СТЕНОГРАММА
заседания диссертационного совета 75.2.005.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук по научной специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника
на базе НИЦ «Курчатовский институт»-ИФВЭ

12.11.2026 протокол № 3-2026

На заседании диссертационного совета присутствовали 9 членов совета из 11 человек, входящих в состав совета, а именно:

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Ученая степень, ученое звание, шифр специальности и отрасль науки в совете	Примечание
1	Иванов Сергей Владиславович, председатель	доктор физико-математических наук, академик РАН, 1.3.18 физико-математические науки	
2	Козуб Сергей Сергеевич, заместитель председателя	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
3	Мочалов Василий Вадимович, ученый секретарь	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
4	Васильев Александр Николаевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
5	Егорычев Виктор Юрьевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
6	Зайцев Александр Михайлович	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
7	Каримов Александр Рашатович	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
8	Образцов Владимир Фёдорович	доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, 1.3.18 физико-математические науки	
9	Чесноков Юрий Андреевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	

Повестка дня: Защита диссертации Решетникова Сергея Федоровича «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Председательствующий: д.ф.-м.н., академик РАН Иванов Сергей Владиславович.
Ученый секретарь совета: д.ф.-м.н. Мочалов Василий Вадимович.
Научный руководитель: д.ф.-м.н. Чесноков Юрий Андреевич, главный научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, Протвино.

Официальные оппоненты:

- д.ф.-м.н., профессор Сыресин Евгений Михайлович, главный инженер установки «Ускорительный комплекс Коллайдера NICA», Международная межправительственная научно-исследовательская организация «Объединенный институт ядерных исследований», Дубна;
- к.ф.-м.н. Савченко Александр Алексеевич, доцент кафедры физики конденсированных сред (№ 67) института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (сокращенно НИИЯУ «МИФИ»), Москва.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Коллеги, приступаем к сегодняшнему заседанию диссертационного совета 75.2.005.01. Повестка дня: защита диссертации Решетникова Сергея Федоровича «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.
Научным руководителем диссертанта является член нашего совета Чесноков Юрий Андреевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела пучков Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А.Логунова» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (сокращенно НИЦ «Курчатовский институт»- ИФВЭ).
Официальными оппонентами являются:

- Сыресин Евгений Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный инженер установки «Ускорительный комплекс Коллайдера NICA», Международная межправительственная научно-исследовательская организация «Объединенный институт ядерных исследований», город Дубна Московской области, присутствует дистанционно.
- Савченко Александр Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ, доцент кафедры физики конденсированных сред (№ 67) института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике, город Москва, присутствует лично.

Все оппоненты присутствуют .Один дистанционно.
Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение, образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», сокращённо МГУ, город Москва. Отзыв технически представлен главным научным сотрудником отдела электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер Научно-исследовательского Института ядерной физики (НИИЯФ МГУ), доктором физико-математических наук, профессором Шведуновым Василием Ивановичем.
Из 11 членов диссертационного совета 9 присутствуют лично. Кворум имеется.
В заседании также участвуют научный руководитель Чесноков Юрий Андреевич, он член диссертационного совета,
Предоставлю слово ученому секретарю диссертационного совета Мочалову Василию Вадимовичу для ознакомления с содержанием материалов соискателя.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Диссертация выполнена в нашем институте, в НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ. Решетников Сергей Фёдорович является научным сотрудником нашего института с возложением обязанностей начальника службы отделения ускорительного комплекса. В 2004 году закончил физико-энергетический факультет Обнинского института атомной энергетики — филиала НИЯУ МИФИ — и поступил на работу в НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ. С 2023 года Решетников проходит обучение в аспирантуре НИЦ «Курчатовского институт» - ИФВЭ по научной специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. К настоящему моменту сданы все кандидатские

экзамены с оценкой «отлично». Документы о сдаче экзаменов и обучении в аспирантуре предоставлены Все оригиналы отзывов представлены.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Предоставляем слово Решетникову Сергею Фёдоровичу для изложения тезисов по существу диссертации. Сколько времени?

Соискатель Решетников С.Ф.: Полчаса.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: За полчаса вы должны уложиться, все основные положения изложить.

Соискатель Решетников С.Ф. (на экране демонстрируется презентация): Добрый день, уважаемые коллеги. Вначале хотел бы подчеркнуть следующее: развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя с помощью изогнутых кристаллов позволило перевести этот инструмент управления пучками заряженных частиц из стадии исследований и конкретных единичных применений в инструмент, который регулярно используется в сеансах для обеспечения пучками потребителей частиц.

Актуальность темы диссертационной работы: На данный момент кристаллические устройства прочно заняли свою нишу при обеспечении работы экспериментальных установок комплекса У-70. Экспериментальным сообществом развитие системы вывода с помощью изогнутых кристаллов востребовано, так как этот режим вывода, с одной стороны, расширяет возможности по использованию пучка, а с другой — позволяет проводить уникальные исследования, недоступные другими методами. К настоящему моменту этот режим стал важным дополнением к существующим режимам быстрого вывода, медленного вывода и вывода с помощью внутренних мишеней.

Цель диссертационной работы состояла в развитии метода вывода с помощью кристаллов, совершенствовании экспериментальной и технических компонентов этого метода вывода, в изучении медленного вывода протонов из ускорителя, изучении вывода шестизарядных ионов углерода с помощью изогнутых кристаллов, а также в развитии новых опций, доселе не применяемых на У-70 для нужд физики высоких энергий.

Практическая значимость результатов диссертационной работы: Полученные результаты имеют важное практическое значение для работы экспериментальных установок как при их работе на методику, так и при физических исследованиях. Кроме того, пучки, выведенные с помощью кристаллов, позволяют улучшить характеристики протонной радиографии на комплексе ПРГК-100. Таким образом, можно засвидетельствовать, что получение выведенных с помощью изогнутых кристаллов пучков даёт новые возможности для решения как фундаментальных, так и прикладных задач.

Положения, выносимые на защиту:

Экспериментально изучена зависимость эффективности вывода пучка протонов из кольцевого ускорителя от угла изгиба кристалла. Установлено, что при энергии частиц, равной 50 ГэВ, для кристаллов с углом изгиба 1 мрад эффективность достигает величины 0,85, а для кристаллов с углом изгиба 135 мрад эффективность вывода равна $5 \cdot 10^{-5}$. Помимо научной значимости, полученная зависимость используется для планирования разводки пучков на экспериментальные установки ИФВЭ.

В результате исследования тепловой и радиационной стойкости кристаллов и стабильности вывода при длительном (более 30 суток непрерывной работы) взаимодействии с циркулирующим пучком впервые установлено, что кристаллы кремния выдерживают потоки частиц до $2 \cdot 10^{20}$ частиц на см^2 без существенной деградации каналирующих свойств, нагреваясь до сотен градусов.

Разработка и внедрение метода вывода протонов с варьируемой в широком диапазоне интенсивностью пучка (интенсивность изменяется в диапазоне от 10^{11} до 10^{6} частиц (5 порядков)) позволила в ИФВЭ изучить характеристики жидкоаргоновых детекторов БАК.

Разработка и внедрение на ускорительном комплексе У-70 режима одновременной работы кристаллов (от одного до трех) и нескольких внутренних мишеней позволила увеличить число потребителей пучка в сеансах на У-70. В частности, обеспечивается параллельная работа кристалла, расположенного в блоке № 19 магнита У-70 (вывод в канал № 8 или № 22), с тремя внутренними мишенями ускорителя У-70: мишенью в блоке № 24 (вывод в канал № 14), мишенью в блоке № 27 (вывод в канал № 4) и мишенью в блоке № 35 (вывод в канал № 18).

Разработка и реализация способа вывода ионов углерода из ускорителя У-70 с помощью кристаллов позволяет проводить экспериментальные исследования в области релятивистской ядерной физики на действующих физических установках комплекса У-70. Пучки шестизарядных ионов углерода, выведенные таким методом в каналы № 22, № 8 и № 4А, обладают достаточной интенсивностью, подходящим размером, правильной временной структурой и требуемым составом.

Разработка и реализация способа вывода пучка кристаллом из камеры ускорителя в канал транспортировки с использованием режима объемного захвата в каналирование позволила получить пучок на установке СПАСЧАРМ с высокой стабильностью и улучшенной временной структурой по сравнению с торцевым каналированием. Это обуславливается тем, что параметры вывода при объемном захвате в каналирование существенно меньше зависят от угла падения частиц пучка на кристалл, чем при торцевом каналировании. Установлено, что эффективность вывода при изгибе кристалла 75 мрад составляет $\sim 10^{-5}$, что совпадает с расчетами.

Научная новизна результатов диссертационной работы:

- Впервые в мире продемонстрирована возможность вывода пучка протонов варьируемой интенсивности в широком динамическом диапазоне из кольцевого ускорителя с помощью изогнутых кристаллов.
- Впервые в мире реализован режим вывода пучка кристаллом из кольцевого ускорителя с использованием явления объемного захвата в каналирование, который обеспечивает работу экспериментальных установок на ускорительном комплексе У-70 при наборе физических данных.

  Впервые в мире реализован и экспериментально исследован метод вывода пучков ионов углерода из кольцевого ускорителя с помощью кристаллов в каналы вторичных частиц.
- Впервые экспериментально определена зависимость эффективности вывода пучка протонов кристаллом от угла изгиба кристалла при торцевом захвате в широком диапазоне углов изгиба кристалла, которая является основной характеристикой кристаллических устройств вывода пучка.
- Разработан и внедрен метод получения пучка заряженных адронов с низкими импульсами в широком диапазоне 1,4–13 ГэВ/*c* в канале вторичных частиц № 14 ускорительного комплекса У-70 при использовании кристаллического дефлектора для вывода первичных протонов на внешнюю алюминиевую мишень. Данный диапазон импульсов пучка получен в ИФВЭ впервые и позволяет проводить широкий спектр методических и физических исследований.

Апробация диссертационной работы и публикация:

Материалы, ставшие основой диссертации, были доложены на шести конференциях. Среди них три RuPAC, две LaPLAS и одна МКТЭФ. Они опубликованы в восьми публикациях в журналах. Среди этих журналов три публикации в «Ядерной физике и инжиниринге», две статьи в «Письмах в ЖЭТФ», одна статья в International Journal of Modern Physics A и две публикации в «Приборах и технике эксперимента».

- **В первой главе** приведено краткое математическое описание процессов каналирования в прямом и изогнутом кристалле. Представлены основные математические соотношения, важные для работы кристалла при выводе пучка. Среди них вероятность захвата в каналирование, длина деканалирования, критический радиус изгиба кристалла, эффективность отклонения частиц при однократном прохождении кристалла, доля отклонённых частиц при многократном прохождении через кристалл. Также в этом разделе описаны схемы изгиба длинных и коротких кристаллов. Так, для изгиба длинных кристаллов используется конструкция, принцип работы которой основан на использовании метода

моментов четырехточечного изгиба. Для изгиба коротких кристаллов, типа «полоска» и «О-кристаллов», используются две оригинальные технологии.Одна из них основана на использовании анизотропических свойств кристаллической решётки. Для изгиба кристалла «полоски» кристаллодержатель индуцирует продольный изгибающий момент по оси Y, в результате анизотропии решётки возникает седлообразный поперечный изгиб кристалла, который используется для вывода пучка. Кристалл типа «О» вырезается из монолитного куска кристалла. Необходимый изгиб достигается путём компрессии его центральной части.

- **Вторая глава** посвящена разработке, внедрению и эксплуатации унифицированных станций кристаллических дефлекторов на У-70. За долгие годы исследований с кристаллами в У-70 появился большой парк кристаллических станций и систем управления ими. Они все создавались под свою конкретную задачу, отличались друг от друга и имели уникальные системы управления. Кроме того, за годы эксплуатации выявились недостатки кристаллических станций старого образца. Среди них наиболее важные — это выбег каретки за установленную координату, а также ограниченность диапазона углового и радиального перемещения. Создав унифицированную станцию кристаллических дефлекторов, мы решили эти проблемы, также проведена унификация системы управления, система управления теперь автоматизирована. К настоящему моменту станция успешно введена в эксплуатацию и используется в регулярных сеансах при обеспечении потребителей пучками частиц. Здесь представлены объективные данные работы унифицированной станции кристаллических дефлекторов. Профили пучка при работе унифицированной СКД-18 и фотографии пучка, выведенного, соответственно, на комплексе ПРГК и канале № 22. На данный момент на периметре У-70 мы заменили уже шесть станций на унифицированные. Седьмая работает на комплексе ПРГК-100, и ведётся работа по созданию в двадцать четвёртом промежутке также унифицированной станции. Надо сказать, что создание унифицированной станции кристаллических дефлекторов привело к повышению оперативности управления режимом вывода с помощью кристаллов и значительно упростило ремонт системы управления, и как совокупность всех положительных особенностей это привело к повышению коэффициента использования ускорительного времени.
- **Третья глава** посвящена выводу протонного пучка из ускорителя У-70. В первом разделе главы приводятся результаты экспериментального исследования по изучению зависимости эффективности вывода пучка протонов из ускорителя У-70 от угла изгиба кристалла. Исследования проводились более чем 10 лет. На первом этапе были получены данные для двух углов кристаллов: 1 мрад и порядка 80 мрад. Дело в том, что с помощью этих кристаллов можно было выводить пучки в каналы транспортировки комплекса У-70, соответственно, измерять эффективность работы этих кристаллов, то есть интенсивность выведенного пучка и наводимого на кристалл, можно было штатными средствами диагностики ускорителя и экспериментальных установок, то есть трансформатором циркулирующего пучка, КВЭ и сцинтилляционными счётчиками. С точки зрения целесообразности применения кристаллов для вывода пучков нас интересовали ещё другие углы, как меньше 80 мрад, так и больше 80 мрад. Нами были созданы четыре кристаллических устройства с углами изгиба 36 мрад, 64 мрад, 100 мрад и 135 мрад. Холдер изготавливался по одинаковой технологии. Для измерения интенсивности выведенного пучка был выбран активационный метод. В результате многолетних исследований измерения многократно перепроверялись, было несколько публикаций, данные корректировались. Мы получили представленную здесь на слайде зависимость эффективности вывода пучка протонов от угла изгиба кристаллов. Надо сказать, что эта зависимость характерна не только для нашего ускорителя У-70. Эти данные отражают общую закономерность для ускорителей и коллайдеров с учётом индивидуальных особенностей машин.

  Во втором разделе третьей главы описываются кристаллические устройства, которые применяются для направленного вывода пучков из камеры ускорителя. А также приводятся объективные данные работающих кристаллов. Первый тип кристаллического устройства — длинные кристаллы, это порядка 70 мм по пучку, с углом изгиба от 70 мрад и выше. Такие

кристаллы способны выводить сразу пучок из камеры ускорителя в каналы транспортировки. За счёт большой длины, большого угла изгиба эффективность таких кристаллов невысокая — 10^{-4}. Вот здесь на слайде представлен режим работы кристалла, установленного на СКД25, при работе установки СПАСЧАРМ и профиль пучка, полученный на мишени установки СПАСЧАРМ. Второй тип кристаллов — короткие по пучку кристаллы — делятся на два типа: «полоски» и «О-кристаллы». У них малый угол изгиба — от меньше мрад до полутора мрад. По пучку они от 2 мм до 7 мм. Их угла отклонения достаточно для того, чтобы забросить уже отклонённый от циркулирующего пучок в септум-магнит. И дальше по трассе вывода эти пучки направляются в каналы транспортировки и на экспериментальные установки. Здесь также представлен профиль при работе коротких кристаллов.

Третий тип кристаллических устройств — это слабовозмущающий кристаллический сплиттер. С помощью него можно осуществить деление уже выведенного пучка, отделив от основного пучка одну тысячную часть с потерями меньше одной тысячной. Для установки этих кристаллов мы используем унифицированную СКД, установленную в тридцатом блоке магнита У-70. Здесь представлена схема отклонения пучка в канал № 22 с помощью кристаллического сплиттера и профиль пучка в канале № 22 при выводе пучка на установку ФОДС.

Для ряда экспериментальных установок важным является получение пучка варьируемой интенсивности. Так, при проведении исследований жидкоаргонового колориметра БАК в восьмом канале на установке КМН-Атлас нам была поставлена задача выводить пучки, интенсивность которых будет изменяться в диапазоне от нескольких единиц на 10^{-11} до нескольких единиц на 10^{-6}. Применив для вывода пучков короткие кристаллы и используя два оригинальных подхода, мы смогли решить эту задачу. В первом подходе для изменения интенсивности выводимого пучка меняется напряжение монитора обратной связи бампа, который наводит пучок на кристалл. Во втором подходе мы меняем угол ориентации кристалла относительно оптимального угла для торцевого каналирования. Вот здесь представлены результаты, которые были получены при работе КМН-Атлас. Также наши коллеги со СПАСЧАРМа недавно поставили нам задачу варьировать интенсивность пучка, который мы выводим на них с помощью длинных кристаллов. Здесь уже нам нужно было варьировать интенсивность в пределах от нескольких десятков тысяч частиц до нескольких миллионов. Эта задача также была успешно решена с помощью двух описанных подходов.

- **Четвёртая глава** посвящена экспериментальным исследованиям по выводу шестизарядных ионов углерода с помощью кристаллических дефлекторов. Эти экспериментальные исследования проходили с 2012 по 2016 годы. Энергия пучков была 25 ГэВ/нуклон и 20 ГэВ/нуклон. А максимальная пиковая интенсивность была $7 \cdot 10^9$ частиц/цикл. В течение этого периода были исследованы различные комбинации режимов вывода и различные схемы наведения пучка на кристалл. Было показано, что выведенные с помощью кристаллов пучки ионов обладают достаточной интенсивностью, подходящим размером, правильной временной структурой и нужным составом. Надо отметить, что для ионов, которые более тяжёлые, чем протоны, эффективность вывода падает из-за увеличения сечения неупругого ядерного взаимодействия с веществом кристаллов.

  Вот здесь (на слайде) представлены объективные данные при работе кристаллов по выводу пучков. Слева параллельная работа двух кристаллов, справа последовательная работа двух кристаллов. Важно здесь, я считаю, отметить, что здесь используется комбинированный метод наведения для улучшения структуры выводимого пучка. А именно, мы использовали бамп и шумовую раскачку пучка.

  Здесь (на слайде) представлены изображения выведенных пучков: слева — на установке Истра-Кристалл, справа — на установке ФОДС, полученные с помощью плёнки ЕВТ3. Состав пучка измерялся в его центре по ионизационным потерям в тонком сцинтилляторе. Видно, что частицы с зарядом шесть доминируют, их больше 80 %.
- **Пятая глава** посвящена нестандартным задачам, решаемым с помощью кристаллов при обеспечении работ экспериментальных установок комплекса У-70. Первой такой задачей,

которую мы решали совместно с коллегами со СПАСЧАРМа, было получение на установке СПАСЧАРМ заряженных адронов в диапазоне импульсов 1,4–13 ГэВ/*c*. Эти пучки нужны для экспериментальной установки, которая сейчас активно развивается, и прежде всего для исследования новых детекторов, которые установка получает. До недавнего момента такие пучки она получать не могла. Был предложен метод получения таких пучков, суть которого заключается в том, что с помощью изогнутого кристалла первичные протоны выводятся на внешнюю алюминиевую мишень. В ней генерируются вторичные частицы. А канал транспортировки № 14 настраивается на целевой диапазон импульсов адронов, который нужен потребителю. Здесь (на слайде) представлена оптическая схема пучка адронов низкой энергии. Надо сказать, что в первом сеансе 2025 года мы провели экспериментальное исследование этого режима. А уже в первом сеансе 2026 года этот режим использовался при проведении методических исследований на установке СПАСЧАРМ. А именно, там исследовался детектор колец черенковского излучения (из Новосибирска) типа FARICH. Здесь (на слайде) представлены импульсные спектры пучка при этих исследованиях: 10 ГэВ/*c*, 6 ГэВ/*c*, 3 ГэВ/*c* и 1,4 ГэВ/*c*.

Ещё одну задачу, которую мы решали также совместно с установкой СПАСЧАРМ, — это вывод пучка протонов из камеры ускорителя У-70 при работе кристалла в режиме объёмного захвата в каналирование. Надо сказать, что это явление уже давно известно, и объёмный захват в каналирование изучался просто как явление. И до недавнего момента кристаллы, работающие в таком режиме, пучки из вакуумной камеры ускорителя не выводили. И вот в первом сеансе двадцать пятого года нам удалось вывести пучок кристаллом, работающим в таком режиме. Здесь (на слайде) представлен профиль пучка, выведенного кристаллом, работающим в режиме объёмного захвата в каналирование, на установку СПАСЧАРМ. Уже в первом сеансе двадцать шестого года, то есть через год после экспериментальных исследований, этот режим реально использовался при работе установки СПАСЧАРМ, когда она набирала физические данные. Надо сказать, что в этом сеансе, по объективным данным, мы не могли использовать оба из двух необходимых бампов наведения пучка при торцевом каналировании. Бамп, который нужен для «подставки» (т. е. работает в режиме «подставки»), мы не могли использовать по объективным данным. Ввиду этого наведение пучка на кристалл в цикле было нестабильным, как результат — ухудшенная временная структура выведенного пучка и сокращение эффективной растяжки. Вот здесь (на слайде) это показано на рисунке слева. В этих условиях коллеги со СПАСЧАРМа попросили нас перейти на кристалл, работающий в режиме объёмного захвата в каналирование. Это было оперативно сделано, и, по свидетельству коллег со СПАСЧАРМа, скорость набора физических данных увеличилась в два раза в этих условиях. Поэтому хотел бы засвидетельствовать преимущества объёмного захвата в каналирование: улучшается временная структура пучка, увеличивается эффективная растяжка вывода пучка, так как появляется независимость параметров вывода от угла падения частиц пучка на кристалл, но также важно для нас, как операторов, — не требуется постоянная подстройка угла, когда меняются условия наведения пучка на кристалл из-за того, что параллельно работает ещё несколько потребителей пучка.

- **Основные результаты диссертационного исследования**. Ну, наверное, зачитаю только тезисно, все не буду. Создана унифицированная станция кристаллических дефлекторов на У-70 новой конструкции, новый автоматизированный комплекс управления этой станцией. Как результат, мы получили повышение коэффициента использования ускорительного времени при работе ускорителя. Проведено экспериментальное исследование эффективности вывода пучка протонов из У-70 изогнутыми кристаллами в зависимости от угла изгиба кристаллов. Разработаны методы, позволяющие варьировать интенсивность выведенного пучка в больших пределах. Экспериментально исследована тепловая и радиационная стойкость кристаллов и стабильность вывода при длительном взаимодействии кристалла с циркулирующим пучком. Установлено, что кристаллы кремния выдерживают потоки частиц до 2×10^{20} частиц на см^2 без существенной деградации каналирующих свойств, нагреваясь до сотен градусов. Проведены экспериментальные исследования по выводу ионов углерода из ускорителя У-70 в каналы

транспортировки заряженных частиц № 22, № 8 и № 4А. Полученные таким образом пучки обладают следующими характеристиками: достаточной интенсивностью, подходящим размером, правильной временной структурой и нужным составом. Проведены экспериментальные исследования по новому применению изогнутых кристаллических дефлекторов на ускорителе. Продемонстрирована схема получения пучка положительно заряженных адронов в диапазоне импульса 1,4–13 ГэВ/с. Продемонстрирована возможность использования такого режима вывода для обеспечения методических работ на физических установках в сеансах на ускорителе У-70. Исследован вывод пучка кристаллом в канал № 14 с использованием объемного захвата в каналирование. При эффективности порядка 10^{-5} получен пучок с высокой стабильностью, достаточный по интенсивности для работы установки СПАСЧАРМ. Разработан и реализован режим одновременной работы нескольких кристаллов и внутренних мишеней для экспериментальных установок. Реализовано развитие метода деления пучка между каналами № 8 и № 22 слабовозмущающим кристаллическим сплиттером. В канал № 22 отклонялась 10-3 часть пучка с 8 канала. Такой режим длительное время использовался для установок ФОДС, СВД при одновременной работе установки ОКА на канале № 8. Исследована возможность защиты септум-магнита СМ24 с помощью кристаллического устройства при интенсивном медленном выводе пучка. Подготовлено и проверено на выведенном пучке высокоэффективное (около 65 %) кристаллическое устройство, которое по расчётам позволит увеличить эффективность медленного вывода на несколько процентов. Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Коллеги, вопросы докладчику.

Член совета д.ф.-м.н. Васильев А.Н.: А зачем это восемь статей, для защиты кандидатской диссертации достаточно двух?

Соискатель Решетников С.Ф.: Александр Николаевич, у меня главный человек есть, который всё определял, это мой научный руководитель. Получилось так, что я поздно пошёл в аспирантуру учиться, а материал уже был наработан.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Во время своей презентации вы показывали сравнение своих экспериментальных данных с программным обеспечением SCRAPER. Программное обеспечение SCRAPER опубликовано, верифицировано или это какая-то местная разработка?

Соискатель Решетников С.Ф.: Это программа, которая была создана нашими сотрудниками Язьшиным и Дегтярёвым, она учитывает структуру нашего ускорителя, создана для У-70. Но на базе программы SCRAPER с помощью Язьшина сотрудница ЦЕРН, аспирантка, создала программу для моделирования каналирования для ЦЕРН. Поэтому программа SCRAPER имеет хороший опыт применения, и результаты подтверждались не только у нас на У-70, но и в ЦЕРН.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Об этой программе я очень часто слышу коллег на конференциях, они сейчас используют ее активно, там есть такой товарищ Сытов, разрабатывает моделирование в GEANT тоже для кристаллов. Пытались ли вы сравнивать свои результаты с тем, что итальянцы, например, там делают?

Соискатель Решетников С.Ф.: Я думаю, что на международную практику у меня особо времени не было смотреть. Я в основном фокусировался на реальном применении пучков кристаллов для нашего ускорителя. Здесь много задач. Когда я пришёл работать в институт, вы понимаете, какие были годы были, был массовый отток персонала, и нам надо было решать свои задачи, чтобы ускоритель как-то выживал дальше и экспериментальные установки получали пучки.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Ещё вопрос. Вы показывали две методики вывода варьируемых пучков. Какая, по-вашему мнению, методика лучше?

Соискатель Решетников С.Ф.: Ну конечно, с напряжением обратной связи. Смотрите, изменение угла ориентации кристалла лучше использовать для точечной подстройки. Кристалл, когда он работает в каналировании, лучше не трогать. Специалист высокого уровня, который всё понимает, если разрушит вывод (с помощью кристалла), способен его восстановить,. Простым операторам (начальникам смены) запрещено трогать ориентацию кристалла. Поэтому такой более сложный режим тоже даёт такой же практически результат, как изменение напряжения на мониторе бампа, но это более сложный подход. Но да, у меня это не прозвучало. Сергей Петрович Денисов, который руководил КНМ-Атлас, требовал от нас прямо нужные конкретные данные, не просто порядок, типа «а вот давай интенсивность $6 \cdot 10^9$, затем $5 \cdot 10^9$» и т. д. Одним МОС-ом бампа получить такие точные значения было сложно, приходилось делать подстройки углом кристалла. Потом, когда исследовали оба этих подхода, то поняли, что это равнозначные технологии, но конечно МОС-ом бампа работать намного проще.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Кристаллы все кремния, да? Правильно я понимаю?

Соискатель Решетников С.Ф.: Мы используем кристаллы кремния. Дело в том, что это наиболее совершенные кристаллы, доступные в промышленности. У кристаллов основной дефект — это дислокация. Сейчас кристаллы кремния называются уже бездислокационные.

Официальный оппонент Савченко А.А.: У нас пытались смотреть другие кристаллы. Короткие алмазы сейчас, как я понимаю, делают тоже очень неплохо.

Соискатель Решетников С.Ф.: Знаете, мои коллеги Бирюков и Чесноков пробовали и германий, и вольфрам, я читал в их диссертациях. Потому что чем больше заряд, тем больше потенциальная яма (для каналируемой частицы).

Официальный оппонент Савченко А.А.: Но вольфрам мозаичный.

Соискатель Решетников С.Ф.: Да. За тридцать лет исследований до меня всё было испробовано. Кремний был выбран однозначно, две плоскости: (110) и (111).

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Одно из ограничений, как я понимаю, при использовании кристаллов, при классических с торцевыми захватами - это радиус плюс-минус 40, он должен стоять вне пучка. Он не дёргается на каждом цикле.

Соискатель Решетников С.Ф.: Вы имеете в виду критический угол Линхарда?

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Нет, не критический угол Линхарда. Кристалл неподвижен, в отличие от обычной мишени, поэтому кристалл должен стоять на плюс/минус 40.

Соискатель Решетников С.Ф.: Да, понял.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Вопрос: при объёмном захвате, казалось бы, сильно снижаются требования к ориентации кристаллов. Может ли он стать подвижным?

Соискатель Решетников С.Ф.: Да такая задача не нужна, я думаю.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Она нужна. . Хочется выводить с любого радиуса.

Соискатель Решетников С.Ф.: Александр Михайлович, я понял вашу идею. Но с ходу я не отвечу. Это вопрос, который требует экспериментального исследования.
Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: С ходу вас и не просят. Вам подсказывают ваше развитие дальше по жизни для того, чтобы делать докторскую, при условиях сегодняшней защиты. Лучше поблагодарить за перспективы на будущее.

Соискатель Решетников С.Ф.: Да, да. Спасибо большое, Александр Михайлович.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Ещё вопросы есть какие-то? Давайте закроем дискуссию. Перейдём к отзыву научного руководителя Чеснокова Юрия Андреевича.

Научный руководитель, член совета д.ф.-м.н. Чесноков Ю.А.: Как известно, идею отклонять частицы с помощью кристаллов сгенерировал Эдуард Николаевич Цыганов из Дубны ещё в 1976 году. Тогда ему, можно сказать, не поверил никто, и даже журнал не опубликовал. Потому что это было необычно и как-то сильно просто. Через два-три года он поставил эксперимент, собрал группу, отклонил пучок кристаллом. Но не впечатлил ускорительщиков, я считаю, потому что частицы нужно было отбирать, селектировать. То есть, это был как бы реально физический эксперимент, а поставить кристалл, пучок — считалось маловероятным делом. Мало-помалу на ускорителях кристаллы начали применяться. И одним из главных применителей стал наш институт. В середине восьмидесятых годов такие работы проводились, и интенсивность всё время повышалась в течение нескольких десятилетий. Диссертация Решетникова Сергея Фёдоровича — это, можно сказать, завершение этих исследований, когда многие вопросы были прояснены, какие пучки каким образом можно получать кристаллами. Эти годы позволили не только расширить круг решаемых задач, но и глубоко проникнуть в суть возможностей этого метода. Экспериментально была доказана способность кристаллов обеспечивать стабильные случаи для потребителей в ходе регулярных сеансов на У-70, что на данный момент является уникальным случаем в мировой практике. Была скрупулёзно изучена зависимость эффективности вывода от изгиба кристаллов.
Дело в том, что не просто проводить такие эксперименты. Существует, кроме нашего ускорителя, буквально несколько точек: на 8 мрад пучок отклоняли на ускорителе СПС в ЦЕРНе, на 1 мрад при энергии 900 ГэВ в Фермилаб. Но кристаллы, кстати, не были оптимизированы по параметрам, и рекордов они не поставили по эффективности. У нас, как отметил Сергей Фёдорович, были проведены систематические исследования, потребовалось для этого много работы по созданию патрубков, определению позиции кристаллов и так далее. Также в диссертации разработаны гибкие методы, которые позволяют варьировать интенсивность выведенного пучка в очень широком диапазоне. И это было сделано не просто из любопытства, а, как отметил Сергей Фёдорович, был заказ от экспериментальной установки именно при калибровке колориметров менять интенсивность очень сильно. Нужно сказать, что это тоже уникальная задача. Обычными методами, кроме как кристаллом, такую задачу невозможно решить. Потому что при медленном выводе даже требование уменьшить или увеличить интенсивность выведенного пучка, ну хотя бы в несколько раз, вызывает большие проблемы. Трасса уходит, бампы меняются. С кристаллом этого не происходит. Он всё время бьёт в одну точку, благодаря этому становится возможно решение такой проблемы.
Из новизны можно ещё отметить вывод с использованием явления объёмного захвата. Это явление было исследовано уже довольно давно, но для вывода пучка на установку не применялось. Показано, что даже несмотря на небольшую эффективность вывода, обеспечивается нужный по интенсивности режим, причём он отличается стабильностью и независимостью от перемен в настройках ускорителя. Также, как было отмечено, показана возможность выводить пучки относительно низкоэнергетичных вторичных частиц с зарядом плюс и минус в канал № 14, который номинально не предназначен вообще для положительных частиц. Он смотрит на ускоритель под очень большим углом, чтобы влетали туда отрицательные

частицы, а положительные частицы могут быть получены путём как раз вывода протонного пучка, который ударяется во внешнюю мишень. Это было сделано.
Нужно сказать о личном вкладе Сергея Фёдоровича. Цели и задачи диссертационной работы были разработаны при непосредственном его участии. Он принял определяющее участие в разработке и создании унифицированной станции кристаллических дефлекторов, а также системы управления этой станцией. Активно участвовал на всех этапах экспериментальных исследований, представленных в диссертации. Непосредственно готовил конфигурацию установок с кристаллами, настраивал параметры У-70 для наведения пучка на кристаллы, проводил измерения на циркулирующем пучке, анализировал данные, готовил публикации. Так, по теме проведённых исследований автор лично выступил с докладами на шести научных конференциях, материалы диссертации опубликованы в восьми научных журналах. Две работы в «Письмах в ЖЭТФ», три в «Ядерной физике и инжиниринге», две в ПТЭ и одна в сингапурском журнале IJoMPA.
Помимо написания диссертации Сергей Фёдорович проводит большую работу по настройке систем У-70 в сеансах, является ведущим специалистом по выводу пучков из У-70 на все экспериментальные установки. Также активно участвует в НИР по изготовлению магнитооптических элементов и магнитных измерениях. Обобщая вышеизложенное, можно с полной ответственностью заявить, что в процессе работы над диссертацией Решетников Сергей Фёдорович проявил себя как самостоятельный инициативный исследователь, обладающий глубокими знаниями, собственным направлением научных исследований, разработанными методами научной работы. Считаю, что диссертация Решетникова Сергея Федоровича «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» является актуальным научным исследованием и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника», а сам диссертант, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Спасибо. Вопросов, наверное, нет. Далее Мочалов Василий должен представить официальное заключение от места, где выполнялась работа, — ИФВЭ, и отзыв от ведущей организации.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Я не буду читать из заключения формальные вещи, а прочитаю только основные пункты.

Заключение Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А.Логунова» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Диссертация на тему «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» выполнена Решетниковым Сергеем Фёдоровичем, научным сотрудником отделения ускорительного комплекса института НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ. Диссертация заслушивалась на заседании семинара отделения ускорительного комплекса, и по итогам обсуждения принято следующее заключение. Диссертационная работа выполнена автором на высоком научном уровне при непосредственном участии соискателя. В ней представлены результаты работы автора по развитию метода вывода пучков заряженных частиц из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов за 2008–2025 гг. Будучи молодым специалистом, Решетников Сергей Фёдорович органично влился в команду, создававшую на У-70 систему вывода пучков заряженных частиц с помощью кристаллических дефлекторов. Его энергия, креативность, новаторство и здоровые амбиции ускорили внедрение, помимо многооборотного вывода пучков частиц с помощью кристаллов с эффективностью до 85%, также ряда режимов на основе однократного прохождения пучка в практику физических экспериментов на ускорителе У-70.

Особую роль в достижении вышеуказанных результатов сыграло создание и внедрение Решетниковым С.Ф. унифицированной станции кристаллических дефлекторов на основе современных программно-аппаратных средств. Используемая прецизионная мехатроника обеспечивает высочайшие параметры требуемых линейных и угловых перемещений кристаллических дефлекторов при высокой надежности, позволяющей проводить сеанс без отказов. При проведении экспериментальных исследований зависимости эффективности вывода с помощью кристалла от угла изгиба и исследовании вывода пучков ионов углерода из У-70 кристаллическими дефлекторами Решетников С.Ф. настраивал параметры У-70 для наведения пучка на кристаллы, проводил измерения на циркулирующем пучке, включал и настраивал вывод с помощью кристаллов. При его активном участии проведен анализ полученных данных.
Решетников С.Ф. внес определяющий вклад в создание в 30-м промежутке магнита У-70 станции кристаллических дефлекторов, оснащенной слабовозмущающими кристаллическими сплиттерами, позволяющей проводить деление пучка, выведенного медленным выводом, в каналы № 8 и 22. Решетников С.Ф. принял активное участие в разработке и реализации метода вывода пучка протонов варьируемой интенсивности из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов. Решетниковым С.Ф. разработана методика получения пучков адронов низких импульсов в канале частиц № 14 при выводе первичных протонов из У-70 с помощью кристалла на внешнюю мишень. Также разработан способ вывода пучка кристаллом из камеры ускорителя У-70 в канал транспортировки № 14 с использованием режима объемного захвата в каналирование.
По теме проведенных исследований лично выступил с докладами на шести научных конференциях. Материалы опубликованы в восьми изданиях, я не буду их перечислять. Заключение принято на заседании семинара отделения экспериментальной физики Курчатовского института — ИФВЭ. На заседании присутствовало 45 человек, среди которых по специальности диссертации — пять докторов и шесть кандидатов физико-математических наук. Отдельно отмечу, что там участвовали просто доктора и кандидаты наук по другим специальностям, что здесь не отмечено. Результаты открытого голосования: «за» — 45, «против» — ноль, воздержались — ноль. Протокол номер 2026-4 от 25 июня 2026 года. Теоретическая, экспериментальная часть работы, представленной в диссертации, в надлежащем объёме. Тематика работы полностью соответствует специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.
Диссертационная работа рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Секретарь семинара отделения ускорительного комплекса Сытов, научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт ИФВЭ. Подписано учёным секретарём и утверждено директором НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ Песенко Валерием Николаевичем.
Отзыв ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова». В Институте физики высоких энергий в течение многих лет ведутся экспериментальные и теоретические исследования, направленные на решение задачи поворота пучков протонов и ионов углерода высокой энергии с помощью эффекта каналирования в изогнутых кристаллах. Поскольку эквивалентное отклоняющее поле кристалла на один-два порядка выше поля классических магнитов, тёплых и сверхпроводящих, использование изогнутых кристаллов позволило создать компактное устройство управления пучком, применяющееся в физических экспериментах на ускорителе У-70. Увеличение числа экспериментальных каналов, расширение унифицированных станций, их функционала потребовало создания новых станций, чему посвящена данная работа. Именно это определяет её актуальность
Про содержание, из чего состоит диссертация, я не буду зачитывать.
Содержание диссертационной работы соответствует поставленным целям и в полной мере освещает полученные автором результаты. Несмотря на то, что исследование методов кристаллов для вывода пучков тяжёлых заряженных частиц и ускорителей ведётся в течение

нескольких десятилетий, автором внесён существенный вклад в его развитие. При этом ряд результатов получен впервые.

К результатам, определяющим научную новизну, относятся методы вывода пучка протонов варьированной интенсивности из кольцевого ускорителя с помощью изогнутого кристалла, вывод пучка с использованием явления объёмного захвата в каналирование, вывод пучка ионов водорода из кольцевого ускорителя в каналы вторичных частиц. Автором впервые измерена зависимость эффективности вывода пучка протонов кристаллом от угла его изгиба при торцевом каналировании.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что её результаты используются при проведении физических экспериментов на ускорителе У-70, повысив оперативность, надёжность управления выводом пучков с помощью изогнутых кристаллов и тем самым повысив коэффициент использования ускорительного времени. Помимо этого, результаты работы могут быть использованы при проведении экспериментов прикладного характера. Значимость полученных автором диссертационной работы результатов заключается в том, что метод вывода пучка тяжёлых заряженных частиц из ускорителей с помощью изогнутых кристаллов перешёл из стадии исследований в стадию систематического применения.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений вытекает из опубликованных в статьях и представленных в диссертационной работе результатов исследований. По теме диссертации опубликовано восемь статей, материалы представлены на научных конференциях.

Диссертация написана грамотным языком, стиль изложения соответствует сути представленного материала.

Основное замечание по диссертации касается представления важного физического результата — зависимости эффективности вывода пучков протонов от угла изгиба. Раздел 3.1, рисунок 3.8. Эксперимент и обработка результатов описаны недостаточно подробно. Нет обоснования погрешности измерений, в статье 2008 года, на которую дана ссылка.

Есть менее существенные замечания. Например, из оглавления выпало название первой главы. Для формул 1.15, 1.24 следовало бы явным образом указать условие, что радиус изгиба больше критического.

Фотография на рисунке 1.5 неинформативна, невозможно понять, где кристалл «полоска» — слева и где кристалл «О» — справа.

Единицы измерения эквивалентной дозы обозначаются «Зв», а не «Звт».

Рисунок 21, неясно, в каких единицах измеряется величина шага.

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы. Диссертация Решетникова на тему «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года с дополнениями от 21 апреля 2016 года, а сам Решетников Сергей Фёдорович, безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 -Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составил главный научный сотрудник отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ, доктор физ.-мат. наук, профессор Шведунов Василий Иванович. Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на заседании семинара Отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ 10 сентября. Подпись руководителя отдела электромагнитных процессов, в данном случае тоже Василия Ивановича Шведунова.

Подписан директором НИИЯФ МГУ, профессором, членом-корреспондентом РАН Боосом Эдуардом Эрнестовичем и утвержден проректором Московского государственного университета профессором Федяниным.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Спасибо. Следующий пункт. Ответы, ответы на вопросы.

Соискатель Решетников С.Ф.: Надо сказать, что измерения зависимости эффективности от угла изгибов проводились много лет. Ошибка измерения самой интенсивности выведенного с помощью кристалла пучка и интенсивности пучка, наводимой на кристалл, находились в диапазоне нескольких процентов. Но от сеанса к сеансу данные различались. Это связано с флуктуацией настроек ускорителя каждый раз новыми, такими как положение пучка относительно равновесия орбиты, взаимодействие с узкими местами апертуры, которых на У-70 много, в секступолях, в районе ФЭП. В результате основной вклад в погрешность определения эффективности внесла систематическая погрешность, варьирующая от сеанса к сеансу. Вследствие усреднения её мы получили ошибку порядка 15 %.
А про профилометры здесь вообще простой ответ. Каждый профилометр создавался в разное время, разные конструкции, поэтому шаг у профилометров разный. Где-то 1 мм, 1,5 мм, 2,5 мм, 1,6 мм. Тут два основных замечания было от МГУ.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Если больше вопросов нет, предоставляю слово официальному оппоненту Евгению Михайловичу Сыресину, доктору физ.-мат. наук, профессору.

Официальный оппонент Сыресин Е.М.: На меня диссертация произвела хорошее впечатление. Это добротная экспериментальная работа, с одной стороны. С другой стороны, эта работа дополнена первой главой, где рассмотрено, что называется, физика использования вывода на основе кристаллов. Соответственно, в ускорительном комплексе ИФВЭ используется несколько методов вывода пучков из синхротрона У-70. Быстрый однооборотный вывод, медленный стохастический вывод, вывод с использованием внутренних мишеней и вывод с использованием изогнутых кристаллов. Основная заслуга диссертанта в том, что он продемонстрировал, что вывод с использованием изогнутых кристаллов обладает преимуществами и является комплементарным к другим методам вывода. И впервые было продемонстрировано, так сказать, формирование пучков с низким эмиттансом, высокой пространственной стабильностью, большим динамическим диапазоном по интенсивности, что особенно актуально для целого ряда экспериментов с лёгкой перестройкой системы вывода.
Я не буду касаться общей характеристики работы, как и содержания. Всё это обсуждалось в ходе защиты. Я перейду к основным, пунктам, к замечаниям и недостаткам. У меня 6 замечаний. Я их перечислю и попрошу, соответственно, Сергея Фёдоровича на них ответить.
На ускорительном комплексе У-70 используется несколько систем вывода. Быстрый вывод, медленный вывод, вывод с использованием внутренних мишеней, вывод с использованием изогнутых кристаллов. Они упоминаются в диссертации, но, несомненно, был бы очень полезен отдельный параграф, где были бы рассмотрены предназначения, сравнения преимуществ и недостатков этих методов вывода для протонов и ионов. Это первый вопрос, на который хотел получить ответ.
На странице 72, среди преимуществ вывода с помощью изогнутых кристаллов отмечается большой динамический диапазон, высокое пространственная стабильность и малый эмиттанс. Хотелось бы услышать некоторые пояснения относительно эмиттанса. В каком случае эмиттанс мал или когда сопоставим, соответственно, с эмиттансом циркулирующего пучка.
Также у меня есть замечания, как и у ведущей организации, к рисунку 3.8. То есть имеется хорошее совпадение между расчётами данными с результатами измерения при малых и больших углах поворота, однако при промежуточном угле поворота порядка 80 мрад экспериментальные данные и результаты расчёта отличаются примерно в полтора-два раза. Это заметно превышает ошибки измерений. Хотя бы понять, с чем это связано. То есть в диссертации об этом не очень детально говорится.

Дальше следующий пункт. Повреждение кристаллов протонными пучками происходит при интенсивности протонов $2 \cdot 10^{20}$ см$^{-2}$. Отмечается, что повреждение кристалла пучками ионов углерода существенно больше, но в диссертации не приводится никаких критических значений суммарных флюенсов ионов для повреждений кристаллов.
Пятый пункт. Модуляция тока выведенного пучка с помощью изогнутых кристаллов достаточно высока, около 40–50 %, например, на рисунке 4.2, но нет комментариев о природе её возникновения, ограничения на такую временную структуру, например, при выводе ионов углерода и дальнейшем использовании для терапии модуляция в пучке должна быть однозначно меньше 10%.
На рисунке 4.10 есть ошибка в подписи единиц измерения оси ординат. Должны быть мкрад, а не мрад.
Это все замечания, но в целом диссертация Сергея Фёдоровича Решетникова «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» является научной квалификационной работой, в которой выполнены экспериментальные исследования по выводу протонных и ионных пучков высокой энергии из ускорителя У-70. Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне. Замечания и недостатки, указанные выше, не являются определяющими и не умаляют достоинств диссертации. Работа, выполненная диссертантом, актуальна и полезна для ускорительной техники, в частности для синхротронов, работающих в области физики высоких энергий. Приведённые методики вывода пучка изогнутыми кристаллами представляют большой интерес для экспериментаторов, занимающихся ускорительной техникой.
Диссертация Сергея Фёдоровича Решетникова полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения об обсуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Вот, собственно говоря, краткое содержание моего отзыва. Я бы хотел услышать от Сергея Фёдоровича ответы на мои замечания.

Соискатель Решетников С.Ф.: Евгений Михайлович, я бы хотел от всего сердца вас поблагодарить за согласие быть моим оппонентом. При Вашей загруженности вы сразу согласились и в дальнейшем очень сильно помогли мне при написании диссертации. Я вам благодарен от всего сердца! Спасибо вам большое!
Первое замечание. Полностью согласен с этим замечанием. При написании текста диссертации старался раскрыть характеристики и качества именно кристаллического вывода. Когда получил от вас замечание, уже поздно было вносить изменения, но мне стало очевидно, что действительно нужно было такой параграф вставить.
Теперь что касается эмиттанса, кратко отвечу, чтоб не затягивать. При выводе с помощью длинных кристаллов пучок сразу выводится из камеры ускорителя в канал транспортировки частиц. Эмиттанс такого пучка в десятки раз меньше циркулирующего пучка. Это определяется поперечными размерами: толщина кристалла там 0,3–0,5 мм, высота 2–3 мм. И расходимость пучка сравнима с углом Линхарда 27 мкрад. А при работе коротких кристаллов пучок, который с помощью кристалла отклонился и попал в аппертуру септум-магнита, он проходит потом ещё в ускорителе порядка 100 м. Это приводит к пробежке пучка, и эмиттанс существенно увеличивается. Но, однако же, такой пучок тоже в два-три раза по эмиттансу меньше, чем циркулирующий. Надо сказать, что эти исследования подробно проводили Юрий Андреевич Чесноков и Бирюков в своих диссертациях. Там подробно изложены методики измерения эмиттансов пучков, выведенных с помощью кристаллов. А что касается точки вот этой около 80 мрад, выводили в канал 4А. Я думаю, публикаций было много, и точки эти постоянно перестраивались, вот здесь представлена последняя публикация, которая вышла в сингапурском журнале.

Точка действительно у нас выпала, мы всей командой как-то это проворонили. Здесь надо отметить, что наиболее вероятной причиной этого стало то, что мы использовали другой холдер в конечных измерениях, у него больше вещества, и эффективность вывода снизилась. Для реабилитации скажу, что когда мы уже четыре порядка по интенсивности теряем, то разница между экспериментальными и расчётными значениями в два раза является приемлемой величиной.

Про повреждения кристаллов ионными пучками. Здесь ответ тоже простой: не только у нас, но и во всём мире пока не накоплен большой опыт по выводу ионных пучков кристаллами. Мы провели всего несколько сеансов с шестизарядными ионами углерода. Это были экспериментальные исследования. Суммарно кристаллы отработались с пучком порядка двух-трёх недель. Этих данных совершенно недостаточно, чтобы экспериментально определить радиационную стойкость в этих условиях. Понятно, что ионизационные потери растут как Z^2, и кристалл деградирует быстрее. Эффективность ионного вывода тоже меньше.

Следующий вопрос - самый фундаментальный. Позвольте, коллеги, здесь я обращаюсь к потребителям пучка не только кристаллического, но и медленного вывода. Я здесь просто зачитаю, чтобы ответить. Хочу, чтоб прозвучали именно такие формулировки.

При классическом бамп-наведении орбита пучка плавно смещается непосредственно к торцу кристалла. Скорость перемещения орбиты очень мала — единицы микрон за оборот. Любые микропульсации тока в источниках питания магнита У-70 (и конечно, в источниках питания системы коррекции градиента и системы коррекции квадратичной нелинейности), а также в источниках питания бампа приводят к резким скачкам скорости наведения. Из-за этих пульсаций пучок наводится на кристалл порциями (всплесками), что приводит к сильной модуляции выведенного пучка. Также важно, что поток выведенных частиц жёстко привязан к локальной плотности распределения частиц на краю пучка, которую нельзя стабилизировать изменением тока бампа. То есть галло пучка имеет тоже важное значение, его нужно обрезать, если мы хотим получить пучок с хорошей временной структурой. Таким образом, кристалл транслирует структуру пучка, определяемую системами ускорителя. Как мы боремся с этим? В комбинированном методе наведения бамп плюс шум бамп используется только для того, чтобы грубо подвести границы пучка к торцу кристалла. Непосредственно заброс частицы в кристалл осуществляется за счёт поперечной шумовой раскачки пучка. Поперечный шум создаёт управляемую диффузию частиц в фазовом пространстве, увеличивает их поперечный эмиттанс. Поскольку диффузионный поток определяется интегральным уровнем шума, влияние случайных пульсаций магнитного поля и пульсаций источников питания бампов сильно сглаживается. Регулируя мощность и спектральную плотность шума, надо сказать, что это более важно (потому что циркулирующий пучок представляет собой по сути набор высокодобротных осцилляторов, которые реагируют на определённые частоты), можно поддерживать практически постоянную скорость диффузии частиц на кристалл на протяжении всего цикла. Также для эффективного каналирования частицы должны попадать на торец кристаллов с углами, не превышающими угол Линхарда. Шумовая раскачка позволяет более контролируемо формировать параметры фазового эллипса пучка на входе в кристалл, снижая долю частиц, испытывающих многократные кулоновские рассеяния в аморфном слое на торце кристалла (там несколько десятков микрон аморфный слой кристалла). Ну вот результат, здесь на картинках модуляция же меньше. Здесь мы использовали комбинированный метод наведения и получили лучшую структуру. По поводу того, что для применения в медицинских целях модуляции не должны превышать 10 %. Можно использовать воблер-магнит для того, чтобы дозовая нагрузка была равномерной. Эта система на У-70 уже штатная, там используется поточечный режим сканирования.

Да, здесь признаю, действительно ошибка. Тут должны быть мкрад. Всё, спасибо, Евгений Михайлович.

Официальный оппонент Сыресин Е.М.: Я полностью удовлетворен ответами Сергея Федоровича. Они, по-моему, достаточно глубокие, понятные, и я рад, что называется, глубокому знанию материала диссертантом.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Спасибо, Следующим у нас выступает ещё один оппонент Савченко Александр Алексеевич, кандидат физ.-мат. наук.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Диссертация мне, несомненно, понравилась. В последние годы я стараюсь регулярно участвовать в конференции Channeling, которая проводится в Италии. Собственно говоря, эта конференция наиболее подходящая по этой тематике каналирования. В этом сентябре я там опять был. И тематика изогнутых кристаллов на настоящий момент очень активно обсуждается, исследуется. И здесь есть такой важный нюанс. Пока люди во всём мире в Фермилаб, в ЦЕРНе только мечтают что-то устанавливать, у вас здесь на У-70 уже это всё активно работает, в том числе благодаря, собственно говоря, соискателю. Соответственно, я хочу сразу с ходу похвалить эту работу. Соответственно, в этом плане достоверность и обоснованность всех выводов, которые показаны в диссертации, несомненны. Работа прошла очень хорошую апробацию, публикации в хороших журналах. Я также обнаружил статьи соискателя и в других топовых журналах, которые были не указаны, например, в Physical Review A, B, То есть достоверность не вызывает вообще никаких сомнений.

По структуре диссертации я ничего говорить не буду, потому что это всё развёрнуто указано в отзыве. Работа, несомненно, имеет как теоретическую, так и практическую значимость. С точки зрения теории результаты работы позволяют людям, которые занимаются сугубо теоретическими исследованиями в области каналирования, пытаться идентифицировать, во-первых, коды, теоретические модели. С точки зрения экспериментальных и прикладных целей вообще каких-то сомнений нет, что работа действительно ценна. Давайте я зачитаю замечания и вопросы и пожелания по данной работе. Замечаний у меня много, девять штук, поэтому, с вашего позволения, попробую немножко их сократить, чтобы сильно не отнимать вашего времени.

Первое замечание. В работе не хватает сопоставления и сравнения результатов с мировыми исследованиями. Но здесь я уже частично услышал ответ на этот вопрос, например, про затенение септум-магнита. Сейчас вышло несколько относительно свежих работ по исследованиям затенения в ЦЕРНе, на СПС. То есть они там рассматривают не локальное затенение, располагая кристаллы в разных областях относительно точки, где расположен сам септум.

Теперь про рисунок, который и в автореферате, и в диссертации присутствует, с разными точками изгиба кристалла. В диссертации говорится всего про четыре угла: 36, 64, 100 и 135 мрад. На рисунке показано их шесть и не объяснено, почему было выбрано конкретно такое количество углов и конкретно эти углы.

Третье замечание: в положении номер два утверждается, что кристаллы выдерживают высокие интегральные потоки протонов $2 \cdot 10^{20}$ см$^{-2}$. Но в то же время в главе три автор указывает, что после прохождения данного предела эффективность кристаллов падает примерно в два раза и они подлежат замене. То есть здесь какое-то противоречие возникает: они выдерживают $2 \cdot 10^{20}$ см$^{-2}$ без существенной деградации, но в то же время после этого порога сразу подлежат замене. Также здесь было бы интересно исследовать внутреннюю структуру кристаллов, просветить их, посмотреть, какие дефекты возникают, может, там имплантация, ещё что-нибудь.

Четвёртое замечание касается формулировки положений. Я сам учёный секретарь по физике конденсированных сред в МИФИ, и по физ.-мат., и по техническим наукам. Возможно, мне просто непривычно. Поэтому я к этому делу придрался. Но мне кажется, что в текущем виде положения они больше описывают практическую и прикладную значимость работы, нежели формируют какие-то физические закономерности. Здесь я хотел бы услышать некоторые комментарии. Еще, в качестве пожелания, в главе один указано теоретическое описание. Но хотелось бы немножко больше видеть физической обоснованности в других главах, например, в главе пятой. Да, там указано, что были выполнены расчёты на основе выражений из какой-то статьи, но сами эти выражения вообще не показаны, приходится лезть, смотреть. Соответственно, вот каких-то таких выкладок аналитических мне немножко не хватило по ходу самой диссертации. При описании вывода пучка в режиме объёмного захвата в каналирование эти процессы прохождения частиц через кристалл (каналирование, объёмный захват, объёмное

отражение) много конкурирующих процессов, и какие-то превалируют. Здесь надо было бы , наверное, говорить преимущественно, в каком-то вот режиме, чтобы оно работало. И, собственно говоря, есть ещё вопрос. В режиме объёмного захвата кристалл деградирует быстрее или нет? Потому что, казалось бы, если мы ставим там кристалл не сразу, чтобы у нас пучок входил под углами меньше критического, а потом как-то пытался туда встроиться, то какое-то время он просто как бы вспахивает сам кристалл, и может вот эта часть, вход в кристалл, деградирует быстрее. Описывается комплекс управления вот этой станцией. И упоминается микропроцессор, но в работе не указываются его технические характеристики. Здесь бы хотелось ещё понимать, как осуществлялась калибровка станции по углу, по радиусу и так далее. Это делалось уже в процессе работы, либо это делалось где-то на столе, а потом станция уже вставлялась в сам ускоритель. А также в диссертации упоминается процесс изгибания кристаллов методом штриховки, создания микроканавок. Хотелось бы узнать, насколько такая структура будет долговечной, если она подвергается долгой радиационной нагрузке и очень сильно греется.
В тексте также есть некоторые отпечатки, орфографические ошибки, но я думаю, что на последнее замечание можно и не отвечать.
Указанные замечания ни в коей мере не снижают высокую и практическую, и научную значимость работы, моё общее впечатление остаётся сугубо положительным. Все вопросы носят сугубо дискуссионный характер.
Зачитаю официальную часть, которая в конце отзыва. Диссертация Решетникова Сергея Фёдоровича «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» является самостоятельным, актуальным, законченным научно-квалификационным исследованием, выполненным на высоком уровне. В ней решена важная научная и практическая задача ускорительной техники по созданию точных прогнозируемых автоматизированных кристаллических систем вывода и разделения пучков тяжёлых заряженных частиц.
Работа полностью удовлетворяет всем требованиям пункта 9 «Положения о порядке утверждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (в редакции, действующей на момент защиты), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Её автор Решетников Сергей Фёдорович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника за разработку и успешное внедрение на отечественном ускорителе У-70 унифицированной системы кристаллического вывода пучков в экспериментальные каналы.

Соискатель Решетников С.Ф.: Александр Алексеевич, я для начала хочу вам выразить сердечную благодарность. Прочитав ваш отзыв и вопросы, понял, что вы совсем неформально подходили к своим обязанностям как оппонента, и несмотря на вашу колоссальную загруженность, проявили интерес к моей диссертацию. Вовлечённость ваша в эту тему видна сразу невооружённым глазом. Спасибо вам большое!
По вопросу о затенении. Здесь представлено устройство ЦЕРНа и наше устройство. Хочу сказать, что ЦЕРН долгие годы работал, используя для затенения одиночный кристалл, работающий в режиме каналирования. Они затеняют электростатический септум. Там толщина этих нитей небольшая, порядка 100 микрон. Мы затеняем магнитный септум. У нас толщина ножа 2 мм. Мы сразу пошли по пути затенения с помощью устройства, работающего на отражении. Они к этому только сейчас пришли, это доложено на Channeling 2026. После того как вы написали отзыв, я туда обратился, прочитал, действительно, новые данные увидел. Они появились в сентябре, после того как я уже диссертацию написал. Несмотря на то, что у нас задачи сложнее, результаты сопоставимы. Можно сказать, они идут пока за нами вдогонку.

Научный руководитель, член совета д.ф.-м.н. Чесноков Ю.А.: Можно я хочу справочку небольшую дать? Дело в том, что идея затенять септум кристаллом, давняя, ещё из группы Цыганова. Мы опробовали её первыми. У нас просто сеансы редкие. В ЦЕРНе мы тоже работали

порядка 20 лет, Так вот, с нашей подачи было сделано у них это затенение. Скажу больше, малогабаритный гониометр — кристаллическая станция — была сделана сотрудниками ИФВЭ. А сам кристалл, это немного другой подход в производстве этих многоножек, разработал Юрий Иванов из ПИЯФ, наш коллега. И он поставил это изделие в ЦЕРН и хотел заключить договор, но в двадцать втором году сотрудничество было прервано. Я не говорю, что в ЦЕРН именно его экземпляр, но по меньшей мере он скопирован.

Соискатель Решетников С.Ф.: Спасибо большое, Юрий Андреевич, дополнили.. А вот второй вопрос прозвучал. Хочу сказать, что это было колоссальной сложности экспериментальное исследование. Почему так много вопросов? Больше десяти лет его проводили, ещё до этого проводились исследования. Отвечаю на ваш вопрос: «почему точек 6, а не 4». Там (в диссертации) есть фраза: «Полученные в ходе экспериментов результаты [4, 6], а также ранее опубликованные данные [21, 26], представлены на рисунке 3.8». Это чтобы этот момент закрыть. Как выбраны углы? Углы выбирались исходя из, как я уже говорил, представляя диссертацию, целесообразности для того, чтобы обеспечивать пучками потребителей. Но важнейший момент ещё нужно было создание патрубков, чтобы выводить пучок не через вакуумную камеру ускорителя, а через тонкую фольгу из титана. Когда они у нас появлялись, мы тогда их выводили. Поэтому измерения были затянуты по времени. И выбор углов определялся целесообразностью и моментом появления необходимых для этого условий.
Замечание 3. Здесь вы совершенно верно сделали замечание. Кстати, меня Юрий Андреевич ругал за такую формулировку. Я согласен, неоднозначно звучит. Но хочу сказать следующее, что фраза «выдерживает поток $2 \cdot 10^{20}$, а потом подлежит замене» подразумевает то, что кристаллы всё ещё работают. Вот они выдержали этот поток интегральный за много сеансов $2 \cdot 10^{20}$. Эффективность у них упала, мы это видим, измеряем. Но кристалл всё ещё работает. И в нашей практике не всегда удаётся сразу же заменить такой кристалл, приходится оставлять работать. Это нетривиальная задача — изготовление кристаллического дефлектора. Поэтому такие продолжали и дальше работать. Но по-хорошему, в идеальных условиях он подлежит замене. Вот я здесь применил такую казуистику, конечно, хитрость, но оно по факту так и есть.
Замечание 4. Про положения я принимаю вашу аргументацию, Александр Алексеевич, сказать, что фундаментальные свойства каналирования и характеристики были изучены до меня. То есть ещё Таратин из ОИЯИ и Бирюков, Чесноков, Язынин из ИФВЭ этим больше всего занимались. А моя задача была с первого дня — практическое применение в ускорительной технике. Поэтому положения у меня сформированы именно так. Кстати, коллеги из МГУ, лично Шведунов, мне очень сильно помогли. Положения выглядели по-другому, после того как я там провел семинар, я изменил положения. Они со мной поработали, дали замечания, и я изменил положения. То есть для ускорительной техники положения сформулированы с моей точки зрения грамотно. Там ещё у вас прозвучало, что не надо было в положение выносить, что измерялись характеристики детектора БАК, да. А они (МГУ) наоборот сказали: подчеркни, внеси прямо в само положение формулировку, что сделано с помощью этого. Тогда оно будет звучать по-другому.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Ну, я говорю, непривычно.

Соискатель Решетников С.Ф.: Ну да, потому что у меня не фундаментальные физические исследования, а практические применения. И я подчёркиваю, где это действительно практически применено для нужд физики высоких энергий.
По пятому тоже согласен с вами. Конечно, у меня этого в диссертации не хватило, но, честно сказать, что вот эти инструменты, которые мы использовали (математические, CATCH, SCRAPER) разрабатывали Бирюков, Язынин, Дегтярёв. Было бы неэтично брать просто и всё это описывать из их работ. Мы этим пользовались коллективно, но какое-то своё авторство заявлять просто неправильно. Что касается по деградации кристалла, работающего, очень интересно было ваши рассуждения прочитать. Хочу сказать следующее, что на существующей статистике ускоренной деградации кристалла, работающего в объёмном захвате, мы не замечаем. Здесь ещё

важен один момент. Кристалл, который работает в режиме объёмного захвата в каналирование, работает с пучком умеренной интенсивности. На кристалл, который работает в режиме торцевого захвата, можно наводить интенсивность намного больше, намного больше порядков. Там всё равно деградация пойдёт быстрее, хочешь или нет. Вот этот фактор важен. Поэтому для объёмного захвата в каналирование, который работает на умеренной интенсивности, радиационные потери не так существенны.
По микропроцессорному модулю: не знаю, то ли вы имели в виду, в общем, основные компоненты у него это — 24 дискретных входа с групповой гальванической изоляцией, 12 дискретных выходов, интерфейс RS485 с гальванической изоляцией для связи с внешними устройствами и разъём для подключения модуля сигма-дельта АЦП. Как проводилась калибровка станции? Калибровка проводится на специальном стенде, с помощью автоколлиматоров лазерных. Важен ещё один вопрос, который даже я рад, что вы задали. А как ведёт себя электроника промышленная, ну, разработанная нами новая система управления? Надо сказать, что мы помещаем электронику в подвале ускорительного зала У-70 в специальную нишу, она защищена со всех сторон бетоном, в продольной проекции мы ставим (впереди и сзади) большую защиту из полиэтилена. Потому что мы попросили ОРИ, они поставили датчик, и мы им поставили только одну задачу: определите, какая компонента в дозе за один день превалирует. Они сказали: «Однозначно не заряженная компонента. Нужно защищать прежде всего полиэтиленом». И мы это сделали. И теперь хочу сказать, что станции работают по несколько сеансов. Сам микропроцессорный модуль не вышел из строя ещё ни разу. Выходила из строя дельта-сигма АЦП. Но что удивительно, мы не можем пока понять почему, выходит из строя достаточно часто (в сеансе может выйти из строя, мы его сразу заменяем, и до конца сеанса хватает) — модульный источник питания. Удивительно, но я его даже не пытался ремонтировать. Мы специально сделали из промышленных блоков, чтобы оперативно в сеансе менять. Берёшь паузу, заменяешь его тут же, и дальше продолжается работа. Это вот по этому вопросу.
Что касается долговечности работ при нанесении микроканавок на кристаллических сплиттерах — они очень долговечны. Смотрите, эмпирические данные, которые мы получили, кристалл, который был поставлен в тридцатом промежутке, проработал более пятнадцати лет. У нас два сеанса в год, не каждый год по два сеанса работал сплиттер, но при этом он работал и на СВД установку, она выполнила свою программу, сейчас он работает на ФОДС, только в последнем сеансе мы заменили этот кристалл на новый. То есть очень долгосрочно. По нашим данным, он интегральный поток получил 10^{19} прот/см^2. Кристаллы — потрясающее создание природы, очень помогают человеку. А вот здесь ещё был ваш вопрос, что это за зелёный луч? Это служебный сигнал, с помощью которого мы задаём временные уставки работы бампов при наведении на внутренние мишени и кристаллы.

Официальный оппонент Савченко А.А.: Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Спасибо. Ну, теперь мы должны перейти к дискуссии. Если у вас есть вопросы. Пожалуйста.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Ну, здесь не для дискуссии. Я хотел бы, наверное, отметить некоторые особенности. Видно, мы все разные люди, и вот как раз особенности второго оппонента Александра Алексеевича, который задавал немного нестандартные вопросы, сказываются, наверное, на том, как вы видите свою диссертацию, как вы видите свои результаты. Я сейчас объясню почему. Допустим, Александр Михайлович, Александр Николаевич, Владимир Фёдорович, я работаем с детекторами и экспериментом, поэтому для нас детектор - это он. А у вас в докладе это была установка «она», потому что вы своей работой обеспечиваете ей комфортное существование. Поэтому мы к детектору, как к мужику, мы его используем, чтоб он работал. А вы вот должны сделать так, чтоб ей было комфортно. Даже в этом мы немножко разные.

Член совета д.ф.-м.н. Васильев А.Н.: Ну вот он несколько задач решил для эксперимента СПАСЧАРМ, и вы знаете, они двинули нас вперёд, поэтому, когда я его вижу, я как бы с благоговением к нему отношусь. Это его работа — это большой вклад в развитие условий работы на экспериментальной установке СПАСЧАРМ, его диссертация имеет большое значение для нас.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Пару слов скажу. Для установки АТЛАС очень важным является переход к работе с более высокой светимостью пучков. И там одна из проблем, которая возникла, которую очень трудно решить, это вот работа жидкоаргонового колориметра в условиях высокой загрузки, установка сделана так, что заменить там первую часть невозможно, значит, должны работать в условиях существенно более высоких, на которые ориентировались, необходимо было их детально изучить и понять, что происходит с детекторами такого рода в условиях высоких ионизационных загрузок. Для этого проводились эксперименты, где важнейшим элементом являлись высококачественные пучки очень разной интенсивности. Надо было сканировать по интенсивности, смотреть, что получается. И надо сказать, что вот эта кристаллическая техника очень хорошо себя проявила. И Сергей Фёдорович тоже очень хорошо себя проявил в этих важных исследованиях. В результате проект успешно реализован. Жидкоаргоновый колориметр успешно будет работать в дальнейшем. Действительно, работа очень полезна.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Заключительное слово соискателю.

Соискатель Решетников С.Ф.: Коллеги, я бы хотел выразить вам всем огромную благодарность, потому что вы меня все поддержали, выступили положительно в моём отношении. Особо, конечно, хочу выразить большую признательность Юрию Андреевичу Чеснокову, моему научному руководителю, и двум людям, которых здесь нет сейчас: Виктору Ивановичу Терехову и Александру Гавриловичу Афонину. Эти три человека внесли огромный вклад в моё становление как специалиста. И в трудные годы, которые нам пришлось пройти вместе, всячески поддерживали. И удержали меня в институте, потому что я ещё работал в коммерческой организации. Удержали меня перед шагом перейти туда. И я остался здесь, чему на сегодняшний момент очень рад. Вот это настоящие, как говорится, патриоты своей организации, и меня воспитывали в таком же духе. Также хочу поблагодарить Александра Михайловича, Сергея Владиславовича. За годы учёбы в аспирантуре я даже не ожидал, что у таких больших учёных встречу просто вдохновляющую поддержку во всём. Они дали мне большой карт-бланш, и то, что я здесь сижу, это большая их заслуга. Они придали мне импульс. Огромная благодарность коллегам со СПАСЧАРМ Василию Вадимовичу, Александру Николаевичу. Эти люди всегда в любой ситуации поддержат словом и делом. Ну и Василий Вадимович ещё и как секретарь огромную нагрузку взял на себя. Поэтому от всего сердца всем вам большое спасибо!

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Переходим к выборам счётной комиссии. В предварительном порядке согласовали её в следующем составе: Виктор Юрьевич Егорычев, Каримов Александр Рашатович и Образцов Владимир Федорович. Если у присутствующих нет возражений, то голосуем за состав комиссии.
Проводится голосование — состав счетной комиссии утверждён единогласно.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Попросим их приступить к обязанностям.
Все, кроме членов совета, покидают зал. Происходит процесс голосования.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Всё, коллеги, давайте сейчас соберёмся. Протокол № 1-2026 заседания счётной комиссии, избранной диссертационным советом 75.2.005.01 при НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, от 12 ноября 2026 года. Состав избранной комиссии: Образцов, Каримов, Егорычев. Комиссия избрана для подсчёта голосов при тайном голосовании

по диссертации Решетникова Сергея Фёдоровича на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Присутствовало на заседании девять членов совета, из них докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации — 9.
Роздано 9 бюллетеней, осталось не розданных бюллетеней — 2, оказалось в урне девять бюллетеней. Результаты голосования по вопросу о присуждении учёной степени кандидата физико-математических наук: «За» — 9, «Против» — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Кто за то, что утвердить результат голосования.

Проводится голосование — протокол счетной комиссии утверждён единогласно.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Следующий вопрос – утверждение Заключения Совета.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: У меня вопрос: проект заключения всем рассылался. Имеет смысл его зачитывать или нет? Для информации скажу, что по сравнению со вчерашним текстом проекта было обнаружено просто две опечатки. У Сергея неправильно была указана специальность в аспирантуре, и неправильно был указан номер протокола. Это исправлено. Если замечаний других нет, голосуем заключение.

Проводится голосование — Заключение утверждено единогласно.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Ну что, все единогласно.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Ну всё, завершаем. Спасибо большое. Поздравляем Сергея Фёдоровича.

Председатель диссертационного совета Иванов С.В.

Ученый секретарь диссертационного совета Мочалов В.В.