

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТООПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА ЧАСТОТЕ ЛАРМОРА*

✉ М. Д. Радченко^{1,2}, В. И. Юдин¹⁻³, М. Ю. Басалаев¹⁻³, А. В. Тайченачев^{1,3}

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

³ 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).

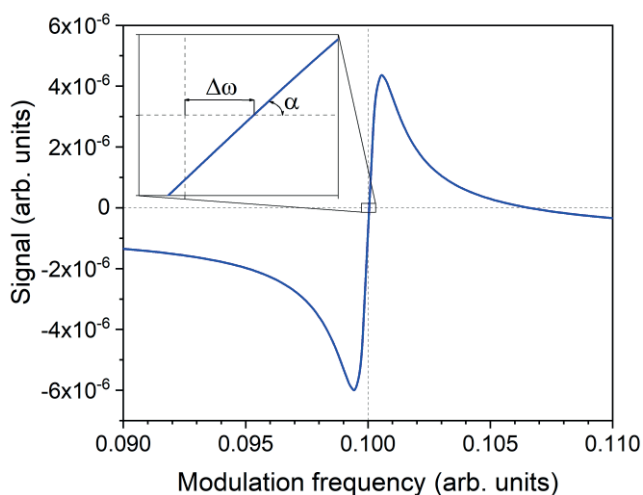


Рис. 1. Графическое пояснение исследуемых характеристик: наклон $k = \text{tg}(\alpha)$ линейного участка и сдвиг нуля $\Delta\omega$ сигнала ошибки

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).

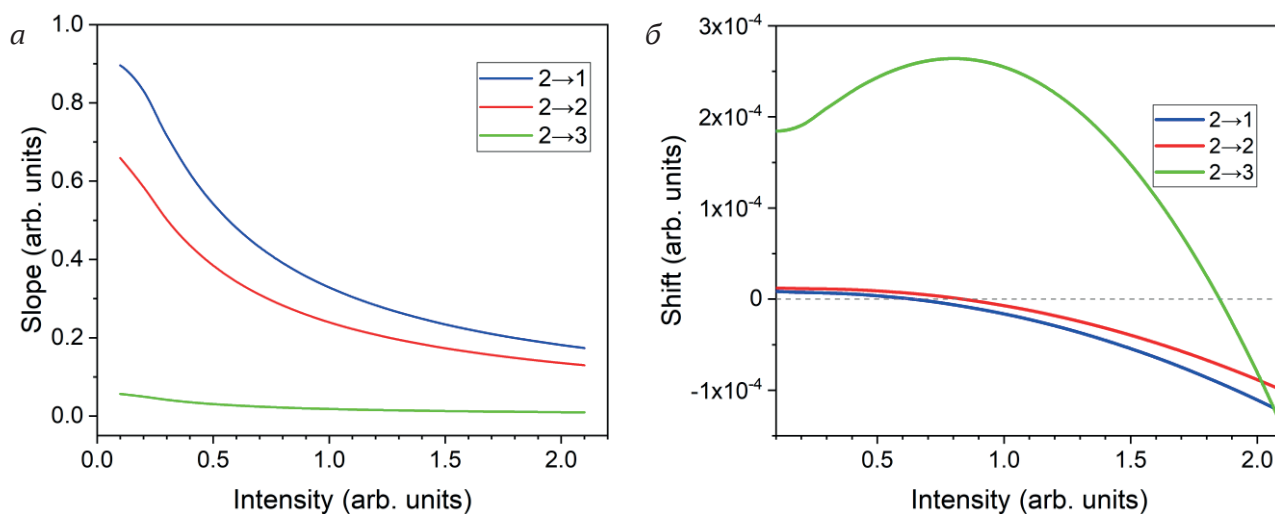


Рис. 2. Графики зависимости наклона сигнала ошибки от интенсивности (а) и сдвига нуля сигнала ошибки от интенсивности (б) для переходов $J \rightarrow J$, $J \rightarrow J \pm 1$ при $J = 2$ и амплитудной модуляции

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.