



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Дубна, Московская область, Россия 141980 Dubna Moscow Region Russia 141980  
Telefax: (7-495) 632-78-80 Tel.: (7-49621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru http://www.jinr.ru

№ \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**Утверждаю:**

Директор Международной  
межправительственной организации  
Объединенного института ядерных  
исследований,  
д.ф.-м.н., профессор, академик РАН  
Матвеев В.А.



«\_\_\_» 2018 г.

**ОТЗЫВ**

**ведущей организации на диссертацию**

Колмогорова Антона Вячеславовича

**«Инжектор пучка атомов водорода высокой яркости для источника поляризованных ионов»,** представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

**Актуальность темы исследования**

Кандидатская диссертация Колмогорова А.В. посвящена созданию  
пучков быстрых поляризованных ионов с высокой плотностью тока и малой  
угловой расходимостью.

Такие пучки применяются как при исследовании поляризационных эффектов в ускорителях высоких энергий, коллайдерах, так и термоядерных исследованиях при нагреве и диагностики плазмы. Одним из способов получения пучков поляризованных протонов является метод передачи поляризации от захваченного протоном оптически поляризованного электрона ядру атома водорода. Для создания этих пучков, как ключевой элемент, используется источник ионов, формирующий эффективно сфокусированный пучок протонов. Для корректного, прецизионного формирования интенсивных пучков необходимы более сложные принципиальные элементы источников. Разработки и создание подобных источников актуальны в настоящее время. Такие задачи успешно решаются в ИЯФ СО РАН

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Материал диссертации изложен в логической последовательности так, что для последующих глав важны данные и результаты предыдущих. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования.

Целью данной работы является получение, формирование и транспортировка яркого пучка атомов водорода с энергией 5-10 кэВ и эквивалентным током до 5А из расходящейся струи ионов, применением специальной ионно-оптической системы (ИОС) с баллистической фокусировкой. Из полученного пучка создается прецизионный пучок отрицательных ионов водорода. В работе представлены результаты, полученные при разработке и исследовании источника быстрых атомов водорода. Представлены экспериментальные исследования пучка отрицательных ионов водорода в мишени паров натрия и водородной мишени.

Текст диссертации размещен на 100 страницах, список цитируемой литературы состоит из 33 наименований.

### **Соответствие темы и содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Данная работа посвящена изучению яркого пучка атомов водорода и использования его для создания прецизионных пучков отрицательных ионов водорода. Содержание диссертации соответствует паспорту специализации 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и согласуется с темой представленной работы.

### **Соответствие автореферата диссертации её содержанию**

В автореферате кратко изложен каждый раздел диссертации, включая актуальность работы, постановку цели, научную новизну и практическую ценность. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и соответствует содержанию работы.

### **Личный вклад соискателя в получении результатов исследования**

Представленные в диссертации работы выполнялись коллективно, но личный вклад докторанта является определяющим. Докторант участвовал в постановке задачи, проведение численных и аналитических расчетов, а также в экспериментальных работах, выполнил анализ результатов и подготовку публикаций.

### **Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность результатов исследований автора диссертации подтверждается их практическим использованием в экспериментах на коллайдере RHIC (США). Основные результаты диссертации представлены в 7 печатных публикациях: статьи в российских и международных реферируемых журналах и в сборниках трудов международных конференций.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Инжектор быстрых атомов водорода, формирующий сфокусированный, интенсивный ионный пучок, входящий в состав источника поляризованных ионов OPPIS, применяется в поляризационных экспериментах на коллайдере RHIC. Инжектор может использоваться также для исследований по физике пучков заряженных частиц и при проведении экспериментальных исследований в атомной физике и физике плазмы.

## **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Многоапertureная четырехэлектродная ИОС с баллистической фокусировкой может быть использована в НИЦ "Курчатовский институт", включая ИТЭФ и другие ускорительно-коллайдерные центры.

Инжектор быстрых атомов водорода может быть использован в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, лабораториях и центрах по изучению физики плазмы.

## **Новизна и научная ценность полученных результатов**

Впервые создан протонный инжектор с баллистической фокусировкой для формирования пучка с эмиссионной плотностью тока более  $300 \text{ mA/cm}^2$ , энергией 5-10 кэВ, локальной угловой расходимостью менее 10 мрад и яркостью более  $0.8 \times 10^4 \text{ A}/(\text{см}\cdot\text{рад})^2$ . Применение разработанного инжектора атомов, входящего в состав источника поляризованных ионов с оптической накачкой обеспечивает получение пучка поляризованных ионов со степенью поляризации 0.85 и величиной силы тока выше 1 мА. Это позволило увеличить светимость коллайдера RHIC в два раза. Получен пучок отрицательных ионов водорода с длительностью 0.5 мс за счет перезарядки баллистически сфокусированного пучка атомов водорода в стационарной паронатриевой мишени. Обнаружена и исследована эффективная транспортировка пучка отрицательных ионов водорода в водородном пучке,

полученным при прохождении протонов через перезарядную водородную мишень.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Автором используется термин "баллистическая фокусировка", не принятый в физике пучков заряженных частиц, электронной оптике и аналогичных разделах физики. Строго говоря, слово баллистика употребляют в механике, в её разделах, связанных с метанием снарядов и их движением в гравитационном поле. Если есть желание обогатить науку новым термином, то следовало бы дать ему определение.
2. В диссертации для определения потока атомов водорода введена специальная единица – экв.А. Однако не указаны причины введения экв.А и нет сравнения ее с обычной физической, механической единицей потока нейтральных частиц (атомов) – частиц в сек.
3. В тексте имеются опечатки, например:
  - а) стр 48, параграф 2.2. Система питания, 1-ая строка: "питание инжектора", пропущена буква "к" в слове "инжектора";
  - б) стр.63, подпись под графиком рис. 2.17 – Сравнение вычисленного распределения с экспериментальными данными – зеленый пунктир и точки – 170 см. на графике рисунка не представлены, пунктирная линия и точки на графике другого цвета.

### **Заключение по диссертации о соответствии её требованиям**

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Проведена значительная работа с большой экспериментальной составляющей.

В целом диссертация выполнена на высоком научном и профессиональном уровне и является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные и проверенные на практике

технические разработки, обеспечивающие решение важной задачи: создание прецизионных пучков отрицательных ионов водорода.

Таким образом, диссертация Колмогорова Антона Вячеславовича "Инжектор пучка атомов водорода высокой яркости для источника поляризованных ионов" представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в п.9 и 10 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Колмогоров Антон Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составил

Советник Лаборатории Физики

Высоких Энергий ОИЯИ,

Доктор технических наук, профессор

Э.И. Уразаков

Специальность 01.04.20 –

физика пучков заряженных частиц

и ускорительной техники

e-mail vta@jinr.ru ; тел 496-2164492

Подпись

Уразаков

Дата

20 июля 2018г.

Отзыв рассмотрен и утверждён на открытом научном семинаре Секции физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники Общениститутского семинара Международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований ОИЯИ, протокол № 71 от 17 июля 2018 г.

Председатель Семинара

Член-корреспондент РАН, д.ф.м.н., профессор,

Советник дирекции ОИЯИ, Главный научный

Сотрудник СЭО ЛЯП ОИЯИ

И.Н. Мешков

Специальность 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц

и ускорительной техники

e-mail meshkov @ jinr.ru ; тел.496-2165193

Подпись



Дата

20.07.2018

Подпись Мешкова И.Н. заверяю:

Главный ученый секретарь ОИЯИ,

Доктор физико-математических наук,

Профессор

А.С. Сорин

Почтовый адрес

Московская область, г. Дубна

ул. Жолио-Кюри, 6.

Тел. 496-2165940, 496-2162221.

e-mail main@jinr.ru

Подпись



Дата

20.07.2018