

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Баранова Григория Николаевича на тему «**Многополюсный гибридный вигглер для генерации жёсткого интенсивного синхротронного излучения на накопителе ВЭПП-4М**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук

Актуальность темы

Диссертационная работа Баранова Г.Н. посвящена созданию гибридного вигглера и исследованию его влияния на динамику пучков заряженных частиц в электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М. Использование данного вигглера позволяет существенно увеличить плотность потока синхротронного излучения (СИ) в различном энергетическом диапазоне и сместить критическую длину волны в более жёсткую область, что делает выполнение различных исследовательских экспериментов гораздо более эффективным.

Несмотря на большой накопленный опыт и стремительное развитие расчетных средств, вопросы формирования электромагнитных полей сложной конфигурации остаются актуальными в научной и промышленной сферах в связи с постоянно растущими требованиями на качество и характеристики этих полей. Это особенно ярко выражено при использовании различных устройств в составе структурного оборудования современных ускорителей и накопителей заряженных частиц, которые имеют сложную магнитооптическую структуру и работают с пучками большой интенсивности.

В связи с этим диссертационная работа Баранова Г.Н., включающая теоретические расчеты, формирование требуемого магнитного поля, теоретическое и экспериментальное изучение влияния уникального вигглера на динамику пучка в накопителе заряженных частиц несомненно, является **актуальной** и представляет научный и практический интерес.

Научная новизна

Созданный в ходе данной работы гибридный вигглер, в котором магнитное поле формируется комбинацией токовых обмоток и постоянных магнитов, впервые установлен на накопитель электронов, экспериментально изучено его влияние на циркулирующий пучок. Использование данного вигглера позволит более эффективно выполнять различные исследовательские эксперименты прикладного характера.

Общая характеристика и содержание работы

Диссертация объемом 125 страниц, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы, выполнен анализ текущего состояния дел в исследуемой области, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой** главе дано краткое описание установки ВЭПП-4М и экспериментов, проводимых на ней. Приводятся основные особенности, которые делают ВЭПП-4М уникальной машиной, позволяющей проводить прецизионные эксперименты в различных областях науки. Приведен анализ магнитной оптики ВЭПП-4М, представлены системы диагностики пучка, которые используются в экспериментах, описанных в последующих главах.

Вторая глава посвящена разработке, описанию основных принципов, положенных в конструкцию гибридного вигглера, и анализу результатов расчётов его магнитного поля. Объясняется принцип увеличения магнитного поля на оси пучка за счёт использования постоянных магнитов. Обосновываются конструктивные особенности гибридного вигглера. Приводятся продольные и поперечные профили магнитного поля, а также сравнивается его параметры в присутствии постоянных магнитов и без них.

Третья глава диссертационной работы посвящена магнитным измерениям параметров гибридного вигглера. Дано описание методики этих измерений. Описывается конструкция и принцип работы измерительной системы. В результате составлена подробная карта магнитного поля гибридного вигглера, выполнен анализ его нелинейных компонент, найдены токи источников питания, которые позволяют занулить первый и второй интеграл магнитного поля.

В **четвертой главе** проводится анализ эффектов, которые оказывает гибридный вигглер на пучок в накопителе заряженных частиц при помощи построенной модели вигглера на основе магнитных измерений, представленных в третьей главе. Выполнено сравнение результатов между теоретической моделью Хальбаха и построенной моделью.

Пятая глава посвящена экспериментальному изучению влияния гибридного вигглера на пучок ВЭПП-4М, описана методология экспериментов с пучком и их результаты.

В **шестой главе** проводится расчет характеристик синхротронного излучения и выполнен обзор пользовательских экспериментов, в которых задействован новый гибридный вигглер. В рентгенофлуоресцентном элементном анализе (РФА) с энергией фотонов от 30

до 100 кэВ использование гибридного вигглера позволило более чем на 2 порядка увеличить интенсивность излучения, что позволило существенно улучшить эффективность методики РФА. На станции рассеяния СИ «Плазма» использование нового вигглера позволило увеличить спектральную плотность излучения около 69 кэВ на 2 порядка, что позволило увеличить толщину образцов более чем в 2 раза, что является принципиальным с точки зрения постановки эксперимента и качественно улучшает моделирование реальных процессов в нём. На станции радиационных методов терапии рака увеличение интенсивности СИ из вигглера позволило добиться уменьшения времени облучения биологических образцов, что сопоставимо с условиями конвенциональной лучевой терапии.

Достоверность основных результатов, положений и выводов диссертационной работы не вызывает сомнений. Пять экспериментов, проделанных автором по изучению влияния гибридного вигглера на пучок ВЭПП-4М, полностью подтверждают справедливость оценок, расчётов и моделей, представленных в работе. Правильность расчётов при формировании магнитного поля вигглера подтверждается результатами выполненных магнитных измерений.

Основные результаты работы опубликованы в 7-ми печатных работах, в том числе в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России, и до-кладывались на российских и международных конференциях.

В **заключении** сформулированы основные выводы и результаты работы.

Из **замечаний** стоит отметить следующее:

- следовало бы более подробно описать процесс формирования магнитного поля вигглера с помощью постоянных магнитов, объяснить преимущество их использования в данном устройстве, показать возможно ли сформировать поле с требуемыми параметрами без них;
- в тексте работы встречаются неточности, например, «скромная светимость» при описании параметров установки ВЭПП-4М; или «результаты измерений достаточно хорошо совпадают с моделированием» при сравнении результатов магнитных измерений и моделирования мультипольных компонент поля в вигглере, эти выражения следует заменить конкретными цифрами;
- также в работе присутствуют орфографические и пунктуационные ошибки, неточности, которые затрудняют восприятие материала;
- в списке литературы у некоторых источников указана не полная информация об издании. Однако, отмеченные недостатки и замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической ценности работы.

Автореферат создает целостную картину о представленной работе. Его содержание полностью соответствуют основным идеям и выводам, сделанным в диссертации.

Заключение

Диссертация отличается актуальностью, содержит научную новизну и обладает значительной практической значимостью, является законченным научно-исследовательским трудом по физике и технике ускорителей и представляет интерес для специалистов в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники.

Диссертация «Многополюсный гибридный вигглер для генерации жесткого интенсивного синхротронного излучения на накопителе ВЭПП-4М» соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Баранов Григорий Николаевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Костромин Сергей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Баранова Григория Николаевича, и их дальнейшую обработку.

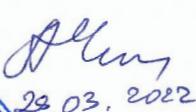
Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук
(01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника),
помощник директора по реализации
крупных инфраструктурных проектов
Лаборатории физики высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований,
ул. Жолио-Кюри 6, г. Дубна,
Московская область, 141980 Россия
тел. +7-916-034-18-73
e-mail: kostromin@jinr.ru

 Костромин Сергей Александрович
29.03.2022.

Подпись С.А. Костромина заверяю

Ученый секретарь
Лаборатории физики высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований
Чеплаков Александр Павлович

 29.03.2022

/А.П. Чеплаков/

