

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Юдина Сергея Николаевича
на тему: «Переходы в антипротонных атомах и ионах гелия при
столкновениях с атомами гелия»
по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных
частиц»

В диссертационной работе С.Н. Юдина развито теоретическое описание столкновительных процессов, приводящих к переходам в антипротонных атомах и ионах гелия в гелиевой среде при низких температурах.

Эта тема вызывает интерес в связи с экспериментальным открытием (1991 г., KEK, Япония) долгоживущих высоковозбужденных состояний антипротонного гелия, их дальнейшим изучением и проведением прецизионных измерений (ЦЕРН, установки LEAR и AD) лазерно-индукционных E1-переходов и микроволновых M1-переходов в антипротонных атомах гелия. Конечной целью этих измерений было получение с высокой точностью отношения заряда к массе и магнитного момента антипротона, проверка фундаментального принципа СРТ-инвариантности. Для анализа и интерпретации экспериментов важно учитывать влияние столкновений антипротонного атома в среде, влияющих на наблюдаемые величины (частоты переходов, времена жизни состояний). Вопросы взаимодействия антипротонных атомов с атомами среды представляют большой интерес для всей области физики экзотических атомов. Поэтому тема диссертации, несомненно, является актуальной.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснованы актуальность исследований и их новизна, сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

В главе 1 дан обзор экспериментов по изучению метастабильных состояний антiproтонного гелия, существующих теоретических представлений об их образовании и эволюции.

Во второй главе развивается теория процессов разрушения состояний антiprotonного иона гелия. Сформулирована модель взаимодействия антiprotonного иона гелия с обычным атомом гелия. В ней рассчитываются сечения столкновительных штарковских переходов как доминирующего процесса ухода из первоначально заселенных «круговых состояний», в которых орбитальное квантовое число имеет максимально возможное значение при заданном главном квантовом числе. Для уточнения модели использованы *ab initio* расчеты поверхности потенциальной энергии двух электронов в поле трех тяжелых частиц (два ядра и антiproton). Разработан метод учета аннигилирующих состояний в задаче связанных каналов, позволяющий наряду с обычными переходами рассматривать индуцированную аннигиляцию из возбужденных состояний антiprotonного атома. Рассмотрен процесс перезарядки — передачи электрона от обычного атома гелия к антiprotonному иону гелия с одновременным переходом антiprotona в нижележащее состояние. Развитая во второй главе диссертации теория позволяет количественно воспроизвести экспериментально наблюдаемые времена запаздывающей аннигиляции для ряда круговых состояний антiprotonных ионов гелия-3 и 4.

В главах с 3-й по 5-ю теоретически исследуется влияние столкновений на индуцированные микроволновым излучением переходы между состояниями сверхтонкой структуры (СТС) антiprotonных атомов гелия-3 и 4. Сформулирована модель взаимодействия антiprotonного и обычного атомов, в рамках которой рассчитываются столкновительные сечения и скорости переходов, сдвиги и уширения частот переходов между состояниями СТС, исследованы температурные зависимости этих

характеристик элементарного процесса столкновения. В результате этих расчетов получено, что скорости переходов зависят главным образом от кратности «спин-флипа» частиц, вовлеченных в переход, а столкновительные сдвиги частот переходов пренебрежимо малы. Установлена связь элементов матрицы релаксации квантового кинетического уравнения, описывающего временную эволюцию спиновой матрицы плотности состояний СТС, с элементарными характеристиками столкновений антiproтонного и обычного атомов. Проведен анализ этого кинетического уравнения, выполнены расчеты спектральной и временной зависимости аннигиляционного сигнала в условиях, соответствующих экспериментам. Показано, что столкновительное уширение линий переходов между подуровнями СТС дает заметный вклад (до 20%) в наблюдаемые полные ширины линий, причем столкновительное и фурье-уширения неаддитивны. Развитое теоретическое описание находится в хорошем согласии с экспериментальными данными.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Каждая глава сопровождается краткой, но емкой сводкой результатов.

Отмечу комплексность диссертационной работы С.Н. Юдина, в которой к теоретическому анализу привлечены различные подходы: метод сильной связи каналов, метод искаженных волн, квазиклассические методы, адиабатическое приближение, кинетические уравнения для матрицы плотности, набор аналитических и численных методов. Это разнообразие обусловлено многопланостью процессов и факторов, которые необходимо учитывать при описании переходов в антiprotonных атомах и теоретического моделирования экспериментальных условий: штарковских переходов при столкновениях, перезарядки, учета аннигиляционных состояний, временной эволюции заселенностей, температурных зависимостей и др. Диссертант уверенно владеет арсеналом названных выше методов. С их помощью получено много интересных результатов, как частного, так и общего характера; некоторые из них были перечислены выше.

Привлекательными сторонами диссертации являются ее направленность на описание измеряемых в опытах величин, подробное обоснование используемых моделей, тщательное обсуждение их точности и возможных источников погрешностей, согласованность и контролируемость результатов.

Диссертация в целом написана в хорошем научном стиле, практически не содержит научного жаргона, но в ней довольно много технических погрешностей и опечаток. Из особенно досадных можно отметить опечатки в формулах (2.13), (2.53), (3.14), отсутствие шкал или единиц на рис. 1.3, 2.24, путаницу в определениях скорости процесса (например, рис. 2.25 и 3.8.1), описание в тексте к рис. 3.4 не соответствует рисунку.

Другие мои замечания по тексту диссертации:

На рис. 3.5 приведены сечения рассеяния для двух наборов параметров модельного потенциала, описываемого формулами (3.12) и (3.13). Поведение сечений качественно отличается. То же относится к рис. 3.2 и 3.3. Остается непонятным, насколько отличаются сами эти два потенциала, т.к. не приводятся их графиков, и нет обсуждения связанного с видом потенциалов причин такого сильного отличия сечений.

Хотя в целом согласие результатов автора, полученных после сложных расчетов, с экспериментально измеренными ширинами линий переходов между состояниями СТС впечатляет (табл. 4.1, 5.3 диссертации и табл. 3, 4 автореферата), в двух случаях из 12-ти это согласие нарушено. Возможные причины этого не комментируются.

Автор использует свою программу для решения системы уравнений сильной связи каналов. Хотелось бы увидеть больше деталей: число уравнений, метод численного решения, шаги интегрирования, насколько трудоемки эти расчеты.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, убедительно обоснованы. Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений, она обеспечивается использованием современных теоретических и расчетных методов, подтверждается хорошим согласием с экспериментальными данными и внутренней согласованностью результатов. Полученные теоретические результаты представляют значительный интерес как для анализа и интерпретации прецизионных измерений в антипротонном гелии, направленных на изучение фундаментальных проблем, так и для физики экзотических атомов в целом. Результаты диссертационной работы являются новыми и оригинальными, аналогичные теоретические результаты других авторов в литературе до настоящего времени отсутствуют. Основные результаты диссертации опубликованы в реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, доложены на международных конференциях, и, таким образом, прошли экспертизу научного сообщества.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных частиц» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Юдин Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных частиц».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ОЭПВАЯ
НИИЯФ МГУ,

Грум-Гржимайло Алексей Николаевич

« 30 » ноябрь 2018

Контактные данные:

тел.: +7(495) 939-4776, e-mail: grum@sinp.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
зашита диссертация:

01.04.05 – физическая электроника

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ
тел.: +7(495) 939-4776, e-mail: grum@sinp.msu.ru

Подпись сотрудника

ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ Грум-Гржимайло А.Н. удостоверяю:

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ  / Сигаева Е.А.



« 01 » октябрь 2018