

Заключение диссертационного совета МГУ.013.2 (МГУ.01.11)
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук.
Решение диссертационного совета от «25» марта 2022 г. №3
о присуждении Липатову Артему Владимировичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация: «Жесткие процессы КХД за рамками коллинеарного приближения» по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (01.04.23 — «Физика высоких энергий») принята к защите диссертационным советом 24.12.2021, протокол № 1.

Соискатель Липатов Артем Владимирович, 1978 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Процессы рождения тяжелых кварков в рамках полужесткого подхода КХД» защитил в 2004 году в диссертационном совете К-501.001.03 в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Соискатель работает старшим научным сотрудником в Отделе теоретической физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

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

Официальные оппоненты:

Снигирев Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова;

Слабоспицкий Сергей Ростиславович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики высоких энергий имени А.А. Логунова НИЦ «Курчатовский институт»;

Ким Виктор Тимофеевич, доктор физико-математических наук,

заместитель руководителя отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики имени П.Б. Константинова НИЦ «Курчатовский институт»

дали положительные отзывы на диссертацию.

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 теоретической физики высоких энергий за последние 5 лет.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступало.

Соискатель имеет 125 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 42 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. A.V. Kotikov, A.V. Lipatov, P. Zhang, "Transverse momentum dependent parton densities in processes with heavy quark generations", *Phys. Rev. D* 104, 054042 (2021); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
2. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, "Associated Higgs + jet(s) production at the LHC and CCFM gluon dynamics in a proton", *Phys. Rev. D* 103, 094021 (2021); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
3. N.A. Abdulov, A. Bacchetta, S.P. Baranov, A. Bermudez Martinez, V. Bertone, C. Bissolotti, V. Candellise, L.I. Estevez Banos, M. Bury, P.L.S. Connor, L. Favart, F. Guzman, F. Hautmann, M. Hentschinski, H. Jung, L. Keersmaekers, A.V. Kotikov, A. Kusina, K. Kutak, A. Lelek, J. Lidrych, A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, M.A. Malyshev, M. Mendizabal, S. Prestel, S. Sadeghi Barzani, S. Sapeta, M. Schmitz, A. Signori, G. Sorrentino, S. Taheri Monfared, A. van Hameren, A.M. van Kampen, M. Vanden Bemden, A. Vladimirov, Q. Wang, H. Yang, "TMDLib2 and TMDPlotter: a platform for 3D hadron structure studies", *Eur. Phys. J. C* 81, 752 (2021); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).

4. S.J. Brodsky, G.I. Lykasov, A.V. Lipatov, J. Smiesko, "Novel Heavy-Quark Physics Phenomena", Prog. Part. Nucl. Phys. 114, 103802 (2020); импакт-фактор журнала 16.281 (Scopus, 2020).
5. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, " χ_{c1} and χ_{c2} polarization as a probe of color octet channel", Eur. Phys. J. C 80, 1022 (2020); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
6. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, S.P. Baranov, "Particle Event Generator: A Simple-in-Use System PEGASUS version 1.0", Eur. Phys. J. C 80, 330 (2020); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
7. A.V. Kotikov, A.V. Lipatov, B.G. Shaikhatdenov, P. Zhang, "Transverse momentum dependent parton densities in a proton from the generalized DAS approach", JHEP 02, 028 (2020); импакт-фактор журнала 5.810 (Scopus, 2020).
8. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, H. Jung, "Relation between the parton branching approach and Catani-Ciafaloni-Fiorani-Marchesini evolution", Phys. Rev. D 101, 034022 (2020); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
9. N.A. Abdulov, A.V. Lipatov, "Bottomonia production and polarization in the NRQCD with k_T -factorization. III: $Y(1S)$ and $\chi_b(1P)$ mesons", Eur. Phys. J. C 81, 1085 (2021); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
10. N.A. Abdulov, A.V. Lipatov, "Bottomonia production and polarization in the NRQCD with k_T -factorization. II: $Y(2S)$ and $\chi_b(2P)$ mesons", Eur. Phys. J. C 80, 486 (2020); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
11. N.A. Abdulov, A.V. Lipatov, "Bottomonia production and polarization in the NRQCD with k_T -factorization. I: $Y(3S)$ and $\chi_b(3P)$ mesons", Eur. Phys. J. C 79, 830 (2019); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
12. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, H. Jung, "TMD parton shower effects in associated $\gamma + \text{jet}$ production at LHC", Phys. Rev. D 100, 034028 (2019);

импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).

13. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, "Are there any challenges in the charmonia production and polarization at the LHC?", *Phys. Rev. D* 100, 114021 (2019); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
14. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, "Prompt η_c meson production at the LHC in the NRQCD with k_T -factorization", *Eur. Phys. J. C* 79, 621 (2019); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
15. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, "Associated non-prompt $J/\psi + \mu$ and $J/\psi + J/\psi$ production at LHC as a test for TMD gluon density", *Eur. Phys. J. C* 78, 820 (2018); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
16. N.A. Abdulov, H. Jung, A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, M.A. Malyshev, "Employing RHIC and LHC data to determine TMD gluon density in a proton", *Phys. Rev. D* 98, 054010 (2018); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
17. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, "First estimates of the B_c wave function from the data on the B_c production cross section", *Phys. Lett. B* 785, 338 (2018); импакт-фактор журнала 4.771 (Scopus, 2020).
18. V.A. Bednyakov, S.J. Brodsky, A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, M.A. Malyshev, J. Smiesko, S. Tokar, "Constraints on the intrinsic charm content of the proton from recent ATLAS data", *Eur. Phys. J. C* 79, 92 (2019); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
19. A.V. Lipatov, S.P. Baranov, H. Jung, M.A. Malyshev, "Charmonia production from b-hadron decays at LHC with k_T -factorization: J/ψ , $\psi(2S)$ and $J/\psi + Z$ ", *Eur. Phys. J. C* 78, 2 (2018); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
20. S.P. Baranov, H. Jung, A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, "Associated production of Z bosons and b-jets at the LHC in the combined $k_T +$ collinear QCD factorization approach", *Eur. Phys. J. C* 77, 772 (2017); импакт-фактор журнала 4.590

(Scopus, 2020).

21. N.A. Abdulov, A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, "Inclusive Higgs boson production at the LHC in the k_T -factorization approach", *Phys. Rev. D* 97, 054017 (2018); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
22. S.P. Baranov, H. Jung, A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, "Testing the parton evolution with the use of two-body final states", *Eur. Phys. J. C* 77, 2 (2017); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
23. A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, Yu.Yu. Stepanenko, V.A. Bednyakov, "Probing proton intrinsic charm in photon or Z boson production accompanied by heavy jets at LHC", *Phys. Rev. D* 94, 053011 (2016); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
24. A.A. Grinyuk, A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, N.P. Zotov, "Significance of nonperturbative input to TMD gluon density for hard processes at LHC", *Phys. Rev. D* 93, 014035 (2016); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
25. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, "Prompt charmonia production and polarization at LHC in the NRQCD with k_T -factorization. Part III: J/ψ meson", *Phys. Rev. D* 96, 034019 (2017); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
26. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Prompt charmonia production and polarization at LHC in the NRQCD with k_T -factorization. Part II: χ_c mesons", *Phys. Rev. D* 93, 094012 (2016); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
27. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Prompt charmonia production and polarization at LHC in the NRQCD with k_T -factorization. Part I: $\psi(2S)$ meson", *Eur. Phys. J. C* 75, 455 (2015); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
28. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, N.P. Zotov, "Phenomenology of k_T -factorization for inclusive Higgs boson production at LHC", *Phys. Lett. B* 735, 79 (2014); импакт-фактор журнала 4.771 (Scopus, 2020).

29. A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, N.P. Zotov, "LHC soft physics and transverse momentum dependent gluon density at low x ", *Phys. Rev. D* 89, 014001 (2014); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
30. A.A. Grinyuk, A.V. Lipatov, G.I. Lykasov, N.P. Zotov, "Transition between soft physics at LHC and low- x physics at HERA", *Phys. Rev. D* 87, 074017 (2013); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
31. A.V. Lipatov, M.A. Malyshev, N.P. Zotov, "Prompt photon and associated heavy quark production at hadron colliders with k_T -factorization", *JHEP* 05, 104 (2012); импакт-фактор журнала 5.810 (Scopus, 2020).
32. H. Jung, M. Kramer, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Investigation of beauty production and parton shower effects at LHC", *Phys. Rev. D* 85, 034035 (2012); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
33. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Prompt J/ψ production at LHC: new evidence for the k_T -factorization", *Phys. Rev. D* 85, 014034 (2012); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
34. A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Phenomenology of k_T -factorization for inclusive top quark pair production at hadron colliders", *Phys. Lett. B* 704, 189 (2011); импакт-фактор журнала 4.771 (Scopus, 2020).
35. H. Jung, M. Kramer, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Heavy Flavour Production at Tevatron and Parton Shower Effects", *JHEP* 01, 085 (2011); импакт-фактор журнала 5.810 (Scopus, 2020).
36. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Production of electroweak gauge bosons in off-shell gluon-gluon fusion", *Phys. Rev. D* 78, 014025 (2008); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
37. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Associated production of prompt photons and heavy quarks in off-shell gluon-gluon fusion", *Eur. Phys. J. C* 56, 371 (2008); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).

38. S.P. Baranov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Prompt photon hadroproduction at high energies in off-shell gluon-gluon fusion", *Phys. Rev. D* 77, 074024 (2008); импакт-фактор журнала 5.296 (Scopus, 2020).
39. A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "Higgs boson production at hadron colliders in the k_T -factorization approach", *Eur. Phys. J. C* 44, 559 (2005); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
40. Н.П. Зотов, А.В. Липатов, В.А. Салеев, "Процессы рождения тяжелых кварков на коллайдере Tevatron в рамках полужесткого подхода КХД и неинтегрированные распределения глюонов", *ЯФ* 66, 786 (2003);
N.P. Zotov, A.V. Lipatov, V.A. Saleev, "Heavy-quark production in pp collisions and unintegrated gluon distributions", *Phys. Atom. Nucl.* 66, 755 (2003); импакт-фактор журнала 0.420 (Scopus, 2020).
41. A.V. Kotikov, A.V. Lipatov, N.P. Zotov, "The contribution of off-shell gluons to the longitudinal structure function F_L ", *Eur. Phys. J. C* 27, 219 (2003); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).
42. A.V. Kotikov, A.V. Lipatov, G. Parente, N.P. Zotov, "The contribution of off-shell gluons to the structure functions F_2^c and F_L^c and the unintegrated gluon distributions", *Eur. Phys. J. C* 26, 51 (2002); импакт-фактор журнала 4.590 (Scopus, 2020).

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой достигнуто улучшение понимания динамики адронных взаимодействий и развиты методы вычислений сечений жестких процессов КХД за рамками стандартного приближения с учетом ненулевого поперечного импульса начальных взаимодействующих глюонов и кварков. 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. Предложенные Transverse Momentum Dependent (TMD) функции распределения глюонов в протоне приводят к лучшему согласию с изучаемыми в экспериментах на коллайдерах HERA и LHC сечениями ряда жестких процессов по сравнению с глюонными распределениями, полученными недавно другими группами.
2. Подход k_T -факторизации в КХД позволяет достичь одновременного описания экспериментальных данных LHC для сечений процессов рождения b -струй, процессов одиночного и парного рождения $\psi(2S)$ и J/ψ мезонов, возникающих из распадов b -адронов, прямых фотонов или калибровочных бозонов в сопровождении адронных струй (или струй тяжелых кварков), процессов одиночного рождения t -кварков, процессов инклюзивного и ассоциативного рождения бозонов Хиггса, наблюдаемых в различных модах распада.
3. Наиболее чувствительными к выбору TMD глюонной плотности в протоне являются распределения по разности азимутальных углов между импульсами конечных частиц (или адронных струй), разности их быстрот, расстоянию между этими частицами в плоскости азимутальных углов и быстрот, а также распределения по инвариантной массе и поперечному импульсу конечного состояния. Вклад механизма двойного партонного рассеяния в сечения рассматриваемых процессов весьма мал и составляет около 2%.
4. Модель, основанная на теории мультипольного разложения излучения для описания перехода промежуточных октетных состояний пары тяжелых кварков в наблюдаемое синглетное, позволяет достичь самосогласованного описания полного набора экспериментальных данных процессов инклюзивного рождения S - и P -волновых чармониев и боттомониев (J/ψ , $\psi(2S)$, η_c , χ_c , $Y(nS)$ и $\chi_b(mP)$ мезонов), полученных на коллайдерах Tevatron и LHC.

5. Разработанный Монте-Карло генератор событий PEGASUS позволяет вычислять сечения жестких процессов КХД с учетом TMD динамики глюонных распределений в протоне и амплитуд вне массовой поверхности партонных подпроцессов, отсутствующих в других генераторах.

На заседании 25.03.2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Липатову А.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (01.04.23 — «Физика высоких энергий») участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного совета
профессор

В.И. Саврин

Ученый секретарь диссертационного совета

Л.И. Галанина

Ученый секретарь Ученого совета
НИИЯФ МГУ имени М.В. Ломоносова



Е.А.Сигаева