

УТВЕРЖДАЮ

Директор

НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ,

д. ф.-м. н., академик

С.В. Иванов

2021 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения  
«Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация на тему «Экспериментальные исследования по управлению пучками заряженных частиц и генерации направленных потоков излучения с помощью новых кристаллических устройств на ускорителях» выполнена Яновичем Андреем Антоновичем, научным сотрудником Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Маишеев Владимир Александрович, ведущий научный сотрудник Отдела пучков НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ.

В 1992 году Янович А.А. окончил физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. В 2006 г. Янович А.А. сдал кандидатские экзамены экстерном: «Английский язык» (отлично), «История и философия науки» (хорошо), в 2021 г. «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника - 01.04.20» (хорошо).

По итогам обсуждения на заседании семинара Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ с привлечением сотрудников Отделения ускорительного комплекса У-70 принято следующее заключение:

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне при непосредственном участии соискателя. Автор принимал активное участие в подготовке и проведении исследований на канале 4а ускорителя У-70. Программное обеспечение системы сбора данных и первичного анализа данных для этих исследований были созданы автором. В экспериментах на канале 4а ускорителя У-70 и в рамках коллаборации UA-9 ускорителя SPS CERN автор принимал участия в наборе и обработке экспериментальных данных, а также проводил физический анализ данных. Личный вклад автора в научные работы, опубликованные по теме диссертации, отражен в содержании диссертации и в основных положениях, представленных к защите.

В рамках диссертационной работы получены следующие результаты:

1. В экспериментах по новой оптике пучков получена детальная информация о качестве фокусировки для двух типов изогнутых кристаллов. Показано, что принцип линзы выполняется с высокой точностью (наблюдается линейная зависимость угла отклонения частицы от ее поперечной координаты в линзе). Экспериментально подтверждено, что кристаллические устройства первого типа в режиме прямой фокусировки могут использоваться в реальных системах формирования пучков выведенных частиц, а в режиме обратной фокусировки (фокусировка из точки в параллель), для формирования направленных потоков вторичных частиц, генерируемых на нитевидных мишенях, без применения магнитной оптики. Для фокусирующего кристаллического устройства второго типа получена фокусировка на короткое расстояние порядка 15 см.
2. В экспериментах по отклонению с помощью объемного отражения 400 ГэВ протонов и 180 ГэВ отрицательных пионов на ускорителе SPS в CERN для восьми-полоскового кристаллического устройства первого типа в плоскостной ориентации эффективность отклонения составила для протонов около 94% и для отрицательных пионов около 71%. В осевой ориентации многополосного кристаллического устройства угловая ширина пучка (RMS угла отклонения) была в 4 раза больше для протонов и почти в 3 раза больше для отрицательных пионов, чем для плоскостной ориентации. Для пятиполоскового кристаллического устройства второго типа (в котором изгиб полос происходит без внешнего изгибающего устройства) для 400 ГэВ протонов в плоскостной ориентации эффективность отклонения составляла около 90%. В осевой ориентации кристаллического дефлектора угловая ширина пучка была почти в 3 раза больше, чем для случая кратного отражения в плоскостной ориентации. Многополосковые кристаллы первого типа можно использовать для коллимации пучка в ускорителях высоких энергий, а кристаллы второго типа для коллимации пучка сверхвысоких энергий. Это особенно важно для пучков отрицательно заряженных частиц из-за низкой эффективности каналирования.
3. Создана программа расчета потерь энергии на излучение в изогнутом монокристалле и многополосковом устройстве. Алгоритм программы использует новую модель, которая основана на идеи локальности когерентного тормозного излучения с помощью Монте-Карло моделирования и позволяет учитывать многократное рассеяние электронов (позитронов) и кратность излучения фотонов. Расчеты, выполненные с использованием новой модели, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными и с другими аналогичными расчетами в рамках различных моделей.
4. В эксперименте по генерации излучения при взаимодействии электронного пучка с энергией 7 ГэВ с новой много-полосковой структурой показан рост потерь энергии на излучение в 1,3 раза для плоскостной и в 2,5 раза для осевой ориентации много-полосковой структуры по сравнению с неориентированным случаем. Таким образом, был продемонстрирован источник излучения высокоэнергетических фотонов, имеющий перспективы практического применения на ускорителях.

Материалы диссертации опубликованы в 11 научных работах в журналах, индексируемых в базах WoS, SCOPIUS и РИНЦ, в том числе 6 работ в Письма в ЖЭТФ, 2 работы в Phys. Rev. Accel. Beams и 3 работы в Nucl. Instrum. Methods B:

1. Афонин А.Г., Баранов В.И., Баранов В.Т., Бритвич Г.И., Янович А.А. [и др.] Исследование фокусировки пучка протонов с энергией 50 ГэВ с помощью нового кристаллического устройства // Письма в ЖЭТФ. – 2012. – Т. 96. – № 7. – Октябрь 2012. – С. 470-473.
2. Scandale W., Arduini G., Cerutti F., Yanovich A.A. [et al.] // Comprehensive study of beam focusing by crystal devices // Phys. Rev. Accel. Beams. – 2018 – Vol. 21. – No 1. - January 2018. – P. 014702.

3. Афонин А.Г., Баранов Е.В., Бритвич Г.И., Янович А.А. [и др.] Фокусировка пучка частиц высокой энергии на предельно коротком расстоянии // Письма в ЖЭТФ. – 2017. - Т. 105. - № 12. – Август 2017. - С. 727-729.
4. Scandale W., Arduini G., Cerutti F., Yanovich A.A. [et al.] Focusing of a particle beam by a crystal device with a short focal length // Nucl. Instr. And Meth. in Phys. Res. B. – 2018. – Vol. 414. - January 2018. - Pp. 104-106.
5. Афонин А.Г., Бритвич Г.И., Бугорский А.П., Янович А.А. [и др.] Отклонение расходящегося пучка протонов с энергией 50 ГэВ с помощью фокусирующего кристаллического устройства // Письма в ЖЭТФ. – 2016. – Т. 104. - № 1. – Июль 2016. - С. 9-12.
6. Scandale W., Arduini G., Cerruti F., Yanovich A.A. [et al.] Focusing of 180 GeV/c pions from a point-like source into a parallel beam by a bent silicon crystal // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B. – 2019. – Vol. 446. – May 2019. – Pp. 15-18.
7. Scandale W., Arduini G., Butcher M., Yanovich A.A. [et al.] Comparative results on the deflection of positively and negatively charged particles by multiple volume reflections in a multi-strip silicon deflector // Письма в ЖЭТФ. – 2015. – Т. 101. – № 10. – May 2015. – С. 755-760.
8. Scandale W., Arduini G., Butcher M., Yanovich A.A. [et al.] Deflection of high energy protons by multiple volume reflections in a modified multi-strip silicon deflector // Nucl. Instr. And Meth. in Phys. Res. B. – 2014. - Vol. 338. – November 2014. – P.108-111.
9. Маишеев В.А., Сандомирский Ю.Е., Чесноков М.Ю., Чесноков Ю.А., Янович А.А., Язынин И.А. Использование отражения частиц в изогнутых кристаллах для коллимации пучка в больших адронных коллайдерах // Письма в ЖЭТФ. – 2020. – Т. 112. – № 1. – Июль 2020. – С. 3-8.
10. Афонин А.Г., Баранов В.Т., Бритвич Г.И., Бугорский А.П., Янович А.А. [и др.] Излучение фотонов при взаимодействии электронного пучка высокой энергии с последовательностью изогнутых монокристаллов // Письма в ЖЭТФ. – 2018. – Т. 107. - № 8. – Апрель 2018. – С. 477-480.
11. Afonin A.G., Barnov E.V., Britvich G.I., Chesnokov Yu.A., Yanovich A.A. [et al.] Implementation of multistrip crystals to protect the septum magnets and to generate gamma radiation // Phys. Rev. ST Accel. Beams. – 2019 - Vol. 22. – No 3. - March 2019. - P. 033001.

Заключение принято на заседании семинара Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. На заседании присутствовало 43 человека, среди которых 11 докторов и 15 кандидатов физико-математических наук. Результаты открытого голосования: «за» – 43 человека, «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 1/21 от 27 января 2021 г.

Теоретическая и экспериментальная части работы представлены в диссертации в надлежащем объеме. Тематика работы полностью соответствует специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Диссертационная работа рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Секретарь семинара ОЭФ,  
д. ф.-м. н., внс  
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

 С.А. Садовский