

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.ф.-м.н. Карпешина Федора Федоровича,

на диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Любашевского Дмитрия Евгеньевича на тему «Описание характеристик двойного и тройного деления ядер при использовании методов квантовой теории многоступенчатых ядерных распадов и реакций» по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

В последние десятилетия поднялась волна интереса к изучению тройного деления, в частности, Р-четных Т-нечетных тройных корреляций между поляризацией пучка, направлением вылета одного, обычного легкого осколка и третьей частицы или гамма-кванта. Пученные данные не поддаются полному описанию в терминах квазиклассической физики. Для последовательного понимания механизмов формирования указанных распределений, в появлении которых существенную роль могут играть интерференционные квантовые эффекты, необходимо дальнейшее развитие квантовой теории многоступенчатых ядерных реакций. Дальнейшему развитию такой теории и посвящена данная диссертация, главным образом нацеленная на описание тройных корреляций. Актуальность темы диссертации в свете сказанного не вызывает сомнений, поскольку она как раз связана с исследованием в рамках квантовой теории многоступенчатых ядерных реакций важных, но недостаточно изученных свойств низкоэнергетического бинарного и тройного деления ядер, которые определяются взаимодействием вращательных и внутренних мод составного делящегося ядра. Особую роль в диссертации играет первая глава, в которой производится критический анализ и обобщение многолетнего опыта квантовых расчетов двуступенчатых процессов двухпротонного и двойного бета-распада ядер, накопленного и ВГУ. В этом случае промежуточное ядро может находиться только в виртуальных состояниях вне массовой поверхности, что делает неизбежной интерференцию таких состояний между собой. Последующие главы посвящены

развитию квантовой теории многоступенчатых ядерных реакций в направлении учета виртуальных состояний промежуточных ядер, что позволяет не только описать экспериментальные характеристики этих распадов, но и дать основу для описания виртуальных механизмов тройного и четверного деления ядер с вылетом различных легких частиц.

Научная новизна исследований определяется развитием оригинальных методов и проведенным описанием двойного и тройного деления ядер в рамках последовательной квантовой теории многоступенчатых ядерных реакций. Новым для физики деления ядер результатом является возможность описания появления больших значений относительных орбитальных моментов фрагментов бинарного деления составных делящихся ядер за счет влияния поперечных wriggling-колебаний этих ядер в окрестности их точки разрыва, что приводит к близости направления вылета фрагментов деления к направлению оси симметрии делящихся ядер, в соответствии с гипотезой О. Бора. В то же время новым результатом является факт, что спиновое распределение возбужденных фрагментов низкоэнергетического деления ядер носит неравновесный характер, поскольку формируется за счет wriggling- и bending-колебаний холодного составного делящегося ядра в окрестности точки его разрыва. Развитие квантового подхода позволило впервые описать характеристики Р-четных Т-нечетных асимметрий в дифференциальных сечениях реакций деления неориентированных ядер-мишеней холодными поляризованными нейтронами с вылетом различных легких частиц.

Практическая значимость результатов диссертации обусловлена тем, что развитые в ней подходы позволяют описать характеристики бинарного и тройного деления тепловыми нейтронами как уже исследованных, так и запланированных для исследований новых ядер. Особое значение имеет полученная в работе информация о спинах возбужденных состояний фрагментов деления, из которых испускаются мгновенные нейтроны, формирующие основную компоненту спектра нейтронов, участвующих в цепных ядерных реакциях на атомных энергетических установках. Развитые в диссертации подходы позволяют адекватно описать характеристики продуктов тройного деления ядер холодными поляризованными нейтронами, включая

коэффициенты Р-четных Т-нечетных асимметрий α -частиц, мгновенных нейтронов и гамма-квантов.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов данной диссертационной работы надежно обеспечена согласием результатов исследования, полученных на основе аналитических преобразований и численных расчетов, с экспериментальными данными, а также адекватностью этих результатов современным теоретическим представлениям. Значительная часть результатов докладывалась на основных российских и международных конференциях по ядерной физике и опубликована в ведущих российских реферируемых тематических изданиях.

Краткое содержание диссертации. Диссертация Д.Е. Любашевского насчитывает 182 страницы. Включает в себя введение, где автором сформулированы задачи, изложено содержание, актуальность и новизна диссертационной работы. Далее следуют три главы основного текста, заключение, где подведены основные итоги работы, а также список литературы, насчитывающий 185 наименований.

Глава I носит название «Описание характеристик ядерных распадов и реакций с участием реальных и виртуальных состояний промежуточных ядер». Первый раздел этой главы информирует читателя о развитии теории многоступенчатых ядерных реакций и распадов, связанных с появлением в их амплитудах не только реальных, но и виртуальных состояний промежуточных ядер. Продемонстрировано, что в общем случае ширину n -ступенчатого распада составного делящегося ядра (A, Z) можно представить в виде суммы ширин, отвечающих композициям, связанным с разными числами реальных и виртуальных распадов. Во втором разделе рассматривается описание двухпротонных распадов (ДПР) ядер. В настоящее время для описания ДПР, используются два теоретических подхода, в которых ДПР трактуется, как трехчастичный процесс, но первый подход базируется на использовании формализма трехчастичных гиперсферических функций с учетом трехчастичных потенциалов взаимодействия дочернего ядра $(A-2, Z-2)$ и двух протонов, появляющихся после ДПР родительского ядра (A, Z) . Альтернативный подход, развиваемый в диссертации, также характеризует ДПР как трехчастичный процесс, однако амплитуда рассчитывается

через представление об основном вкладе двухчастичных потенциалов взаимодействий вылетающих протонов между собой и с промежуточным ($A-1, Z-1$) и дочерним ($A-2, Z-2$) ядрами при учете появления виртуального состояния промежуточного ядра. В рамках развиваемого подхода при выборе параметров оболочечных потенциалов протонов исследуемых ядер, был проведен расчет полной ширины и угловых распределений испущенных протонов. Полученные результаты находятся в разумном согласии с аналогичными экспериментальными характеристиками. В третьем разделе выполнен анализ экспериментальных данных относительно двойного бета-распада ядер при использовании теории многоступенчатых ядерных реакций и распадов, связанных с появлением в их амплитудах не только реальных, но и виртуальных состояний промежуточных ядер. Для большинства ядер, испытывающих двойной бета-распад, экспериментальные и теоретические значения периодов полураспада достаточно хорошо согласуются между собой. Рассмотрение двух последовательных бета-распадов ядер ^{48}Ca и ^{96}Zr и показало, что экспериментальные ширины подобных распадов с хорошей степенью точности описываются теоретически. В четвертом разделе обосновывается заключение, что и вылет альфа-частицы в тройном делении необходимо рассматривать как виртуальный процесс прохождения ее сквозь потенциальный барьер, в котором ее конечная кинетическая энергия отбирается от кинетической энергии осколков. При этом возникает виртуальное промежуточное состояние делящегося ядра вне массовой поверхности.

Глава II диссертации называется «Описание характеристик спонтанного и низкоэнергетического бинарного деления ядер в рамках квантовой теории деления». В первом разделе обосновывается, что составное делящееся ядро остается достаточно «холодным», начиная со стадии спуска с внешней седловой точки и заканчивая стадией формирования первичных фрагментов деления. Поэтому возбуждаются только коллективные состояния. К ним относятся и поперечные *wriggling* и *bending* – колебания указанного ядра, которые считаются причиной образования наблюдаемых больших величин спинов осколков. Производится расчет их значений. Для согласования с экспериментом оказывается достаточным учет так называемых нулевых колебаний, в соответствии с предположением холодного ядра. Во втором разделе

установлено, что спиновое распределение фрагментов бинарного деления ядер имеет нестатистический характер, обусловленный одновременным влиянием нулевых wiggling- и bending-колебаний составного делящегося ядра в окрестности точки его разрыва. Проводится методологическая связь возникающих спинов с принципом неопределённости углового момента в квантовой механике. Показано, что неопределённость углового момента осколков деления приводит к разбросу направлений эмиссии осколков относительно оси симметрии ядра. Хотя эта величина не наблюдаема, ее принципиальная малость важна для понимания гипотезы О. Бора.

Глава III имеет название «Квантовая природа Р-четных Т-нечетных асимметрий в дифференциальных сечениях реакций деления неориентированных ядер-мишеней холодными поляризованными нейтронами с вылетом различных легких частиц». В первом разделе при использовании представления об изотропности пространства и сохранении четности, структура дифференциального сечения $d\sigma_{nf,p}(\theta)/d\Omega$ представлена суммой, первый член которой $d\sigma_{nf,p}^{(0)}(\theta)/d\Omega$ отвечает среднему Р-четному Т-четному дифференциальному сечению, а второй член $d\sigma_{nf,p}^{(1)}(\theta)/d\Omega$ включает Р-четные Т-нечетные компоненты сечения $d\sigma_{nf,p}(\theta)/d\Omega$, линейно зависящие от вектора поляризации пучка σ_n . В свою очередь, компонента дифференциального сечения $(d\sigma_{nf,p}^{(1)}(\theta)/d\Omega)$ представлена суммой компонент, которые имеют четный (*ev*) и нечетный (*odd*) характер относительно преобразования $\theta \rightarrow \pi - \theta$. Далее проведено восстановление величин $(\beta_{nf,p}(\theta))$, не зависящих от плотности потока падающих нейтронов и пропорциональных компонентам сечения $(d\sigma_{nf,p}^{(1)}(\theta)/d\Omega)$. Во втором разделе проведено теоретическое описание и установлены проблемы описания Р-четных Т-нечетных асимметрий в реакциях деления неориентированных ядер-мишеней холодными поляризованными нейтронами с вылетом различных легких частиц при использовании квазиклассического метода траекторных расчетов. Основной проблемой для согласования экспериментальных и рассчитанных теоретически величин является всегда отрицательный вычисляемый угол поворота между направлениями вылета легкой частицы и легкого фрагмента деления, тогда как в эксперименте наблюдаются

величины разного знака. Эта проблема преодолена в третьем разделе на основе квантового подхода, учитывающего интерференционные эффекты. Рассмотрение проводится с помощью квантовых корреляторов четно-нечетного типа по отношению к отражению в плоскости, перпендикулярной оси деления, условно названных авторами оригинальных работ тройными и пятерными. Продемонстрирована принципиальная возможность одновременного теоретического описания наблюдаемых характеристик Р-четных Т-нечетных корреляторов с участием третьих частиц, включая альфа – частицы, мгновенные нейтроны и гамма-кванты, при учете кориолисова взаимодействия полного спина составного делящегося ядра с орбитальными моментами фрагментов деления и легких частиц.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

В качестве замечаний, укажу следующие.

1) При выводе распределения осколков по спинам автор часто апеллирует к принципу неопределенности для углового момента, вследствие которого возникает разброс $\Delta\theta$ углов разлета осколков. В данном контексте, было бы ожидаемо привести полученное в итоге численное значение этого разброса.

2) Вычисление распределения по спинам осколков производится исходя из представлений о нулевых wrigling-колебаниях. Проявление на опыте нулевых колебаний можно отнести к регулярно дискутируемым вопросам философии науки. Тем самым можно сказать, что диссертация производит вклад и в методологический аспект нашего знания. В то же время, указанное ограничение не является обязательным: можно было произвести естественное обобщение теории на случай ненулевых колебаний.

3) Автор использует термин мгновенные нейтроны, когда излагаемую информацию вполне можно отнести к обычным запаздывающим, которые испускаются осколками после полной термализации энергии их деформации. Существование мгновенных нейтронов дискутируется на протяжении десятилетий. Последние изыскания группы ПИЯФ приводят к цифре $\sim 10\%$ от полного количества.

4) В то время, как интерференция каналов красной нитью проходит через диссертацию, она не учитывается между состояниями промежуточного ядра при описании двойного бета распада.

Перечисленные замечания не снижают качества диссертации, скорее являясь продолжением ее достоинств. Другие носят терминологический характер. Они не снижают важность и значимость проделанной диссертантом огромной работы, несомненно, доказывающей его высокий профессиональный уровень. Диссертационная работа Д.Е.Любашевского является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к научно-квалификационным работам. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.15 - «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (физико-математические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Рукопись оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Любашевский Дмитрий Евгеньевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.15 - «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (физико-математические науки).

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник

Метрологического отдела

Всероссийского научно-исследовательского

Института метрологии имени Д.И. Менделеева

Карпешин Федор Федорович



Контактные данные: тел.: +7 812 251-7601, e-mail: fkarpeshin@yandex.ru .
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.16
– физика атомного ядра и элементарных частиц (физико-математические науки). Адрес
места работы: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева» (ФГУП
«ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»), Московский пр., 19, Санкт-Петербург, 190005,
Россия.