

**Аннотационный отчет по проекту получателя гранта  
Фонда поддержки молодых учёных ОИВТ РАН за 2014/2015г.  
Зеленера Б.Б.**

**Экспериментальное и теоретическое изучение ультрахолодного  
ридберговского нейтрального газа и плазмы.**

В работе методом молекулярной динамики исследовались процессы потерь энергии одиночных протонов и антипротонов в электронном газе в зависимости от кинетической энергии заряженных частиц и величины индукции магнитного поля. Расчеты проводились в области параметров, где должны быть справедливы аналитические выражения. Показано, что скорость охлаждения тяжелых заряженных частиц зависит от знака их заряда. Если заряд отрицательный как у электронов, то скорость охлаждения в несколько раз меньше чем в том случае, когда он положительный. Это отличие в скорости охлаждения тяжелых частиц слабо зависит от температуры электронного газа, но сильно зависит от его плотности. Это также справедливо при наличии магнитного поля. Проведено сравнение результатов расчета методом молекулярной динамики с аналитическим выражением. Показано, что учет коллективных эффектов взаимодействия в рамках кулоновского логарифма не корректен. Расчеты проведены при концентрациях электронов  $10^8 \text{ см}^{-3}$ ,  $10^9 \text{ см}^{-3}$ , значениях индукции 0,1,3 Тл, при температуре электронов 10-100К и энергии протонов 100К.

В работе исследовалась возможность обнаружения кулоновского фазового перехода типа газ-жидкость в невырожденной неидеальной двухкомпонентной низкотемпературной плазме. Для этого использовались результаты расчетов методом Монте-Карло параметров критической точки и бинадали фазового перехода типа газ-жидкость в базовой псевдопотенциальной модели низкотемпературной плазмы, т. н. «кулон с полочкой». На основании полученных результатов выявлена область значений термодинамических функций, в которой возможно наблюдение кулоновского фазового перехода. Показано, что эта область параметров лежит вне области существования сильно ионизованной невырожденной низкотемпературной двухкомпонентной плазмы.

Получены экспериментальные значения энергии для различных  $nS$  конфигураций в широком диапазоне значений главного квантового числа от  $n=38$  до  $n=165$  для ультрахолодных атомов лития-7. Из экспериментальных данных получены величины порога ионизации, квантового дефекта и величина остаточного электрического поля. Также изучены спектры запрещенных переходов в высоковозбужденные состояния атомов лития-7, приготовленных в МОЛ. Получены значения энергии для запрещенных переходов в различные  $nP$  и  $nF$  уровни в широком диапазоне значений главного квантового числа от  $n=38$  до  $n=114$  для ультрахолодных атомов лития-7. Наблюдается хорошее согласие с другими теоретическими и экспериментальными работами. Есть возможность дальнейшего увеличения точности измерений с помощью представленной методики за счет увеличения статистики и компенсации остаточных электрических полей. Основным преимуществом данной схемы является возможность детектирования ридберговских состояний без разрушения ридберговских атомов. Результаты работы важны для определения спектров различных веществ и использования в астрофизике, в частности в исследованиях свойств вещества во вселенной. Также результаты

исследований важны для управления квантовыми состояниями в ультрахолодных газах, созданию и исследованию ридберговского вещества, создании квантового компьютера и захвата антиводорода в магнитооптическую ловушку.

По результатам работы опубликовано 7 статей. 14 работ доложены на международных конференциях. 1 приглашённый доклад в г. Кочин, Индия.

#### Перечень публикаций за год:

1. Observation of Rydberg Transitions in Resonance Fluorescence of Ultracold Lithium-7 Atoms Sautenkov, V. A., Saakyan, S. A., Vilshanskaya, E. V., **Zelener, B. B.**, Zelener, B. V.  
**Journal of Russian Laser Research**, 36(2), 193-199, 2015.
2. Лазерная диагностика спектра энергии ридберговских состояний атома лития-7. **Зеленер Б.Б.**, Саакян С.А., Саутенков В.А., Манькин Э.А., Зеленер Б.В., Фортов В.Е.  
**ЖЭТФ**, 148, 5(11), 1-6, 2015.
3. Контроль частоты перестраиваемых лазеров с помощью частотно-калиброванного лямбда-метра в эксперименте по приготовлению ридберговских атомов в магнитооптической ловушке.  
Саакян, С. А., Саутенков, В. А., Вильшанская, Е. В., Васильев, В. В., **Зеленер, Б. Б.**, Зеленер, Б. В.  
**Квантовая Электроника**, 45(9), 828-832, 2015.
4. Two-photon excitation of ultracold atoms to Rydberg states.  
Saakyan S.A., Sautenkov V.A., Vilshanskaya E.V., **Zelener B.B.**, Zelener B.V.  
**Journal of Physics: Conference Series**, 2015. Принята в печать.
5. Calculating phase equilibrium properties of plasma pseudopotential model using hybrid Gibbs statistical ensemble Monte-Carlo technique.  
M A Butlitsky, **B B Zelener**, B V Zelener,  
**Journal of Physics: Conference Series**, 2015. Принята в печать.
6. Relaxation of a proton energy in an ultracold rare electron gas. A.A. Bobrov, S.Ya. Bronin, E.A. Manykin, **B.B. Zelener**, B.V. Zelener, D.R. Khikhluha,  
**Journal of Physics: Conference Series**, 2015. Принята в печать.
7. К ВОПРОСУ О КУЛОНОВСКОМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ, М. А. Бутлицкий, **Б. Б. Зеленер**, Б. В. Зеленер, **ТВТ**, 53(2), 163–168 2015.

#### Тезисы конференций:

1. Two-photon excitation of ultracold atoms to Rydberg states  
Название конференции, место и даты проведения: Interaction of intense energy fluxes with matter, Elbrus, 2015  
Авторы: Saakyan S.A., Sautenkov V.A., **Zelener B.B.**, Zelener B.V
2. CALCULATING THERMODYNAMICAL PROPERTIES OF TWO COMPONENT "SHELF COULOMB" PLASMA MODEL USING GIBBS STATISTICAL ENSEMBLE MONTE-KARLO TECHNIQUE, Elbrus, 2015

- Авторы: Butlitsky M. A., **Zelener B. B.**, Zelener B. V.
3. ON THE AXIAL AND TRANSVERSE COOLING RATES OF AN ANTIPROTON IN POSITRON GAS IN STRONG MAGNETIC FIELD, Elbrus, 2015.  
Авторы: Bobrov A.A., Bronin S.Y., Khikhlukha D.R., **Zelener B.B.**, Zelener B.V.
  4. Efficient Excitation and Detection of Rydberg States in Ultracold Lithium-7 Atoms.  
Название конференции, место и даты проведения: 42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics, Lisbon, Portugal, 22-26 June 2015  
Авторы: **B.B. Zelener**, A.A. Bobrov, M.A. Butlitsky, S.Y. Bronin, D.R. Khikhlukha, V.A. Sautenkov, S.A. Saakyan, E.A. Manykin, B.V. Zelener, V.E. Fortov
  5. ДИАГНОСТИКА РИДБЕРГОВСКИХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ ЛИТИЯ 7  
Название конференции, место и даты проведения: IV международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий», 17-22 марта 2015 года, г. Москва, НИЯУ МИФИ  
Авторы: Саакян С.А., Саутенков В.А., **Зеленер Б.Б.**, Зеленер Б.В.
  6. Identifications of Rydberg transitions in ultracold lithium atoms using precise wavemeter  
Название конференции, место и даты проведения: Interaction of intense energy fluxes with matter, Elbrus, 2015  
Авторы: Vilshanskaya E.V., Saakyan S.A., Sautenkov V.A., **Zelener B.B.**
  7. Kinetic characteristics of the magneto-optical trap  
Название конференции, место и даты проведения: Interaction of intense energy fluxes with matter, Elbrus, 2015  
Авторы: Murashkin D.A., Saakyan S.A., Sautenkov V.A., **Zelener B.B.**
  8. Identifications of S and D Rydberg states in ultracold lithium-7 atoms  
Название конференции, место и даты проведения: International Conference on Quantum Technologies, Moscow, July 13–17, 2015  
Авторы: **B.B. Zelener**, V.A. Sautenkov, S.A. Saakyan, B.V. Zelener, V.E. Fortov
  9. Self-focusing and wave-guiding of optical beam in rubidium atomic vapor  
Название конференции, место и даты проведения: International Conference on Quantum Technologies, Moscow, July 13–17, 2015  
Авторы: V.A. Sautenkov, M.N. Shneider, S.A. Saakyan, E.V. Vilshanskaya, D.A. Murashkin, B.V. Zelener, **B.B. Zelener**
  10. Simulations of trapping anti-hydrogen atoms on base of a setup for laser cooling of lithium atoms  
Название конференции, место и даты проведения: International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS), Singapore, June 28 - Jul 3, 2015.  
Авторы: **B.B. Zelener**, S.A. Saakyan, V.A. Sautenkov, A.A. Bobrov, S.Ya. Bronin, B.V. Zelener, V.E. Fortov

11. THEORY AND EXPERIMENT OF RYDBERG MATTER AND ULTRACOLD PLASMA

Название конференции, место и даты проведения: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE FRONTIERS OF PLASMA PHYSICS AND TECHNOLOGY (FPPT-7), Kochi, India, 13-17 April 2015.

Авторы: **Zelener B.B.**, Saakyan S.A., Sautenkov V.A., Butlitsky M.A., Bobrov A.A., Bronin S.Ya., Khikhluha D.R., Zelener B.V., Fortov V.E.

12. Optically induced waveguides in a resonance gas

Название конференции, место и даты проведения: International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS), Singapore, June 28 - Jul 3, 2015.

Авторы: V.A. Sautenkov, M.N. Shneider, S.A. Saakyan, E.V. Vilshanskaya, D.A. Murashkin, B.V. Zelener, **B.B. Zelener**

13. Experimental techniques and numerical simulations of Rydberg matter and ultracold plasma

Название конференции, место и даты проведения: Interaction of intense energy fluxes with matter, Elbrus, 2015

Авторы: **Zelener B.B.**, Saakyan S.A., Sautenkov V.A., Butlitsky M.A., Bobrov A.A., Bronin S.Ya., Khikhlukha D.R., Zelener B.V., Fortov V.E.

14. Двухфотонное возбуждение ультрахолодных атомов лития в ридберговские состояния.

Название конференции, место и даты проведения: "Физика ультрахолодных атомов - 2014", Новосибирск, 22-23 Декабря, 2014

Авторы: С.А. Саакян, **Б.Б. Зеленер**, В.А. Саутенков, Э.А. Манькин, Б.В. Зеленер, В.Е. Фортв