

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Чефонова Олега Владимировича  
на диссертационную работу

АХРАМЕЕВА Евгения Викторовича

на тему:

«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

Диссертация Е. В. Ахрамеева посвящена теоретическому исследованию процессов высвобождения энергии изомерных уровней атомных ядер с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. **Актуальность** выбранной соискателем темы диссертационной работы не вызывает сомнения, так как она является одним из направлений исследований по взаимодействию мощного лазерного излучения ультракороткой длительности с веществом, интенсивно развивающимся в ведущих научных центрах во всем мире. Данное направление представляет собой как фундаментальный, так и прикладной интерес, который связан с перспективой создания на основе ядерных изомеров источников импульсного гамма-излучения и гамма-лазеров. Одним из фундаментальных ограничений практического решения этой задачи является малость сечений возбуждения ядерных уровней, что, соответственно, налагает определенные требования к величине плотности потока излучения лазерно-плазменного источника для накачки ядерных состояний. Очевидно, что теоретическое исследование новых эффективных методов, механизмов и условий, в которых процессы возбуждения изомерных ядер могут быть усилены, является **актуальным и практически значимым** направлением по данной проблематике, и необходимо для успешной постановки эксперимента в данной области и последующей его интерпретации.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в следующем:

- а) получены простые аналитические формулы для расчета сечений неупругого рассеяния электронов на изомерных ядрах в нерелятивистском приближении Борна для M1-M2 мультиполей;
- б) проведен анализ условий, при которых возможен стимулированный распад долгоживущего ядерного изомера  $^{178}\text{Hf}^{\text{m}2}$  в горячей лазерной термоядерной плазме;
- в) исследован процесс возбуждения ядер по механизму обратного электронного моста. Показано, что данный механизм способен обеспечить возможность высвобождения энергии ядерных изомеров в режиме волны гамма-свечения типа дефлаграции;
- г) разработаны теоретические модели процессов высвобождения энергии ядерных изомеров и генерации гамма-излучения при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с твердотельной мишенью.

**Диссертация состоит** из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет **82** страницы, включая список литературы и **24** рисунка. Список цитированной литературы содержит **77** ссылок.

Во **введении** представлен краткий обзор литературы по теме диссертации, приведена **цель диссертационного исследования**, определены **задачи** работы, изложена структура диссертации и приведено краткое ее содержание, сформулированы **результаты, выносимые на защиту**, **научная новизна** и **практическая значимость** работы.

В первой главе рассмотрены механизмы возбуждения ядерных уровней электронами. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с расчетами, представленными в других научных работах в отношении механизмов возбуждения ядер электронами. Сделаны выводы, об ограниченной применимости полученных формул.

К наиболее значимым и новым результатам, изложенным в этой главе, следует отнести: 1) аналитические формулы для расчета сечений неупругого рассеяния электронов на ядрах в нерелятивистском борновском приближении для E1-E3 и M1-M2 мультиполей, 2) рассчитанные сечения возбуждения ядер  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{110}\text{Ag}$ ,  $^{169}\text{Tm}$ ,  $^{201}\text{Hg}$ .

Вторая глава содержит обзорное описание всех резонансных механизмов возбуждения атомных ядер в плазме. Приведены оценки, показывающие недостаточную эффективность механизмов фотопоглощения и обратной внутренней электронной конверсии для «запуска» волны гамма-свечения в системе ядерных изомеров.

К наиболее значимыми результатам, представленными в этой главе, следует отнести следующие: 1) автором предложен эффективный механизм усиления (вплоть до 6 порядков для E1 переходов) процессов возбуждения ядерных уровней через механизм обратного электронного моста, 2) условия, при которых возможно данное усиление, 3) показано, что данного усиления может быть достаточно для поддержания волны гамма-свечения в системе ядерных изомеров.

Третья глава посвящена рассмотрению возможностей стимулированного распада долгоживущего изомера  $^{178}\text{Hf}^{m2}$  в дейтерий-третиевой и в дейтерий-дейтериевой лазерной термоядерной плазме. Рассмотрены процессы возбуждения ядер посредством неупругого рассеяния на ядрах частиц плазмы: альфа-частиц, протонов, электронов, фотонов.

К наиболее значимыми и новым результатам, представленными в этой главе, следует отнести следующие: 1) автором впервые показано, что в лазерной термоядерной плазме возможно наблюдать стимулированный распад  $^{178}\text{Hf}^{m2}$ , при этом d-d плазма (или иная горячая лазерная плазма с температурой  $T=100$  кэВ) является наиболее эффективным инструментом для экспериментального наблюдения эффекта.

В четвертой главе на качественном уровне проанализированы режимы распространения волны девозбуждения (высвечивания) ядерных изомеров в плазме твердотельной плотности, рассмотрены два различных механизма формирования волны высвечивания – за счет лучистой теплопроводности и на основе гидродинамических степеней свободы плазмы.

К наиболее значимыми и новым результатам, представленными в этой главе, следует отнести следующие: 1) автором впервые показано, что для оптически толстых цилиндрических образцов с ядерным изомером возможна реализация волны высвечивания в режиме быстрой дефлаграции со скоростью  $U \sim 10^8$  м/с, 2) 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.

В пятой главе рассмотрена возможность применимости библиотек GEANT4 для моделирования физического эксперимента по возбуждению изомерных ядер. В среде GEANT4 автором были описаны процессы возбуждения изомерных ядер фотонами и электронами, а также была разработана принципиальная концепция программы моделирования процессов возбуждения изомерных ядер и регистрации конверсионных электронов, рожденных в результате девозбуждения ядер в эксперименте с двумя мишенями.

Результаты, приведенные в работе, можно считать достоверными, так как были получены автором с привлечением современных методов математической и теоретической физики. Диссертационная работа вносит существенный вклад в понимание процессов в системе ядерных изомеров и описывает возможности по реализации волны высвечивания. Результаты диссертации могут быть использованы при планировании экспериментов по возбуждению атомных ядер и анализе их результатов, что определяет практическую ценность полученных результатов.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:


1. В работе присутствует незначительное количество опечаток и неточностей, например, на стр. 12 в выражении (3) перепутан индекс у фотонного пропагатора.
2. Представляется уместным обсудить более подробно применение именно лазерной плазмы, в частности созданной фемтосекундными лазерными импульсами.
3. Несмотря на то, что по тексту работы для каждого положения, выносимого на защиту, даны соответствующие количественные оценки, они (количественные оценки) не всегда были включены в положения, выносимые на защиту.

### **Заключение**

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Ахрамеева Е. В. заслуживает высокой оценки и положительного отзыва. Следует отметить высокий научный уровень работы, а также полноту раскрытия изучаемых вопросов, согласованность ее отдельных частей друг с другом. Автореферат диссертации отражает ее содержание. Все используемые в работе материалы других научных коллективов подкреплены ссылками на соответствующие статьи и книги. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в рецензируемых научных журналах, доложены на конференциях и известны специалистам.

Диссертация Ахрамеева Е. В. соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленными «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного 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», а сам Ахрамеев Е. В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент,  
старший научный сотрудник лаборатории лазерного воздействия  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института  
высоких температур РАН, к.ф.-м.н.  
10 июня 2016 года

 О. В. Чефонов

Подпись О. В. Чефопова заверяю  
Ученый секретарь  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института  
высоких температур РАН, д.ф.-м.н.



Амиров

2.06.2016г.