

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Мирончук Елены Сергеевны «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»

### Актуальность темы

Ридберговские состояния атомов привлекают интерес исследователей начиная с 1960х годов, когда они были обнаружены в межзвёздной среде методами радиоастрономии. С тех пор ридберговские состояния активно изучаются в спектроскопии высокого разрешения, в физике низкотемпературной плазмы, а также в физике ультрахолодных газов, нелинейной оптике, квантовой информатике (для которой особенно интересны долгоживущие циркулярные ридберговские состояния).

Значительный интерес для описания процессов, определяющих кинетику неравновесной плазмы, представляют столкновения ридберговских атомов с другими частицами (ионами, атомами, молекулами). В то время как процессы столкновения ридберговских атомов с положительными ионами хорошо изучены, столкновения с нейтральными частицами стали экспериментально изучаться лишь с 1980х годов; при этом теоретические исследования использовали различные приближения (модель квазисвободного электрона, теория неадиабатических переходов), область применимости которых описывалась лишь в общих чертах, что вызывает необходимость в теоретическом подходе, свободном от этих приближений. Кроме того, в работах, посвященных столкновениям ридберговских атомов с нейтральной частицей, как правило, рассматривался лишь канал образования ионной пары, в то время как альтернативный ему канал резонансного тушения ридберговских состояний практически не изучен. Малоизученными в плане столкновительных задач остаются и циркулярные ридберговские состояния, представляющие интерес для прецизионной спектроскопии и квантовой информатики.

Таким образом, актуальность диссертационной работы Е.С. Мирончук сомнений не вызывает. Хочется также отметить, что Глава 1 диссертации представляет собою интересный обзор по физике столкновений

ридберговских атомов с нейтральными частицами и после некоторых доработок может быть опубликована в виде отдельной обзорной статьи.

### **Новизна исследования и полученных результатов**

Новизна диссертационной работы Е.С. Мирончук определяется тем, что в ней впервые:

- Проведены расчёты вероятностей, сечений, констант скоростей для столкновений ридберговских атомов щелочных металлов с атомами щелочноземельных металлов и многоатомными молекулами, допускающими связывание электрона на слабосвязанный уровень.
- Подробно изучен альтернативный образованию ионной пары канал резонансного тушения ридберговских состояний, практически не исследованный в научной литературе.
- Рассмотрены ориентационные эффекты, т.е. зависимость сечений от углов, определяющих геометрию столкновения.
- Получена зависимость сечений резонансного тушения и образования ионной пары от орбитального квантового числа ридберговского атомного электрона.

### **Значимость результатов диссертации**

Научная значимость полученных в диссертации результатов состоит в следующем:

1. Исследованы циркулярные ридберговские состояния, перспективные с точки зрения возможного использования в квантовой информатике. Продемонстрировано отличие их поведения от состояний с малым орбитальным моментом в процессах столкновения с нейтральной мишенью.
2. Разработано описание процессов, происходящих при переносе заряда в результате столкновения ридберговского атома и нейтральной частицы, выходящее за рамки приближения Ландау-Зинера. При этом подробно рассмотрены условия, при которых это приближение нарушается.
3. Показано, что канал резонансного тушения (ранее практически не рассматривавшийся в литературе) имеет существенно бóльшие сечения

по сравнению с альтернативным (и более изученным) каналом образования ионной пары.

- Получена простая полуэмпирическая формула, позволяющая оценивать энергию связи электрона в нейтральной частице (атомном или молекулярном анионе) по максимуму сечения резонансного тушения как функции главного квантового числа ридберговского атома.

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

Результаты диссертации целесообразно использовать в организациях, занимающихся исследованием процессов с участием высоковозбужденных (ридберговских) атомных и слабосвязанных молекулярных состояний: ФИАН, МФТИ, МГУ (г. Москва), ИСАН (г. Троицк), ВГУ (г. Воронеж) и других организациях.

Материалы диссертации также могут быть использованы при разработке учебных курсов для подготовки магистров по специальности 03.04.02 (Физика) и 02.00.04 (физическая химия).

### **Замечания**

В ходе изучения диссертации Е.С. Мирончук возникли следующие замечания (имеющие, однако, исключительно рекомендательный характер):

- Правильно ли понимать, что совпадение собственного значения  $\varepsilon_f$  гамильтониана аниона с табличной величиной достигалось вариацией радиуса анионного остова  $r_0$ , входящего в (2.4) и последующую формулу (с сохранением для  $\alpha$  с тильдой экспериментальных значений)? Сильно ли зависят последующие результаты от  $r_0$ ? На стр.76 (2й абзац сверху) говорится, что выбор  $r_0$  осуществлялся из условия минимальности невязки. Не нарушалось ли при таком варьировании совпадение собственного значения  $\varepsilon_f$  гамильтониана аниона с табличной величиной?
- Стр.75, формула на предпоследней строке. Обозначение для коэффициента  $C_0$  не вполне удачное, т.к. совпадает с входящим в формулу (1.25), дающую асимптотику на бесконечных (а не малых)  $r$ . Из каких соображений определялся коэффициент  $C_0$  на стр.75?

3. Рис.2.12. Можно было бы оставить кривые только из черных (либо из светлых) значков, т.к. их сумма равна единице, и они получаются друг из друга отражением. Аналогичное замечание относится и к рис. 4.3.
4. Стр.119, первая строка:  $R \sim 10^1$  – опечатка? Двумя строками выше размеры области неадиабатичности оцениваются как  $R \sim 10^2$ .
5. На стр.51 можно было бы записать выражения для дальнодействующих потенциалов более аккуратно (получаются слагаемые, пропорциональные вторым степеням тензоров поляризуемости и квадрупольного момента).
6. Формула (4.7) получена для описания максимума сечения резонансного тушения как функции  $n^*$ . Аналогичная формула (с другими численными параметрами) была получена С. Desfrançois [95] для максимума сечения образования ионной пары. Поскольку этот канал также исследовался в диссертации, возникает вопрос: предпринималась ли попытка получить аппроксимацию С. Desfrançois [95] из проведённых в диссертации расчётов сечения образования ионной пары (подобно тому, как это было сделано для канала резонансного тушения)?

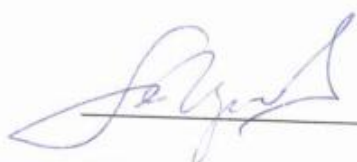
## Заключение

Вышеотмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации Мирончук Е.С. «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону», которая представляет собой завершённое комплексное исследование на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное теоретическое и практическое значение для физики ридберговских состояний и её приложений в спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения, физике и химии низкотемпературной плазмы. Основные результаты диссертации хорошо обоснованы и апробированы докладами на тринадцати российских и международных научных конференциях в области оптики и атомно-молекулярной физики. Результаты диссертационной работы опубликованы в 6 статьях в научных изданиях, реферируемых базой Web of Science (рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций).

Автореферат правильно и в полном объеме отражает основное содержание диссертации.

В целом по объему выполненной работы, актуальности полученных результатов, новизне и значимости основных положений, выносимых на защиту, диссертация удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Мирончук Елена Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – "Оптика".

Доцент кафедры математической физики Воронежского государственного университета, доктор физико-математических наук



Чернов Владислав Евгеньевич

16 сентября 2016 г.

**Адрес:**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», физический факультет, кафедра математической физики, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, Тел: +7-4732-208748; e-mail: chernov@niif.vsu.ru

Подпись В.Е. Чернова удостоверяю

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
Подпись	<i>Чернова В.Е.</i>
заверяю	<i>Вер. специалист ОК УКАИТ</i>
	<i>Дир. Реличенко АА 23.09.2016</i>
подпись, расшифровка подписи	



**Список основных научных публикаций доцента кафедры математической физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» по теме диссертации Мирончук Елены Сергеевны «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05. – «Оптика»**

1. V.E.Chernov, I.Yu.Kiyan, H.Helm and B.A.Zon / Induced dipole effect in strong-field photodetachment of atomic negative ions // *Physical Review A*, Vol.71, P.033410 (8 pp.) (2005) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.71.033410>] .
2. V.E.Chernov, A.V.Dolgikh and B.A.Zon / Analytic description of dipole-bound anion photodetachment // *Physical Review A*, Vol.72, P.052701 (10 pp) (2005) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.72.052701>].
3. D. L. Dorofeev, B. A. Zon, I. Yu. Kretinin, and V. E. Chernov / Method of the Quantum Defect Green's Function for Calculation of Dynamic Atomic Polarizabilities // *Optics and Spectroscopy*, Vol. 99, No. 4, pp. 540–544 (2005) [*Optika i Spektroskopiya*, Vol. 99, No. 4, pp. 562–566 (2005)] [<http://dx.doi.org/10.1134/1.2113366>].
4. A.V.Danilyan, V.A.Shulgin, V.E.Chernov / Optimization of the input losses in fiber-optic communications with an acousto-optic all-optical switch // *Applied Optics*, Vol. 45, No. 18, 4319-4324 (2006) [ <http://dx.doi.org/10.1364/AO.45.004319> ].
5. V.E.Chernov, A.V. Danilyan, A.V. Dolgikh, F.B. Dunning and B.A. Zon / Blackbody-radiation-induced photodetachment of dipole-bound anions // *Chemical Physics Letters*, V.426, Iss.1-3, PP. 30-32 (2006) [ <http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2006.05.084> ].
6. Y. Liu, M. Cannon, L. Suess, F.B. Dunning, V.E.Chernov and B.A. Zon / Electron transfer in collisions of dipole-bound anions with polar targets // *Chemical Physics Letters*, Vol.433, Iss.1-3, PP.1-4 (2006) [ <http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2006.10.103> ].
7. A. V. Danilyan and V. E. Chernov / Rotational Rydberg States of Polar Molecules: Hund's Classification and Zeeman Effect // *Optics and Spectroscopy*, Vol. 104, No. 1, pp. 21–39 (2008) [*Optika i Spektroskopiya*, No1, Vol.104, pp.26–44 (2008)] [<http://dx.doi.org/10.1134/S0030400X08010050> ].
8. Akindinova E.V., Chernov V.E., Kretinin I.Yu. and Zon B.A / Molecular polarizability in quantum defect theory: Nonpolar molecules // *Physical Review A*, Vol.79, P.032506 (9pp) (2009) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.79.032506>]
9. V. E. Chernov, A. V. Danilyan, and B. A. Zon / Electron exchange between a dipole-bound anion and a polar molecule and dimer formation in dipole-bound anions // *Physical Review A*, Vol.80, P. 022702 (7pp) (2009) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.80.022702>]
10. Akindinova E.V., Chernov V.E., Kretinin I.Yu. and Zon B.A / Molecular polarizability in quantum defect theory: polar molecules // *Physical Review A*, Vol.81, P.042517 (7pp) (2010) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.81.042517>]
11. S. Civiš, I. Matulková, J Cihelka, K. Kawaguchi, V. E. Chernov / Time-resolved Fourier-transform infrared emission spectroscopy of Ag in the 1300–3600-cm<sup>-1</sup> region: Transitions involving *f*- and *g*-states and oscillator strengths // *Physical Review A*, Vol.82, P.022502 (7pp) (2010) [<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.82.022502>]

12. S. Civiš, P. Kubelík, P. Jelínek, V. E. Chernov and M.Yu.Knyazev / Atomic cesium 6h states observed by time-resolved FTIR spectroscopy // Journal of Physics B, Vol.44 (2011), pp. 225006 (4pp) [<http://dx.doi.org/10.1088/0953-4075/44/22/225006>]
13. S. Civiš, Ferus M., P. Kubelík, V. E. Chernov and E.M.Zanozina / Fourier transform infrared emission spectra of atomic rubidium: g- and h-states // Journal of Physics B, Vol.45 (2012), pp. 175002(6pp) [<http://dx.doi.org/10.1088/0953-4075/45/17/175002>]
14. Civiš S., Ferus M., Jelínek P., Kubelík P., Chernov V. E., and Zanozina E.M. / Li I spectra in the 4.65–8.33: high-*L* states and oscillator strengths // Astronomy & Astrophysics, Vol. 545, A61 (2012) – 10pp [<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201219852>]
15. P. Kubelík, S. Civiš, A. Pastorek, E. M. Zanozina, V. E. Chernov, L. Juha and A. A. Voronina / FTIR laboratory measurement of Ne I Rydberg states in 1.43–14.3  $\mu\text{m}$  spectral range // Astronomy & Astrophysics, Vol. 582, A12 (2015) – 10pp [<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201526442> ]

«23» мая 2016 г.



В.Е.Чернов

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
Подпись	<u>Чернова Владислава Евгеньевна</u>
заверяю	начальник отдела кадров УКАП
<u>Зверева</u>	должность
	О.И. Зверева 23 05. 20 16
подпись, расшифровка подписи	

