

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию **Воронина Алексея Юрьевича «Физика взаимодействия ультрахолодного антиводорода с веществом»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Диссертация Воронина Алексея Юрьевича посвящена весьма **актуальной** проблеме качественного и количественного описания взаимодействия ультрахолодных атомов антиводорода с веществом. Недавний технологический прогресс по синтезу и хранению атомов антиводорода в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) позволил проводить исследования с атомами антиводорода.

С другой стороны, сходство в некотором приближении квантовых свойств атома антиводорода и нейтрона и пионерские исследования, сделанные группой В. В. Несвижеского в международном центре нейтронных исследований Лауэ-Ланжевена (ИЛЛ, Гренобль) по наблюдению квантовых состояний движения ультрахолодных нейтронов в гравитационном поле Земли над отражающей поверхностью и наблюдению эффекта шепчущей галереи с интерференцией квантовых состояний нейтронов вблизи искривленной поверхности, ставят вопросы о возможных аналогичных явлениях с ультрахолодными атомами антиводорода.

Новые оригинальные результаты, полученные автором диссертации при рассмотрении вышеуказанных проблем, необходимы как для интерпретации уже проводимых исследований, так и для постановки новых экспериментов по изучению свойств атомов антиводорода и их взаимодействию с атомами водорода и материальными поверхностями.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, пяти приложений и перечня цитируемой литературы, содержащего 152 источника. В диссертации содержится 40 рисунков и 11 таблиц. Общий объем диссертации составляет 205 страниц.

Введение содержит общую характеристику работы, включающую обоснование актуальности темы исследования, формулировку цели и задач

работы, научной новизны и практической значимости, а также краткое содержание глав и структуру диссертации.

В первой главе рассмотрена проблема взаимодействия ультрахолодных атомов антиводорода и водорода. Проведены расчеты сечений реакции образования протония и позитрония в различных состояниях, упругого сечения, сечения передачи спина при столкновении поляризованных атомов и антиатомов, положение и ширины квазисвязанных и виртуальных состояний молекулярной системы водорода и антиводорода.

Вторая глава посвящена исследованиям проблем взаимодействия ультрахолодного антиводорода с материальной поверхностью, которое характеризуется эффектом квантового отражения.

В третьей главе изучены гравитационные состояния антиводорода вблизи материальной поверхности в гравитационном поле Земли и проанализированы методы измерения гравитационной массы антиводорода.

Четвертая глава посвящена исследованию эффекта шепчущей галереи при отражении ультрахолодного антиводорода от искривленной поверхности.

В заключении представлены основные результаты диссертации. В приложения вынесены важные технические подробности.

На защиту выносятся следующие **основные новые результаты**:

- 1) расчет величин упругого и неупругого сечения ультрахолодного антиводорода на водороде при энергиях столкновений менее 10^{-5} эВ, расчет комплексной длины рассеяния, положение вблизипороговых особенностей S-матрицы и вычисление энергий и ширин метастабильных состояний водорода и антиводорода;
- 2) расчет сечений передачи спина в столкновениях поляризованного атомарного антиводорода на атомарном водороде при энергиях столкновений менее 10^{-5} эВ;
- 3) выяснение роли сильных взаимодействий во взаимодействии ультрахолодного антиводорода и водорода;
- 4) расчет коэффициента отражения ультрахолодного антиводорода от материальных поверхностей, включая тонкие пленки и пористые структуры;
- 5) предсказание существования нового явления - локализации антиводорода в долгоживущих вблизиповерхностных состояниях в гравитационном поле Земли;
- 6) расчет энергетического спектра и ширин гравитационных состояний

- антиводорода;
- 7) разработка спектроскопического метода измерения гравитационной массы антиводорода, включающая расчет вероятностей переходов между гравитационными состояниями под действием периодического неоднородного магнитного поля, расчет сдвига уровней вследствие динамического Штарк-эффекта, оценка точности измерения гравитационной массы;
 - 8) разработка квантового баллистического метода измерения гравитационной массы антиводорода, включающая расчет вероятности временных событий падений антиатомов из заданного квантового состояния и определение по этим данным гравитационной массы антиводорода;
 - 9) метод расчета рассеяния ультрахолодного антиводорода на искривленной поверхности, расчет энергий и ширин состояний шепчущей галереи антиводорода, исследование эффекта интерференции состояний шепчущей галереи и использование этого метода для выяснения возможности измерения гравитационной массы антиводорода.

Научная новизна и практическая ценность диссертации:

- Впервые развит последовательный подход к квантовомеханическому описанию реакции ультрахолодного антиводорода на водороде с образованием протония и позитрония в пределе низких энергий. В частности, впервые предложен метод, позволяющий последовательно учесть влияние вблизипороговых состояний системы антиводород с водородом и в рамках универсального формализма предсказать влияние различных физических эффектов, включая эффекты сильного взаимодействия.
- Впервые исследован вопрос о взаимодействии ультрахолодного атомарного антиводорода и материальной поверхности. Установлено, что вследствие надбарьерного отражения, ультрахолодный антиводород эффективно отражается от материальной поверхности, что означает возможность долгоживущих состояний ультрахолодного антиводорода в ловушке с материальными стенками. Впервые исследован вопрос о взаимодействии ультрахолодного антиводорода с тонкими пленками и пористыми телами. Показано, что в этом случае время хранения антиатомов может быть на порядок больше, чем в случае проводящей поверхности.
- Впервые предсказано существование долгоживущих состояний антиводорода вблизи материальной поверхности в гравитационном поле Земли. Впервые предложены и разработаны теоретические основы исследования гравитационных свойств антиводорода с помощью

- интерферометрии гравитационных состояний.
- Впервые рассмотрен эффект шепчущей галереи для антиводорода, заключающийся в локализации состояний антиатома вблизи искривленной поверхности при движении вдоль поверхности. Предложен резонатор шепчущей галереи антиатомов, как инструмент для исследования гравитационных свойств и свойств взаимодействия антиатомов с материей.
 - Перечисленные результаты представляют ценность как в общем, с точки зрения понимания физики взаимодействия антивещества, так и для проведения и планирования экспериментов с атомами ультрахолодного антиводорода. В частности, основная программа экспериментов GBAR в ЦЕРН включает исследования гравитационных состояний антиводорода на основе методов и расчетов, полученных в диссертации.
 - Результаты диссертации могут быть использованы в российских научных центрах НИЦ КИ, ПИЯФ НИЦ КИ, ИТЭФ НИЦ КИ, ФИАН, ИЯИ РАН, ИЯФ СО РАН и др., а также в международных центрах ЦЕРН, ИЛЛ, ОИЯИ и др.

Диссертация Воронина А. Ю. является законченным научным трудом и выполнена на высоком научном уровне. Содержащиеся в ней многие результаты получены впервые. Результаты, полученные в диссертации, являются новыми и оригинальными, с достаточной полнотой опубликованы в реферируемых высокорейтинговых научных журналах, неоднократно **апробировались** на семинарах в российских и зарубежных центрах, на международных совещаниях и конференциях.

Достоверность результатов, полученных автором диссертации, в рамках стандартных методов квантовой механики не вызывает сомнения и подтверждается строгостью математических выводов, согласованностью с известными результатами в предельных случаях. Многие результаты, представленные в диссертации подтверждены также другими исследователями и экспериментальными данными. Основные работы диссертации являются хорошо цитируемыми и широко известны специалистам.

Вклад автора является определяющим в теоретических результатах работ, составляющих основу диссертации. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам. Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Диссертация написана в сжатом, но довольно ясном стиле. Небольшим недостатком диссертации можно считать некоторую небрежность изложения и оформления. Например, по оси абсцисс на Рис. 1.9 и 1.12 отсутствуют обозначения единиц измерения, отсутствует пробел между словами на стр. 173, отсутствуют номера при ссылке уравнение на стр. 165 и т. п. Имеется

также некоторое количество опечаток, например, в слове «Рис.» (стр. 177), непоследовательное использование дефиса, например в словах «квазисвязанный» и «ультрахолодный», также вместо избегаемого в диссертации слова «антипротон» на стр. 8 использовано «отрицательный нуклон» и т.д. Но все эти упомянутые небольшие недостатки не меняют общей высокой положительной оценки диссертации.

Диссертация Воронина Алексея Юрьевича «Физика взаимодействия ультрахолодного антиводорода с веществом» соответствует специальности 01.04.16 - «Физика атомного ядра и элементарных частиц» и полностью отвечает всем требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Воронин Алексей Юрьевич, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

10 декабря 2015 г.

Ведущий научный сотрудник
Заместитель Руководителя Отделения Физики
Высоких Энергий ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ
д.ф.-м.н. Ким Виктор Тимофеевич



Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Петербургский Институт
Ядерной Физики им. Б.П. Константинова»
НИЦ «Курчатовский Институт»
Орлова роща, д. 1
г. Гатчина, Лен. обл., 188300
e-mail: kim@pnpi.spb.ru

Подпись В.Т. Кима удостоверяю
Ученый Секретарь ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ
к.ф.-м.н. С.И. Воробьев



Список публикаций

официального оппонента Кима В.Т. по тематике диссертации Воронина Алексея Юрьевича «Физика взаимодействия ультрахолодного антиводорода с веществом», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц» за 2011-2015 гг.

1. V.T. Kim, Search for BFKL-evolution manifestations at high energies // Int. J. Mod. Phys. C. S. 39, 1560106 (2015).
2. V.T. Kim, G.B. Pivovarov, Multiparticle processes and tamed ultraviolet divergences // Phys. Rev. D 90, Issue 12, 125009 (2014).
3. Ya.A. Berdnikov, A.E. Ivanov, V.T. Kim, V.A. Murzin, D.P. Suetin, Hard processes in p - A collisions with MC generator HARDPING 3.0 // Nucl.Phys.Proc.Suppl. 245 (2013) 267-270
4. V.B. Gavrilov, V.T. Kim, V.A. Murzin, V.A. Oreshkin, G.B. Pivovarov, I.Yu. Pozdnyakov, G.B. Safronov, Forward dijets with wide rapidity separation in pp -collisions at LHC and Tevatron: dijet ratios and azimuthal decorrelations // Nucl.Phys.Proc.Suppl. 245 (2013) 153-156
5. S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC // Phys.Lett. B716 (2012) 30-61

10 декабря 2015 г.

Ведущий научный сотрудник
Заместитель Руководителя Отделения Физики
Высоких Энергий ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ
д.ф.-м.н. Ким Виктор Тимофеевич



Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Петербургский Институт
Ядерной Физики им. Б.П. Константинова»
НИЦ «Курчатовский Институт»
Орлова роща, д. 1
г. Гатчина, Лен. обл., 188300
e-mail: kim@pnpi.spb.ru

Подпись В.Т. Кима удостоверяю
Ученый Секретарь ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ
к.ф.-м.н. С.И. Воробьев



Подпись руки
ЗАВЕРЯЮ
нач. отдела кадров
Олубкова О.К.