

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
о диссертационной работе Леонида Завеновича Джилавыяна  
«Фотоядерные исследования в области гигантских резонансов в прямых  
и обратных реакциях»,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических  
наук по специальности 01.04.16 –  
физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа Л.З. Джилавыяна посвящена исследованию прямых и обратных фотоядерных реакций в области мультипольных гигантских резонансов в атомных ядрах. Такие исследования ведутся уже более пятидесяти лет, однако продолжают оставаться актуальными, поскольку гигантские резонансы являются основными коллективными возбуждениями в атомных ядрах и тесно связаны со свойствами ядерной материи и нуклон-нуклонных взаимодействий в ядерной среде. Исследования проводятся с использованием прямых фотоядерных реакций на пучках электронов, позитронов, тормозных и квазимонохроматических аннигиляционных фотонов, а также реакций, обратных фотоядерным. Результаты, получаемые в прямых и обратных реакциях, взаимно дополняют друг друга.

В работе Л.З. Джилавыяна прямые фотоядерные реакции исследовались на импульсных ускорителях электронов с энергией до 100 МэВ. Изучались реакции под действием реальных тормозных и аннигиляционных фотонов, образуемых на пучках электронов и позитронов, а также под действием виртуальных фотонов. Обратные реакции изучались на ускорителе-тандеме в Леньяро (Италия) на пучках ионов  $^2\text{H}$  и  $^{32}\text{S}$  при энергиях возбуждений синтезируемых ядер соответственно до 40 МэВ и 80 МэВ.

Для получения большого количества важных научных результатов, диссертантом выполнен ряд специальных методических работ. Многие из этих результатов получены впервые. В первую очередь следует отметить разработку методик мониторинга пучка электронов с помощью переходного излучения в оптическом диапазоне и измерения дифференциальных коэффициентов ( $e^-/e^+$ )-конверсии при энергии электронов в области от 25 до 60 МэВ. С использованием новых методик диссертантом детально изучены процессы возбуждения изовекторного электрического квадрупольного резонанса в реакциях  $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196\text{m.g}}\text{Au}$ - и  $^{197}\text{Au}((e^-), (e^-)n)^{196\text{m.g}}\text{Au}$ -, фотоделения ядра  $^{238}\text{U}$ , многократного рассеяния электронов на ядрах Be, Nb, Ta, и многие другие.

Практическая значимость работы обусловлена получением новых данных по фотоядерным реакциям, которые могут быть использованы в различных научных центрах соответствующего профиля, а также - для различных приложений, включая получение

радионуклидов  $^{18}\text{F}$  для позитронно-эмиссионной томографии и  $^{67}\text{Cu}$  для радиоиммунотерапии, а также для разработки ( $^{12}\text{N}$ ,  $^{12}\text{B}$ )-активационного детектирования скрытых взрывчатых веществ и наркотиков. Результаты, полученные диссертантом внесены в международную базу данных по ядерным реакциям, поддерживаемую Сетью Центров ядерных данных Международного агентства по атомной энергии.

Актуальность, новизна и практическая ценность диссертации не вызывают сомнений.

Диссертация включает в себя Введение, шесть Глав, Заключение, два Приложения и список литературы. Общий объем диссертации составляет 264 страницы, она содержит 15 таблиц, 102 рисунка, Список цитированной литературы включает в себя 416 наименований.

Во Введении обоснована актуальность тематики диссертации, сформулированы ее основные цели и задачи, описаны научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, приведено краткое общее содержание работы.

В первой Главе рассматриваются методы получения пучков электронов и позитронов с улучшенными параметрами на линейном ускорителе ЛУЭ-100 ИЯИ РАН. Изучены вопросы транспортировки, формирования и анализа пучков. Проведено экспериментальное исследование многократного рассеяния электронов при энергии 50 МэВ.

Во второй Главе изучены характеристики ( $e^-/e^+$ )-конверсии, включая данные по дифференциальному коэффициенту ( $e^-/e^+$ )-конверсии, при энергии электронов от 25 до 60 МэВ. Изучена динамика ускорения позитронов. На ускорителе ЛУЭ-100 получен пучок позитронов с энергией от 6 до 70 МэВ, использованный для калибровок рентгеновских эмульсий, а также сцинтилляционных и черенковских детекторов.

В третьей Главе изучены оптимальные условия получения прецизионных пучков реальных фотонов как от тормозного излучения электронов и позитронов, так и от аннигиляции позитронов на лету, а также виртуальных фотонов в ядерных реакциях под действием электронов и позитронов. Впервые разработан метод расчета потоков и спектров тормозных фотонов от электронов для толстых радиаторов, что находит применение в исследованиях фотоядерных реакций с малыми сечениями. Результаты моделирования хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

Четвертая Глава посвящена исследованию изовекторных гигантских резонансов в ядрах в реакциях с квазимонохроматическими аннигиляционными фотонами. С учетом временных характеристик импульсных резонансных ускорителей электронов выбраны методики регистрации продуктов исследуемых реакций. Приведены результаты

измерений сечений парциальных реакций  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)$  и  $^{238}\text{U}(\gamma, F)$  с использованием активационного метода и трекового детектора осколков на основе тонких поликарбонатных пленок.

В пятой Главе приведены результаты исследования изовекторных дипольных и квадрупольных резонансов в реакциях с тормозными и виртуальными фотонами. Разработана феноменологическая модель гамма - каскадов в ядрах. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными при участии автора для ядер In и Au на микротроне в Ужгороде и на ЛУЭ-100 ИЯИ РАН. Для изотопов  $^{115}\text{In}$  исследовано поведение и структура сечения реакции  $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115\text{m}}\text{In}$  при энергии фотонов до 46 МэВ. Для изотопов  $^{197}\text{Au}$  выделен вклад изовекторного квадрупольного резонанса путем сопоставления выходов реакций  $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196\text{m.g}}\text{Au}$  и  $^{197}\text{Au}((e^-, e^-n)^{196\text{m.g}}\text{Au}$ . Изучены возможности фотоядерных методов для наработки радиоизотопов  $^{18}\text{F}$ ,  $^{47}\text{Sc}$  и  $^{67}\text{Cu}$  для ядерной медицины на основе проведенных исследований, а также детектирования изотопов углерода и азота, являющихся компонентами взрывных материалов, по возбуждению короткоживущих изотопов  $^{12}\text{N}$  и  $^{12}\text{B}$ .

В шестой Главе приведены результаты исследований обратных фотоядерных реакций  $^2\text{H}(d, \gamma)^4\text{He}$  и  $^{32}\text{S} + ^{27}\text{Al}$ , выполненных на тандеме в Legnaro (Италия). Измерены угловые и энергетические распределений фотонов, указывающие на существенный вклад D-волны в волновую функцию основного состояния ядра  $^4\text{He}$ . Получены новые данные о ширинах дипольных гигантских резонансов, построенных на возбужденных состояниях  $^{59}\text{Cu}$  при энергиях возбуждения до 77 МэВ и значениях спинов до 38  $\hbar$ .

В Заключение приведены основные результаты диссертационной работы, среди которых можно выделить следующие:

- Разработана методика измерения фотоядерных реакций с малыми сечениями на пучках тормозных фотонов с использованием радиаторов больших толщин, близких к радиационной длине. Изучены различия в спектрах тормозного излучения от позитронов и электронов. Проведены расчеты спектров виртуальных фотонов различной мультипольности. На ускорителе ЛУЭ-100 получены пучки аннигиляционных фотонов с интенсивностью до  $2 \cdot 10^5 \gamma/\text{с}$  при энергиях 10÷40 МэВ с энергетическим разрешением до 350 кэВ.
- Выполнены исследования вкладов изовекторного E2 гигантского резонанса в сечения фотоядерных реакций  $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115\text{m}}\text{In}$  при энергии фотонов (4÷46) МэВ. Разработана программа расчетов ядерных  $\gamma'$ -каскадов и показано, что при большой разнице спинов основного и возбужденного состояний изомерные отношения выходов возрастают для E2-возбуждений примерно на порядок по сравнению с E1-

возбуждениями. Впервые выделен вклад изовекторного E2 гигантского резонанса при заселении высокоспиновых изомерных состояний ядра  $^{196}\text{Au}$  в фото- и электронно-нейтронных реакциях. Рассмотрены возможности развития метода выделения вкладов изовекторного E2 гигантского резонанса при измерениях асимметрии испускания нейтронов в  $(\gamma, n)$ -реакции на ядрах Pb.

- Активационной методикой исследована  $(\gamma, p)$ -реакция на изотопах Ti в области гигантского дипольного резонанса. Показано, что результаты расчетов, выполненных на основе разработанной в НИИЯФ МГУ комбинированной модели фотонуклонных реакций с учетом изоспинового расщепления гигантского резонанса, значительно лучше по сравнению с результатами других моделей описывают экспериментальные данные.
- На ускорителе-тандеме в Legnaro (Италия) измерены энергетические спектры и угловые распределения фотонов из реакции  $^2\text{H}(d, \gamma)^4\text{He}$ , обратной фотоядерной, и энергетические спектры фотонов из реакции  $^{32}\text{S} + ^{27}\text{Al}$ . Получены указания на вклад D-волны в основном состоянии ядра  $^4\text{He}$  и на уширение гигантских E1 резонансов, построенных на возбужденных состояниях ядра  $^{59}\text{Cu}$ , при больших вносимых в ядро моментах за счет динамической деформации.
- На пучке квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов измерены сечения реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$  при энергиях фотонов  $(12\div 25)$  МэВ, а также реакции фотоделения  $^{238}\text{U}(\gamma, f)$  при энергии фотонов 10 МэВ.
- На пучках электронов и позитронов разработаны и проведены калибровки ядерных эмульсий, рентгеновских пленочных детекторов, а также черенковских и сцинтилляционных детекторов, используемых в исследованиях космических лучей и ядерной физике.
- Предложены методы наработки на ускорителях электронов радиоизотопов для медицины. Экспериментально в реакциях  $^{23}\text{Na}(\gamma, \alpha n)^{18}\text{F}$  и  $^{68}\text{Zn}(\gamma, p)^{67}\text{Cu}$  получены и с помощью радиохимических методов выделены изотопы  $^{18}\text{F}$  и  $^{67}\text{Cu}$  со значимо высокими полными и удельными активностями.
- Исследованы особенности фотоядерного ( $^{12}\text{N}$ ,  $^{12}\text{B}$ )-активационного метода детектирования скрытых взрывчатых веществ и наркотиков по содержанию углерода и азота.

Достоверность полученных результатов подтверждается согласием с литературными данными и не вызывает сомнения.

Основные результаты диссертации отражены в 49 публикациях, в том числе в статьях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Они широко обсуждались на российских и международных конференциях. Диссертация Л.З. Джилавяна выполнена на высоком научном уровне, автором получены важные результаты, многие из которых являются пионерскими и представляют собой крупные достижения в области исследований физики гигантских резонансов в атомных ядрах.

Тем не менее, диссертационная работа не лишена определенных недостатков.

1. Во Введении при обзоре основных методов получения квазимоноэнергетических фотонов представляется не вполне оправданным приоритет метода мечения фотонов, использованного относительно редко, перед методом аннигиляции на лету релятивистских позитронов, использовавшимся существенно более часто.
2. Представляется неоправданным размещение материалов, посвященных методам «монокроматизации» фотонов и принципам получения пучков ультрарелятивистских позитронов, имеющих прямое отношение к теме диссертации «Фотоядерные исследования...», в Приложениях (соответственно 1 и 2), при том, что методические вопросы, имеющие к теме диссертации гораздо более косвенное отношение, собраны в первые три Главы диссертации, объем которых составляет около 2/3 общего объема диссертации.
3. Содержание первых трех Глав диссертации, посвященных прецизионным пучкам электронов, позитронов и фотонов, изложено с излишне большим количеством технических подробностей, существенно затрудняющим восприятие основных результатов и выводов автора. Примерами могут служить не вполне уместные детали: «у каждой секции ЛУЭ-50 есть кожух водоохлаждения...», «Изготовление таких блоков и плит велось в стальных разборных опалубках с довольно высокой для железобетонных изделий точностью...».
4. Следует отметить определенные недостатки оформления диссертации, во многих случаях существенно затрудняющих восприятие материала:
  - приведено очень большое количество формул, представляющих различные параметры или описывающие разные реакции, все они (за исключением семи в разделе 5.4) не нумерованы;
  - во многих случаях в тексте рисунок появляется за несколько страниц до его пояснения;

- претензии могут быть предъявлены к качеству некоторых рисунков (например, Рис. 23, 24, 59, 60) и подписей к ним; так, например, Рис. 95 (стр. 200) не имеет значений шкалы ординат, кривые, аппроксимирующие экспериментальные данные, выходят за поле рисунка; вызывает удивление подпись к Рис. 78 (стр. 172) – « $\alpha_Y\{E_e\}$  из [288]».

В заключение следует отметить, что излишне сложный стиль изложения материала диссертации во многих случаях осложняет восприятие основных результатов и выводов диссертанта. В тексте диссертации имеются стилистические неточности и орфографические опечатки.

Отмеченные недостатки, безусловно, не влияют на общую положительную оценку работы, выполненную на высоком научном уровне, в которой получено большое количество важных научных результатов.

Автореферат диссертационной работы Л.З. Джилавына в целом полно и правильно отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а сам Леонид Завенович Джилавын заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16.

О себе сообщаю следующее:

ФИО: Варламов Владимир Васильевич;

Почтовый адрес: 119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, НИИЯФ МГУ;

Тел.: +7 (495) 9393483;

Адрес электронной почты: [Varlamov@depni.sinp.msu.ru](mailto:Varlamov@depni.sinp.msu.ru);

Наименование организации: Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета имени

М.В.Ломоносова, Отдел электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер;

Занимаемая должность: главный научный сотрудник.

Главный научный сотрудник  
ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ  
доктор физико-математических наук  
по специальности 01.04.16 –  
физика атомного ядра и элементарных частиц  
профессор

28.03.2017

В.В.Варламов

Подпись В.В.Варламова заверяю:

Директор  
Научно-исследовательского института ядерной физики  
имени Д.В.Скобельцына  
Московского государственного университета  
имени М.В.Ломоносова  
профессор

М.И.Панасюк

Варламов Владимир Васильевич

Главный научный сотрудник ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Профессор

Список основных публикаций за последние 5 лет:

1. B.S.Ishkhanov, V.N.Orlin, N.N.Peskov, V.V.Varlamov. Photoneutron reactions in the range of Giant Dipole Resonance. *Physics of Particles and Nuclei*, 48, N1 (2017) 76 – 83.
2. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин, Н.Н.Песков. Данные по фотонейтронным реакциям из разных экспериментов для ядер  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{138}\text{Ba}$  и  $^{209}\text{Bi}$ . *Ядерная физика*, 79, N4 (2016) 315 - 327.
3. V.V.Varlamov, A.I.Davydov, M.A.Makarov, V.N.Orlin, N.N.Peskov. Reliability of the data on the cross sections of the partial photoneutron reaction for  $^{63,65}\text{Cu}$  and  $^{80}\text{Se}$  nuclei. *Bull. Rus. Acad. Sci. Phys.*, 80, №3 (2016) 317 - 324.
4. В.В.Варламов, М.А.Макаров, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов. Фоторасщепление изотопов  $^{186,188,189,190,192}\text{Os}$ : сходство и различия. *Ядерная физика*, 78, N9 (2015) 797 - 807.
5. В.В.Варламов, М.А.Макаров, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов. Новые данные по сечениям парциальных и полных фотонейтронных реакций для изотопов  $^{91,94}\text{Zr}$ . *Ядерная физика*, 78, N7-8 (2015) 678 - 686.
6. D.Filipescu, A.Anzalone, D.L.Balabanski, S.S.Belyshev, F.Camera, M.La Cognata, P.Constantin, L.Csige, P.V.Cuong, M.Cwiok, V.Derya, W.Dominik, M.Gai, S.Gales, I.Gheoghe, B.S.Ishkhanov, A.Krasznahorkay, A.A.Kuznetsov, C.Mazzocchi, V.N.Orlin, N.Pietralla, M.Sin, C.Spitaleri, K.A.Stopani, O.Tesileanu, C.A.Ur, I.Ursu, H.Utsunomiya, V.V.Varlamov, H.R.Weller, N.V.Zamfir, A.Zilges. Perspectives for photonuclear research at the Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP) facility. *Eur. Phys. J. A* 51, 12 (2015) 185.
7. S.S.Belyshev, D.M.Filipescu, I.Gheoghe, B.S.Ishkhanov, V.V.Khankin, A.S.Kurilik, A.A.Kuznetsov, V.N.Orlin, N.N.Peskov, K.A.Stopani, O.Tesileanu, V.V.Varlamov. Multinucleon photonuclear reactions on  $^{209}\text{Bi}$ : Experiment and evaluation. *Eur. Phys. J. A* 51, 6 (2015) 67 (9 pages).
8. S.S.Belyshev, B.S.Ishkhanov, V.V.Khankin, A.A.Kuznetsov, V.N.Orlin, N.N.Peskov, M.E.Stepanov, K.A.Stopani, V.V.Varlamov. Photoneutron Cross Sections on Naturally Present Osmium Isotopes. В сборнике *Osmium: Synthesis, Characterization and Applications*, серия *Chemistry Research and Applications*, Издательство Nova Science Publishers (Hauppauge, NY, United States), ISBN: 978-1-63483-483-4, 2015, pp. 101 - 153.
9. В.В.Варламов, М.А.Макаров, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов. Достоверные сечения парциальных фотонейтронных реакций на изотопах  $^{188,189}\text{Os}$ , свободные от проблем разделения нейтронов по множественности. *Известия РАН, серия физическая*, 78, №5 (2014) 599 - 608.

10. V.V.Varlamov, B.S.Ishkhanov, V.N.Orlin, K.A.Stopani. A new approach for analysis and evaluation of partial photoneutron reaction cross sections. *Eur. Phys. J. A* 50 7 (2014) 114.
11. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин, Н.Н.Песков, К.А.Стопани. Фотоядерные реакции в астрофизике. *Ядерная физика*, 77, N12 (2014) 1491 - 1504.
12. B.S. Ishkhanov, V.N. Orlin, K.A. Stopani and V.V. Varlamov. Photonuclear Reactions and Astrophysics. In "The Universe Evolution: Astrophysical and Nuclear Aspects", Ed. by I. Strakovsky and L. Blokhintsev. Nova Science Publishers, New York, 2013, (Hauppauge, NY, United States), pp. 111 – 183.
13. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов. Новые данные о парциальных фотонейтронных реакциях  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, 2n)$  и  $(\gamma, 3n)$ . *Ядерная физика*, 76, N11 (2013) 1484 - 1495.
14. B.S.Ishkhanov, V.N.Orlin, V.V. Varlamov. Total and partial photoneutron reactions cross sections – new analysis and evaluation. *EPJ Web of Conferences*. 38 (2012) 12003 – 12003-p.7.
15. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин. Новый подход к анализу и оценке сечений парциальных фотонейтронных реакций. *Ядерная физика*, 75, №11 (2012) 1414 – 1424.