

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Федоровой Елены Сергеевны
«Исследование ультрахолодных атомов тулия в оптической решетке вблизи
магической длины волны»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

НАУЧНАЯ ОБЛАСТЬ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ РАБОТА

Диссертация посвящена общим вопросам лазерного пленения и охлаждения атомов с относительно узким возбуждённым состоянием и применению методик охлаждения и пленения к атому тулия, что важно для создания часов на оптическом переходе в этом атоме.

Стандарты частоты на основе переходов оптического диапазона в ультрахолодных атомах или в ионах являются в настоящее время наиболее стабильными. Относительный уровень нестабильности составляет 10^{-18} . Основной инструментальной ошибкой является сдвиг уровней из-за теплового излучения окружающих предметов. Тулий интересен из-за малости такого сдвига в сравнении со сдвигами в иттербии и стронции, на которых созданы наиболее стабильные часы. Переход в тулии защищён от внешних электрических полей благодаря тому, что переход состоит в перевороте спина электрона на внутренней оболочке.

Лазерное охлаждение лантаноидов, к которым относится тулий, и атомов II группы нетривиально и является областью приложения усилий исследователей и в теории, и в эксперименте. Таким образом, актуальность работы не вызывает сомнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе получены результаты, которые интересны как в общем для лазерного охлаждения и пленения вещества, так и непосредственно для создания часов на атоме тулия.

Во-первых, впервые для тулия реализована магнито-оптическая ловушка (МОЛ) на переходе, который не может считаться бесконечно широким относительно энергии фотонной отдачи. Это важно непосредственно для создания часов на тулии.

Во-вторых, получен результат, который интересен для всей области лазерного охлаждения. Впервые на подобном переходе наблюдалось охлаждение в режиме за пределами теории Летохова-Миногина-Павлика. Этот результат важен для охлаждения

широкого класса элементов, к которым относятся лантаноиды и атомы II группы таблицы Менделеева.

В-третьих, впервые для тулия создана оптическая решётка с глубиной существенно больше температуры, а затем в эту решётку загружено облако атомов с высокой эффективностью, более 60%. Также измерена динамическая поляризуемость атома тулия в основном состоянии.

В-четвёртых, атомы тулия в оптической решётке приготовлены во внутреннем состоянии, которое может оказаться оптимальным для будущих часов. Процесс приготовления также описан в рамках теории. Измерено время сохранения атомов в этом состоянии.

Все выводы и научные положения в работе обоснованы измерениями, расчётами, математическим моделированием. Достоверность полученных результатов следует из воспроизводимости измерений, анализа ошибок измерений и критического осмысления результатов.

ЗАМЕЧАНИЯ

1. По главе 3. К периодическому потенциалу оптической решётки добавлен линейный потенциал для подавления туннелирования. Этот потенциал приводит к колебаниям Блоха-Зенера – другому нежелательному при создании часов эффекту. Была бы полезна оценка того, что вклад этих колебаний в сдвиг или уширение часового перехода мал.
2. По главе 3. Для понимания процесса перегрузки из магнито-оптической ловушки (МОЛ) в оптическую решётку была бы полезна информация о параметрах МОЛ – глубине, размере облака, концентрации атомов в облаке.
3. По главе 4. Для понимания деполяризации атомов, необходимо знать параметры газа в облаке. В работе отсутствуют первичные данные, на основании которых сделан вывод о концентрации 10^{11} см^{-3} .

ВЫВОД

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертации Е. С. Федоровой. Полученные в диссертации результаты являются новыми, значимыми и оригинальными в области лазерного пленения и охлаждения вещества и в области создания стандартов частоты.

Представленная диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, её основные результаты полно отражены в научных трудах автора, опубликованных в ведущих научных журналах. Результаты докладывались автором на российских и международных конференциях, в частности я наблюдал очевидный интерес коллег к докладу соискательницы на конференции ЕСАМР во Франкфурте в сентябре 2016 года. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертация Е. С. Федоровой «Исследование ультрахолодных атомов тулия в оптической решетке вблизи магической длины волны» соответствует всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

Федорова Елена Сергеевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 «лазерная физика» за исследование лазерного охлаждения атомов с узким возбуждённым состоянием и за важный шаг к созданию стандарта частоты на атомах тулия.

Официальный оппонент

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, заведующий Лабораторией ультрахолодных квантовых систем ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН»

turlapov@appl.sci-nnov.ru,
+7(831)416-4828
603950, г. Нижний Новгород,
БОКС-120, ул. Ульянова, 46.

Андрей Вадимович Турлапов

25 сентября 2019 года

Подпись Андрея Вадимовича Турлапова заверяю
Ученый секретарь ИПФ РАН к.ф.-м.н.



Игорь Валерьевич Корюкин

Список основных работ оппонента А. В. Турлапова по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Order in the Interference of a Long Chain of Bose Condensates with Unrestricted Phases, Makhalov V., Turlapov A., *Physical Review Letters*, 122(9), 090403 (2019)
2. Fermi-to-Bose crossover in a trapped quasi-2D gas of fermionic atoms, Turlapov A. V., Kagan, M. Yu., *Journal of Physics: Condensed Matter*, 29(38), 383004 (2017)
3. A vacuum gauge based on an ultracold gas, Makhalov V. B., Turlapov A. V., *Quantum Electronics*, 47(5), 431-437 (2017)
4. Primary vacuum gauge based on an ultracold gas in a shallow optical dipole trap, Makhalov V. B., Martiyanov K. A., Turlapov A. V., *Metrologia*, 53(6), 1287-1294 (2016)
5. Pressure profiles of nonuniform two-dimensional atomic Fermi gases, Martiyanov K., Barmashova T., Makhalov V., Turlapov A., *Physical Review A*, 93(6), 063622 (2016)
6. Precision measurement of a trapping potential for an ultracold gas, Makhalov V., Martiyanov K., Barmashova T., Turlapov A., *Physics Letters A*, 379(4), 327-332 (2015)