 10^7$  1/ГГц =  $3 \cdot 10^{-2}$  1/Гц. Знак « $\approx$ » означает, что может быть использован еще некоторый числовой коэффициент порядка 1, зависящий от формы линии резонанса. Им пренебрегаем. Ожидаемый результат по нестабильности частоты стандарта находится на уровне развития мировой науки и пока не достигнут, авторами приведен теоретический расчет и планируются дальнейшие эксперименты.

### Список литературы

1. Letokhov V. S., Chebotayev V. P. Nonlinear laser spectroscopy. Berlin: Springer-Verlag, 1977. Т. 4.
2. Skvortsov M. N. et al. Miniature quantum frequency standard based on the phenomenon of coherent population trapping in vapours of  $87\text{Rb}$  atoms // Opt. Express. 2020. Т. 50, № 6. С. 576.
3. Bagayev S. N., Dmitriyev A. K., Pokasov P. V. Transportable He-Ne/ $\text{CH}_4$  frequency standard for precision measurements // Laser Physics. 1997. Т. 7, №. 4. С. 989–992.
4. Maurice V. et al. Miniaturized optical frequency reference for next-generation portable optical clocks // Opt. Express. 2020. Т. 28, № 17. С. 24708–24720.
5. Hafiz M. A. et al. Doppler-free spectroscopy on the Cs D 1 line with a dual-frequency laser // Opt. Lett. 2016. Т. 41, № 13. С. 2982–2985.
6. Brazhnikov D. et al. Dual-frequency sub-Doppler spectroscopy: Extended theoretical model and microcell-based experiments // Phys. Rev. A. 2019. Т. 99, № 6. С. 062508.