

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТООПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА ЧАСТОТЕ ЛАРМОРА\*

✉ М. Д. Радченко<sup>1,2</sup>, В. И. Юдин<sup>1-3</sup>, М. Ю. Басалаев<sup>1-3</sup>, А. В. Тайченачев<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

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

<sup>3</sup> Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

✉ sciencefloppa@gmail.com

В настоящее время измерение магнитного поля необходимо во множестве прикладных задач и научных исследований [1]. В связи с этим было разработано большое количество магнитометров, различных по физическим принципам, которые они используют. Среди них атомные магнитометры, использующие явление магнитооптического резонанса (МОР), которые показывают себя как одни из наиболее точных и чувствительных [2, 3].

Данное теоретическое исследование посвящено сравнению и анализу метрологических характеристик различных режимов модуляции внешнего излучения, которые используются для формирования МОР в оптических переходах, посредством исследования модели чисто оптического магнитометра. В качестве математической модели рассматривается квантовое кинетическое уравнение на матрицу плотности для замкнутого оптического перехода  $J_g \rightarrow J_e$ , где  $J_g$  и  $J_e$  — значения полного углового момента в основном и возбужденном состоянии соответственно. МОР индуцирован линейно поляризованным модулированным оптическим излучением. При этом рассматривались два вида модуляции на частоте Лармора: амплитудная и частотная. Под исследуемыми метрологическими характеристиками понимаются сдвиг нуля и величина наклона сигнала ошибки МОР (рис. 1).

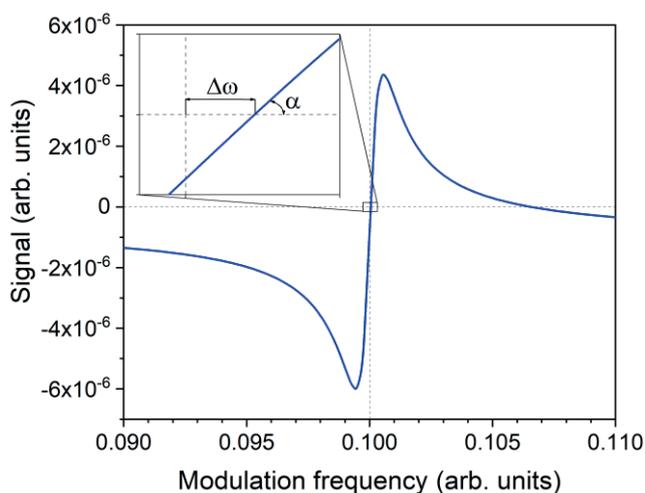


Рис. 1. Графическое пояснение исследуемых характеристик: наклон  $k = \text{tg}(\alpha)$  линейного участка и сдвиг нуля  $\Delta\omega$  сигнала ошибки

С использованием численного расчета модели получены квадратурные и синфазные сигналы магнитооптических резонансов, а также установлены зависимости характеристик сигнала ошибки от коэффициента модуляции и интенсивности модулированного оптического излучения для оптических переходов  $J \rightarrow J$  и  $J \rightarrow J \pm 1$  с различными значениями углового момента  $J$ .

В ходе анализа зависимостей различных характеристик сигнала ошибки сделаны следующие выводы:

- переходы  $J \rightarrow J-1$  и  $J \rightarrow J$  имеют существенно больший наклон сигнала ошибки в сравнении с переходами  $J \rightarrow J+1$  (рис. 2, а);

\* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-72-10096).

© М. Д. Радченко, В. И. Юдин, М. Ю. Басалаев, А. В. Тайченачев, 2024

- во всех переходах, кроме  $J \rightarrow J + 1$  с использованием ЧМ, при определенных параметрах излучения сдвиг нуля сигнала ошибки отсутствует (см. рис. 2, б);
- переходы  $J \rightarrow J + 1$  имеют сильно нелинейную зависимость сдвига МОР от интенсивности (см. рис. 2, б).

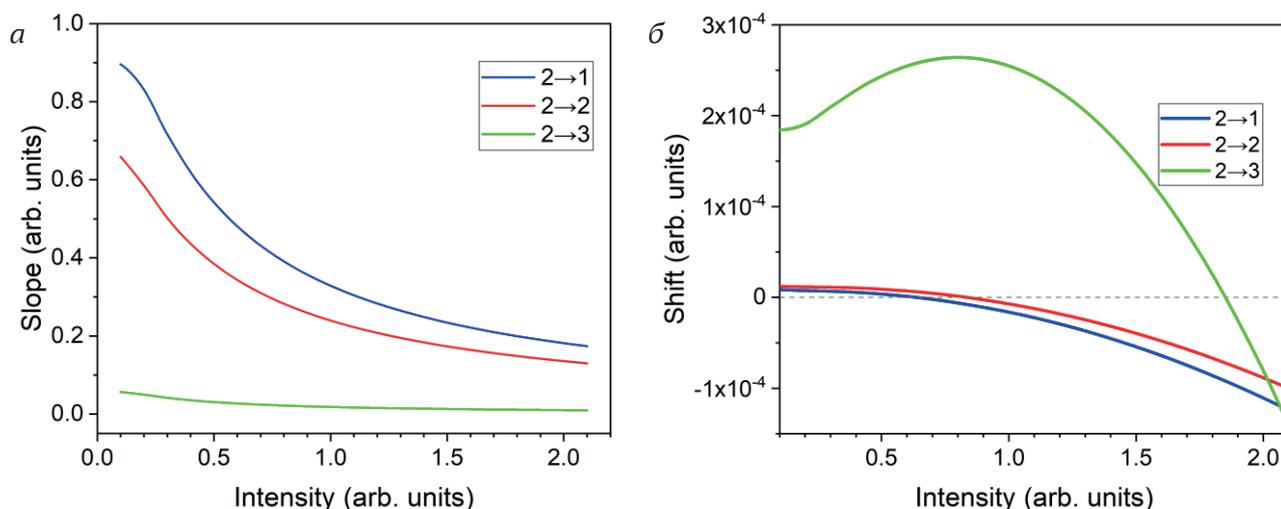


Рис. 2. Графики зависимости наклона сигнала ошибки от интенсивности (а) и сдвига нуля сигнала ошибки от интенсивности (б) для переходов  $J \rightarrow J$ ,  $J \rightarrow J \pm 1$  при  $J = 2$  и амплитудной модуляции

На основе данных выводов оптимизированы параметры лазерного излучения, а также определены наилучшие в контексте атомной магнитометрии режим модуляции и тип оптического перехода.

Полученные результаты исследования могут представлять собой теоретическую базу как для улучшения уже существующих, так и для разработки новых схем чисто оптических магнитометров.

### Литература

1. Fabricant A. et al. How to build a magnetometer with thermal atomic vapor: a tutorial // New J. Phys. 2023. Vol. 25. P. 025001.
2. Petrenko M. V., Vershovskii A. K. Towards a practical implementation of a single-beam all-optical non-zero-field magnetic sensor for operation in magnetoencephalographic complexes // Sensors. 2022. Vol. 22. P. 9862.
3. Budker D., Kimball D. F. J. Optical Magnetometry. Cambridge University Press, 2013.