

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Вильшанской Евгении Владимировны
«Экспериментальное исследование ультрахолодной плазмы кальция-40»
представленную в диссертационный совет диссертационного совета Д 24.1.193.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур, на соискание ученой степени
кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы**

В настоящее время в физике плазмы, в которой существуют множество направлений исследований (термоядерные, солнечные, ионосферные и др.), «ультрахолодная плазма» выделяется новизной изучаемых в ней **фундаментальных** явлений. Не часто встречается, что в диссертации приводится ссылка на Нобелевскую премию (1997г., «За создание методов охлаждения и удержания атомов с помощью лазерного света»), которая является предтечей проводимой работы. Вряд ли при защите диссертаций по изучению катодов в плазменных разрядах сейчас уместно будет написать ссылку на Нобелевскую премию Ирвинга Ленгмюра (1932г., «За открытия и исследования в области химии поверхностных явлений»). Ультрахолодная плазма по своим параметрам относится к неидеальным средам. Поэтому экспериментальные исследования и описание развивающихся в такой среде явлений представляет большой интерес не только для большинства направлений физики плазмы (для сравнительного анализа), но и для других областей науки: от оптики до теории вероятности и математической статистики. **Актуальность** диссертационной работы не вызывает сомнений.

Новизна исследований.

В диссертационной работе Е.В. Вильшанской, посвященной экспериментальным исследованиям ультрахолодной плазмы кальция-40, можно отметить следующие впервые полученные результаты.

- В эксперименте получено лазерное охлаждение и захват в магнитооптическую ловушку порядка $3 \cdot 10^7$ атомов кальция-40. Результат был получен в специально созданной магнитооптической ловушке, позволяющей создавать и исследовать стационарный режим ультрахолодной неидеальной плазмы.
- Экспериментально создана и изучена стационарная ультрахолодная плазма с концентрацией ионов до 10^6 см^{-3} с помощью надпороговой ионизации охлажденных в магнитооптической ловушке атомов кальция-40.
- Разработан оригинальный метод диагностики разреженной ультрахолодной плазмы на основе эффекта автоионизации ридберговских состояний атомов кальция-40, позволяющий детектировать плазму с концентрацией ионов до 10^3 см^{-3} .
- Измерены энергии ридберговских переходов в $n \text{ } ^1S_0$ – состояния атомов ^{40}Ca для $n = 40 - 120$, по которым получено значение потенциала ионизации

49305,91966(4) см^{-1} . Это значение потенциала является на настоящее время самым точным (см. таблицу 2.2. в диссертации).

Достоверность полученных результатов и научных положений.

Достоверность полученных экспериментальных характеристик не вызывает сомнения. Экспериментальные результаты получены с привлечением нескольких независимых диагностических методик (например, определение температуры облака атомов методом дифференциальной двухфотонной спектроскопии и баллистического разлета атомов в пустоту), сопоставлены с результатами других групп исследователей. Перед созданием отдельных узлов установки (вакуумной и оптической частей) был проведен их расчет и моделирование. Достоверность измеренных характеристик подтверждена также сравнением с теоретическими оценками.

Все разделы диссертации освещались на российских и международных конференциях по физике плазмы и были опубликованы в рецензируемых журналах.

Значимость полученных результатов.

Полученные Е.В. Вильшанской оригинальные результаты являются новыми и имеют большое научное значение.

Научные результаты получены оригинальными диагностическими методиками на созданной в рамках диссертационной работы первой в России экспериментальной установки по лазерному охлаждению и захвату в магнитооптическую ловушку атомов кальция-40. В такой установке изучено лазерное охлаждение и захват в магнитооптическую ловушку порядка $3 \cdot 10^7$ атомов кальция-40. Для описания этого явления измерены концентрация и количество атомов, их пространственное распределение, а также оценена температура захваченных атомов, определенная методом баллистического разлета облака атомов кальция (порядка 4 – 10 мК). Важным **научным** результатом является уточнение (по сравнению с табличными данными) значения потенциала ионизации атома ^{40}Ca для $n = 40 - 120$ ($49305,91966(4) \text{ см}^{-1}$).

Этот результат имеет **практическое** значение, потому что уточненное значение порога ионизации позволяет точно настраивать лазерное излучение в резонанс с ридберговскими переходами, а также прецизионно отстраивать частоту ионизирующего лазерного излучения выше порога ионизации для создания ультрахолодной плазмы ^{40}Ca .

Научно значимым результатом является разработанный способ создания стационарной ультрахолодной неидеальной плазмы, полученной из охлажденных в магнитооптической ловушке атомов ^{40}Ca , с концентрацией ионов до 10^6 см^{-3} , с ионной температурой 0,05 К, и параметром неидеальности для ионов порядка 2.

Отметим, что значимыми являются **методические (практические)** результаты по разработке и созданию диагностики разреженной ультрахолодной плазмы на основе эффекта автоионизации ридберговских состояний атомов кальция-40, позволяющий детектировать плазму с концентрацией ионов до 10^3 см^{-3} .

Оценка содержания диссертации, её завершенность.

Диссертация состоит из введения, трех глав оригинального содержания, заключения и приложения. Объем диссертации — составляет 108 страниц, включая 35 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 82 наименований.

В целом диссертационная работа представляет собой законченный труд, в котором получен ряд важных результатов как фундаментального, так и прикладного характера. Отмечаю большой вклад автора в создание первой в России экспериментальной установки по лазерному охлаждению и захвату в магнитооптическую ловушку (МОЛ) атомов кальция-40 и проведении экспериментальных исследований на этой установке.

Результаты, полученные автором, широко известны специалистам по радиофизике и опубликованы в 8 статьях в реферируемых журналах из списка ВАК, неоднократно были доложены на российских и международных семинарах и конференциях.

По работе имеются следующие вопросы и замечания.

1. Установка выполнена на заказ из нержавеющей стали. Сейчас даже в журналах принято указывать фирму, которая выполняет то или иное устройство. Например, «Activecam AC-D1020 (DSSL Company, Moscow, Russia) and FastecImaging IN250M512 (Fastec Imaging, San Diego, CA, USA) cameras». Поэтому ссылка на изготовителя должна быть указана.
2. На некоторых рисунках-схемах не указан масштаб (всей установки или отдельных частей, 1.6, 1.7, 1.10).
3. На Рис. 1.15 нужно указать марку камеры. — «(а) Фотография облака холодных атомов кальция-40 в МОЛ, сделанная на обычную бытовую камеру»
4. В первой главе также рассматривается определение температуры захваченного облака атомов методом баллистического разлета частиц. Приведена оценка «Дебаевский радиус не превышает размеров исследуемой среды...0,15 мм при характерном диаметре облака 1,4 мм». Нужно ли в этом случае учитывать и диффузионную скорость (сделать поправку)?
5. Разработанный и созданный автором усилитель (Приложение А) может быть представлен на патент на полезную модель.

Указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы.

Работа выполнена автором на высоком научном уровне с использованием современных экспериментальных средств и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В автореферате диссертации адекватно отражено содержание диссертации и публикаций автора. Основные результаты отражены в публикациях, докладах на научных конференциях и известны специалистам.

Диссертационная работа Вильшанской Е.В. «Экспериментальное исследование ультрахолодной плазмы кальция-40», соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (по специальности 01.04.08. – Физика плазмы), профессор (по специальности «Радиофизика»), ведущий научный сотрудник отдела физики плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук" (119991, Москва, ул. Вавилова 38, ИОФ РАН),
e-mail: nina@fpl.gpi.ru, тел. +7 499 5038777*582

Нина Николаевна Скворцова

07 декабря 2021 г.

Подпись Н.Н. Скворцовой удостоверяю

ВРИО ученого секретаря ИОФ РАН, д.ф.-м.н.



В.В. Глушков