

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Фурсовой Надежды Юрьевны на тему:
«Фотоядерные реакции на изотопах эрбия, диспрозия, палладия и
молибдена» по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и
элементарных частиц, физика высоких энергий**

Изовекторный электрический дипольный гигантский резонанс (ГДР), превалирующий в фотоядерных реакциях, является одним из простейших коллективных движений в атомных ядрах и должен считаться обязательным "испытательным полигоном" для выработки адекватных представлений о физике ядра. При этом важны исследования не только процессов возбуждения ГДР, но и его девозбуждения с испусканием в различных парциальных реакциях нуклонов и γ -квантов, а также с образованием при этом дочерних ядер, являющихся во многих случаях радиоактивными. Надо отметить, что наряду с важной ролью исследований таких парциальных реакций для физики коллективных движений в ядрах, эти исследования актуальны для различных фундаментальных и прикладных использований данных об отдельных парциальных фотоядерных реакциях в области ГДР.

Диссертация Фурсовой Надежды Юрьевны посвящена экспериментальному исследованию гамма-активационным методом на микротронах РМ-55 НИИЯФ МГУ и МТ-25 ОИЯИ на выведенных из них пучках электронов и образованных этими электронами тормозных γ -квантов наработки различных радиоактивных дочерних ядер в результате прошедших фотоядерных реакций в физических мишенях естественного изотопного состава, содержащих ядра эрбия или диспрозия, или палладия, или молибдена.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём работы составляет 150 страниц.

Во введении сформулированы актуальность, цели и задачи диссертационной работы, а также значимость полученных результатов для фундаментальных и прикладных исследований.

В первой главе описаны особенности использованного варианта гамма-активационной методики получения начальных экспериментальных данных об исследуемых парциальных фото- и электро- ядерных реакциях как при проведении облучений в геометрии, близкой к почти «плотной» по активации основных и мониторинговых мишеней, так и при измерениях наводимой в этих мишенях активности различных образуемых радиоактивных дочерних ядер. Для измерений наводимой активности приведены описания для случаев и одноканальных, и двухканальных реакций. Приведено также описание учёта мёртвого времени детектора.

Вторая глава посвящена краткому описанию выработанных к настоящему времени теоретических представлений о физике ГДР в атомных ядрах, включая gross-структуру ГДР из-за деформационного, изоспинового и конфигурационного расщеплений ГДР. Кроме того, приводятся краткие описания разработанных к настоящему времени и активно используемых диссертантом при анализе экспериментальных данных моделей ядерных реакций как КМФР – комбинированной модели фотонуклонных реакций, разработанной в НИИЯФ МГУ, так и известной европейской модели TALYS 2.0. Приведены результаты проведённых расчётов по КМФР для стабильных изотопов эрбия, диспрозия, палладия и молибдена интегральных сечений фотопоглощения и реакций: $(\gamma, 1n)$; $(\gamma, 2n)$; $(\gamma, 3n)$; $(\gamma, 1p)$; $(\gamma, 1n1p)$; $(\gamma, 2n1p)$. В рамках модели TALYS 2.0 проведены расчёты для сечений фотопоглощения для ^{168}Er с разными фотонными силовыми функциями в сопоставлении с известным из литературы экспериментальным сечением. Наряду с этим для исследований на микротроне РМ-55 в НИИЯФ МГУ указано, что при кинетической энергии выведенных из микротрона электронов ≈ 55 МэВ должен проявляться квазидейтонный механизм поглощения для части тормозных γ -квантов с энергиями $E_\gamma \geq 40$ МэВ, при котором поглощения γ -квантов осуществляются коррелированными протон-нейтронными парами внутри ядра.

В третьей (самой большой) главе описываются основные экспериментальные исследования диссертации на мишенях естественного изотопного состава, содержащих эрбий или диспрозий, или палладий, или молибден, включавшие, в частности, реакции, приводящие к заселению изомерных состояний ядер. Впервые получены сечения на эквивалентный квант для фотопротонных реакций на изотопах эрбия и диспрозия.

В четвёртой главе проанализированы фотоядерные реакции, приводящие к разрушению обойдённых ядер ^{92}Mo и ^{102}Pd , а также фотоядерные реакции, приводящие к образованию медицинских изотопов. Среди изотопов, изучаемых в диссертации, перспективными для медицины являются ^{166}Ho и ^{161}Tb , для которых рассмотрены возможности наработки в результате фотопротонных реакций на изотопах эрбия и диспрозия.

Достоверность научных положений и результатов, полученных в диссертации, обеспечивается использованием общепринятых экспериментальных и теоретических методов исследования.

Большой объём материала позволил сделать ряд важных общих выводов. Основные из них заключаются в том, что для фотопротонных реакций полученные гамма-активационным методом на тормозном пучке микротрона РМ-55 НИИЯФ МГУ данные выявили тенденцию уменьшения $\sigma_q(\gamma, 1p)$ – сечений на эквивалентный квант для реакции $(\gamma, 1p)$, с ростом A внутри одного изотопного ряда, а также общего уменьшения с ростом отношения N/Z и требуют для своего описания учёта изоспинового расщепления ГДР.

Несмотря на кажущуюся простоту экспериментальных исследований гамма-активационных выходов фотонуклонных реакций, получение прецизионных данных требует весьма и аккуратной постановки эксперимента, и тщательного учёта искажений эффективного энергетического спектра тормозных фотонов, воздействующих на исследуемые ядра мишени, по сравнению со спектром тормозных фотонов из очень тонкого радиатора от монохроматических электронов, разбросов пучка

электронов по энергиям, углам и поперечным линейным размерам. Возможно, из-за неудовлетворительного решения этих проблем имеются большие разбросы результатов различных известных экспериментальных данных по этой тематике. В диссертационной работе Н.Ю. Фурсовой сделано важное продвижение в решении вышеуказанных проблем.

Основные результаты диссертации отличаются новизной, были представлены на конференциях и опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертантом проведена большая работа, объём которой значительно превосходит требования, установленные Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Диссертация соответствует специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий**, а именно ее направлению 2: «Ядерные реакции с различными налетающими частицами. Прямые реакции, предравновесные процессы, реакции многонуклонных передач, реакции с образованием составного ядра. Слияние ядер».

Однако к диссертационной работе Н.Ю. Фурсовой имеются следующие замечания.

Представляется, что, поскольку в условиях собственных экспериментов по получению абсолютных значений наводимых активностей образуемых исследуемых радиоизотопов последние связаны не только с фотоядерными реакциями под действием тормозных фотонов, образуемых в радиаторе, но и тормозных фотонов, образуемых в первой по пучку мониторной мишени и в основной исследуемой физической мишени, а также с электроядерными реакциями под действием электронов, «добежавших» до основной исследуемой физической мишени, необходимо подробнее пояснить, как эти обстоятельства учитываются в конечных приводимых в диссертации результатах.

Имеется также использование неустоявшихся обозначений, а именно, на стр. 5 вместо «Из-за временной остановки в 2009 году реакторов в

Нидерландах и Канаде, производивших ^{99}Mo , по всему миру возникли перебои в проведении диагностических процедур на основе его дочернего изотопа — $^{99\text{m}}\text{Tc}$ », надо «Из-за временной остановки в 2009 году реакторов в Нидерландах и Канаде, производивших ^{99}Mo , по всему миру возникли перебои в проведении диагностических процедур на основе дочернего ядра-изомера $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2} \cong 6.01$ ч) от β^- -распада ^{99}Mo ($T_{1/2} \cong 65.92$ ч)».

Тем не менее, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Содержание диссертации соответствует специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий** (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. Диссертация оформлена согласно требованиям «Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Таким образом, соискатель **Фурсова Надежда Юрьевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий**.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,

Ведущий научный сотрудник Лаборатории фотоядерных реакций

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

ДЖИЛАВЯН Леонид Завенович

Контактные данные:

тел.: +7(916)1777850, e-mail: dzhil@inr.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

117312, г. Москва, проспект 60-летия Октября, д. 7а

Институт ядерных исследований РАН, Лаборатория фотоядерных реакций

Тел.: 84991352112; e-mail: dzhil@inr.ru

Подпись сотрудника ИЯИ РАН Л.З. Джилавяна удостоверяю:

Заместитель директора ИЯИ РАН

Г.И. Рубцов

18.02.2026