

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
Пасхалова Антона Анатольевича
на тему: «Экспериментальное исследование процесса испускания
внутреннего тормозного излучения при α -распаде ^{214}Po »
по специальности 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных
частиц»

Впервые метод внутреннего тормозного излучения был использован для определения времен жизни возбужденных состояний составных ядерных систем в интервале от 10^{-19} до 10^{-21} с при взаимодействии легких ядер реакций $^{12}\text{C}(p,p)$, $^{16}\text{O}(p,p)$. В этих экспериментальных работах было показано, что данная методика позволяет получать информацию о временной эволюции ядерных процессов, идущих с образованием составного ядра, без априорного предположения о механизмах ядерных превращений. Интерференция в выходе тормозных фотонов при α -распаде тяжёлого ядра имеет также пространственную природу – между амплитудами рождения тормозных фотонов при движении α -частицы внутри барьера и во внешней области ускорения в кулоновском поле ядра.

Представленная диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию процесса внутреннего тормозного излучения, в частности развитию новых экспериментальных методик и их реализации в виде экспериментальной установки, которые позволяют осуществлять регистрацию γ -квантов и тормозных фотонов, сопровождающих ядерные превращения, созданию алгоритмов обработки

экспериментальных данных, а также измерениям выходов тормозных фотонов при α -распаде тяжёлых ядер. Интерес к тормозному излучению, сопровождающему α -распад, возник на основе ряда теоретических и экспериментальных работ сравнительно недавно. Вплоть до настоящего времени в этом направлении достаточно активно проводятся исследования, о чем свидетельствуют публикации в ведущих мировых научных журналах. При этом следует отметить, что существующие теоретические работы дают результаты заметно разнящиеся между собой. Сказывается определённая модельная зависимость теоретических результатов, а также отсутствие законченной теории α -распада. В этих условиях наличие надёжных экспериментальных данных является решающим фактором при выборе и оценке достоверности теоретической модели. Исследование тормозного излучения несёт важную информацию о процессе α -распада и имеет прямое отношение к фундаментальным основам квантовой механики. К настоящему времени, вследствие больших трудностей связанных с реализацией подобных экспериментов, всего лишь в трёх научных центрах было проведено экспериментальное исследование процессов внутреннего тормозного излучения. Разработанные в диссертации методики имеют широкие перспективы и области применения в ядерной физике. Таким образом, актуальность темы исследования и значимость полученных результатов не вызывает сомнений.

Представленная работа содержит много новых технических решений связанных с конкретной реализацией схемы эксперимента, в частности, относительное расположение источника и детекторов, использование быстрых оцифровщиков формы сигнала. Отдельного упоминания заслуживает предложенная в работе новая методика регистрации α - γ совпадений, целью которой является надёжное измерение вероятностей α -распадов сопровождающихся образованием дочернего ядра в возбуждённых состояниях. С использованием этой методики измерены вероятности

испускания γ -квантов с возбуждённых уровней дочерних ядер, которые заселяются в процессе α -распада ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{214}Po . Впервые проведено обоснование универсального параметра, характеризующего экспериментальную методику регистрации редких ядерных совпадений. С помощью этого проведено сравнение, сцинтилляционных и полупроводниковых германиевых детекторов. Впервые экспериментально исследована часть спектра тормозного излучения при α -распаде ядра ^{214}Po , относящаяся к высокоэнергетической области от 0.1 до 1 МэВ. При этом особо следует отметить уникальные новые возможности разработанных методик и созданной установки, которые позволили продвинуться в регистрации чрезвычайно редких событий рождения тормозных фотонов, реализующихся с вероятностью до 10^{-12} от основной моды распада. В работе представлен критический анализ существующих теоретических моделей, уточнены параметры одной из них, приведён результат расчёта с уточнёнными параметрами. Кроме того, проанализированы возможные направления развития методов, связанных с внутренним тормозным излучением, перспективы использования быстрых временных оцифровщиков в исследовании распадов тяжёлых ядер. Сказанное выше подтверждает новизну и значимость научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе.

Достоверность и высокая степень обоснованности научных положений диссертации подтверждается надёжностью предложенных методик, использованием современной аппаратуры, детальной проработкой схемы эксперимента и алгоритмов обработки результатов измерений. Одним из наиболее важных аргументов подтверждающих достоверность является согласие между результатами, полученными с использованием германиевого полупроводникового и сцинтилляционного детекторов в измерениях выходов тормозного излучения при α -распаде ^{214}Po .

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликован ряд работ в ведущих реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, а также сделаны доклады на международных конференциях. Таким образом, сформулированные в диссертации научные положения и полученные результаты прошли серьёзную экспертизу научного сообщества, подтвердившую их высокую степень обоснованности, достоверность и новизну. Разработанные в диссертации подходы имеют широкие перспективы и области применения в ядерной физике.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Во введении формулируются исследовательские задачи, обосновывается актуальность тематики исследований.

В первой главе проводится анализ имеющихся в литературе экспериментальных данных. Показано, что существующие экспериментальные данные получены с малой статистической достоверностью и нуждаются в существенном уточнении. Так, например, выходы тормозных фотонов при α -распаде ядра ^{210}Po измерены группой японских физиков лишь до энергий $E_\gamma \approx 500$ кэВ с большой экспериментальной погрешностью. В области энергий тормозных фотонов ≈ 400 кэВ наблюдался локальный минимум в вероятности их испускания, который был интерпретирован авторами как результат интерференции в амплитудах вероятности испускания тормозного излучения, соответствующих подбарьерной области движения α -частицы и внешней области. Приведена систематика существующих теоретических моделей, используемых для описания изучаемого явления и показано, что при расчете выхода тормозного излучения, сопровождающего α -распад, имеет место ряд принципиальных допущений, при которых невозможно однозначно определить природу процесса, а именно, оценить степень влияния подбарьерной области движения α -частицы на полную

вероятность испускания тормозных фотонов. Квантово-механические расчеты, выполненные в рамках одночастичной модели α -распада позволяют сделать вывод о деструктивном характере интерференции между вкладами от подбарьерной и внешней областей движения α -частицы в полную вероятность выхода тормозного излучения. Однако эти расчеты показывают отсутствие каких-либо локальных минимумов в энергетическом спектре тормозных фотонов, в то время как численный расчёт с использованием нестационарного уравнения Шредингера указывает на возможность существования локального максимума в вероятности испускания тормозных фотонов при высоких энергиях.

Во второй главе представлено описание разработанной методики измерения энергетических спектров внутреннего тормозного излучения с помощью быстрых временных оцифровщиков формы сигналов с детекторов ядерного излучения с последующим вейвлет-анализом с целью улучшения энергетических и временных характеристик импульса. Представлены алгоритмы обработки сигналов с кремниевых детекторов α -частиц и детекторов γ -квантов на основе сверхчистого германия большого объема.

Показано, что измеренные энергетические спектры тормозных фотонов при α -распаде ядра ^{214}Po монотонно спадают с ростом энергии E_α , а локальных минимумов в спектрах не обнаружено.

В третьей главе приведено описание процесса испускания тормозных фотонов в рамках одночастичной квантово-механической модели α -распада. В дипольном приближении рассчитан спектр тормозного излучения при вылете α -частицы из сферически симметричного прямоугольного ядерного потенциала. Проведена оценка выбора глубины потенциальной ямы и радиуса ядра для $^{210,214}\text{Po}$ и ^{226}Ra исходя из правила квантовая Бора-Зоммерфельда. Произведённый с учётом этого расчёт выхода тормозного излучения приводит к значительному увеличению вероятности вылета тормозного фотона.

Сравнение полученных данных с результатами расчёта с использованием потенциала в виде гармонического осциллятора показали, что вклад внутрибарьерной области в выход тормозных фотонов существенно зависит от формы потенциала – при гладких краях ямы, общий выход тормозного излучения уменьшается в несколько раз по сравнению с прямоугольной ямой, что подтверждается и расчетами других авторов с использованием реалистического потенциала МакФаддена-Сэчлера.

В четвертой главе рассмотрены перспективы развития метода тормозного излучения при исследовании динамики распада тяжелых ядер с помощью быстрых временных оцифровщиков сигналов с различных детекторов, как сцинтилляционных, так и полупроводниковых.

Для всех рассмотренных типов детекторов проведено сравнение параметра $\Delta E \cdot \tau$, характеризующего энергетическое и временное разрешение детекторов. Установлено, что наилучшим значением этого параметра обладают полупроводниковый детектор γ -излучения на основе сверхчистого германия и сцинтилляционный NaI(Tl)-детектор.

Заключение содержит сводку основных результатов диссертации, выдвигаемых на защиту.

В приложении 1 приведена программа, использовавшаяся при обработке экспериментальных данных.

Приложение 2 содержит таблицу рассчитанных вероятностей выхода фотонов внутреннего тормозного излучения при α -распаде ядер ^{210}Po , ^{214}Po , ^{226}Ra .

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Переходя к оценке диссертации в целом, отметим следующие замечания. На рисунке 3.2 не указаны параметры потенциалов, для которых представлены зависимости фазы амплитуды рождения тормозного фотона от его энергии E_γ . В четвертой главе в разделе, посвященном исследованию детекторов α -частиц на основе природного

алмаза на мой взгляд недостаточно подробно проанализированы его характеристики, в частности, по-видимому, худшее энергетическое разрешение, возникновение поляризационных явлений при длительном облучении.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. 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 учёных 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 Пасхалов Антон Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных частиц».

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП
«ВНИИА») Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»
Подразделение: Центр фундаментальных и прикладных исследований.

Игашов Сергей Юрьевич


_____ дата

Контактные данные:

тел.: 7(499) 978-7803, e-mail: vniiia@vniiia.ru ; igashov@theor.mephi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – «теоретическая физика»

Адрес места работы:

Почтовый адрес: 101000, Москва, Моспочтамт, а/я 918

Юридический адрес: 127055, Москва, Сущёвская ул., д.22

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП
«ВНИИА») Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Подразделение: Центр фундаментальных и прикладных исследований.

Тел.: (499) 978-7803 ; e-mail: vniiia@vniiia.ru

Подпись научного сотрудника С.Ю. Игашова удостоверяю

Учёный секретарь ФГУП ВНИИА, к.т.н. С.И. Дубовик





_____ дата