

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и  
стратегическому развитию  
Московского физико-технического  
института (государственного  
университета),

доктор физико - математических наук



Аушев Тагир  
Абдул - Хамидович

2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Ахрамеева Евгения Викторовича** «Исследование процессов высвобождения энергии изомерных уровней атомных ядер под действием фемтосекундных лазерных импульсов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Диссертационная работа посвящена исследованию процессов высвобождения энергии ядерных изомеров и генерации гамма-излучения с помощью фемтосекундных лазерных импульсов в плазме твердотельной плотности, которые сопровождаются процессами переноса импульса и энергии при лучистом, конвективном и молекулярном теплообмене. С учетом того, что использование ядерных изомеров является перспективным способом создания источников импульсного гамма - излучения, изучение процессов возбуждения ядерных уровней и стимулированного распада в системе ядерных изомеров, которым посвящена диссертация Ахрамеева Е.В., является актуальным и практически важным.

В диссертации получены важные выводы, касающиеся процессов возбуждения и стимулированного распада ядерных уровней изомерных ядер, и их применимости к созданию волны гамма-свечения.

Все результаты, представленные в диссертации, получены автором впервые на основе строгих математических формулировок и решения полученных уравнений современными методами математической и

теоретической физики, что определяет их достоверность. Результаты прошли апробацию на профильных научных конференциях.

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

В первой главе рассмотрен механизм возбуждения изомерных ядер через неупругое рассеяние электронов. В рамках нерелятивистского борновского приближения с плоскими волнами (PWBA), автором впервые были получены простые аналитические формулы для сечений  $M1$ – $M2$  возбуждения атомных ядер на низколежащие изомерные состояния в процессе неупругого рассеяния нерелятивистских электронов. Для различных моделей проведен сравнительный анализ сечений неупругого рассеяния электронов на атомных ядрах. Сравнение полученных результатов с другими приближениями, показало, что только  $E1$  PWBA сечение с определенными оговорками может быть использовано для оценки числа возбужденных ядер в горячей плотной плазме, в то время как использование борновского приближения для оценки сечения возбуждения атомных ядер электронами может привести к значительным ошибкам (особенно для мультиполей  $E2$  и  $M1$ ).

Вторая глава посвящена рассмотрению резонансных механизмов возбуждения атомных ядер в плазме и возможностей их применимости к созданию волны гамма-свечения в системе ядерных изомеров. Обзорно рассмотрены процессы фотопоглощения излучения ядром и механизм обратной внутренней электронной конверсии, проведен сравнительный анализ эффективностей данных механизмов, сделан вывод о недостаточности достигаемой в данных процессах эффективности для создания волны гамма-свечения. Также во второй главе проведен детальный анализ процесса возбуждения ядер по механизму обратного электронного моста (ОЭМ). Автором впервые показано, что в случае резонансного совпадения энергий ядерного и одного из атомных переходов, механизм ОЭМ может приводить к значительному усилению (вплоть до нескольких порядков) эффективности возбуждения ядер и способен обеспечить возможность высвобождения энергии ядерных изомеров в режиме волны гамма-свечения типа дефлаграции.

Третья глава посвящена вопросу возможности быстрого стимулированного распада долгоживущего изомера  $^{178}\text{Hf}^{m2}$  через промежуточный уровень в дейтерий-третиевой и в  $d-d$  лазерной термоядерной плазме. Были проанализированы типы и энергетические характеристики частиц, которые могут принимать участие в возбуждении ядер из состояния  $16^+$  (2446.09 кэВ, 31 год) на короткоживущий уровень  $14^-$  (2572.4 кэВ, 68 мкс). Сделаны качественные оценки для эффективностей возбуждения короткоживущего уровня различными типами частиц и

показано что в лазерной термоядерной плазме возможно эффективное возбуждение изомерных ядер  $^{178}\text{Hf}^{m2}$  на промежуточное состояние  $14^-$  (2572.4 кэВ), которое затем распадается на уровни, лежащие в спектре возбуждения  $^{178}\text{Hf}$  ниже состояния  $16^+$  (2446.09 кэВ, 31 г). Тем самым автором впервые показана принципиальная возможность наблюдения стимулированного распада одного из известных ядерных изомеров в лазерной термоядерной плазме.

В четвертой главе представлены теоретические модели процессов высвобождения энергии ядерных изомеров и генерации гамма-излучения с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. Автором установлено, что для оптически толстых цилиндрических образцов вещества ядерного изомера возможна реализация волны высвечивания в режиме быстрой дефлаграции со скоростью  $U \sim 10^8$  м/с. Для оптически тонких образцов вещества ядерного изомера при условии, что переходы между ядерными уровнями являются безызлучательными, реализация волны высвечивания может происходить в режиме детонации со скоростью  $U \sim 10^5$  м/с.

Пятая глава посвящена разработке в среде GEANT4 концепции двухмишенного эксперимента по возбуждению изомерных ядер. Концепция двухмишенного эксперимента заключается в следующем: в результате воздействия лазерным импульсом на первичную мишень (вольфрам), образуется лазерная плазма, которая служит источником фотонов, электронов, протонов и ионов. Фотоны, электроны, протоны и ионы достигнув вторичной мишени (Ta181/Fe57) могут возбудить изомерные ядра, распад которых через конверсионный канал и регистрируется детекторами. Конфигурация из двух мишеней позволяет существенно уменьшить «засветку» регистрирующей аппаратуры прямым потоком электронов плазмы, кроме того данная конфигурация позволяет проводить измерения с малым количеством дорогостоящего изотопа. В среде GEANT4 автором была разработана принципиальная концепция программы моделирования процессов возбуждения изомерных ядер и регистрации конверсионных электронов, рожденных в результате девозбуждения ядер в эксперименте с двумя мишенями.

Таким образом, автором достаточно полно проанализированы процессы высвобождения энергии изомерных уровней атомных ядер, а также возможности по созданию волны гамма-свечения в системе ядерных изомеров. Полученные результаты могут быть применены как при планировании и анализе результатов экспериментов по возбуждению атомных ядер в высокотемпературной плотной нестационарной плазме, которые в свою очередь могут стать основой создания источников импульсного  $\gamma$  - излучения, так и для создания и тестирования численных

кодов предназначенных для моделирования процессов по возбуждению атомных ядер, чем определяется их **практическая значимость**.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В первой главе недостаточно четко аргументирован выбор нерелятивистского борновского приближения для расчета сечений возбуждения атомных ядер на низколежащие изомерные состояния в процессе неупругого рассеяния нерелятивистских электронов.
2. При рассмотрении механизма обратного электронного моста не было рассмотрено штарковское уширение атомных линий.

### **Заключение**

Сделанные замечания ни в коей мере не снижают высокой оценки диссертационной работы. Диссертация Ахрамеева Е.В. выполнена на высоком научном уровне и вносит значимый вклад в изучение процессов возбуждения атомных ядер в высокотемпературной плотной нестационарной плазме, что в свою очередь может стать основой создания источников импульсного  $\gamma$  - излучения. Кроме того, ряд результатов диссертации Ахрамеева Е.В. представляют несомненный практический интерес. Следует отметить, что изложение диссертационной работы в целом выполнено в хорошем научном стиле и безусловно характеризуется полнотой и внутренним единством.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационной работы. Основные научные результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в научных изданиях.

Диссертация Ахрамеева Е.В. соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, паспорту специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и отрасли науки «физико-математические науки». Сам Ахрамеев Е.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Отзыв на диссертацию составлен кандидатом физико-математических наук Соловьевым Виктором Роальдовичем и обсужден на заседании кафедры прикладной физики МФТИ «01» июня 2016 г., протокол № 3/16 от 01.06.2016.

Доцент кафедры прикладной физики МФТИ,  
кандидат физ. – матем. наук, доцент



Соловьев  
Виктор  
Роальдович

Заведующий кафедрой прикладной физики МФТИ,  
доктор физ. – матем. наук, профессор



Леонов  
Алексей  
Георгиевич

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер.,9  
Телефон: 8 (495) 408 6385

Адрес электронной почты: [solovev.vr@mipt.ru](mailto:solovev.vr@mipt.ru). Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»