

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.162.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
подведомственного Минобрнауки России, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30.05.2023 № 3

О присуждении **Иванову Вячеславу Львовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени **кандидата физико-математических наук**.

Диссертация «**Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3**» по специальности **1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий** принята к защите 13.03.2023 (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.162.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, д. 11, приказ о создании диссертационного совета № 1336/нк от 24.10.2022.

Соискатель Иванов Вячеслав Львович, «18» июня 1990 года рождения, работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственном Минобрнауки России.

В 2013 году соискатель окончил магистратуру Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», а в 2018 году – аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет».

Диссертация выполнена в лаборатории 2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Федотович Геннадий Васильевич, главный научный сотрудник лаборатории 2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Углов Тимофей Валерьевич – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, высококвалифицированный старший научный сотрудник Лаборатории тяжелых кварков и лептонов;
2. Шестаков Георгий Николаевич – доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории теоретической физики

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, в своем положительном отзыве, подписанном Денисенко Игорем Игоревичем, кандидатом физико-математических наук, начальником сектора № 2 Научно-экспериментального отдела встречных пучков Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, и Наумовым Дмитрием Вадимовичем, доктором физико-математических наук, заместителем директора Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ по научной работе, указала, что содержание диссертационной работы Иванова Вячеслава Львовича «Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3» соответствует паспорту научной специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (пункты 4, 9, 11, 13 раздела «Направления исследований»). Диссертация представляет собой выполненную на высоком научном уровне законченную научно-исследовательскую работу. Результаты, полученные в первой части диссертации (уточнение параметров $\phi'(1680)$), несомненно будут использованы физиками при анализе других адронных процессов. Разработанная во второй части диссертации методика идентификации частиц с жидкоксеронометром позволит подавить фон в ряде процессов, изучаемых с детектором КМД-3, а также послужит дополнительным стимулом к применению калориметров подобного типа в будущих экспериментах. Диссертация Иванова В.Л. «Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3» соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Иванов Вячеслав Львович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет 73 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, все из них – в научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных цитирования Scopus. Работы посвящены анализу процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3 и разработке методики идентификации частиц с многослойным жидкоксеронометром.

Публикации по теме диссертационной работы:

1. Charged particle identification with the liquid xenon calorimeter of the CMD-3 detector / **V. L. Ivanov**, G. V. Fedotov, R. R. Akhmetshin [et al.]. – Текст : электронный // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. – 2021. – Vol. 1015. – P. 165761. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165761>. – Дата публикации: 24.08.2021.
2. Study of the process $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider / **V. L. Ivanov**, G. V. Fedotov, R. R. Akhmetshin [et al.]. – Текст : электронный // Physics Letters B. – 2019. – Vol. 798. – P. 134946. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.134946>. – Дата публикации: 18.09.2019.
3. **Ivanov, V. L.** Measurement of hadronic cross sections at CMD-3 / V. L. Ivanov. – Текст : электронный // Proceedings of Science : Proceedings of European Physical Society Conference on High Energy Physics (Ghent, 10–17 July 2019). – Italy, 2020. – Vol. 364. – P. 510. – URL: <https://doi.org/10.22323/1.364.0510>. – Дата публикации: 13.10.2020.
4. Charged particle identification using the liquid Xenon calorimeter of the CMD-3 detector / **V. L. Ivanov**, G. V. Fedotov, A. V. Anisenkov [et al.]. – Текст : электронный // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A : Proceedings of the 10th Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors (Moscow, 29 July – 4 August 2018). – Netherlands, 2020. – Vol. 952. – P. 161971. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.03.026>. – Дата публикации: 13.03.2019.
5. Charged particle identification with the liquid Xenon calorimeter of the CMD-3 detector / **V. L. Ivanov**, G. V. Fedotov, A. V. Anisenkov [et al.]. – Текст : электронный // Journal of Instrumentation : Proceedings of the International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (Novosibirsk, 27 February – 3 March 2017). – UK, 2017. – Vol. 12, nr 09. – P. C09005. – URL: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/09/C09005>. – Дата публикации: 07.09.2017.
6. Study of $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ process with the CMD-3 detector at VEPP-2000 collider / **V. L. Ivanov**, A. N. Amirkhanov, A. V. Anisenkov [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of University of Science and Technology of China : Proceedings of the 10th International Workshop on e^+e^- Collisions from ϕ to ψ (Hefei, 23–26 September 2015). – Hefei, 2016. – Vol. 46. – P. 502–506.

Вклад соискателя ученой степени в работы по теме диссертации является определяющим. В диссертации соискателя ученой степени Иванова В.Л. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От официального оппонента Углова Тимофея Валерьевича, кандидата физико-математических наук, высококвалифицированного старшего научного сотрудника Лаборатории тяжелых кварков и лептонов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. В отзыве кратко описывается содержание диссертации, подчеркиваются актуальность работы, научная новизна, а также обоснованность и достоверность научных положений и выводов. В отзыве имеются замечания по диссертационной работе,

не снижающие научную и практическую значимость полученных результатов и общую положительную оценку работы.

2. От официального оппонента Шестакова Георгия Николаевича, доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника Лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. В отзыве кратко описано содержание диссертации, актуальность и новизна работы, а также достоверность исследования и обоснованность научных результатов. В отзыве отмечено, что официальный оппонент не имеет принципиальных замечаний к изложенным в диссертации результатам. В заключительной части отзыва отмечено, что диссертация Иванова Вячеслава Львовича является законченной научной работой, она соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, и ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.
3. На автореферат поступил положительный отзыв, подписанный Мочаловым Василием Вадимовичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Отделения экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В отзыве приводится краткий обзор содержания автореферата, отмечается высокий профессиональный уровень работы и точность формулировок, ясное и логичное построение автореферата. Отзыв не содержит замечаний к изложенным в автореферате результатам исследования. В заключении отмечается, что диссертационная работа «Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, представляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а сам Иванов Вячеслав Львович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их достижений в области физики атомных ядер и элементарных частиц, их компетентностью, наличием публикаций по теме защищаемой диссертации и способностью определить научную и практическую значимость диссертационного исследования, а также дать рекомендации по использованию полученных результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ с лучшей, чем в предыдущих экспериментах, статистической точностью и систематической неопределенностью 5,1%,

определены параметры $\phi'(1680)$ -мезона с лучшей, чем в предыдущих экспериментах, статистической точностью и сравнимой с предыдущими измерениями систематической погрешностью,

разработана и применена процедура калибровки полосковых каналов LXe-калориметра детектора КМД-3 с точностью $\lesssim 1\%$, а также произведена настройка откликов полосковых каналов в моделировании,

предложена, разработана и реализована процедура идентификации заряженных частиц с использованием энерговывделений частицы в слоях LXe-калориметра детектора КМД-3,

продемонстрировано согласие спектров откликов классификаторов BDT, используемых для идентификации типа заряженных частиц, в эксперименте и моделировании для электронов/позитронов, мюонов, пионов и каонов,

доказана эффективность разработанной процедуры идентификации в задаче идентификации e^\pm и задаче разделения каонов и пионов при импульсах 650-900 МэВ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

улучшена точность измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$, что позволяет уточнить его вклад в аномальный магнитный момент мюона,

улучшена точность измерения параметров $\phi'(1680)$ -мезона. Это улучшение обладает научной ценностью и само по себе, и с точки зрения использования этих параметров для описания промежуточной динамики и сечений других адронных процессов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что **разработана и внедрена** процедура идентификации заряженных частиц, имеющая большое значение для подавления фона при анализе ряда адронных процессов с детектором КМД-3. Разработка данной методики открывает возможность создания единой системы идентификации типа заряженной частицы в детекторе КМД-3, которая будет использовать информацию с других детекторных подсистем: дрейфовой камеры, CsI калориметра, мюонной системы. Кроме того, продемонстрированная в данной работе принципиальная возможность идентификации адронов с ионизационным многослойным калориметром на основе жидкого ксенона стимулирует интерес к созданию калориметров подобного типа в будущих экспериментах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ согласуются с аналогичными результатами, полученными в предыдущих экспериментах, но имеют лучшую статистическую точность. Достоверность разработанной методики идентификации частиц с использованием многослойного калориметра на основе жидкого ксенона подтверждается путем проведенного соискателем сравнения спектров откликов классификаторов BDT в эксперименте и моделировании для электронов/позитронов, мюонов, пионов и каонов.

Личный вклад соискателя в получение научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим. Автором лично осуществлены все этапы изучения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$, включая создание Монте-Карло генераторов сигнального и ряда фоновых процессов, выделение сигнальных событий и определение эффективности их регистрации, измерение видимого

сечения, вычисление радиационных поправок и аппроксимацию борновского сечения, оценку систематических погрешностей. Автором был предложен и реализован инклюзивный подход к изучению данного процесса, состоящий в рассмотрении η -мезона в качестве частицы отдачи. Далее, соискателем была предложена идея процедуры идентификации частиц с LXe калориметром детектора КМД-3. Им лично был разработан пакет программного обеспечения, использующийся для калибровки полосковых каналов LXe-калориметра. Автором были определены коэффициенты прозрачности катодов LXe-калориметра и осуществлена настройка откликов полосковых каналов в моделировании. Наконец, соискателем было продемонстрировано согласие спектров откликов классификаторов VDT, использующихся в процедуре идентификации, в эксперименте и моделировании для всех типов частиц. Вклад соискателя в опубликованные работы по теме диссертации является определяющим.

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы и высказаны критические замечания:

д.ф.-м.н. Дружинин Владимир Прокопьевич задал вопрос о том, может ли процедура идентификации частиц, разработанная соискателем, быть полезной для анализа процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$, также изучавшегося соискателем.

д.ф.-м.н. Мильштейн Александр Ильич задал вопрос о том, можно ли помимо высказанного в диссертационной работе утверждения о том, что на текущей статистике не- $\phi\eta$ механизмов не наблюдается, указать, на каком уровне не наблюдается этих механизмов? Например, промежуточных механизмов типа $e^+e^- \rightarrow K^*K$. Можно ли наложить ограничения на константы связи в амплитудах не- $\phi\eta$ механизмов?

к.ф.-м.н. Штоль Дмитрий Александрович задал вопрос о том, события каких процессов использовались для построения по экспериментальным данным функций плотности вероятности удельных ионизационных потерь каонов и пионов в зависимости от импульса.

д.ф.-м.н. Середняков Сергей Иванович задал вопрос о том, может ли в процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ давать вклад резонанс $\omega(1650)$.

д.ф.-м.н. Гармаш Алексей Юрьевич задал вопрос о том, что, с учетом того, что дрейфовая камера КМД-3 позволяет хорошо разделять каоны и пионы с импульсами меньше 400 МэВ/с, а разделение каонов и пионов по жидкоксенонному калориметру работает при более высоких импульсах, то не планируется ли объединить две эти методики в единую систему идентификации, работающую во всем диапазоне импульсов?

д.ф.-м.н., академик РАН Бондарь Александр Евгеньевич задал вопрос о том, известны ли докладчику еще какие-либо ионизационные калориметры на основе жидкого криптона, кроме упомянутого им в докладе калориметра для эксперимента в ЦЕРНе. Каковы, с точки зрения калориметрии, преимущества ксенона перед криптоном?

Соискатель Иванов В.Л. согласился с замечаниями и ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, приведя собственную аргументацию.

На вопрос д.ф.-м.н. Дружинина Владимира Прокопьевича Иванов В.Л. ответил утвердительно, указав, что в процессе $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ при самых высоких энергиях, ~ 2 ГэВ, отбор событий с двумя каонами с использованием

логарифмической функции правдоподобия, вычисленной на основе удельных энергосвыделений частиц в дрейфовой камере, становится менее эффективным. Поэтому процедуру идентификации с использованием жидкоксеронового калориметра уместно будет применить при самых высоких энергиях. Также процедура идентификации может быть полезной при поиске не- $\phi\eta$ механизмов, так как, возможно, там присутствуют каоны с высокими импульсами, рождающиеся не из распада ϕ -мезона. Такие каоны было бы удобнее отбирать не только по дрейфовой камере, а скомбинировав отбор по дрейфовой камере с отбором по ксероновому калориметру.

На вопрос д.ф.-м.н. Мильштейна Александра Ильича Иванов В.Л. ответил, что в рамках представленной работы он ограничился лишь утверждением о ненаблюдаемости не- $\phi\eta$ механизмов. Для того, чтобы поставить верхний предел на не- $\phi\eta$ механизмы, нужно предполагать какие-то конкретные модели этих механизмов, чего пока не было сделано. Данное замечание принято соискателем в качестве рекомендации для дальнейшего развития исследования, уже на большем объеме доступной для анализа статистики.

На вопрос к.ф.-м.н. Штоля Дмитрия Александровича Иванов В.Л. ответил, что функции плотностей вероятности удельных ионизационных потерь каонов и пионов строил его коллега, Шемякин Дмитрий Николаевич. Для получения этих функций им отбирались события всех процессов с каонами и пионами в конечном состоянии, из которых можно было выделить в достаточно чистые наборы каонов и пионов. Основным процессом для отбора каонов был $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, также использовался процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$ и другие. Отобранные события всех таких процессов складывались в одну гистограмму в отдельной точке по энергии, и затем производилась аппроксимация распределения ионизационных потерь по слоям по импульсу. Причем, получаемая степень согласия спектров логарифмической функции правдоподобия для двухкаонной гипотезы для экспериментальных данных и моделирования, использующего данные плотности вероятности, вполне удовлетворительная.

На вопрос д.ф.-м.н. Середнякова Сергея Ивановича Иванов В.Л. ответил, что в принципе $\omega(1650)$ может давать вклад в процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$, однако этот вклад является OZI-подавленным. Поскольку величина этого подавления неизвестна, то можно считать, что аппроксимация сечения $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$, проделанная в диссертационной работе, проводилась в предположении, что вкладом $\omega(1650)$ можно пренебречь. Такое же предположение делалось и в других работах коллаборации SND, BaBar, в которых изучался процесс $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$. Если отказаться от этого предположения, то в силу близости масс и сопоставимости ширин $\omega(1650)$ и $\phi(1680)$ будет затруднительно выделить амплитуду каждого из этих резонансов в отдельности.

На вопрос д.ф.-м.н. Гармаша Алексея Юрьевича Иванов В.Л. ответил, что в принципе создание единой системы идентификации частиц на основе информации с дрейфовой камеры и жидкоксеронового калориметра является хорошей идеей, однако, к сожалению, дрейфовая камера детектора КМД-3 не славится своей стабильностью. В ней постоянно плывут амплитуды и ширины спектров, именно поэтому спектры удельных ионизационных потерь и определяются в отдельности в каждой точке по энергии. Ксероновый калориметр

в этом плане гораздо более стабилен. Поэтому объединение информации с этих детекторных подсистем в рамках единой системы идентификации чревато тем, что мы не сможем получить хорошее согласие спектров откликов классификаторов в эксперименте и моделировании. С другой стороны, добавить в систему идентификации информацию об энерговыделении в башенных каналах ксенонового калориметра, или энерговыделение в CsI калориметре – это хорошая идея, это планируется сделать.

На вопрос д.ф.-м.н., академика РАН Бондаря Александра Евгеньевича Иванов В.Л. ответил, что, конечно, ему известен жидкокриптоновый калориметр детектора КЕДР, и он читал диссертацию Поспелова Г.Э. про изучение координатного разрешения этого калориметра. Недостатком криптона с точки зрения калориметрии является его радиоактивность, дающая добавочный шум в сигналах. Преимуществом ксенона является меньшая радиационная длина, позволяющая сделать калориметр более компактным. Недостатком ксенона является его высокая стоимость.

Диссертация Иванова В.Л. «Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ с детектором КМД-3» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с изменениями и дополнениями от 20 марта 2021 года № 426.

На заседании 30.05.2023 диссертационный совет принял решение за результаты по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ и измерению параметров резонанса $\phi'(1680)$, имеющие научное значение для физики элементарных частиц, а также за разработку методики идентификации частиц с многослойным ионизационным калориметром на основе жидкого ксенона, имеющей большое значение для экспериментальной физики высоких энергий, присудить **Иванову В.Л.** ученую степень **кандидата физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0.

Председатель диссертационного
совета 24.1.162.03

д.ф.-м.н., академик РАН  / Бондарь Александр Евгеньевич /

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.162.03

д.ф.-м.н., профессор  / Фадин Виктор Сергеевич /
член-корреспондент РАН

02.06.2023

