

ОТЗЫВ

официального оппонента Бессонова Евгения Григорьевича о диссертационной работе Джилавяна Леонида Завеновича «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. Джилавяна посвящена фотоядерным исследованиям в области мультипольных гигантских резонансов (ГР), а также исследованиям, связанным с ускорительной техникой, на которой проводились эти эксперименты. К последним относятся проблемы получения электронных и позитронных пучков обладающих малым эмиттансом (размерами, угловым и энергетическим разбросом) и пучков узконаправленных тормозных и аннигиляционных фотонов. Электронные и позитронные пучки здесь рассматриваются в качестве носителей виртуальных фотонов. Мне ближе ускорительные проблемы. Поэтому я в основном на них остановлюсь ниже. С другой стороны, оригинальные работы, представленные автором на актуальную тему ГР, выполнены при высоких для того времени точностях и на достаточно высоком уровне. В достижении этого уровня заметную роль сыграли работы автора в области ускорительной науки и техники.

В диссертации прямые реакции исследовались в основном на импульсном линейном электронном ускорителе ЛУЭ-100 ИЯИ РАН, выдававшим пучки электронов, позитронов, тормозных и аннигиляционных фотонов с энергиями вплоть до ~100 МэВ. Обратные реакции изучались на пучках ионов на ускорителе-тандале в Леньяро (Италия). Ряд результатов в области ускорительной науки и техники получен впервые. К ним относятся:

1. Автор одним из первых использовал переходное излучение электронов для мониторинга размеров их пучков.

2) Впервые экспериментально измерен дифференциальный коэффициент конверсии (e^-/e^+) при энергиях электронов от 25 до 60 МэВ. Отсюда и теоретически показано, что для генерации пучка позитронов оптимальная энергия электронов в пучке с фиксированной мощностью на конвертере составляет ~(60÷90) МэВ. Это означало, что в рамках разработанной автором модели конверсионных систем ЛУЭ на номинальные энергии электронов до ~100 МэВ при получении позитронов с энергиями больше~30 МэВ конвертер следует устанавливать при энергиях ~(30÷50) МэВ и далее ускорять позитроны в остальной части ЛУЭ. При энергиях позитронов менее 30 МэВ конвертер следует устанавливать прямо на выходе из ЛУЭ. Этот вывод подтвердился в более поздних работах других авторов.

3) Экспериментально исследовано многократное рассеяние электронов с энергиями порядка нескольких десятков МэВ в веществах с порядковыми номерами $Z=4, 41, 73$. Показано, что расчетные спектры тормозных фотонов от электронов, полученные Сельцером

и Бергером, а также ранее Шиффом, заметно отличаются друг от друга, что может привести к существенным искажениям извлекаемых с их помощью расчетных сечений $E1$ ГР в прецизионных измерениях на тормозных фотонах.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, двух приложений и списка литературы.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована ее цель, дано краткое изложение ее содержания.

Первая глава посвящена получению на импульсных резонансных ускорителях электронов прецизионных пучков электронов для исследований в области ядерной физики, а также для ряда других приложений. Описаны созданные под руководством автора на ЛУЭ-100: системы транспортировки, формирования и анализа получаемых пучков электронов и позитронов; магнитный спектрометр с захватываемыми разбросом энергий $(\Delta E^+/E^+) \cong \pm 1.3\%$ и телесным углом $\Delta\Omega^{\pm} \cong 0.5 \cdot 10^{-4}$ ср; система мониторов пучков электронов, включающая основанные на использовании переходного излучения. Исследования, моделирование, реконструкция, юстировки и настройки ЛУЭ обеспечили экспериментаторов пучками ускоренных электронов с пучковой наработкой в несколько тысяч часов в год и несколько сотен часов в сеансе; с удвоенными максимальными средними токами до ~ 17 мкА; с удвоенными максимальными энергиями до ~ 100 МэВ; с расширенным диапазоном доступных энергий $\sim (6 \div 100)$ МэВ; с разбросами по энергии до $\sim (\pm 0.4)\%$. Описано проведенное на полученном пучке электронов, близком к «игольчатому», экспериментальное исследование многократного рассеяния электронов при их энергии $E^- \cong 50$ МэВ.

Вторая глава посвящена получению пучков позитронов для исследований позитрон-ядерных реакций, и для получения квазимонохроматических аннигиляционных фотонов. Даны результаты проведенных исследований дифференциального коэффициента (e^-/e^+) -конверсии в конвертере (оптимальном по Z и по толщине, а именно, для Та с толщиной 1.3 радиационной длины) при E^- от 25 до 60 МэВ и динамики ускорения позитронов в резонансных ЛУЭ. Найдены оптимальные энергии электронов в пучках с фиксированной мощностью для генерации позитронов, которые составляют $\sim (60 \div 90)$ МэВ. Проведено сопоставление генерации позитронов с дополнительным ускорением и без него с использованием разработанной модели такого ускорения. Приводятся результаты проведенных на различных полученных прецизионных пучках позитронов калибровок рентгеновских эмульсий, а также (на пучках «одиночных» позитронов) сцинтилляционных и черенковских детекторов, используемых при исследованиях и космических лучей, и ГР в атомных ядрах.

Третья глава посвящена проведенным исследованиям свойств и оптимальных условий получения прецизионных пучков реальных фотонов от тормозного излучения электронов и позитронов и от аннигиляции позитронов на лету, а также получения виртуальных фотонов в электрон- и позитрон- ядерных реакциях. Показано появление преувеличенно больших тонких (с характерными ширинами ~ 100 кэВ) структур в сечениях фото-ядерных реакций в области E1 ГР из-за различий используемых спектров тормозного излучения (с одной стороны, Шиффа, а с другой стороны, Сельцера и Бергера). Для исследований в области ГР в ядрах дано сопоставление тормозного излучения электронов и позитронов для учета фона от тормозных фотонов, испускаемых позитронами из аннигиляционной мишени наряду с образуемыми в ней ими квазимонохроматическими аннигиляционными фотонами. Описан разработанный метод расчета потоков и спектров тормозных фотонов от электронов для толстых радиаторов, используемых при исследованиях фото-ядерных реакций с малыми сечениями. Приводятся результаты расчетов по разработанной методике потоков и спектров квазимонохроматических фотонов от аннигиляции позитронов на лету в их сопоставлении с полученными на ЛУЭ-100. Рассмотрены особенности спектров виртуальных фотонов в электрон- и позитрон- ядерных реакциях и показано, в частности, что для электрон-ядерных реакций при $E^- \cong 50$ МэВ доля E2 виртуальных фотонов в области их энергий ~ 20 МэВ превышает соответствующую величину для E1 виртуальных фотонов в ~ 3 раза. Сообщается о возможностях получения при соединении ЛУЭ с ускорителями-накопителями пучков тормозных меченых фотонов от электронов (с внутренними для накопителя струйной мишенью-радиатором и системой мечения) и аннигиляционных фотонов от позитронов (с внутренней накопительной H_2 мишенью).

В Заключении приведены основные результаты работы, из которых нужно выделить:

- Создана первая в нашей стране установка для генерации на импульсном линейном ускорителе электронов ЛУЭ-100 ИЯИ РАН прецизионных пучков электронов, позитронов, тормозных и квазимонохроматических аннигиляционных фотонов в широких динамических диапазонах их параметров для исследований ГР. Получены пучки: электронов со средними токами до ~ 17 мкА при энергиях $\sim (6 \div 100)$ МэВ и их разбросах до $\sim (\pm 0.4)\%$; позитронов с интенсивностью до $\sim 10^9$ e^+/c при энергиях $(6 \div 70)$ МэВ и их разбросах $(1 \div 2)\%$; квазимонохроматических аннигиляционных фотонов с интенсивностью $\sim (0.1 \div 2) \cdot 10^5$ γ/c при энергиях $\sim (10 \div 40)$ МэВ и их разбросах до $\sim (350 \div 550)$ кэВ.
- Выполнен анализ расчетных спектров реальных тормозных фотонов от электронов и позитронов, аннигиляционных фотонов от позитронов, а также виртуальных фотонов

различной мультипольности в электрон- и позитрон- ядерных реакциях с целью изучения роли различий этих спектров при исследованиях ГР. Разработан метод расчета потоков и спектров тормозных фотонов от электронов и решения прямой и обратной задач в фотоядерных экспериментах с толстыми радиаторами и мишенями при исследованиях реакций с малыми сечениями.

- При энергии электронов 50 МэВ измерены угловые распределения их многократного рассеяния на фольгах Ве, Nb и Та и получено экспериментальное подтверждение теории многократного рассеяния Мольер. На пучках электронов и позитронов проведены калибровки ядерных эмульсий и рентгеновских пленочных детекторов, используемых при исследованиях космических лучей. На пучке «одиночных» позитронов проведены калибровки черенковских и сцинтилляционных детекторов, использованных при фотоядерных исследованиях в области гигантских резонансов и в исследованиях космических лучей с помощью искусственных спутников Земли
- На квазимонохроматических аннигиляционных фотонах измерены сечения реакции $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{623}\text{Cu}$ (при энергиях фотонов (12÷25) МэВ с использованием двухкристальной «совпадательной» активационной методики, выделяющей конкретные парциальные реакции) и реакции $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ (при энергии фотонов 10 МэВ впервые с использованием прямой регистрацией осколков деления).
- Впервые оригинальным методом при заселении изомерных состояний ядер ^{196}Au (высокоспинового ($J=12^-$) и основного ($J=2^-$)) в фото- и электро- нейтронных реакциях найден вклад изовекторного E2 ГР, для выделения которого на фоне превалирующего изовекторного E1 ГР из литературы известны серьёзные трудности.

Все результаты диссертационной работы являются обоснованными и их достоверность подтверждается в значительной степени результатами, полученными позже другими исследователями, и не вызывает сомнения.

Основные результаты диссертации опубликованы в 49 статьях. 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 для исследований в области физики ГР в атомных ядрах.

В качестве недостатка диссертационной работы следует указать на то, что в ней не отражены современные работы по получению пучков электронов с малыми эмиттансами и фотонных пучков большой светимости.

Однако указанный недостаток не умаляет научную ценность диссертационной работы, а её общая оценка остается положительной.

Автореферат диссертационной работы Л.З. Джилавяна в целом полно и правильно отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842,, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а сам Леонид Завенович Джилавян заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 (физика атомного ядра и элементарных частиц.).

18.04.2017

Е.Г. Бессонов

Доктор ф.-м. наук,
г. н. с. Отделения ядерной физики
и астрофизики ФИАН
E-mail: bessonov@x4u.lebedev.ru
Тел.: 8-495-851-02-41; 8-916-379-07-98
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук,
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53,

Подпись Е.Г. Бессонова удостоверяю

Ученый секретарь Физического института
имени П.Н. Лебедева РАН
к. ф.-м. н.

А.В. Колобов

Бессонов Евгений Григорьевич

Главный научный сотрудник Отделения ядерной физики и астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02– теоретическая физика

Список основных публикаций за последние 5 лет:

1. E.G.Bessonov, Light Sources Based on Relativistic Ion Beams. Nucl. Instrum. and Meth. B309 (2013) 92-94.
2. E. G. Bessonov, A. L. Osipov, A. A. Mikhailichenko, Fast Laser Cooling of Long-lived Ion Beams. Proceedings of the International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, COOL'13, p.94-96, 2013. See proceedings on the site <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/COOL2013/papers/weppo01.pdf> and in arXiv <http://arxiv.org/abs/1305.7036>
3. Е.Г.Бессонов, Об одном пути к преобразованиям Лоренца. Успехи Физических Наук, 2016, Том.186, No 5, стр. 537-541.
4. Е.Г.Бессонов. Статьи в Большую Российскую Энциклопедию (БРЭ): «Ондулятор»; «Ондуляторное излучение»; «Лоренца преобразования»; «Пуанкаре принцип относительности». Москва, БРЭ.
5. I.A.Artyukov, E.G.Bessonov, M.V.Gorbunkov, Yu.Ya.Maslova, N.L.Popov, A.V.Vinogradov, Thomson linac-based X-ray generator: a primer for theory and design, Laser and Particle Beams, Vol. 34, Issue 4 (2016), pp.637-644.
6. L. Ovchinnikova, V. Shvedunov, A. Mikhailichenko, E. Bessonov, M. Gorbunkov, A COMPARATIVE STUDY OF LOW-ENERGY COMPACT STORAGE RINGS FOR A THOMSON SCATTERING X-RAY SOURCE, Proceedings of the International Particle Accelerator Conference, 2016, Busan, Korea, pp. 3308-3310. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ipac2016/papers/thpmb035.pdf>
7. E.G. Bessonov, D. Budkery, K. Cassou, K. Dupraz, A. Martens, F. Zomer, P. Czodrowski, O.Dadoun, M. W. Krasny, M. Kowalska, A. Petrenko, W. Placzek, Y. K. Wu, M.S.Zolotarevy, The Gamma Factory Initiative, Presented at the Physics Beyond Colliders Workshop 6 -7 September 2016, CERN, Geneva. См. сайт: https://indico.cern.ch/event/523655/contributions/2223400/attachments/1332877/2003922/Krasny_Gamma_Factory_PBC_Sept2016.pdf; <https://indico.cern.ch/event/523655/contributions/>; <https://indico.cern.ch/event/523655/attachments/1262505/1978205/PBC-Kickoff-AllSubmittedAbstracts.pdf>
8. E.G.Bessonov, A.A.Mikhailichenko. "Comment on "Coherent Electron Cooling", presented to Phys. Rev. SpecialTopics Accelerators and Beams. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1309/1309.0839.pdf>
9. E.G.Bessonov, M.V.Gorbunkov, A.V.Vinogradov, Yu.Ya.Maslova, A.A.Mikhailchenko, TO THE THOMPSON CROSS SECTION OF LIGHT SCATTERED BY MOVING PARTICLE Краткие сообщения по физике ФИАН, 2017; <http://arxiv.org/abs/1605.01433>