


**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор ИПФ РАН,  
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН  
Сергеев А.М.



  
29.02.2016

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу  
Занозиной Екатерины Михайловны  
«Ридберговские инфракрасные спектры атомов металлов,  
полученные в результате лазерной абляции»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.05 – «Оптика»

### **Актуальность темы исследования**

Техника импульсной лазерной абляции широко используется для многоэлементного анализа в многих современных высокотехнологичных процессах (изготовление и травление тонких пленок из органических и неорганических материалов, обработка и модификация поверхностей материалов и др). Физические параметры низкотемпературной плазмы, создаваемой путём лазерной абляции, по многим параметрам близки к параметрам, характеризующим межзвездную среду и некоторые другие "холодные" астрономические объекты. Это позволяет использовать технику спектроскопии лазерной плазмы для получения информации необходимой для дистанционных астрофизических исследований. Имеющийся дефицит требующейся в перечисленных приложениях точной спектроскопической информации в настоящее время может быть восполнен только экспериментальными лабораторными исследованиями, что и обуславливает

актуальность задачи поставленной в диссертации Е. М. Занозиной для оптики и спектроскопии.

### **Новизна исследования и научная значимость полученных результатов**

Работа Е.М. Занозиной посвящена исследованию инфракрасных спектров лазерной плазмы с временным разрешением и получению новых точных спектроскопических характеристик атомов металлов в практически не исследовавшейся ранее инфракрасной области спектра. В результате анализа уникальных экспериментальных спектров идентифицировано более сотни неизвестных ранее линий атомов металлов в области  $800\text{-}6000\text{ см}^{-1}$ , определены энергии десятков новых уровней энергии и уточнены положения сотен известных уровней. Наиболее ценными для приложений представляются результаты обширных расчетов значений матричных элементов дипольных переходов в атомах исследовавшихся металлов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты, полученные в диссертации, следует разместить в открытых базах данных для их широкого использования в интересах фундаментальной спектроскопии и ее приложений.

### **Замечания**

При рассмотрении кандидатской диссертации Занозиной Е.М. возникли следующие замечания:

#### 1. По сути дела:

На стр. 29 автор утверждает, что «один из источников погрешностей, возникающих в процессе измерения — шум, который отражается на ширине линии излучения. Вклад такого шума может быть примерно оценен погрешностью определения ширины линии  $\Delta W$ , полученной аппроксимацией лоренцовским профилем». Это справедливо только при условии отсутствия систематических искажений профиля линии за счет соседних линий, базовой линии спектрометра и/или других

экспериментальных артефактов, которые, несомненно, присутствуют и требуют оценок.

## 2. По форме изложения:

2.1. На стр. 32-33 делается неочевидное утверждение, которому приходится верить со слов автора, что задача минимизации выражения (2.7) эквивалентна решению системы (2.8) – (2.10).

2.2. На стр 40 в выражении (2.34) появляется символ  $r_0$ , который нигде не объясняется.

2.3. Стр. 55. Положения линий на Рис. 3.1 противоречит данным Табл. 3.3.

2.4. На стр. 27 говорится, что « $L$  – расстояние между датчиком и мишенью», хотя никакого датчика там нет, а  $L$  это среднее расстояние от мишени на котором регистрируется спектр плазмы.

## 3. По стилю и оформлению:

3.1. Много стилистических замечаний по описанию эксперимента, например: Стр. 17: Фраза: «Точное положение зеркала определяется с помощью He-Ne лазера интерферометра...» является дословным переводом с английского и теряет смысл на русском.

Стр. 19-20. «Самое медленное сканирование интерферометра ограничено частотой He–Ne лазера около 3 кГц» и «...скорость зеркала интерферометра 3 кГц...» Имеется в виду, что при перемещении зеркала частота выходного сигнала интерферометра составляет 3 кГц.

Стр. 22. «...линий измерены в вакууме, то есть в отсутствие буферных газов» Плазму, действительно, можно получить в отсутствие буферных газов, но при этом вакуума в камере уже не будет.

Стр. 28. Выражение «спектральная калибровка разности хода» является сленгом. Речь идет о калибровке частотной шкалы экспериментальных спектров.

3.2. Таблица 3.4 называется «Другие измерения», но половина приведенных чисел – расчетные.

3.3. Таблицы 3.5, 3.7, 3.9 и многие другие называются «Сравнение...», но сравнения там нет, а приведены только числа, которые при желании позволяют сравнить.

3.4. Стр. 77. В фразе «...дано в Таблицах 3.1 и 3.1 для Li...» явно присутствует опечатка.

Отмеченные выше недостатки не снижают общего положительного впечатления от кандидатской диссертации Е.М. Занозиной «Ридберговские инфракрасные спектры атомов металлов, полученные в результате лазерной абляции». Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, излагаемые в ней результаты обладают научной новизной и являются существенным вкладом в атомную спектроскопию, а также могут быть использованы в физике низкотемпературной плазмы, астрофизике и астрохимии. Результаты работы докладывались на международных конференциях и опубликованы в 7 статьях в журналах, входящих в базу данных Web of Science и список ВАК.

Диссертация «Ридберговские инфракрасные спектры атомов металлов, полученные в результате лазерной абляции» удовлетворяет требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), а ее автор Занозина Екатерина Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Отзыв составлен заведующим отделом Микроволновой спектроскопии ИПФ РАН М.Ю. Третьяковым на основании материалов доклада Е.М. Занозиной, сделанного на семинаре отделения Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН (27 мая 2015 г., протокол № 22/05/15), и предоставленных экземпляров диссертации и автореферата.

#### **Данные о ведущей организации**

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

Сокращенное фирменное наименование: ИПФ РАН

Место нахождения: г. Нижний Новгород, ГСП - 120, ул. Ульянова. 46.  
Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ГСП - 120, ул. Ульянова, 46.  
Тел. 7(831) 432-14-77. Адрес электронной почты: [dir@ipfran.ru](mailto:dir@ipfran.ru).  
Адрес официального сайта: <http://www.ipfran.ru/>.

Список основных научных публикаций сотрудников организации по теме диссертации Занозиной Е.М. за период 2011–2016 г.

1. M.A. Koshelev, I.N. Vilkov, M.Yu. Tretyakov, Collisional broadening of oxygen fine structure lines: The impact of temperature. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 169, 91-95 (2016).
2. D.S. Makarov, M.A. Koshelev, N.F. Zobov, O.V. Boyarkin, Dissociation threshold of H<sub>2</sub>18O: Validating ab initio calculations by state-selective triple-resonance spectroscopy. *Chem. Phys. Letters*, 627, 73–76 (2015).
3. M. A. Koshelev, I. N. Vilkov, M. Yu Tretyakov, Pressure broadening of oxygen fine structure lines by water. *JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY & RADIATIVE TRANSFER*, 154, P. 24-27 (2015).
4. A. S. Skryl, D. G. Pavelyev, M. Y. Tretyakov, M. I. Bakunov, High-resolution terahertz spectroscopy with a single tunable frequency comb. *OPTICS EXPRESS* 22(26), P. 32276-32281 (2014).
5. V. V. Zelenogorskii, A. V. Andrianov, E. I. Gacheva, G. V. Gelikonov, M. Krasilnikov, M. A. Mart'yanov, S. Yu. Mironov, A. K. Potemkin, E. M. Syresin, F. Stephan, E. A. Khazanov, Scanning cross-correlator for monitoring uniform 3D ellipsoidal laser beams. *QUANTUM ELECTRONICS* 44(1), P. 76-82 (2014).
6. D. S. Makarov, M. Yu. Tretyakov, A. P. Shkaev, A. M. Kiselev, A. N. Stepanov, V. V. Parshin, Femtosecond laser comb based subterahertz synthesizer. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 105, 063502 (2014).
7. I. Mukhin, E. A. Perevezentsev, O. V. Palashov, Fabrication of composite laser elements by a new thermal diffusion bonding method. *OPTICAL MATERIALS EXPRESS*, 4 (2), P. 266-271 (2014).

8. M. Yu. Tretyakov, E. A. Serov, M. A. Koshelev, V. V. Parshin, A. F. Krupnov, Water Dimer Rotationally Resolved Millimeter-Wave Spectrum Observation at Room Temperature. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 110, 093001 (2013).
9. V. V. Parshin, M. Yu. Tretyakov, M. A. Koshelev, E. A. Serov, Modern Resonator Spectroscopy at Submillimeter Wavelengths. IEEE SENSORS JOURNAL ,13(1), P. 18-23 (2013).
10. M. Yu. Tretyakov, M. A. Koshelev, I. N. Vilkov, V. V. Parshin, E. A. Serov, Resonator spectroscopy of the atmosphere in the 350-500 GHz range. JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY & RADIATIVE TRANSFER, 114, P. 109-121 (2013).
11. D. E. Silin, I.E. Kozhevnikov, A single-mode-fiber-based point diffraction interferometer. OPTICS AND SPECTROSCOPY, 113 (2) , P. 216-221 (2012).
12. A. A. Kuzmin, D. E. Silin, A. A. Shaykin,; et al. Simple method of measurement of phase distortions in laser amplifiers. JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA B-OPTICAL PHYSICS, 29 (6) P. 1152-1156 (2012).
13. A. A Kuzmin, E. A. Khazanov, A. A. Shaykin, Large-aperture Nd:glass laser amplifiers with high pulse repetition rate. OPTICS EXPRESS 19(15), P.14223-14232 (2011).

Кандидат физ.-мат. наук,

Третьяков Михаил Юрьевич

**E-mail:** trt@ipfran.ru

**Телефон:** +7 (831) 416 48 66

*Подпись*  
*Заведующий*

*И. В. Володаров*