

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин



2021 г.

О Т З Ы В

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию ЯНОВИЧА Андрея Антоновича «Экспериментальные исследования по управлению пучками заряженных частиц и генерации направленных потоков излучения с помощью новых кристаллических устройств на ускорителях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Диссертационная работа А.А. Яновича посвящена исследованиям с новыми кристаллическими устройствами, расширяющим возможности их применения на ускорителях.

Актуальность работы определяется требованиями к новым ускорительным комплексам, предназначенным для исследований в физике высоких энергий. В 2017 году в CERN была создана рабочая группа по физике с фиксированными мишенями, которая изучает возможность повторного использования существующих детекторов, установленных на ЛНС для текущих экспериментов, без существенного нарушения рабочих условий. Кристаллические устройства, которым посвящена данная работа, могут быть использованы на ускорителях для систем формирования выведенных пучков, для получения пучков вторичных частиц в ТэВ-ной области энергий, а также для «затенения» перегородок септум-магнитов для снижения радиационной нагрузки на них. Кроме того, перспективными задачами в физике высоких энергий являются измерения магнитных моментов короткоживущих частиц на ЛНС и FCC с использованием прецессии спина в изогнутом кристалле, а также уменьшение размера пучка на линейном электронном коллайдере CLIC. Для решения этих задач необходимо фокусировать пучки частиц на короткое расстояние порядка 1 см, что может быть реализовано фокусирующими устройствами, описанными в данной работе.

Содержание диссертации и степень её завершенности.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объем диссертации составляет 139 страниц, включая 68 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 114 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследований и достоверность полученных результатов, формулируются цели, научная новизна, научная и практическая значимость работы, указываются личный вклад автора, положения, выносимые на защиту, апробация результатов диссертации, а также описывается структура и объем диссертации.

В первой главе рассматривается фокусировка пучка заряженных частиц изогнутыми кристаллами двух типов. Описываются принципы фокусировки параллельного пучка изогнутым кристаллом со скошенным торцом с фокусным расстоянием порядка одного метра и фокусировки пучка на короткое расстояние изогнутым кристаллом, в котором боковые грани повернуты относительно кристаллографических плоскостей на небольшой угол. Также изучено преобразование пучка точечного источника в параллельный пучок. Приводятся результаты экспериментов, проведенных в ИФВЭ на ускорителе У-70 и в CERN на ускорителе SPS.

Во второй главе рассматривается объемное отражение релятивистских частиц в мульткристаллических структурах. Сначала описывается процесс объемного отражения, приводятся уравнения движения для плоскостного случая, выражения для среднего угла отражения и его среднеквадратичного отклонения. Показывается, что расхождение расчетных и экспериментальных величин средних углов отражения для различных изогнутых монокристаллов кремния составляет менее 5%. Затем описываются измерения в CERN на ускорителе SPS по отклонению протонного пучка с импульсом 400 ГэВ/с и пучка отрицательных пионов с импульсом 150 ГэВ/с с использованием восьмиполосного кремниевого дефлектора в режиме отражения.

Третья глава посвящена применению мульткристаллических структур для генерации гамма-излучения и для защиты септум-магнитов. Приведены результаты расчетов и экспериментов по генерации гамма-излучения при взаимодействии пучка электронов с энергией 7 ГэВ с мульткристаллической структурой, а также по защите септум-магнита SM24 на протонном пучке на ускорителе У-70 в ИФВЭ.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Диссертация является завершенным научным исследованием, в результате выполнения которого получены все данные, необходимые для использования кристаллических устройств в качестве оптических элементов ускорительного тракта.

Научная новизна работы заключается в экспериментальном подтверждении возможности формирования направленных потоков вторичных частиц, генерируемых на нитевидных мишенях, с помощью фокусирующих кристаллов без применения магнитной оптики; в проведении детального исследования потерь энергии электронов на излучение высокоэнергетических фотонов в мульткристаллической структуре в режиме отражения на пучке электронов с

энергией 7 ГэВ; в демонстрации возможности использования объемного отражения протонного пучка, взаимодействующего с мультикристаллической структурой, для защиты септум-магнитов в ускорителях.

Практическая ценность и значимость работы состоят в том, что кристаллические фокусирующие элементы могут заменить дорогостоящие магнитооптические каналы при энергии пучков выше 100 ГэВ. Экспериментальные результаты, полученные в работе, показывают возможность применения кратного объемного отражения частиц в многополосных кристаллах для коллимации пучка в ускорителях высоких энергий. Это особенно важно для пучков отрицательно заряженных частиц из-за низкой эффективности каналирования.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений вытекает из хорошего согласия экспериментальных данных, полученных с применением различных методик на экспериментальных установках в ИФВЭ и CERN, со сделанными расчетами.

Основные результаты диссертации опубликованы в 11 печатных работах, индексируемых Web of Science, Scopus и РИНЦ, и включенных в перечень ВАК РФ. Указанные публикации и автореферат в полной мере отражают содержание диссертации. Язык и стиль изложения обеспечивают адекватное восприятие материала.

Замечания по работе

В качестве недостатков, не снижающих значимость полученных результатов, можно отметить следующее.

1. В диссертационной работе уделено недостаточное внимание вопросу радиационной стойкости исследуемых кристаллических устройств и температурным нагрузкам на них во время эксплуатации. Не указаны предельные интенсивности падающего на кристаллы пучка и примерные сроки жизни данных устройств для большей части возможных применений.

2. Для магнитооптических систем, основанных на классических магнитных элементах, существуют вполне определенные соотношения, позволяющие проектировать сложные системы транспортировки пучка. Результаты выполненных автором исследований фокусирующих устройств на основе изогнутых кристаллов следовало бы обобщить в виде правил или критериев выбора параметров кристалла (толщина, радиус изгиба, угол скоса) с тем, чтобы можно было проектировать системы с определенными фокусирующими свойствами для заданной энергии пучка.

3. В тексте диссертации встречаются синтаксические ошибки, например:

Стр. 52. «Объемное отражение в изогнутых кристаллах имеет место, когда ориентированный пучок частиц, под углом больше критического угла каналирования к атомным плоскостям на входе в кристалл, пересекает кристалл, то вблизи области касания траекторий с изогнутыми атомными плоскостями большая часть пучка отклоняется в сторону, противоположную изгибу.»

Стр. 53. «Условием того, что некогерентное рассеяние не испортит эффект объемного отражения, является малость многократного кулоновского рассеяния RMS угол (угловой разброс), накопленный вдоль всего пройденного кристалла по сравнению со средним углом объемного отражения.»

Стр. 71. «Для решения этой задачи была предложена новая схема изгиба, не прибегая к внешнему изгибающему устройству.»

Стр. 86. «Полный угол отклонения частицы в поле больше по сравнению с характерного угла излучения $1/\gamma$.»

Заключение.

Диссертационная работа А.А. Яновича «Экспериментальные исследования по управлению пучками заряженных частиц и генерации направленных потоков излучения с помощью новых кристаллических устройств на ускорителях» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а сам Андрей Антонович Янович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составил

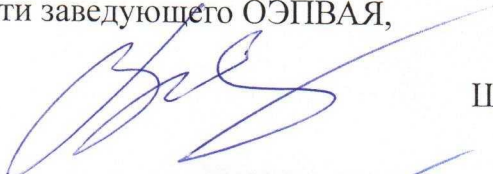
Старший научный сотрудник, ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ,
к.ф.м.н.



Юров Д.С.

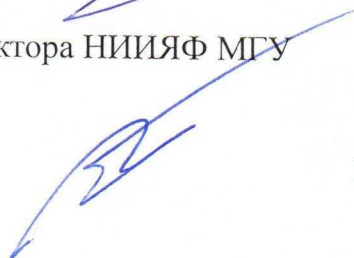
Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на семинаре ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ, состоявшемся 8 апреля 2021 г.

Исполняющий обязанности заведующего ОЭПВАЯ,
д.ф.м.н, профессор



Шведунув В.И.

Исполняющий обязанности директора НИИЯФ МГУ
Член-корреспондент РАН



Боос Э.Э.

119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ)

Тел.: +7 495 939 18 18, email: d_yurov88@mail.ru