

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА МНОГОЧАСТОТНОЙ СУБДОПЛЕРОВСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ АТОМОВ Cs В МИНИАТЮРНЫХ ГАЗОВЫХ ЯЧЕЙКАХ *

✉ И. С. Месенцова¹, С. М. Игнатович¹, Д. В. Бражников^{1,2},
Н. Л. Квашнин¹, М. Н. Скворцов¹

¹ *Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

✉ mesenzova.i@yandex.ru

Высококонтрастные субдоплеровские резонансы, наблюдаемые в парах атомов щелочных металлов в поле встречных двухчастотных лазерных пучков, имеют хорошие перспективы в квантовой метрологии для создания миниатюрного оптического стандарта частоты. До недавнего времени наиболее миниатюрные образцы стандартов частоты разрабатывались только для СВЧ-диапазона. В схеме же, где сканируется оптическая частота излучения, как было показано в работе [1], возможно наблюдение однородно уширенных нелинейных резонансов с весьма высоким контрастом при условии, что разность частот резонансных компонент поля совпадает с частотой сверхтонкого расщепления ($\approx 9,2$ ГГц в случае с цезием).

Единственным серьезным препятствием на пути создания миниатюрного КСЧ на основе предложенной двухчастотной техники была необходимость в использовании ЭОМ [2–4]. В настоящей главе предложен и исследован способ преодоления этой трудности с помощью прямой СВЧ-модуляции тока диодного лазера. В этом случае спектр излучения состоит из множества боковых полос частот, которые ухудшают отношение сигнал/шум резонанса. Чтобы преодолеть эту проблему, мы применили поляриметрическую технику регистрации субдоплеровских резонансов на рис. 1 (слева).

Для оценки сдвигов ранее предполагавшийся метод биений между двумя идентичными системами был заменен на метод измерения сдвига частоты субдоплеровского резонанса в измерительной ячейке относительно реперной.

Наблюдение субдоплеровских резонансов происходило в схеме со встречными пучками ортогональной поляризации. При этом за счет КПН-эффекта в многочастотном оптическом поле резонансы приобретают знак, инверсный относительно широко известных резонансов насыщенного поглощения. Была построена схема, показанная на рис. 1 (справа).

Сигналы после ячеек поступали на фотоприемники, после чего с помощью синхронных детекторов формировались сигналы ошибок. Сигнал ошибки после одного из детекторов (in-loop-Lock-in) использовался для стабилизации частоты лазера, сигнал после второго (measure-Lock-in) — для измерения величины сдвига резонанса.

В работе показаны очевидные преимущества использования этой методики с точки зрения добротности резонанса: $Q = (\text{Амплитуда}/\text{FWHM})/\text{Шум}$. На рис. 2 показаны зависимости смещения резонансного центра при различных оптических мощностях в ячейке и разных температурах ячейки, отмеченных в легенде.

При используемом индексе модуляции суммарный световой сдвиг частоты резонанса обладает экстремумом в диапазоне мощностей 0,5–2 мВт (см. рис. 2, слева). Таким образом,

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-12-00279).

© И. С. Месенцова, С. М. Игнатович, Д. В. Бражников, Н. Л. Квашнин, М. Н. Скворцов, 2024.

можно подобрать параметры оптимального режима (оптическая мощность и температура), в котором световой сдвиг нечувствителен к малым флуктуациям мощности излучения. Работая в таком оптимальном режиме, можно существенно повысить долговременную стабильность частоты лазера, стабилизированного по наблюдаемым субдоплеровским резонансам.

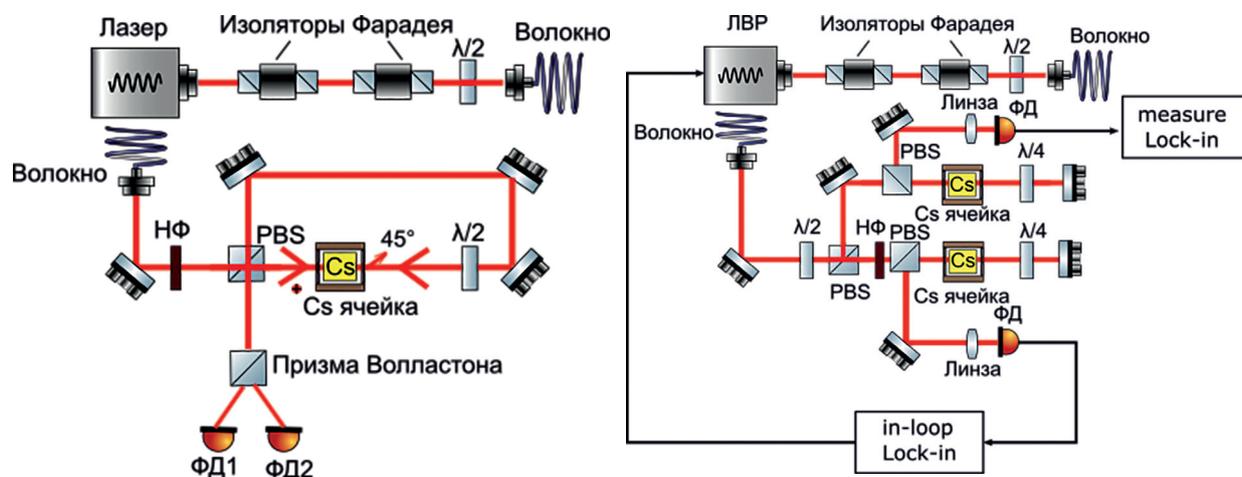


Рис. 1. Схема с дифференциальным приемом сигналов (слева). Схема экспериментальной установки для измерения сдвигов (справа). PBS — поляризационные светоделители, НФ — нейтральный фильтр, ФД — фотодетектор

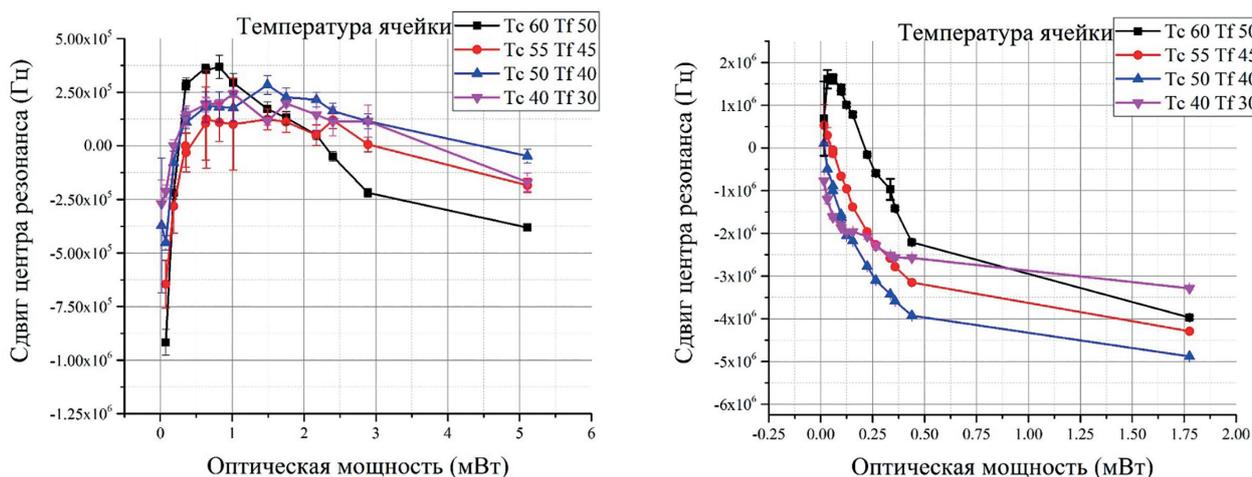


Рис. 2. Итоговый сдвиг центра резонанса при прямой модуляции тока лазера (слева). Итоговый сдвиг центра резонанса при фазовой модуляции излучения лазера ЭОМ (справа). Tc — температура ячейки, Tf — температура отростка ячейки

Литература

1. Скворцов М. Н., Игнатович С. М., Вишняков В. И. и др. Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе явления когерентного пленения населённостей в парах атомов 87Rb // Квантовая электроника. 2020 Т. 50, № 6. С. 576–580.
2. Newman Z. L., Maurice V., Drake T. Architecture for the photonic integration of an optical atomic clock // Optica. 2019. Vol. 6, No. 5. P. 680–685.
3. Hafiz A. M., Coget G., De Clercq E., Boudot R. Doppler-free spectroscopy on the Cs D1 line with a dual-frequency laser // Optics Letters. 2016. Vol. 41. P. 2982–2985.
4. Miletic D. Light-shift and temperature-shift studies in atomic clocks based on coherent population trapping. Université de Neuchâtel Doctoral dissertation. 2013.