

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.016.03  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г. И.  
БУДКЕРА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК, подведомственного Федеральному агентству научных организаций,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 25.12.2017 № 7

О присуждении **ШИЛЬЦЕВУ ВЛАДИМИРУ ДМИТРИЕВИЧУ** ученой  
степени **доктора физико-математических наук.**

Диссертация «**Электронные линзы для суперколлайдеров**» по  
специальности **01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная  
техника** принята к защите 04.09.2017 г., протокол № 1, диссертационным советом  
Д 003.016.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения  
Российской академии наук, ФАНО России, 630090, г. Новосибирск, проспект  
Академика Лаврентьева, 11, созданного приказом Минобрнауки России № 385/нк  
от 27. 04. 2017 г.

**Соискатель**, Шильцев Владимир Дмитриевич, 1965 года рождения, работает  
Директором Центра Ускорительной Физики в Национальной ускорительной  
лаборатории им. Э. Ферми (Батавия, США).

Для защиты диссертации на соискание ученой степени доктора физико-  
математических наук Шильцев В.Д. прикреплен к Федеральному государственному  
бюджетному учреждению науки Институту ядерной физики им. Г.И. Будкера  
Сибирского отделения Российской академии наук Приказом № 495а от 22.05.2017  
г.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном  
учреждении науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского  
отделения Российской академии наук при участии Лаборатории им. Ферми (США).

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук «**Влияние внешних шумов на динамику пучков в больших  
коллайдерах**» Владимир Дмитриевич защитил в 1994 году, в  
диссертационном совете, созданном на базе Института ядерной физики им. Г.И.  
Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

**Научный консультант** – доктор физико-математических наук, профессор,  
академик РАН **ДИКАНСКИЙ** Николай Сергеевич, советник РАН Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им.  
Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России.

**Официальные оппоненты:**

1. **Корчуганов Владимир Николаевич** – доктор физико-математических наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Научный комплекс по перспективным ускорительным технологиям, г. Москва, заместитель руководителя;
2. **Иванов Сергей Владиславович** – доктор физико-математических наук, академик РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Протвино, директор;
3. **Зенкевич Павел Романович** – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва, ведущий научный сотрудник

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований», г. Дубна, в **своем положительном заключении**, подписанном главным ученым секретарем ОИЯИ, доктором физико-математических наук Сориным Александром Савельевичем, указала, что диссертация В.Д.Шильцева “Электронные линзы для суперколлайдеров” представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, соответствующую всем требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор Шильцев Владимир Дмитриевич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Соискатель имеет 329 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 80 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 14 работ.

Научные работы соискателя отличаются оригинальностью предложенных методов и технических решений, глубиной и полнотой изложения авторского вклада и объема научных изданий, а также тем, что они в своем большинстве либо использованы в работе современных ускорителей, либо базируются на соответствующем опыте.

**Наиболее значительные работы** соискателя включают в себя **три книги**

1. Electron Lenses for Super-Colliders Springer, 2016 ISBN: 978-1-4939-3315;
2. Accelerator Physics at the Tevatron Collider, Springer, 2014 ISBN: 978-1-4939-0884-4 (в соавторстве с В.А.Лебедевым);
3. Accelerator Science and Technology Breakthroughs, Achievements and Lessons from Tevatron: John Adams Lecture 2010 CERN, 2011 ISBN: 929-0-833696,

а также такие пионерские исследования как

1. V.Shiltsev, V.Danilov, D.Finley, A.Sery, "Compensation of Beam-Beam Effects in Tevatron with Electron Beam", Phys. Rev. - Special Topics, Accelerators and Beams, v2, 071001 (1999)

2. V.Shiltsev, Yu.Alexahin, V.Lebedev, P.Lebrun, R.Moore, T.Sen, A.Tollestrup, XL.Zhang, “Beam-Beam Effects in Tevatron Run II”, Phys. Rev. - Special Topics, Accelerators and Beams, **8**, 101001 (2005);
3. V.Shiltsev, Y.Alexahin, V.Kamerdzhev, G.Kuznetsov, X.L.Zhang, K. Bishofberger. “Experimental demonstration of colliding beam lifetime improvement by electron lenses”, Phys.Rev.Lett. 99:244801 (2007);
4. “Взаимодействие интенсивного протонного сгустка и электронного пучка в Тэватроне”, Журнал Технической Физики, 2003, т.73, вып.8, С.105-110 ISSN: 0044-4642 (совместно с В.В.Пархомчуком и В.Б.Рева);
5. X.L.Zhang, K.Bishofberger, V.Kamerdzhev, V.Lebedev, V.Shiltsev, R.Thurman-Keup, A.Tollestrup, “The Origination and Diagnostics of Uncaptured Beam in the Tevatron and Its Control by Electron Lenses”, Phys. Rev. - Special Topics, Accelerators and Beams 11:051002 (2008) ;
6. V. Shiltsev (Fermilab) , Yu. Alexahin, K. Bishofberger, V. Kamerdzhev, V. Parkhomchuk, V. Reva, N. Solyak, D. Wildman, X.-L. Zhang, F. Zimmermann (Fermilab & Los Alamos & Novosibirsk, IYF & CERN), “Experimental Studies of Compensation of Beam-Beam Effects with Tevatron Electron Lenses”, New J.Phys. 10:043042 (2008) ; selected as “*NJP Best of 2008*”;
7. G. Stancari, V. Shiltsev, et al, “Collimation with Hollow Electron Beams”, Phys. Rev. Letters, 107 , 084802 (2011);

и многие другие.

На диссертацию поступили отзывы оппонентов, которые подчеркивают важность обеспечения наивысшей производительности, а именно - высокой светимости и времени жизни встречных пучков в суперколлайдерах, пионерское предложение автором использования *электронных линз* (*ЭЛ*) для компенсации паразитных и лобовых эффектов встречи в протон-антипротонном коллайдере Tevatron, за которым последовала разработка всеобъемлющая теории электронных линз для компенсации паразитных (*long-range*) взаимодействий и детальный анализ конструктивных требований на подобные линзы. Оппоненты отмечают практическую важность реализации предложенных методов и экспериментальных исследований требований, физических ограничений и практических аспектов работы двух построенных линз для *протон-антипротонного суперколлайдера* Tevatron и их опыт использован в строительстве двух ЭЛ для RHIC. В обоих коллайдерах работа ЭЛ привела к значительному увеличению интегральной светимости. Кроме компенсации эффектов встречи и коллимации, разработанные методы с использованием ЭЛ позволяют существенно уменьшить эффекты пространственного заряда в сильноточных ускорителях.

Электронные линзы показали свою большую эффективность в компенсации паразитных эффектов встречи для протонов, эффектов встречи лоб-в-лоб для антипротонов, а также коллимации.

В целом отмечается огромный личный вклад соискателя в работу по теоретическому обоснованию и созданию систем, описанных в диссертации: предложение и реализацию многих ключевых решений, связанные с проектом Электронных Линз; непосредственное руководство строительством и экспериментальными исследованиями, подтвердившие высокую эффективность применения ЭЛ в суперколлайдере Tevatron. Указано, что результаты диссертации теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены и что фактически диссертация является законченным научным трудом и учебником для физиков-ускорительщиков, участвующих в проектах настоящих и будущих суперколлайдеров.

Оппоненты также отметили, что представленная к защите работа прошла серьезную **апробацию**: результаты, полученные в ходе ее выполнения, много раз были опубликованы в статьях в реферируемых научных журналах и многократно докладывались на международных и российских конференциях. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ в международных и российских журналах, входящих в список ВАК по направлению «Физика».

Из критических замечаний к диссертации приведены такие, как:

1. Наличие трудных для понимания мест, например, «Для уменьшения шума  $V_i$  рассчитывались, как интеграл профиля заряда сгустка, который, в свою очередь, является интегралом сигнала дублета, наведенного при прохождении пучка»; «Пикап-электроды в TEL-1 являются цилиндрами, разрезанными по диагонали — для линейности»; Стр.112. «Потери из-за неупругого взаимодействия с остаточным вакуумом...»; Стр.139, или выражение «...взаимодействие луча дальнего света».
2. Некая конспективность, краткость изложения, например, в части обсуждения Уравнения (3.6) не раскрыта в деталях важность резонансных гармоник и их влияние на динамику, в том числе и динамику в режиме компенсации эффектов встречи. Другим примером служит очень краткое, без объяснения, упоминание эффекта стабилизации пучков электронной линзой в пятой главе.
3. Некорректные названия параграфа 2.2.2. «Паразитные эффекты на пучки высоких энергий».
4. Несоответствие тексту. Параграф 2.3.1.2. Стр.65, На Рис.2.10 корректоры расположены внутри главного соленоида, тогда как в тексте указано на их наружное расположение.
5. Опечатки. Стр.73, 75. Размерность микропервеанса следует записывать через «мкA/B<sup>3/2</sup>», а не «mA/B<sup>3/2</sup>»; Стр.109. «В этом эксперименте радиус электрона был 1.6 мм...»; Стр.164. Вместо  $r^4$  в тексте  $-r^2 = (x^4 + 2x^2y^2 + y^4)$ .
6. Оформление. Стр.137. Сбой в нумерации параграфов: вместо 4.1.1. сразу идет 4.1.2; Стр.138. Рис.4.2.а,б. - Мелкие рисунки и подписи к ним; Стр.161. Повтор последнего абзаца со стр.160.

Но все оппоненты при этом отмечают, что ни одно из этих замечаний, конечно же, ни в коей мере не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования, не снижают значимости и уровня выполненной автором работы и не касаются положений и выводов, вынесенных автором на защиту. Более того, некоторые замечания в краткости изложения были исправлены в недавнее время – так, к примеру, стабилизация когерентных неустойчивостей была подробно описана в недавней статье V.Shiltsev, Yu.Alexahin, A.Burov, A.Valishev, "Landau Damping of Beam Instabilities by Electron Lenses", **PRL** 119, 134802 (2017), вышедшей уже после написания и сдачи в печать диссертации.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается известностью их достижений в соответствующей отрасли науки (физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника), их компетентностью, наличием публикаций по теме защищаемой диссертации и способностью определить научную и практическую ценность защищаемой диссертации, а также дать рекомендации по использованию полученных в ней результатов.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**предложен и детально разработан** метод электронных линз для компенсации паразитных эффектов встречи, для продольной коллимации пучков, для поперечной коллимации полыми ЭЛ, для компенсации эффектов пространственного заряда; **доказана** перспективность использования ЭЛ для значительного увеличения интегральной светимости на установках Tevatron и RHIC; существенное уменьшение эффектов пространственного заряда в сильноточных ускорителях; перспективность использования ЭЛ в существующем суперколлайдере LHC и будущих коллайдерах FCC и SppC для подавления эффектов встречи, коллимации и стабилизации пучков затуханием Ландау;

**введены** такие новые понятия и термины, как «электронная линза», «степень компенсации эффектов встречи», «продольная коллимация», «коллимация трубчатым электронным пучком», «компенсация эффектов пространственного заряда электронными линзами» и др.

**Теоретическая и практическая значимость** исследования обоснована тем, что:

**доказаны** основные положения и принципы работы методов компенсации эффектов встречи и пространственного заряда электронными линзами, а также методов коллимации пучков адронов электронами; применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс численных методов для анализа устойчивости и моделирования взаимодействия электронных пучков ЭЛ и адронных пучков в суперколлайдерах; эффективно использованы экспериментальные методики для построения и проведения пионерских исследований с ЭЛ в суперколлайдере Tevatron;

**изложены** на основе требований динамики пучков основные физические ограничения и параметры, предъявляемые к электронным линзам для компенсации эффектов встречи, продольной и поперечной коллимации пучков;

**раскрыты** - теоретически и экспериментально - основные физические явления в колайдерах, отличающихся одинаково сильными проявлениями как лобовых эффектов встречи, так и паразитных эффектов встречи при много-сгустковых столкновениях;

**изучены** эффекты взаимодействия пучков электронов ЭЛ и (анти)протонных пучков; критерии эффективности работы ЭЛ и устойчивости;

**проведена модернизация** математических моделей эффектов встречи и их компенсации электронными линзами, а также технических инструментов и систем,

нужных для получения требуемого качества электронного пучка в электронной линзе и требуемой структуры модулирования электронного тока.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработаны и построены** две ЭЛ для коллайдера Tevatron; решены вопросы, связанные с постановкой ЭЛ на круглосуточную работу в суперколлайдерах; построены две ЭЛ для RHIC;

**определенны** основные физические ограничения и параметры, предъявляемые к электронным линзам для компенсации эффектов встречи, для продольной коллимации пучков, для поперечной коллимации полыми ЭЛ, для компенсации эффектов пространственного заряда; определены оптимальные электромеханические схемы подсистем ЭЛ;

**разработаны и опробованы** математические модели воздействия ЭЛ различного типа на динамику пучков в суперколлайдерах;

**представлены** предложения по эффективному использованию ЭЛ в суперколлайдере LHC и будущих установках FCC и SppC для подавления эффектов встречи, коллимации и стабилизации пучков; дополнительные возможности использования ЭЛ для селективного медленного вывода частиц и в качестве быстрого кикера.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** две ЭЛ, построенные для суперколлайдера RHIC после первых пионерских экспериментов с ЭЛ в Tevatron, успешно продемонстрировали свою эффективность в компенсации лобовых эффектов встречи и повышении светимости;

**теория** и основные технические решения ЭЛ для компенсации эффектов встречи разработаны на основе экспериментальных исследований эффектов встречи в Tevatron и опыте строительства систем для электронного охлаждения, соответственно;

**идея базируется** на анализе наблюдений и исследований по динамике частиц в суперколлайдерах и передовых методах создания электронных пучков высокой яркости и высокого качества;

**использованы** ряд методов и технических решений, разработанных в ходе строительства систем для электронного охлаждения;

**установлено** что теория и основные результаты численного моделирования компенсации эффектов встречи ЭЛ согласуется с результатами экспериментов в Tevatron;

**использованы** современные диагностики и методики сбора и обработки данных по динамике пучков в суперколлайдерах.

**Личный вклад соискателя** состоит в: предложении метода электронных линз; постановке задачи по созданию ЭЛ для компенсации паразитных и лобовых столкновений, а также коллимации пучков в коллайдере Tevatron; проведении численных и аналитических расчётов; строительстве двух первых в мире ЭЛ; проведении экспериментальных исследований с ЭЛ и включении их в каждодневную работу ускорителя Tevatron; анализе результатов и подготовке публикаций.

На заседании 25.12.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить **Шильцеву Владимиру Дмитриевичу** ученую степень **доктора физико-математических наук**.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 003 016 03

д. ф.-м. н.

/ А. А. Иванов /



Ученый секретарь диссертационного совета Д 003 016 03

д. ф.-м. н.

/ П. А. Багрянский /

26. 12. 2017 г.