

## **Отзыв**

### **официального оппонента 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**

В диссертационной работе Яновича А.А. изучаются эффекты, реализующиеся при взаимодействии релятивистских заряженных частиц с ориентированными кристаллическими структурами. Работа носит экспериментальный характер и в основном ориентирована на разработку новых устройств для управления релятивистскими пучками заряженных частиц с учётом требований современных ускорителей. Диссертация состоит из трёх взаимосвязанных разделов и содержит всю необходимую информацию в рамках требований к диссертационным исследованиям.

**Актуальность** работы обосновывается существующими проблемами в области физики каналлирования релятивистских заряженных частиц в кристаллических структурах и разработке новых устройств кристаллической оптики на данной основе. Результаты работы также могут быть использованы в качестве основы для новых оптических устройств, предназначенных для управления пространственными характеристиками пучков частиц современных ускорителей.

### **Содержание диссертации**

**Во введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится краткий обзор

научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

**В первой главе** диссертации рассмотрены эффекты фокусировки пучка заряженных частиц при его взаимодействии с фокусирующими кристаллическими элементами первого и второго типа.

В частности, выполнены следующие исследования.

- в Протвино на пучке протонов 50 ГэВ ускорителя У-70 и в CERN на пучке протонов 400 ГэВ выполнены эксперименты по изучению фокусирующих свойств и линейности угла отклонения пучка в зависимости от поперечной координаты;

- на основе установок в Протвино на пучке протонов 50 ГэВ и в CERN на пучке положительных пионов 180 ГэВ рассмотрена фокусировка пучков протонов и положительных пионов на короткое расстояние изогнутым кристаллом второго типа, в котором боковые грани повернуты относительно кристаллографических плоскостей на небольшой угол;

- на основе установок в Протвино на пучке протонов 50 ГэВ и в CERN на пучке положительных пионов 180 ГэВ выполнено исследование фокусировки из точечного источника в параллельный пучок (обратная фокусировка) для кристаллических устройств первого типа.

**Во второй главе** на основе экспериментальных возможностей CERN рассмотрено объемное отражение релятивистских частиц в мульткристаллических структурах. Экспериментальным исследованиям предшествовал расчёт основных характеристик рассматриваемых процессов. Измерения выполнялись в CERN на ускорителе SPS с протонным пучком с импульсом 400 ГэВ/с и пучком отрицательных пионов с импульсом 150 ГэВ/с. В качестве отклоняющего элемента использовался восьмиполосной кремневый дефлектор в режиме отражения.

Также в главе рассмотрено пятиполосное кристаллическое устройство другого типа, которое разработано для ТэВ-ных энергий и было испытано в CERN на пучке протонов с импульсом 400 ГэВ/с. Данный тип многополосного дефлектора можно использовать в качестве первичного коллиматора в LHC и FCC, что подробно рассмотрено в конце данной главы.

**В третьей главе** рассмотрено применение мультикристаллических структур для генерации гамма-излучения и защиты септум-магнитов.

В первой части главы излагается теоретический аппарат необходимый для описания процесса излучения фотонов при прохождении легких лептонов через кристалл. Рассмотрены основные особенности излучения релятивистских частиц, в частности, описано тормозное излучение в прямых кристаллах, для которого приведено уравнение полного сечения, учитывающее когерентный и некогерентный вклад тормозного излучения. Также в главе подробно рассмотрено излучение, сопровождающее процесс объемного отражения в изогнутых кристаллах.

Во второй части главы на основе выполненных расчётов рассмотрены особенности излучения высокоэнергетичных фотонов 10 ГэВ электронами в области объемного отражения.

В третьей части главы рассмотрена возможность использования мультикристаллических структур в режиме отражения частиц для защиты септум-магнитов от радиации. Данный вариант защиты был протестирован на протонном пучке с энергией 50 ГэВ на ускорителе У-70 для защиты септума SM24. Выбранное мультикристаллическое устройство было таким же, как и в эксперименте по генерации гамма-излучения.

**Научная новизна и практическая значимость** работы определяется обнаруженными новыми явлениями, основой которых является механизм каналлирования заряженных частиц в кристаллических структурах. Достаточно высокий уровень публикаций автора по тематике исследований подтверждает научную новизну и значимость полученных результатов.

Возможность прикладного использования полученных результатов обосновывается возможностями применения результатов для решения задач, связанных с разработкой новых подходов к управлению пространственными характеристиками пучков релятивистских заряженных частиц, что актуально в рамках разрабатывающихся в настоящее время ускорителей.

**Достоверность полученных в работе результатов** определяется неоднократным обсуждением результатов работы на международных конференциях, публикацией в престижных научных журналах, использованием апробированных подходов математической физики и теории излучения заряженных частиц, достоверной статистической ошибкой полученных экспериментальных данных и использованием апробированных методик проведения экспериментов.

**Общим замечанием** к работе является отсутствие желаемого более подробного описания уникальных приборов и устройств, использованных в экспериментах. Например, в работе упоминается гониометр высокого разрешения, но технические характеристики не приводятся. Подобные особенности являются техническими и не меняют общего высокого уровня выполненной научной работы.

Подводя итог необходимо отметить, что качество и значимость выполненных работ соответствует современному мировому уровню, при этом, объём проведенных исследований существенно превышает типичные нормы, предъявляемые к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Результаты работы являются новыми и вносят существенный вклад в развитие физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, а полученные результаты соответствуют поставленным задачам. Диссертация в целом представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой достигнуты все поставленные цели. Полученные результаты доказывают

положения, выносимые на защиту. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Материалы диссертационного исследования достаточно полно опубликованы автором и представлены на ведущих конференциях по тематике исследований. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

**Считаю**, что диссертационная работа является законченным научным исследованием, актуальна, обладает достаточной научной новизной, представляет научный и практический интерес, полностью соответствует требованиям ВАК РФ. Автор диссертации А.А. Янович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Доктор физико-математических наук,  
заведующий международной  
научно-образовательной лабораторией  
радиационной физики НИУ «БелГУ»



Кубанкин Александр Сергеевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Международная научно-образовательная лаборатория радиационной физики, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 15,  
Тел. +7(920) 593-33-36; email: [kubankin@bsu.edu.ru](mailto:kubankin@bsu.edu.ru)

