

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Давыдова Александра Ивановича на тему:
«Новые сечения фотонейтронных реакций, оцененные с использованием
физических критериев достоверности»
по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц,
физика высоких энергий**

Мультипольные гигантские резонансы, наблюдаются в реакциях с разными пробными частицами во всех атомных ядрах, кроме легчайших. Они (по крайней мере, низших мультипольностей, и, прежде всего, изовекторный электрический дипольный гигантский резонанс $E1$ ГР, превалирующий в реакциях на реальных фотонах (или здесь кратко фотоядерных реакциях)), являются одними из простейших типов коллективных движений в ядрах и рассматриваются как обязательный "испытательный полигон" для выработки адекватных представлений о физике ядра. При этом весьма важны исследования не только процессов возбуждения $E1$ ГР, но и его девозбуждения с испусканием нуклонов, особенно нейтронов, образующихся с различной множественностью в парциальных фотонейтронных реакциях, превалирующих при энергиях возбуждения, выше пороговых, для подавляющего большинства стабильных атомных ядер. Надо также отметить, что наряду с указанной ролью исследований парциальных фотонейтронных реакций для ядерной физики, эти исследования весьма важны для различных прикладных использований фотоядерных реакций.

Диссертация Давыдова Александра Ивановича посвящена получению оцененных разделённых по множественности сечений фотонейтронных реакций для 22 ядер от ^{51}V до ^{207}Pb путём совокупного рассмотрения экспериментальных данных, полученных на пучках коллимированных квазимонохроматических фотонов (как (в основном) от аннигиляции на лету позитронов с электронами в специальных мишенях, так и (частично) от обратного комптоновского рассеяния лазерных фотонов на пучках ускоренных электронов) с применением, с одной стороны, регистрации

замедленных фотонейтронов и, с другой стороны, теоретических предсказаний разработанной в НИИЯФ МГУ Комбинированной Модели ФотоЯдерных Реакций (КМФЯР) с применением в таком рассмотрении физических критериев достоверности.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и трёх приложений.

Во введении сформулированы актуальность, цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе описаны некоторые важные аспекты серий измерений с регистрацией фотонейтронов, проведённых, прежде всего, в лабораториях в Ливерморе (США) и Сакле (Франция) на пучках γ -квантов из тонких мишеней с низким атомным номером как от позитронов, так и от электронов. Результаты этих измерений составили подавляющую часть начального экспериментального материала, использованного для последующей обработки в диссертации А.И. Давыдова. Во-первых, рассмотрены особенности применённой в этих измерениях процедуры отделения вкладов, вызванных коллимированными квазимонохроматическими γ -квантами от аннигиляции позитронов на лету, от вкладов, связанных с тормозным излучением от этих же позитронов. Во-вторых, рассмотрены особенности высокоэффективной регистрации нейтронов после их замедления с разделением нейтронов по множественности на основе данных об их энергиях при использовании как газоразрядных счётчиков в замедлителе (в Ливерморе), так и сцинтилляционного детектора-замедлителя (в Сакле).

Вторая глава посвящена анализу и попыткам объяснения больших (до $\sim 100\%$!) систематических разнонаправленных несоответствий сечений парциальных фотонейтронных реакций $\sigma(\gamma, 1n)$ и $\sigma(\gamma, 2n)$ для 19 ядер, полученных и в Ливерморе, и в Сакле, тогда как расхождения между сечениями выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots$, полученными в разных лабораториях на различных фотонных пучках, различаются в среднем на величину $\sim 10\%$. Хотя и отмечалась наиболее

вероятная причина такого положения, связанная с различными указанными в первой главе различиями методов регистрации фотонейтронов в Ливерморе и в Сакле, но высказана неудовлетворённость применявшимися ранее методами взаимной коррекции получаемых данных о $\sigma(\gamma, 1n)$ и $\sigma(\gamma, 2n)$ из этих двух лабораторий и корректировки результатов разных экспериментов. Указана также необходимость разработки метода анализа систематических погрешностей результатов разных экспериментов, не зависящего от способа получения экспериментальных данных, и основанного на использовании объективных физических критериев достоверности.

В третьей главе описываются используемые в диссертации предложенные ранее в НИИЯФ МГУ физические критерии достоверности различных парциальных реакций $F_i = \sigma(\gamma, in) / \sigma(\gamma, xn)$ как для экспериментальных данных (то есть $F_i^{\text{эксп}}$), так и в рамках КМФЯР (то есть $F_i^{\text{теор}}$). Предложено при проведении собственных пересчётов экспериментальных данных для получения оцененных парциальных сечений $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, in)$ использовать комплексный экспериментально-теоретический метод, согласно которому $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, in) = F_i^{\text{теор}} \times \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$. Для выяснения причин расхождений результатов разных экспериментов между собой и с оцененными сечениями предложено использовать детальный анализ разностей между ними и их сравнение с расчетными данными.

В четвёртой (самой большой) главе описываются как сами результаты, полученные диссертантом – оцененные сечения парциальных и полных фотонейтронных реакций для 22 ядер от ^{51}V до ^{207}Pb , так и некоторые существенные систематические погрешности соответствующих экспериментальных данных, обусловленные определенными недостатками использованного метода разделения фотонейтронов по множественности (неоднозначность разделения нейтронов по множественности на основе данных об их энергиях, отсутствие учета вкладов реакций $(\gamma, 1n1p)$ для средних ядер, потеря части нейтронов из реакции $(\gamma, 1n)$). С целью проверки достоверности оцененных сечений проводится их сравнение с результатами

активационных экспериментов для ядер ^{181}Ta , ^{197}Au и ^{209}Bi , полученными на пучках тормозного γ -излучения, в которых разделение парциальных реакций осуществляется альтернативным достоверным методом. Для трёх тяжёлых ядер (^{159}Tb , ^{197}Au и ^{209}Bi) оцененные фотонейтронные сечения, сравниваются с сечениями, полученными на основе данных из экспериментов на пучках фотонов от обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения на ускоренных электронах.

Большой объём материала позволил сделать ряд важных общих выводов. Основной из них заключается в том, что накопленные к настоящему времени экспериментальные данные, полученные в экспериментах разного типа с помощью методов непрямого разделения фотонейтронов по множественности, в большинстве своем не удовлетворяют физическим критериям достоверности. Расхождения между оцененными и экспериментальными сечениями реакций ставят вопросы о надежности оценок разных физических эффектов, выполненных с использованием последних.

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 А.И. Давыдова имеются следующие замечания.

Представляется, что в диссертации проводится не только верификация результатов данных фотонейтронных экспериментов с использованием предсказаний КМФЯР, а совокупная верификация и экспериментальных данных, и самой КМФЯР, поскольку в настоящее время существующие

модели ядерных реакций продолжают находиться в стадии своего существенного развития. В частности, необходимость такого развития усиливается по мере удаления дочерних ядер от полосы стабильности, и особенно это так для лёгких ядер (характерно, что в диссертации последние не рассматриваются).

В продолжение предыдущего замечания, представляется, что, наряду с проверками, использующими данные активационных экспериментов, следовало бы провести проверки с малой интенсивностью падающих фотонов, которые были возможны в совместных экспериментах на установке NewSUBARU в Японии с участием сотрудников НИИЯФ МГУ, включая автора диссертации. Эти эксперименты упомянуты в главе 4 рассматриваемой диссертации, подраздел 4.4.2.

Выражение (9) в первой главе диссертации $E_\gamma \approx E_{e^+} + 0,76 \text{ МэВ}$, где в лабораторной системе координат имеется в виду, что E_γ – энергия вылетающего в переднюю полусферу аннигиляционного фотона, а E_{e^+} – кинетическая энергия падающего позитрона, не является верным. Правильно было бы написать $E_{\gamma \text{ max}} = E_{e^+} + 1,5\mu_e$, где в лабораторной системе координат: $E_{\gamma \text{ max}}$ – максимальная энергия аннигиляционного фотона (вылетающего в направлении падающего позитрона); E_{e^+} – кинетическая энергия падающего позитрона; μ_e – полная энергия покоящегося электрона (или позитрона).

Имеются также некоторые опечатки, например, на стр. 39, подпись к рис. 3 вместо «в – $\sigma(\gamma, xn)$ » надо «в – $\sigma(\gamma, 2n)$ », а на стр. 103, строка 2 сверху вместо « ^{193}Rh », надо « ^{103}Rh ».

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 **Давыдов Александр Иванович** 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

 25 сентября 2023 г.

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