

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.04 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27 апреля 2026 года № 53

О присуждении Каркарьяну Евгению Карапетовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Рождение заряженных лептонов в протон-протонных столкновениях на БАК» по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика принята к защите 2 февраля 2026 года (протокол заседания № 52) диссертационным советом 24.1.262.04 созданным 18 октября 2023 года приказом № 1975/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Каркарьян Евгений Карапетович, 21 июля 1997 года рождения, в 2021 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «Прикладные математика и физики». С 2021 года обучался в аспирантуре ФИАН по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2025 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2025 году. С 2020 г. работает в ФИАН в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника в лаборатории квантовой теории поля Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма (ОТФ).

Диссертационная работа Е.К. Каркарьяна выполнена в ОТФ ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Высоцкий Михаил Иосифович, высококвалифицированный главный научный сотрудник ОТФ ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Долгов Александр Дмитриевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией космологии и физики элементарных частиц ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет».
2. Дубинин Михаил Николаевич, доктор физико-математических наук, и.о. заведующего отделом теоретической физики высоких энергий, ведущий научный сотрудник лаборатории теории фундаментальных взаимодействий НИИЯФ МГУ.

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – ФГБУН Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН), в своем положительном отзыве, составленном главным научным сотрудником, доктором физико-математических наук Николаевым Николаем Николаевичем и утвержденным и.о. ученого секретаря ИТФ им. Л.Д. Ландау, доктором физико-математических наук Аксёновым Сергеем Владимировичем указала, что диссертация удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Е.К. Каркарьяном работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. S. I. Godunov, E. K. Karkaryan, V. A. Novikov, A. N. Rozanov, M. I. Vysotsky, E. V. Zhemchugov. LHC as a photon-photon collider: bounds on $\Gamma_{X \rightarrow \gamma\gamma}$. Phys.Rev.D., 103, 035016 (2021).

2. S. I. Godunov, E. K. Karkaryan, V. A. Novikov, A. N. Rozanov, M. I. Vysotsky, E. V. Zhemchugov. Forward proton scattering in association with muon pair production via the photon fusion mechanism at the LHC. Jetp Lett. 115, 59–62 (2022).

3. S. I. Godunov, E. K. Karkaryan, V. A. Novikov, A. N. Rozanov, M. I. Vysotsky, E. V. Zhemchugov. pp scattering at the LHC with the lepton pair production and one proton tagging. Eur.Phys.J.C 82 (2022) 11, 1055.

4. S. I. Godunov, E. K. Karkaryan, V. A. Novikov, A. N. Rozanov, M. I. Vysotsky, E. V. Zhemchugov. Weak interaction corrections to muon pair production via the photon fusion at the LHC. Phys.Rev.D 108 (2023) 9, 093006.

5. E. K. Karkaryan. Muon Production in Elastic Proton-Proton Scattering. Phys. Part. Nucl. Lett. 20 (2023) 6, 1449-1451.

6. E. K. Karkaryan. The Approach of Helicity Amplitudes to Calculation of the Muon Pair Production in Proton-Proton Scattering at the LHC. Phys.Part.Nucl. 55 (2024) 1, 176-179

7. E. K. Karkaryan. Z Boson Contribution into the Muon Pair Production in Proton-Proton Collisions. Moscow Univ.Phys.Bull. 79 (2024) Suppl 1, 154-157.

Выбор Долгова Александра Дмитриевича в качестве оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области физики элементарных частиц.

Выбор Дубинина Михаила Николаевича в качестве оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области физики элементарных частиц и высоких энергий.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН является центром исследований мирового уровня в области физики элементарных частиц, физики высоких энергий и квантовой теории поля.

Диссертационная работа Е.К. Каркарьяна посвящена теоретическому описанию процессов рождения лептонных пар в ультрапериферических и полуэксклюзивных соударениях протонов на БАК.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в процессах с рождением высокоэнергетических мюонов можно ожидать более заметного возможного проявления Новой Физики, предположительно отвечающей за расхождение между теоретической величиной аномального магнитного момента мюона и экспериментально измеренным значением. С другой стороны, данное исследование служит дополнительной проверкой предсказаний Стандартной Модели.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Был рассмотрен ультрапериферический процесс $p(\gamma\gamma)p \rightarrow p\mu^+\mu^-p$. В рамках метода эквивалентных фотонов была получена аналитическая формула для сечения данной реакции. Выведенное выражение позволяет естественным образом наложить экспериментальные ограничения на фазовый объем конечных продуктов. Прямым интегрированием без использования Монте-Карло симуляций было получено численное значение для сечения. Был рассмотрен гипотетический резонанс X с массой 28 ГэВ, который наблюдался коллаборацией CMS. Из предположения о его взаимодействии с мюонами и фотонами были выведены аналитические выражения для сечения $pp \rightarrow p\mu^+\mu^-p$ через резонанс $\gamma\gamma \rightarrow X \rightarrow \mu^+\mu^-$. Из сравнения с экспериментальными данными ATLAS было поставлено ограничение на взаимодействие X с фотонами.

2. Исследован полуэксклюзивный процесс, в котором наряду с упругим вкладом $p(\gamma\gamma)p \rightarrow p\mu^+\mu^-p$ имеется неупругий вклад $p(\gamma\gamma)p \rightarrow p\mu^+\mu^-X$. В рамках спирального представления были получены аналитические выражения для вкладов в сечение такого процесса от разных

поляризационных конфигураций фотонов. Неупругий процесс был исследован в рамках партонной модели. Были выведены матрицы плотности в спиральном представлении для протона с учетом его электрического и магнитного форм-факторов и для кварка с учетом партонных функций распределения. Было показано, что при аннигиляции фотонов с одинаковыми поперечными поляризациями проявляется киральная аномалия. Полученное выражение для полного сечения полуэксклюзивного процесса было вычислено с ограничениями на фазовый объем конечных продуктов, которые были наложены экспериментом ATLAS при исследовании данной реакции. С учетом фактора выживания и неопределенностей в партонных функциях распределения при низких энергиях полученный результат согласуется с экспериментальным на уровне двух-трех стандартных отклонений.

3. В неупругую часть полуэксклюзивного процесса $pp \rightarrow p\mu^+\mu^-X$ дает вклад слабое взаимодействие. Лидирующий борновский вклад дается излучением Z бозона из неупруго рассеивающегося протона. Были модифицированы матрицы плотности и амплитуды в спиральном представлении с учетом слабого взаимодействия. Вклад дает как интерференция диаграмм процессов $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $\gamma Z \rightarrow \mu^+\mu^-$, так и квадрат диаграммы процесса $\gamma Z \rightarrow \mu^+\mu^-$. Было показано, что весь вклад от слабого взаимодействия факторизуется в функцию от виртуальности $\kappa(Q^2_2)$. Было получено дифференциальное по инвариантной массе мюонной пары сечение с учетом обмена Z . При более сильном ограничении снизу на поперечный импульс пары при отборе событий на эксперименте поправка может достигать 20 %. Такой отбор событий обладает как теоретическим, так и экспериментальным преимуществом.

Научная новизна полученных результатов заключается в получении аналитических выражений для сечений процессов лепторождения в pp столкновениях с учетом ограничений на фазовый объем эксперимента ATLAS как для квазиупругого случая, так и для неупругого. Было показано, что результат согласуется с экспериментальными данными. Вычисление проводилось путем прямого численного интегрирования выведенных

формул без использования Монте Карло моделирования. Вычислена поправка от обмена Z бозоном к лидирующему фотон-фотонному слиянию, которая может быть значительной и потому может наблюдаться в эксперименте.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования обусловлена тем, что выполненные в работе теоретические расчеты позволяют сравнить предсказания Стандартной Модели с экспериментальными данными. В свою очередь, это позволяет оценить, насколько точно Стандартная Модель описывает реальные физические явления в соответствующем энергетическом диапазоне, а, следовательно, установить ограничения на проявление Новой Физики. При этом, в работе выведены аналитические выражения, которые позволяют рассматривать не только процессы в рамках Стандартной Модели, но и процессы, включающие частицы вне ее рамок (например, аннигиляцию через гипотетический скалярный резонанс X (28 ГэВ), что расширяет область применения используемого в работе подхода. Развитый метод позволяет анализировать как эксклюзивные (ультрапериферические столкновения), так и полужексклюзивные (например, когда один из протонов не детектируется) процессы на БАК, и может быть обобщен для применения к подобным процессам на будущих коллайдерах более высоких энергий.

Достоверность проведенных автором теоретических исследований подтверждается надежностью применявшегося в исследовании математического аппарата теоретической физики, согласием ряда частных результатов с результатами других авторов. А также представлением и успешным обсуждением результатов на семинарах и международных научных конференциях.

Три работы написаны соискателем единолично, в работах с соавторами все основные научные результаты, включенные в диссертацию Каркарьяна Е.К., получены при его непосредственном участии.

В ходе защиты соискатель Каркарьян Е.К. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 27 апреля 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Е.К. Каркарьяну учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научных задач по получению аналитических выражений для сечений процессов рождения лептонов в протон-протонных столкновениях, вычислению значений сечений с учетом ограничений на конечный фазовый объем и по анализу вклада от слабого взаимодействия в сечение полуэксклюзивного процесса.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве **12** человек, из них **12** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.3 – Теоретическая физика), участвовавшие в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени – **12**,
против присуждения учёной степени – **0**,
недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель диссертационного
совета член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Арсеев Пётр Иварович

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Чернышов Дмитрий Олегович

27 апреля 2026 г.