

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»

Диссертационная работа Юдина С.Н. посвящена теоретическому исследованию столкновительных процессов, приводящих к переходам в антипротонных атомах и ионах гелия в низкотемпературной гелиевой среде.

Актуальность темы работы связана с экспериментальным открытием долгоживущих высоковозбужденных состояний антипротонного гелия и проведением в дальнейшем большого числа прецизионных измерений на пучках медленных антипротонов в ЦЕРН (установки LEAR и AD) лазерно-индуцированных E1-переходов и микроволновых M1-переходов между состояниями сверхтонкой структуры в антипротонных атомах гелия. Эти эксперименты проводились с целью получения с высокой точностью фундаментальных характеристик антипротона - его отношения заряда к массе и магнитного момента, проверку симметрии «протон - антипротон» и, таким образом, принципа СРТ-симметрии. Для анализа и интерпретации этих экспериментов, наряду с высокоточными расчетами уровней энергии и скоростей переходов изолированного антипротонного атома гелия, необходимо теоретическое изучение влияния среды на его времена жизни, заселенности, сдвиги и уширения спектральных линий, связанного с различными процессами при столкновениях антипротонных атомов и ионов с атомами среды.

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 **первой главе** дан обзор экспериментов по исследованию метастабильных состояний антипротонного гелия, а также существующих теоретических представлений об их образовании, эволюции и разрушении.

Во **второй главе** разработана модель для теоретического описания столкновений антипротонного иона гелия с обычными атомами гелия. В рамках этой модели рассчитываются сечения столкновительных штарковских переходов, как доминирующего процесса девозбуждения первоначально заселенных круговых состояний (с орбитальными моментами $l=n-1$). Для уточнения модели использованы *ab initio* расчеты поверхности потенциальной энергии двух электронов в поле трех тяжелых частиц (два ядра и антипротон). В рамках этой вычислительной схемы (метод сильной связи каналов) разработан метод учета аннигилирующих состояний, позволяющий наряду с обычными переходами рассчитывать также и скорости индуцированной аннигиляции из возбужденных состояний антипротонного атома. Также рассмотрен процесс перезарядки — передачи электрона от обычного атома гелия к антипротонному иону гелия с одновременным переходом антипротона в более низколежащее состояние. Проведено сравнение рассчитанных сечений и скоростей с существующими экспериментальными данными. На основании приведенного автором сравнительного анализа можно заключить, что развитая в этой главе диссертации теория позволяет количественно воспроизвести экспериментально наблюдаемые времена запаздывающей аннигиляции для ряда круговых состояний антипротонных ионов гелия-3 и 4. Следует также отметить, что до настоящего времени отсутствуют альтернативные расчеты других авторов процессов столкновений антипротонных ионов гелия с гелиевой средой.

Главы 3-5 посвящены теоретическому исследованию столкновительных и индуцированных микроволновым излучением переходов

в антипротонных атомах гелия 3 и 4 между состояниями их сверхтонкой структуры (СТС).

В **третьей главе** сформулирована теоретическая модель для описания столкновительных переходов между состояниями СТС антипротонного гелия 4. В рамках этой модели рассчитаны 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.

В **четвертой главе** выписаны кинетические уравнения, определяющие временную динамику заселенности уровней СТС антипротонного гелия 4. Разработанная модель учитывает как процессы столкновений, так и возможное влияние внешнего микроволнового излучения на скорости переходов. Установлена связь элементов матрицы релаксации квантового кинетического уравнения, описывающего временную эволюцию спиновой матрицы плотности состояний СТС, с элементарными характеристиками столкновений антипротонного 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.

В **пятой главе** в рамках разработанных моделей проведено исследование процессов столкновения антипротонного гелия 3 в гелиевой среде. Проведен сравнительный анализ расчетов процессов столкновения антипротонного гелия 3 и 4 с атомами среды. На основании проведенного анализа можно заключить, что развитое теоретическое описание этих процессов находится в

хорошем согласии с имеющимися экспериментальными данными и может быть использовано для анализа и планирования экспериментов в этой области.

В заключении приводятся основные результаты диссертации, выносимые на защиту.

Как замечание можно отметить отсутствие обсуждения некоторого расхождения между теоретическими и экспериментально наблюдаемыми ширинами линий переходов между состояниями СТС для гелия-3 (табл. 5.3 диссертации). Кроме того, при рассмотрении перезарядки (раздел 2.7 диссертации) следовало бы более четко пояснить, почему рассматриваются только переходы с наименьшим возможным изменением главного квантового числа.

Вместе с тем указанные замечание не влияют на научную составляющую выполненной работы и общее положительное впечатление от текста диссертации. Вынесенные на защиту основные положения четко сформулированы и хорошо обоснованы. Их достоверность основывается на использовании современных теоретических и расчетных методов и подтверждается хорошим согласием с экспериментальными данными. Основные результаты диссертации опубликованы в реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах и неоднократно докладывались на международных и российских конференциях, что подтверждает их новизну и оригинальность. Эти результаты представляют значительный интерес как для анализа и интерпретации прецизионных экспериментов с антипротонным гелием, целью которых является исследование фундаментальных проблем - СРТ-инвариантность и симметрия «частица-античастица», так и для физики экзотических атомов в целом.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы. В нем указан личный вклад автора, а также приведен список публикаций, включающих основные результаты 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
Лаборатории Теоретической Физики имени Н.Н. Боголюбова
Международной межправительственной организации Объединенный
Институт Ядерных Исследований,
Мележик Владимир Степанович


« 30 » ноября 2018

Контактные данные:

тел.: +7(49621) 63615, e-mail: melezhiy@theor.jinr.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 - теоретическая физика

Адрес места работы:

141980, г. Дубна, Московская область, ул. Жолио-Кюри, 6,

Лаборатория Теоретической Физики имени Н.Н. Боголюбова
Международная межправительственная организация Объединенный
Институт Ядерных Исследований

Тел.: +7(49621) 65059, e-mail: post@jinr.ru

Подпись сотрудника

ЛТФ ОИЯИ Мележика В.С. удостоверяю:

Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ,

кандидат физ.-мат. наук
руководитель/кадровый работник



[Handwritten signature in blue ink]

/А.В. Андреев/

И.О. Фамилия

« 30 » ноября 2018