

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук  
Овсянникова Дмитрия Александровича  
на диссертационную работу

**Богомягкова Антона Викторовича**

**«Одночастичные эффекты, ограничивающие параметры современных источников синхротронного излучения и электрон-позитронных коллайдеров»,**

представленную 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

на соискание учёной степени доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

### **Актуальность темы исследования**

Проблема изучения нелинейного движения привлекает внимание многих исследователей и на сегодняшний день превратилась в большой самостоятельный раздел физики ускорителей. В настоящее время разрабатываются и строятся накопители заряженных частиц с уникальными параметрами, источники синхротронного излучения со сверхмалыми эмиттантами, коллайдеры со сверхвысокой светимостью или сверхвысокой энергией пучков. Все эти разработки требуют дополнительных исследований динамики пучков, использования нестандартных методов и подходов при применении аналитических и численных вычислений повышенной точности.

### **Практическая значимость полученных автором результатов**

Практическая значимость диссертации не вызывает сомнений. Результаты диссертационной работы полезны для создания новых и оптимизации существующих накопителей заряженных частиц.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Научная новизна полученных автором результатов определяется нахождением магнитооптических структур источника СИ 4-го поколения ЦКП «СКИФ» и  $e^+e^-$  коллайдера Супер с-т фабрика, предложенным набором параметров для коллайдера FCC-ee, объяснением ограничения динамической апертуры синхротронным излучением в финальных квадрупольных линзах коллайдера FCC-ee и анализом неопределённости определения энергии в системе центра масс на коллайдерах ВЭПП-4М и FCC-ee. Приведённые автором расчёты по нелинейной динамике для секступольного и октупольного возмущений уникальны. Исследования по ограничению динамики пучка синхротронным излучением в финальных квадрупольных линзах сделано впервые.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, полученных результатов**

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждается систематическим характером исследований, сопоставлением и

удовлетворительным совпадением результатов теоретического анализа и численного моделирования, а также сравнением полученных результатов с результатами других исследователей. Обсуждение полученных данных на специализированных международных конференциях, публикации в ведущих научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Результаты диссертации докладывались на многочисленных российских и международных конференциях и представлены в 12 научных статьях в международных высокорейтинговых журналах (в журналах из Перечня ВАК при Минобрнауки России).

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация является законченным научным трудом и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 6 приложений на 37 стр. Общий объём диссертации 267 стр. Библиография включает 187 наименований на 23 стр. В работе приведено 95 рисунков и 31 таблица.

Во введении обоснованы актуальность и цель диссертации. Сформулированы цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, указан личный вклад автора в выполненные работы.

Первая глава посвящена обзору источников нелинейных возмущений, ограничивающих эффективность источников синхротронного излучения (СИ) и  $e^+e^-$  коллайдеров.

Во второй главе описано исследование магнитной оптики, послужившее основой для создания магнитооптической структуры кольцевого источника СИ 4-го поколения ЦКП «СКИФ», находящегося в стадии строительства.

Третья глава посвящена исследованию ограничений динамики пучка и способам их преодоления в  $e^+e^-$  коллайдере Супер с-т фабрика. Впервые получены параметры и удовлетворительное время жизни пучка со светимостью  $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

В четвертой главе приведено исследование нового эффекта, ограничивающего параметры  $e^+e^-$  коллайдера на сверхвысокую энергию FCC-ee. Новым является влияние синхротронного излучения в поле встречного пучка и в полях финальных квадрупольных линз на динамику пучка.

Пятая глава посвящена оценкам неопределённости определения энергии в системе центра масс в экспериментах на встречных пучках в  $e^+e^-$  коллайдерах FCC-ee и ВЭПП-4М.

В заключении представлены основные результаты, полученные в диссертации и вынесенные на защиту.

В шести приложениях приведены выводы известных и использованных автором формул.

### **Замечания и недостатки**

1. В разделе 2.1 дается формула среднеквадратичного эмиттанса. Однако неясно использовалась ли она в дальнейшем при оптимизации эмиттанса и для расчёта эмиттанса при моделировании динамики пучка.

2. В разделе 2.2.1 (стр. 103) при сравнении полученных результатов с компьютерным моделированием не говорится какие нелинейности при этом учитываются.
3. При ссылаях на решения нелинейных уравнений стоило бы упомянуть о работах М. Берца по дифференциальной алгебре.
4. На страницах 9, 10, 11 имеются опечатки в указании размерности светимости.

Следует подчеркнуть, что перечисленные выше замечания не влияют на общий вывод о диссертации. Они относятся к оформлению или их можно воспринимать как пожелания и не умаляют положительные стороны диссертации.

### Заключение

Диссертационная работа А.В. Богомягкова полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а её автор Богомягков Антон Викторович заслуживает присуждения ему учёной степени **доктора физико-математических наук** по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Овсянников Дмитрий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Богомягкова Антона Викторовича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Овсянников Дмитрий Александрович

учёная степень: доктор физико-математических наук

специальность 01.01.11 – Системный анализ и автоматическое управление,

учёное звание: профессор

адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9

тел.: +7 (812) 363-65-37, эл. почта: d.a.ovsyannikov@spbu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Профессор, заведующий Кафедрой теории систем управления электрофизической аппаратурой, Факультет прикладной математики – процессов управления

Д.А. Овсянников

«14» мая 2024 г.

