

## Отзыв

официального оппонента Балдина Антона Александровича на диссертацию Стрижака Александра Олеговича «Измерение комптоновского рассеяния запутанных идекогерентных аннигиляционных фотонов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа А.О.Стрижака посвящена исследованию корреляций аннигиляционных фотонов в двух квантовых состояниях: максимально запутанном и декогерентном. Приятно отметить, что исследование нацелено на экспериментальное решение фундаментальных задач, длительное время находящихся в фокусе внимания ученых, например, связанных с так называемым парадоксом Эйнштейна-Подольского-Розена. Также следует отметить, что решение фундаментальной проблемы квантовой запутанности может использоваться в широком спектре задач в связи с новой концепцией позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ). В настоящее время несколько международных групп заняты разработкой нового поколения ПЭТ. Отметим, что прямого экспериментального сравнения корреляций в комптоновском рассеянии запутанных и декогерентных фотонов не было до последнего времени. Это придает представленной работе не только актуальность, но и научную новизну.

Основное внимание в диссертации уделено обсуждению созданной в ИЯИ РАН экспериментальной установки ИЗАФ (Исследование Запутанных Аннигиляционных Фотонов). Установка создана для измерения квантовых корреляций в комптоновском рассеянии как изначально запутанных, так и декогерентных аннигиляционных фотонов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Список литературы включает в себя 104 наименования. Полный объем диссертации составляет 126 страниц и включает в себя 60 рисунков. Текст работы изложен понятным языком, а изложенные результаты многократно представлены автором на различных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах.

Во введении приведен достаточно подробный обзор современного состояния исследований, направленных на изучение квантовой запутанности. Также, в нём указывается цель диссертационной работы, описываются задачи, стоящие перед автором. Обсуждается научная новизна, обосновывается

актуальность проводимого исследования.

В первой главе изложен формализм описания запутанных состояний, обосновывается запутанность аннигиляционных фотонов с применением указанного формализма. Обсуждаются способы экспериментального доказательства запутанности пары аннигиляционных фотонов.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки ИЗАФ.

В третьей и четвертой главах достаточно подробно описаны система сбора и анализа экспериментальных данных на установке ИЗАФ, разработанные автором.

В пятой главе обсуждаются основные полученные на установке результаты по измерению комптоновского рассеяния аннигиляционных фотонов в запутанном и декогерентном состояниях. Методы доказательства запутанности аннигиляционных фотонов представляются обоснованными. Особенно важно отметить, что полученные результаты не совпадают с широко распространенным суждением о полной потере запутанности при взаимодействии фотонов с окружающей средой и отсутствии корреляций в подобном смешанном состоянии.

В Заключении диссертации приведены основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

Были исследованы азимутальные корреляции рассеянных фотонов для запутанного и декогерентного начального состояния. В пределах статистической точности было получено одно и то же отношение для обоих - запутанного и декогерентного - квантовых состояний. Данный вывод подтверждается также анализом событий с различным кинематиками рассеяния.

Я тщательно пытался найти, к чему можно было бы придраться в данной диссертационной работе и сформулировать замечание. Не нашел. Считаю эту работу блестящей с научной и методической точек зрения. Хочу отметить, что текст диссертации написан хорошим грамотным языком.

Полученные автором результаты имеют существенное значение как для фундаментальной физики, так и для прикладных задач. Материалы диссертации полностью изложены в опубликованных работах автора. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Новизна работы очевидна вследствие оригинальности эксперимента и полученных данных по декогерентным аннигиляционным фотонам.

С учётом вышеизложенного считаю, что диссертация Стрижака

Александра Олеговича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2–Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,  
Балдин Антон Александрович,  
доктор физико-математических наук  
по специальности 01.04.16 –«Физика атомного ядра и элементарных частиц».  
Тел. +7 (49621) 65565, адрес электронной почты: [baldin@jinr.ru](mailto:baldin@jinr.ru)

Международная межправительственная организация Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), Лаборатория физики высоких энергий, «Научно экспериментальный отдел теоретической и методической поддержки проектов», начальник отдела.

141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио- Кюри, 6

«15» мая 2024г.

А. А. Балдин

---

Подпись (Балдина Антона Александровича) удостоверяю:

Учёный секретарь

А. П. Чеплаков

---

### Сведения об оппоненте

Балдин Антон Александрович,

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 –«Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Baldin A. A. et al. Study of the residual nuclei generation in a massive lead target irradiated with 660 MeV protons // NuclInstrum Methods Phys Res A., 2020. –Vol. 959. –P. 163542.

2. Baldin A. A. et al. 208,207,206,natPb(p,x)207Bi and 209Bi (p,x)207Bi excitation functions in the energy range of 0.04 - 2.6 GeV// NuclInstrum Methods Phys Res A, 2020. –Vol. 984. –P. 164635.

3. Baldin A. A. et al. Scaling Behavior of Spectra of Protons, Deuterons, and Tritons Produced with High Transverse Momenta in pA and 12CA Collisions // JETP Lett, 2020. –Vol. 111– № 5. –P. 251–254.

4. Baldin A. A. et al. Lobachevsky space in analysis of relativistic nuclear interactions. New phenomenon—directed nuclear radiation // Journal of Instrumentation, 2020. –Vol. 15,– № 04.– P. C04041–C04041.

5. Baldin A. A. Applied research at the LHEP accelerator complex // Journal of Instrumentation, 2020. –Vol. 15, –№ 06. –P. C06051–C06051.

6. Baldin A. A. et al. NICA Beamlines and Stations for Applied Research. Phys // Part. Nuclei Lett, 2023. –Vol. 20. –P. 767–771.

7. Baldin, A. A. et al. Using Thin-Film Breakdown Counters for the Neutron Field Characterization in Experiments on “Quinta” Setup. Phys. Part. Nuclei, 2021. –Vol. 52. –P. 1033–1043 (2021).

8. Baldin, A. A. et al. FLAP Collaboration: Tasks and Perspectives. Study of Fundamentals and New Applications of Controllable Generation of Electromagnetic Radiation by Relativistic Electrons Using Functional Materials. Phys. Part. Nuclei Lett, 2021. –Vol 18. –P. 338–353.