ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.2.005.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ИМЕНИ А.А. ЛОГУНОВА НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК.

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета № 3-2026 от 12.11.2026 г.

О присуждении Решетникову Сергею Федоровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» по специальности 1.3.18 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника принята к защите 03.09.2026 (протокол № 2-2026) диссертационным советом № 75.2.005.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» 142281, пл. Науки, д.1, г. Протвино, Московская область, приказ Минобрнауки РФ № 1176/нк от 10 декабря 2024 г.

Соискатель Решетников Сергей Федорович, 1980 года рождения, в 2004 году окончил Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ. С 2023 года С.Ф. Решетников проходит обучение в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ по научной специальности 1.3.18 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Работает в должности научного сотрудника с возложением обязанности начальника службы Отделения ускорительного комплекса НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ.

Диссертационная работа выполнена в Отделении ускорительного комплекса Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» - Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова.

Научный руководитель Чесноков Юрий Андреевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Отдела пучков НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ.

Официальные оппоненты:

– Сыресин Евгений Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный инженер установки Ускорительный комплекс Коллайдера NICA, ОИЯИ;

– Савченко Александр Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИЯУ «МИФИ», доцент кафедры физики конденсированных сред Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике НИЯУ «МИФИ»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном главным научным сотрудником Отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ доктором физ.-мат. наук профессором Шведуновым Василием Ивановичем, указала, что диссертационная работа Решетникова Сергея Федоровича «Развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов» соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842.

Соискатель имеет 8 печатных работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, соответствующих всем требованиям ВАК. Вклад соискателя в эти работы является определяющим:

1. Решетников С. Ф., Афонин А.Г., [и др.]. Унифицированная станция кристаллических дефлекторов на ускорителе У-70 // Ядерная физика и инжиниринг 2025, том 16, № 6, с. 873-880.

2. Решетников С.Ф., Афонин А.Г., [и др.]. Вывод пучка протонов варьируемой интенсивности из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов // Ядерная физика и инжиниринг. 2025, том 16, номер 1, с 80-86.

3. Решетников С.Ф., Барнов Е.В., [и др.]. Получение пучка заряженных адронов в диапазоне импульсов 2-3 ГэВ/с на ускорительном комплексе У-70 // Ядерная физика и инжиниринг 2026, том 17, № 2, с. 303-309.

4. Arkhipenko A.A., ..., Reshetnikov S.F., [et al.]. Investigation of the efficiency of the extraction of a 50-GeV proton beam from a ring accelerator with the use of silicon crystals bent at various angles // JETP Letters vol. 88, 229-231 (2008).

5. Афонин А.Г., Решетников С.Ф., [и др.]. Использование новых кристаллических устройств на ускорителе У-70 // Письма в ЖЭТФ 2021, том 113, номер 3-4(2), с. 223-228.

6. Afonin A.G., ..., Reshetnikov S.F., [et al.]. Positive features of crystal extraction of protons and carbon ions from the U-70 on basis of long-term experience // International Journal of Modem Physics A 2018, vol. 33, No. 23 (2018) 1850138 (14 pages).

7. Афонин А.Г., ..., Решетников С.Ф. [и др.]. Вывод пучка ионов углерода из ускорителя У-70 в канал 4а с помощью изогнутого монокристалла // Приборы и Техника Эксперимента 2016, номер 4, с. 16-19.

8. Arkhipenko A. A., ..., Reshetnikov S. F., [et al.]. Splitting of a 50-GeV proton beam by a slightly disturbing bent crystal// Instruments and Experimental Techniques 2009, vol.52, p. 155-158.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

а) отзыв официального оппонента Сыресина Евгения Михайловича, в котором отмечены следующие замечания:

1. На ускорительном комплексе У-70 используются несколько систем вывода: быстрый однооборотный, медленный стохастический вывод с использованием внутренних мишеней, вывод с использованием изогнутых кристаллов. Они упоминаются в диссертации, но, несомненно, был бы очень полезен отдельный

параграф, где бы были рассмотрены предназначения, сравнения, преимущества и недостатки каждого из этих выводов для протонов и различных типов ионов.

2. Отмечается на стр. 74 среди преимуществ вывода изогнутым кристаллом большой динамический диапазон, высокая пространственная стабильность, малый эмиттанс без пояснений, когда эмиттанс выведенного пучка изогнутым кристаллом мал по сравнению с эмиттансом циркулирующего пучка в У-70, а когда они могут быть сопоставимы.

3. На Рис. 3.8 имеется хорошее совпадение между расчетными данными и результатами измерений при малых и больших углах поворота кристалла. Однако, при промежуточных углах поворота изогнутого кристалла около 80 мрад экспериментальные результаты и расчеты отличаются в 1.5 -2 раза, и эта разница заметно превышает ошибку измерений, с чем это связано.

4. Повреждение кристаллов протонными пучками происходит при интенсивности $2 \cdot 10^{20}$ протонов/см^2, отмечается, что повреждения кристаллами пучками ионов углерода существенно больше, но в диссертации не приводится критических значений суммарного флюенса ионов для повреждения кристаллов.

5. Модуляция тока выведенного пучка с помощью изогнутых кристаллов высока (около 50%), например (Рис. 4.2), но нет комментариев о природе ее возникновения, ограничениях на такую временную структуру, например, для терапии ионами углерода модуляция тока пучка должны быть меньше 10%.

6. На Рис. 4.10 единицы измерений должны быть в мкрад, а не в мрад.

б) отзыв оппонента Савченко Александра Алексеевича, в котором указаны следующие замечания:

1. В диссертационной работе не хватает сравнения и сопоставления полученных результатов с актуальными мировыми достижениями. Например, в работе утверждается, что достигнутый на канале № 4А коэффициент затенения септума мультикристаллом в 65% заметно превосходит ранние зарубежные результаты (40% в публикациях CERN 2019 года). Однако диссертантом не учтены более свежие публикации, тогда как в проведенных на SPS экспериментах

было достигнуто снижение локальных потерь на септуме до 51% с проектным выходом на уровень 75% при внедрении кристаллов увеличенной толщины.

2. В Главе 3 (3.1) и на рисунке 2 автореферата присутствует очевидное противоречие в представлении экспериментальных результатов. Диссертант указывает, что в рамках данной серии исследований им были измерены физические характеристики четырех кристаллов с углами изгиба 36, 64, 100 и 135 мрад. Тем не менее, на приводимом графике зависимости эффективности от угла изгиба отчетливо нанесено шесть экспериментальных точек. Соискателю необходимо пояснить происхождение дополнительных точек на графике.

3. В Положении № 2, выносимом на защиту, в тексте работы и в Заключении утверждается, что кристаллы кремния выдерживают высокие интегральные потоки частиц $2 \cdot 10^{20}$ на квадратный сантиметр без существенной деградации каналирующих свойств, при этом еще и нагреваясь до сотен градусов. В то же время в Главе 3 автор указывает, что после прохождения данного предела эффективность коротких кристаллов падает примерно в 2 раза, и они подлежат замене. Возникает противоречие в трактовке выражения «без существенной деградации» при сравнении его с фразой о падении эффективности в 2 раза. Также очень бы хотелось видеть исследование причин деградации.

4. Формулировки положений № 3 и № 4, выносимых на защиту, в текущем виде скорее описывают практическую значимость работы и прикладную область применения пучков, нежели формулируют новые физические закономерности. Заявления соискателя о том, что созданные им режимы вывода пучков позволили изучить характеристики жидко-аргоновых детекторов БАК (Положение № 3) и позволили увеличить число потребителей пучка в сеансах (Положение № 4), размывают личный научный вклад автора и уводят дискуссию в сторону экономики эксплуатации ускорительного комплекса или экспериментов.

5. В качестве пожелания: автору следовало бы развернуто представить расчетно-алгоритмическую базу, автор в Главе 1 ограничивается лишь выдержкой из упрощенной теории каналирования частиц. Диссертационное исследование существенно выиграло бы, если бы в нем были подробнее

раскрыты математические алгоритмы и коды моделирования стохастических процессов релятивистского пучка при его многократном прохождении. В частности, в первом разделе Главы 5 соискатель указывает на выполнение пучковых расчетов на основе полуэмпирического выражения и конкретной статьи, однако сам вид математической формулы и закладываемые физические допущения в тексте работы полностью опущены.

6. При описании вывода пучка в режиме объемного захвата в каналирование диссертантом стоило уточнить, что процесс прохождения реалистичных пучков релятивистских частиц через изогнутый кристалл всегда носит комплексный характер. Внутри кристалла невозможно в чистом виде сепарировать механизм объемного захвата от объемного отражения плоскостями, стандартного каналирования и процессов деканалирования и реканалирования. Стоило бы отметить, что при расположении кристалла так, как описано в разделе 5.2 отклонение происходит преимущественно за счет объемного захвата. Хотелось бы также услышать мнение автора: не должен ли кристалл в геометрии преимущественного объемного захвата деградировать быстрее в зоне входа пучка, по сравнению со стандартным торцевым каналированием?

7. В Главе 2 при подробном описании автоматизированного комплекса управления СКД упоминается использование микропроцессорного модуля M128-DRV-4. Однако технические характеристики, архитектура и радиационная стойкость данной микросхемы в тексте работы практически не раскрыты. Каковы аппаратные ограничения данного модуля при работе в условиях повышенного фона ионизирующего излучения в ускорительном зале? Кроме того, хотелось бы уточнить, как осуществляется калибровка СКД по углу и радиусу.

8. Отдельный интерес вызывает стабильность изгибания кристаллов методом нанесения микроканавок (штриховки) на их поверхность — насколько долговечна такая структура в условиях интенсивного циклического радиационного нагрева?

9. В тексте, пусть и в небольшом количестве, но присутствуют орфографические и стилистические ошибки, также некоторые рисунки

недостаточно описаны: например, использование кристаллов для вывода пучков названо «комплиментарным» к другим методам, тогда как в данном контексте корректным является написание «комплементарный»; в подписи к рисунку 4 в автореферате не объяснен зеленый луч; на фотографиях с пучками не всегда понятно, где пучок.

в) в отзыве ведущей организации Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова указаны следующие замечания:

1. Основное замечание по диссертации касается представления важного физического результата работы – зависимости эффективности вывода пучка протонов от угла изгиба кристалла – раздел 3.1, рисунок 3.8. Эксперимент и обработка его результатов описаны недостаточно подробно. Нет обоснования погрешностей измерений, в статье 2008 г., на которую дана ссылка, также отсутствуют детали.
2. Из оглавления выпало название первой главы.
3. Для формул (1.15, 1.24) следовало бы явным образом указать условие, что радиус изгиба больше критического. Фотография на рисунке 1.5 не информативна, невозможно понять: где «кристалл – полоска (слева)» и где «О-кристалл (справа)».
4. Единица измерения эквивалентной дозы обозначается «Зв», а не «Звт».
5. Рисунок 2.11 – не ясно в каких единицах измеряется величина шага.

Во всех поступивших отзывах дана положительная оценка диссертации, а также указано, что соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их опытом и профессионализмом, а также высоким уровнем экспертизы в вопросах, на которых сосредоточена диссертация, подтверждаемым соответствующими публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- были исследованы свойства кристаллов,
- выявлен предел их прочности и стойкости под действием тепла и радиации в длительных испытаниях во время сеансов на У-70,
- экспериментально доказана способность кристаллов обеспечивать стабильные пучки для потребителей в ходе регулярных сеансов на У-70,
- скрупулезно изучена зависимость эффективности вывода пучков заряженных частиц от угла изгиба кристалла.

Научная новизна диссертации:

- впервые продемонстрирована возможность вывода пучка протонов варьируемой интенсивности в большом динамическом диапазоне из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов,
- впервые продемонстрирована возможность использования режима вывода пучка кристаллом с использованием явления объемного захвата в каналирование для обеспечения работы экспериментальных установок,
- экспериментально определена эффективность вывода пучка протонов кристаллом в зависимости от угла изгиба кристалла,
- экспериментально исследован вывод пучков ионов углерода с помощью кристаллов в каналы вторичных частиц,
- продемонстрирована схема и экспериментально показана возможность получения пучков заряженных адронов в диапазоне импульсов 1,5-13 ГэВ/с в канале частиц №14 при использовании кристаллического дефлектора для вывода первичных протонов на внешнюю алюминиевую мишень.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:

- разработаны гибкие методы, позволяющие варьировать интенсивность выведенного пучка в широчайшем диапазоне;

- новаторски осуществлен вывод пучка из вакуумной камеры ускорителя посредством изогнутого кристалла, использующего феномен объемного захвата в режим каналирования;
- показана возможность и осуществлен вывод протонного пучка на несколько экспериментальных установок одновременно (с использованием разных кристаллов).

Таким образом, разработаны и осуществлены методы вывода и управления пучками протонов из ускорительного комплекса У-70.

Оценка достоверности результатов исследования: результаты расчетов хорошо совпадают с экспериментальными результатами, научные положения, выводы и рекомендации хорошо обоснованы.

Личный вклад соискателя:

- цели и задачи диссертационной работы были разработаны при непосредственном участии автора;
- Решетников С.Ф. принял определяющее участие в разработке и создании унифицированной станции кристаллических дефлекторов на ускорителе У-70 и автоматизированной системы управления этой станцией;
- Решетников С.Ф. активно участвовал на всех этапах экспериментальных исследований, представленных в данной диссертации, по управлению и формированию пучков заряженных частиц на ускорителе У-70 с помощью изогнутых монокристаллов; он непосредственно готовил конфигурацию установок с кристаллами, настраивал параметры У-70 для наведения пучка на кристаллы, проводил измерения на циркулирующем пучке, анализировал данные, готовил публикации;
- 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;

- Решетниковым С.Ф. 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 автор лично выступил с докладами на шести научных конференциях.

На заседании 12.11.2026 диссертационный совет 75.2.005.01 принял решение за развитие системы вывода циркулирующего пучка из ускорителя У-70 с помощью изогнутых кристаллов присудить Решетникову С.Ф. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.3.18 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали за 9, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Протокол о результатах тайного голосования утвержден открытым голосованием членов диссертационного совета – единогласно.

Председатель
диссертационного совета № 75.2.005.01 Иванов С.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета № 75.2.005.01 Мочалов В.В.

12.11.2026