

МЕЖДУНАРОДНАЯ  
МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ  
ЭНЕРГИЙ им. В.И.Векслера и А.М.Балдина



INTERNATIONAL  
INTERGOVERNMENTAL  
ORGANIZATION

JOINT INSTITUTE FOR  
NUCLEAR RESEARCH

Veksler and Baldin LABORATORY  
OF HIGH ENERGY PHYSICS

141980 Дубна Московской области, Россия

Dubna Moscow Region 141980, Russia

Tel.: (7-49621) 6-53-06

Fax: (7-49621) 6-51-80, 6-57-67

E-mail: main@lhe.jinr.ru

22 ДЕК 2014

№

100-25/99

на №

от

УТВЕРЖДАЮ

Директор Лаборатории физики высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

В.Д. Кекелидзе



## О Т З Ы В

ведущей организации – Объединенного института ядерных исследований на диссертацию Д.В. Зюзина «Исследование динамики спина в накопительном кольце по обнаружению электрического дипольного момента», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.18 — «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 — «системный анализ, управление и обработка информации».

Диссертация Д.В. Зюзина посвящена **актуальной проблеме** — разработке и созданию проблемно-ориентированной системы управления динамикой частиц в циклическом ускорителе, предназначенном для измерения электрического дипольного момента элементарных частиц. Работа выполнена в С.-Петербургском государственном университете (г. С.-Петербург) и в Институте Ядерной Физики на ускорителе COSY (г. Юлих, Германия).

Одной из важных проблем современной теоретической физики является поиск электрического дипольного момента (ЭДМ) элементарных частиц в связи с проблемой нарушения CP-инвариантности. Исследования, направленные на разработку методов для измерения ЭДМ элементарных частиц, в настоящее время **актуальны** и проводятся во многих лабораториях и научно-исследовательских институтах по всему миру. В частности, в качестве способов измерения ЭДМ рассматриваются методы, основанные на использовании ускорителей заряженных частиц. В представленной диссертационной работе исследуется динамика спина в электростатическом накопительном кольце, предназначенном для измерения ЭДМ, а также метод резонансного измерения ЭДМ в

магнитном кольце. Актуальность задачи не вызывает сомнений, поскольку в методах поиска ЭДМ при помощи накопительных колец планируется повысить точность измерений до уровня, значительно превосходящего точность предыдущих экспериментов.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулирована цель работы и задачи, решение которых требуется для достижения поставленной цели. Также во введении обоснована научная новизна результатов и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведены основные уравнения спин-орбитального движения. Приведено теоретическое описание метода «замороженного спина», рассмотрены факторы, приводящие к декогеренции спина. Также рассматривается резонансный метод обнаружения ЭДМ.

**Вторая глава** посвящена численному моделированию спин-орбитального движения: методу матричных отображений для изучения длительной эволюции пучка, который лежит в основе используемой в диссертационной работе программе COSY Infinity.

**В третьей главе** приводится описание разработанного в рамках диссертационного исследования комплекса программ для моделирования динамики пучков.

**В четвертой главе** приведены результаты численного моделирования динамики пучка в электростатическом ускорителе, проведенного при помощи представленного в третьей главе комплекса программ.

**В заключении** сделаны краткие выводы по проделанной работе и предложены направления развития работы.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- 1) математическая модель спин-орбитального движения в накопительном кольце для поиска электрического дипольного момента протона и результаты численного моделирования при больших временах удержания пучка;
- 2) специальный программный комплекс, предназначенный для повышения эффективности, надежности и качества моделирования динамики спина, и допускающий распараллеливание вычислительных процессов;
- 3) методы и инструменты поддержки принятия решения, основанные на предоставлении адекватной графической информации с учетом структурно-параметрического представления управляющих параметров ускорителя;
- 4) результаты исследования системных связей и закономерностей функционирования управляющих систем ускорителя на основные характеристики пучка частиц с использованием инструментов обработки информации.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинаре по поиску электрического дипольного момента элементарных частиц (Бад Хоннеф, Германия, 2011), II международной конференций по ускорителям частиц IPAC2011 (Сан-Себастьян, Испания), VII семинаре по методам Тейлора (Ки-Уэст, Флорида, США, 2011), III международной конференция по ускорителям частиц IPAC2012 (Новый Орлеан, Луизиана, США), 11 международной конференции по вычислительной физике ICAP12 (Росток, Германия), семинаре по поиску электрического дипольного момента при помощи накопительных колец (Тренто, Италия, 2012), IV международной конференции по ускорителям частиц IPAC2013

(Шанхай, Китай), а также на 1–3 семинарах коллаборации JEDI (Юлих, Германия, 2013–2014), V международной конференции по ускорителям частиц IPAC2014 (Дрезден, Германия).

**Научная новизна результатов работы.** В представленной работе **впервые** исследован метод поиска ЭДМ протона с использованием электростатического накопительного кольца, а также метод резонансного измерения ЭДМ в магнитном кольце. Разработан комплекс программ для моделирования спин-орбитальной динамики пучка с учетом влияния ЭДМ. Автор провел предварительно необходимую отладку разработанного им комплекса программ на тестовых задачах, что придает убедительную **достоверность** полученных результатов его работы.

Комплекс программ, разработанный в рамках диссертационного исследования, используется при изучении поведения пучков в ускорителях заряженных частиц в Институте ядерной физики (г.Юлих, Германия), а также может быть использован для других практических задач. Следует отметить, что данная работа проводилась в рамках международного проекта JEDI (Juelich Electric Dipole Moment Investigations).

**Научная и практическая ценность.** Результаты, представленные в диссертации имеют большое теоретическое и прикладное значение и нашли применение в исследованиях, проводимых в Юлихском научном центре (г.Юлих, Германия). Несомненно, что представленные в диссертации методы и инструменты, разработанные ее автором, могут найти свое применение в различных организациях, занимающихся теоретическими и прикладными задачами физики пучков (ОИЯИ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, ГНЦ ИФВЭ, ИЯФ СО РАН, СПбГТУ Политех, СПбГТУ ИТМО, СПбГТУ ЛЭТИ, ПИЯФ им. Б.П.Константинова), а также в учебных заведениях, занимающихся теоретическими разработками в данной области (МГУ им. М.В.Ломоносова, СПбГУ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, СГУ им. Н.Г.Чернышевского).

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Диссертация бы выиграла, если бы автор привел дополнительные обоснования корректности всех проводимых вычислений. Подобные комментарии в работе есть, но они раскиданы по всему тексту, что затрудняет их восприятие.

2. Автор работы недостаточно подробно описал те программные модули, которые он разработал для повышения эффективности работы с пакетом COSY Infinity. Более подробное описание позволило бы более четко оценить его личный вклад именно в программной части диссертации, который несомненно весьма высок и профессионально выполнен.

3. К сожалению мало проведено сравнительных вычислительных экспериментов с применением других программных средств.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку проведенной работы, которая представляет собой законченное научное исследование, характеризующееся новизной и практической полезностью. Результаты работы представлены достаточно полно в научных статьях, опубликованных в реферируемых журналах, препринтах и материалах конференций.

В целом диссертация Д.В. Зюзина является завершенной научно-исследовательской работой, свидетельствующей о высокой квалификации автора. Эта работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Д.В. Зюзин заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.18 — «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 — «системный анализ, управление и обработка информации».

Диссертация обсуждена на семинаре Лаборатории физики высоких энергий.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Отзыв составил:

Кандидат технических наук,

Ведущий научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ

И.П. Юдин

Отзыв был заслушан и одобрен на заседании Научно-технического совета ЛФВЭ ОИЯИ 18 ноября 2014 года, протокол № 9.

Председатель НТС ЛФВЭ ОИЯИ

Ю.А. Панебратцев

Ученый секретарь НТС ЛФВЭ ОИЯИ

Е.В. Земляничкина

Рычагова Н.С.

Подписи сотрудников ЛФВЭ ОИЯИ  
к.т.н. Юдина И.П., д.р.т.н. Панебратцева Ю.А.  
к.р.т.н. Рычаговой Н.С.

удостоверяю

Уч. секретарь ЛФВЭ ОИЯИ  
к.р.т.н.

Пещехонов Д.В.