

Заключение диссертационного совета МГУ.013.2 (МГУ.01.11)
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

Решение диссертационного совета от «25» ноября 2022 г. №19
о присуждении Дудко Льву Владимировичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Физические основы и методы оптимизации исследований одиночного рождения топ-кварка на адронных коллайдерах» по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» принята к защите диссертационным советом 19.09.2022, протокол № 18.

Соискатель Дудко Лев Владимирович, 1971 года рождения, в 2001 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Одиночное рождение t-кварка на Tevatron в эксперименте D0. Феноменологические аспекты рождения t-кварка и Хиггс-бозона на современных и будущих коллайдерах» в диссертационном совете К.501.001.03 на базе МГУ имени М.В. Ломоносова.

Соискатель работает в Отделе экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова в должности заведующего лабораторией.

Диссертация выполнена в Отделе экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный консультант – Боос Эдуард Эрнстович, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующий Кафедрой общей ядерной физики Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор Кафедры физики атомного ядра и квантовой теории столкновений Физического факультета, заведующий Отделом экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Бедняков Вадим Александрович, доктор физико-математических наук, директор Лаборатории ядерных проблем имени В.П. Джелепова Международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований»;

Горбунов Дмитрий Сергеевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Отдела теоретической физики ФГБУН

«Институт ядерных исследований РАН»;

Ильин Вячеслав Анатольевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник КК НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт»

дали положительные отзывы на диссертацию.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступало.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой научной квалификацией в области физики высоких энергий, соответствием их специальностей тематике диссертационной работы, а также наличием публикаций в области физики высоких энергий за последние 5 лет.

Соискатель имеет 1434 опубликованные статьи, в том числе по теме диссертации 67 работ, из них 34 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. E. Boos, L. Dudko, P. Mandrik and S. Slabospitskii. “Top Quark: Results and Prospects”. ЭЧАЯ, №3, Т. 50. (2019);

Physics of Particles and Nuclei. 50, no.3, 231-258 (2019) ИФ 0.68 (Scopus 2020).

2. E. Boos and L. Dudko. “The Single Top Quark Physics». International Journal of Modern Physics. A 27, 1230026 (2012) ИФ 1.95 (Scopus 2020).

3. Э. Э. Боос, В. Е. Буничев, Л. В. Дудко, В. И. Саврин, А. В. Шерстнев. “Метод моделирования событий электрослабого рождения t -кварка в NLO-приближении. Генератор событий SingleTop.” Ядерная физика. 69, 1352 (2006);

E. E. Boos, V. E. Bunichev, L. V. Dudko, V. I. Savrin and A. V. Sherstnev. Physics of Atomic Nuclei. 69, 1317 (2006); ИФ 0.594 (Scopus 2020).

4. A. S. Belyaev, E. E. Boos and L. V. Dudko. “Single top quark at future hadron colliders: Complete signal and background study”. Physical Review D 59, 075001 (1999). ИФ 8.311 (Scopus 2020).

5. E. Boos and L. Dudko. “Triple top quark production in standard model”. International Journal of Modern Physics. A 37, no.05, 2250023 (2022). ИФ 1.95 (Scopus 2020).

6. E. E. Boos, V. E. Bunichev, L. V. Dudko, A.A. Markina. «Метод “оптимальных наблюдаемых” и применение нейронных сетей в физических исследованиях». Ядерная физика. 71, 2 (2008); Physics of Atomic Nuclei. 71, 1317 (2008); ИФ 0.594 (Scopus 2020).

7. E. Boos and L. Dudko. “Optimized neural networks to search for Higgs boson production at the Tevatron”. Nuclear Instruments and Method in Physics Research. A 502, 486 (2003); ИФ 1.915 (Scopus 2020).

8. E. E. Boos, V. E. Bunichev, L. V. Dudko, A. A. Markina and M. A. Perfilov. “Optimization of the analysis of single top-quark production at the Large Hadron Collider (LHC)”. Ядерная физика. 73, 1007 (2010); Physics of Atomic Nuclei. 73, 971 (2010); ИФ 0.594 (Scopus 2020).

9. J. Alwall et al. “A Standard format for Les Houches event files”. Computer Physics Communication 176, 300 (2007); ИФ 6.36 (Scopus 2020).

10. S. Belov, L. Dudko, D. Kekelidze and A. Sherstnev. “HepML, an XML-based format for describing simulated data in high energy physics”. *Computer Physics Communication* 181, 1758-1768 (2010); ИФ 6.36 (Scopus 2020).
11. S. Belov, L. Dudko, E. Galkin, A. Gusev, W. Pokorski and A. Sherstnev. “LCG MCDB: A Knowledgebase of Monte Carlo Simulated Events”. *Computer Physics Communication* 178, 222-229 (2008); ИФ 6.36 (Scopus 2020).
12. B. Abbott et al. [D0 Collaboration]. “Search for electroweak production of single top quarks in $p\bar{p}$ collisions”. *Physical Review D* 63, 031101 (2000); ИФ 8.311 (Scopus 2020).
13. A. P. Heinson for the D0 Collaboration. “Search for Electroweak Production of Single Top Quarks at D0”. *International Journal of Modern Physics. A* 16S1A, 386-388 (2001); ИФ 1.95 (Scopus 2020).
14. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for single top quark production at DO using neural networks”. *Physics Letters B* 517, 282 (2001); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
15. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], “Search for single top quark production in p anti-p collisions at $s^{1/2} = 1.96$ -TeV”. *Physics Letters B* 622, 265 (2005); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
16. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Multivariate searches for single top quark production with the D0 detector”. *Physical Review D* 75, 092007 (2007); ИФ 8.311 (Scopus 2020).
17. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Evidence for production of single top quarks and first direct measurement of $|V_{tb}|$ ”. *Physical Review Letters*. 98, 181802 (2007); ИФ 14.105 (Scopus 2020).
18. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Evidence for production of single top quarks”. *Physical Review D* 78, 012005 (2008); ИФ 8.311 (Scopus 2020).
19. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Observation of Single Top Quark Production”. *Physical Review Letters*. 103, 092001 (2009); ИФ 14.105 (Scopus 2020).
20. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Measurement of the t-channel single top quark production cross section”. *Physics Letters B* 682, 363 (2010); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
21. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Model-independent measurement of t-channel single top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”. *Physics Letters B* 705, 313 (2011); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
22. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Measurements of single top quark production cross sections and $|V_{tb}|$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”. *Physical Review D* 84, 112001 (2011). ИФ 8.311 (Scopus 2020).
23. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Evidence for s-channel single top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”. *Physics Letters B* 726, 656 (2013); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
24. T. A. Aaltonen et al. [CDF and D0 Collaborations]. “Observation of s-channel production of single top quarks at the Tevatron”. *Physical Review Letters*. 112, 231803 (2014); ИФ 14.105 (Scopus 2020).
25. T. A. Aaltonen et al. [CDF and D0 Collaborations]. “Tevatron Combination of Single-Top-Quark Cross Sections and Determination of the Magnitude of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix Element V_{tb} ”. *Physical Review Letters*. 115, no. 15, 152003 (2015); ИФ 14.105 (Scopus 2020).

26. E. Boos, L. Dudko and T. Ohl. “Complete calculations of $W b\bar{b}$ and $W b\bar{b} + \text{jet}$ production at Tevatron and LHC: Probing anomalous Wtb couplings in single top production”. European Physical Journal. C 11, 473 (1999); ИФ 7.709 (Scopus 2020).
27. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for anomalous Wtb couplings in single top quark production”. Physical Review Letters. 101, 221801 (2008); ИФ 14.105 (Scopus 2020).
28. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for anomalous top quark couplings with the D0 detector”. Physical Review Letters. 102, 092002 (2009); ИФ 14.105 (Scopus 2020).
29. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for anomalous Wtb couplings in single top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”. Physics Letters B 708, 21 (2012); ИФ 7.177 (Scopus 2020).
30. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Combination of searches for anomalous top quark couplings with 5.4 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions”. Physics Letters 25 B 713, 165 (2012). ИФ 7.177 (Scopus 2020).
31. V. Khachatryan et al. [CMS]. “Search for anomalous W_{tb} couplings and flavour-changing neutral currents in t-channel single top quark production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV”. Journal of High Energy Physics 02, 028 (2017); ИФ 7.197 (Scopus 2020).
32. E. E. Boos, V. E. Bunichev, L. V. Dudko, M. A. Perfilov and G. A. Vorotnikov. “Eligibility of EFT Approach to Search for tqg FCNC Phenomenon”. Physics of Atomic Nuclei. 83, no.6, 984-988 (2020); ИФ 0.594 (Scopus 2020).
33. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for production of single top quarks via tqg and tug flavor-changing neutral current couplings”. Physical Review Letters. 99, 191802 (2007). ИФ 14.105 (Scopus 2020).
34. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration]. “Search for flavor changing neutral currents via quark-gluon couplings in single top quark production using 2.3 fb^{-1} of $p\bar{p}$ collisions”. Physics Letters B 693, 81 (2010); ИФ 7.177 (Scopus 2020).

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой развиты методы вычислений и моделирования процессов с рождением топ-кварка в коллайдерных экспериментах, разработаны методики применения нейронных сетей в жестких процессах. С использованием результатов выполненных автором исследований проведено экспериментальное открытие топ-кварка в электрослабых взаимодействиях с измерением основных параметров таких процессов и выполнен поиск наиболее важных возможных отклонений от предсказаний Стандартной модели, проявляющихся в процессах с рождением топ-кварка.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Созданный метод моделирования процессов электрослабого рождения топ-кварка на адронных коллайдерах позволяет описывать события на уровне точности, учитывающем следующий за лидирующим порядок теории возмущений.
2. Стратегия экспериментального поиска одиночного рождения топ-кварка и выделения этого процесса из фона определяется моделированием сигнальных и фоновых процессов в рамках предложенного метода.
3. В процессах рождения трех топ-кварков имеют место большой электрослабый вклад, сопоставимый с вкладом сильных взаимодействий, и большая отрицательная интерференция электрослабых и сильных вкладов, приводящая к сокращению суммарного вклада. Экспериментальное открытие процессов рождения трех топ-кварков на модернизированном коллайдере HL-LHC с высокой светимостью принципиально возможно.
4. Созданная методика применения нейронных сетей существенно повышает точность экспериментальных результатов.
5. Создание и реализация в экспериментальном анализе универсального метода выбора оптимальных наблюдаемых, основанного на анализе диаграмм Фейнмана, дающих вклад в сигнальные и фоновые процессы, обеспечивает физическое объяснение выбора конкретных наблюдаемых и позволяет сформировать полный оптимальный набор таких наблюдаемых для экспериментального анализа методом нейронных сетей.
6. Создание нового формата записи смоделированных событий LHEF (Les Houches Event Files) и дальнейшее его использование сделали этот формат общепринятым стандартом для описания современных цепочек моделирования коллайдерных экспериментов. Предложение формата HepML (XML-языка для представления информации в Физике высоких энергий) для автоматической документации проводимого моделирования жестких процессов и идея создания базы знаний моделируемых событий MCDB упростили цепочку моделирования коллайдерных экспериментов.
7. Экспериментальное открытие t - и s -канальных процессов рождения топ-кварка, измерение сечений этих процессов и параметра V_{tb} матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава, выполненные на основе разработанных методик моделирования и оптимизации экспериментального анализа, подтвердили предсказания Стандартной модели.
8. Верхние ограничения на параметры, характеризующие возможный вклад аномальных заряженных токов векторного и магнитного типов в процессы

взаимодействия топ-кварка с W- бозоном и b-кварком, полученные на основе феноменологического и экспериментального анализа, составляют $f_V^L > 0.98$, $|f_V^R| < 0.16$, $|f_T^L| < 0.057$ и $0.046 < f_T^R < 0.039$ на уровне достоверности 95%.

- 9. Верхние ограничения на редкие распады топ-кварка, характеризующие возможный вклад нейтральных токов, меняющих аромат кварков, во взаимодействии топ-кварка с u- или c-кварком и глюоном, полученные на основе феноменологического и экспериментального анализа в эксперименте D0, составляют $B(t \rightarrow gu) < 2.0 \times 10^{-4}$, $B(t \rightarrow gc) < 3.9 \times 10^{-3}$ на уровне достоверности 95%.

На заседании 25.11.2022 диссертационный совет принял решение присудить Дудко Льву Владимировичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали

за: 16, против: 0, недействительных бюллетеней: 0.

Заместитель председателя диссертационного совета
доцент



Д.О.Еременко

Ученый секретарь
диссертационного совета



Л.И. Галанина

29. 11. 2022