

# Компактный атомный спектроскоп с отражателем в виде дифракционной решетки

А. В. Семенко<sup>1</sup>, А. А. Луговой<sup>1</sup>, А. П. Вялых<sup>1</sup>, Г. С. Белотелов<sup>1</sup>, М. В. Шишова<sup>2</sup>, Д. В. Сутырин<sup>1</sup>, С. Н. Слюсарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Россия, 141570 Московская обл., Солнечногорск, пос. Менделеево

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Россия, Москва

В данной работе мы рассматриваем разработку прототипа следующего поколения ОСЧ на нейтральных атомах с использованием однолучевого охлаждающего излучения. Ранее была реализована конструкция спектроскопа ОСЧ с использованием конусного отражателя. Рассмотрены вопросы реализации спектроскопа с использованием отражателя на дифракционных голографических решетках.

*Ключевые слова:* Оптика, Голографическая решетка, Дифракционная решетка, Ультрахолодные атомы, Спектроскопия, Магнито-оптическая ловушка.

*Цитирование:* Семенко, А. В. Компактный атомный спектроскоп с отражателем в виде дифракционной решетки / А. В. Семенко, А. А. Луговой, А. П. Вялых, Г. С. Белотелов, М. В. Шишова, Д. В. Сутырин, С. Н. Слюсарев // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 71–73.

Оптические стандарты частоты (ОСЧ) на ультрахолодных атомах на данный момент достигли неопределенности на уровне  $1e^{-18}$  [1]. Стационарные ОСЧ уже применяются для калибровки шкал времени [2]. В нескольких технологически развитых странах разработаны мобильные ОСЧ или ведутся работы по их созданию. Перспективным является создание еще более компактных портативных ОСЧ, но для этого необходимо уменьшение массы, габаритов спектроскопа, электроники, лазерных систем.

В данной работе мы рассмотрим конструкцию макета портативного спектроскопа ОСЧ на ультрахолодных атомах иттербия. Поток горячих атомов из испаряющего источника, направленный в вакуумную камеру, тормозится под влиянием магнитных полей и оптического излучения, формируя магнито-оптическую ловушку (МОЛ). После первичного и вторичного охлаждения температура атомов в МОЛ достигает десятков мкК. Столь холодные атомы могут быть загружены в оптическую решетку, формируемую лазером с высокой интенсивностью. В таком состоянии атомы практически изолированы от влияния внешних возмущений, и становится возможным зарегистрировать узкий «часовой» переход в атомах иттербия  $^1S_0-^3P_0$ .

В классической схеме формирования МОЛ электромагнитное поле для удержания атомов создается с использованием трех взаимно перпендикулярных лучей. Такая конструкция, однако, является достаточно громоздкой. Заменой трехлучевой МОЛ может служить однолучевая МОЛ, в которой излучение охлаждающих лазеров заводится с одного направления и формирует электромагнитное поле в центре камеры с помощью отражающего элемента. К настоящему времени уже был реализован и в данный момент исследуется макет

портативного однолучевого спектроскопа с использованием конического отражателя либо наклонных призм. Размеры спектроскопа составляют примерно  $30 \times 70 \times 10$  см при диаметре вакуумной камеры 8 см. Заменяв конический отражатель плоской дифракционной решеткой, можно добиться еще большей компактности спектроскопа.

Дифракционная решетка [3] должна работать с одинаковым углом отражения дифракционного максимума на двух длинах волн излучения лазеров: 399 нм для первичного и 556 нм для вторичного охлаждения. Так как дифракционная решетка с одинаковым периодом штрихов будет отражать излучение разных длин волн под разными углами, необходимо рассмотреть различные геометрические конфигурации решеток, например, решетку из двух видов чередующихся секций с разным периодом штрихов. Для такого варианта реализации еще более критичным становится параметр дифракционной эффективности, так как половина излучения, падающая на не соответствующую его длине волны секцию, отражается под другим углом и не участвует в формировании МОЛ.

Для еще большей компактизации спектроскопа предлагается рассмотреть замену внешних магнитных катушек на плоскую конструкцию, формирующую требуемое магнитное поле [4]. В этом случае дифракционную решетку можно разместить непосредственно на поверхности плоской конструкции, но предусмотреть, что при работе такая конструкция сильно нагревается, и от решетки потребуются высокая термостойчивость.

### Заключение

В докладе обсуждается прототип компактного спектроскопа. Рассмотрена замена конического отражателя на дифракционную решетку. Предложено несколько вариантов реализации и определены требования к дифракционным решеткам.

### Список источников

- [1] **Bloom, B. J.** An optical lattice clock with accuracy and stability at the  $10^{-18}$  level / T. Nicholson, Williams J et al // Nature. — 2014. — Т. 506. — №. 7486. — С. 71–75.
- [2] **Riehle F.** The CIPM list of recommended frequency standard values: guidelines and procedures / F. Riehle, P. Gill, F. Arias, L. Robertsson // Metrologia. — 2018. — Т. 55. — №. 2. — С. 188.
- [3] **Vangeleyn M.** Laser cooling with a single laser beam and a planar diffractor / M. Vangeleyn, P. F. Griffin, E. Riis, A. S. Arnold // Optics letters. — 2010. — Т. 35. — №. 20. — С. 3453–3455.
- [4] **Ritter R.** Atomic vapor spectroscopy in integrated photonic structures / R. Ritter, N. Gruhler, W. Pernice, H. Kübler, T. Pfau, R. Löw // Applied Physics Letters. — 2015. — Т. 107. — №. 4. — С. 041101.

# Compact atomic spectroscope with a diffraction grating reflector

*A. V. Semenko<sup>1</sup>, A. A. Lugovoy<sup>1</sup>, A. P. Vyalykh<sup>1</sup>, G. S. Belotelov<sup>1</sup>, M. V. Shishova<sup>2</sup>, D. V. Sutyryn<sup>1</sup>, S. N. Slyusarev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Physico-Technical and Radiotechnical Measurements, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

In this paper, we consider the development of a prototype of the next generation of neutral-atom optical clocks using single-beam cooling radiation. Previously, the design of an optical clocks spectroscope using a cone reflector was implemented. The issues of implementing a spectroscope using a reflector on diffraction holographic gratings are considered.

*Keywords:* Optics, Holographic grating, Diffraction grating, Cold atoms, Spectroscopy, Magneto-optical trap.