

# Отзыв 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

Диссертационная работа А.Ю. Воронина состоит из 4-х основных глав и ряда приложений, посвященных более техническим вопросам.

**Первая глава** посвящена детальному описанию взаимодействия атомов водорода и антиводорода при ультранизких энергиях. В первом параграфе рассматриваются кинематика реакции  $H + \bar{H} \rightarrow P_n + P_s$ , которая является основным неупругим каналом в системе  $H\bar{H}$  при низких энергиях. Подробно разбираются многие важные детали  $H\bar{H}$ -взаимодействия, изотопический эффект и т.д. Детально разбирается модель связанных каналов при низких энергиях и передача спина в столкновениях ультрахолодных  $H + \bar{H}$ .

**Вторая глава** посвящена изучению взаимодействия ультрахолодного водорода с материальной поверхностью. Тут детально разобраны вопросы квантового отражения и поглощения, зависимость вероятности отражения от расстояния до стенки, поведение ультрахолодных атомов антиводорода в волноводе и отражение от тонких пленок.

**Третья глава**, которую я считаю основной в диссертации, посвящена довольно новому и интересному направлению исследований в этой области – поведению антиводорода в гравитационном поле. Она включает в себя большой круг вопросов, имеющих отношение к проблеме поведения антиводорода в гравитационном поле, таких как квантование состояний  $\bar{H}$  в гравитационном поле вблизи материальной поверхности, интерференция разных гравитационных состояний антиводорода и практические приложения измерения таких интерференционных эффектов для точных измерений гравитационной массы антиводорода, изучения пространственно-временных корреляций и для описания квантового баллистического эксперимента.

Появление квантовых гравитационных состояний холодного антиводорода позволяет развить резонансную спектроскопию гравитационных состояний. В конце третьей главы обсуждается практическая реализуемость эксперимента по наблюдению гравитационных состояний антиводорода.

**Четвертая глава** содержит совсем новый материал по изучению состояний типа "шепчущей галереи" при рассеянии холодных атомов антиводорода на цилиндрической поверхности. Хорошо известно, что состояния типа "шепчущей галереи" отвечает стоячим акустическим (продольным) волнам, распространяющимся вблизи цилиндрических поверхностей. Идея наблюдать такие состояния при движении ультрахолодных атомов водорода вблизи цилиндрической поверхности является совершенно нетривиальной, поскольку в данном случае мы имеем не реальные волны, типа акустических, а волны вероятности де Бройля, отвечающие движению атомов антиводорода вблизи цилиндрической поверхности. С другой стороны, дифракция материальных частиц, типа электронов, протонов, нейтронов уже хорошо известна в квантовой физике. И основная проблема тут – это создать нужную длину волны де Бройля для наблюдения стоячих волн. Поэтому сама по себе идея автора диссертации выглядит вполне физической, тем более, что эксперименты по дифракции ультра-холодных нейтронов ясно показали на общность всех волновых процессов.

Как дальнейшее развитие этого интересного направления автор рассматривает интерференцию состояний шепчущей галереи и поведение таких квантовых состояний в специальном резонаторе.

Параграф 4.4 этой главы посвящен описанию резонансных состояний при рассеянии атомов антиводорода на цилиндрической поверхности с помощью известной техники полюсов Редже. Этот параграф стоит несколько особняком от остального материала данной главы, но выглядит вполне уместным в контексте этой главы.

Перейдем теперь к обсуждению материала каждой главы.

**В первой главе** автор детально описывает использованный им метод решения рассеяния  $N + \bar{N}$  в рамках задачи четырехчастичного рассеяния. В этой задаче автор выделяет два основных асимптотических канала: упругий  $N + \bar{N}$  и неупругий  $P_n + P_s$ . Для этих каналов строится асимптотический потенциал и соответствующие решения в асимптотических областях. Изучается роль неупругости и околороговых квантовых состояний, а также описание взаимодействий  $N + \bar{N}$  в различных моделях. Изложение всех этих вопросов сделано вполне понятным, ясным языком. Однако важная проблема тут – это описание четырехчастичной динамики данной системы на небольших расстояниях  $r \approx r_B$ . И тут возникает много вопросов к автору диссертации.

Во-первых, насколько я понял, многоканальная задача рассеяния  $N + \bar{N}$  решается автором с помощью вариационного метода, где в качестве внутреннего базиса используются собственные функции четырехчастичного гамильтониана, полученные его диагонализацией



на комплексном гауссовом базисе, предложенном Камимурой с сотрудниками. Однако вариационный принцип для такой задачи явно нигде не сформулирован.

Второе, в исходных работах Камимуры базис комплексных гауссоид обычно непосредственно не используется, а используются вещественные комбинации таких комплексных функций, т.е. синусы и косинусы аргумента. Однако в диссертации об этом – ни слова.

Третье, автор использует, насколько я понял, s- и p-волновые гауссоиды по переменным  $\rho - e$  и  $\bar{\rho} - \bar{e}$ . При этом при перевязке p-волн на другие наборы координат Якоби (например,  $R_{\rho\bar{\rho}}$  и  $r_{e\bar{e}}$ ) кроме квадратичных форм в показателях гауссиан должны возникать также линейные степени координат **перед** гауссоидами. Но автор приводит в диссертации только формулу (интеграла) с чисто гауссовыми функциями **без линейных степеней**. Таким образом, не понятно, куда пропали линейные степени координат перед гауссоидами.

Т.е. в целом, хотя эта глава выглядит вполне добротной и написанной на хорошем теоретическом уровне, однако ряд технических деталей вычислений изложен не вполне ясно.

**Во второй главе**, посвященной взаимодействию ультрахолодного антиводорода с материальной поверхностью, идеи автора кажутся вполне физическими и разумными. Автор детально описывает, с оценками и качественным рассмотрением, предваряющими количественные вычисления, физику квантового отражения от стенок различной природы и влияние поглощения на стенках.

В качестве важного следствия такого рассмотрения изучается поведение ультра-холодного антиводорода в волноводе с учетом (правда, довольно схематическим) свойств реальных поверхностей и отражения от тонких пленок.

Я, однако, не вполне понял выводы автора о возможности передачи (или хранения) антиводорода посредством волновода. Мне кажется, что тут явно недостает выводов и заключений, касающихся практических аспектов этой задачи. И вообще, я не нашел выводов автора по всему материалу главы 2.

Отмечу также несколько мелких погрешностей стиля. На стр.93 сказано, что можно воспользоваться «моделью Друда-Лоренца [54,55]». Однако в обеих приведенных ссылках стоят современные работы 2007 и 2009 года, а не классические работы Друде-Лоренца (кстати, фамилия Друде не склоняется).

**В главе 3**, посвященной поведению атомов антиводорода в гравитационном поле, автор разбирает квантование орбит ультрахолодных атомов антиводорода в гравитационном поле, а также квантовую интерференцию разных состояний. Я должен отметить, что этот материал кажется мне совершенно нетривиальным и важным, причем вклад автора в развитие

всего этого направления кажется определяющим. В этой главе разбирается много довольно тонких вопросов квантовой физики, таких как пространственно-временные корреляции, квантовый баллистический эксперимент, резонансная спектроскопия гравитационных состояний и т.д. Однако при изучении этого важного материала напрашивается несколько критических замечаний.

В частности, при оценках в этой главе, например, числа отскоков антиводорода за время своей жизни и т.д. совершенно не учитываются реальные условия таких экспериментов. Например, поверхность считается идеальной, вакуум абсолютным и др. Ясно, что при учете реальной ситуации все эти "идеальные" оценки сильно изменятся! Понятно, что реальные оценки будут зависеть от плохо определенных параметров эксперимента, которые трудно учесть в чисто теоретических оценках. Однако, на мой взгляд, дать хоть какие-то реальные оценки необходимо, иначе вообще не ясно, осуществимы ли в реальности такие эксперименты или нет. Тем не менее, эта важная глава кажется основной в этой диссертации.

**В четвертой главе** рассматриваются квантовые состояния типа шепчущей галереи при рассеянии ультрахолодных атомов антиводорода на цилиндрических поверхностях. Должен сказать, что сама по себе идея проквантовать состояния, образующиеся при рассеянии ультрахолодных атомов антиводорода на цилиндрической поверхности по аналогии со стоячими акустическими волнами, образующимися в помещениях вблизи круглой стенки (так называемыми состояниями шепчущей галереи), кажется мне чрезвычайно красивой и неординарной. И формализм, приведенный в этой главе для описания свойств таких квантовых состояний, кажется также совершенно неординарным, включая технику полюсов Редже, которая обычно используется в теории рассеяния именно при высоких, а не при низких энергиях.

В целом, материал этой главы представляется мне совершенно свежим, оригинальным и совершенно неординарным.

Оценивая диссертацию А.Ю. Воронина в целом, можно сказать, что она выполнена на весьма высоком теорфизическом уровне, содержит много неординарных и нетривиальных идей, важных оценок и практических предложений. Часть замеченных мною недостатков была уже отмечена выше. Помимо этого, я заметил несколько опечаток. Однако все эти чисто технические погрешности не умаляют ценности этой содержательной диссертации и не влияют на ее высокую оценку.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

В итоге, на мой взгляд, рассматриваемая диссертационная работа А.Ю. Воронина удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлени-



ем Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Без сомнения, ее автор, Алексей Юрьевич Воронин, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий лабораторией  
теории атомного ядра НИИЯФ МГУ



В.И. Кукулин

7 декабря 2015г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына  
(НИИЯФ МГУ)  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.  
Тел: 8-495-939-49-05, e-mail: kukulin@nucl-th.sinp.msu.ru

Подпись В.И. Кукулина заверяю

Директор НИИЯФ МГУ  
профессор



М.И. Панасюк

Список основных работ официального оппонента В.И. Кукулина, опубликованных в 2011-2015гг. по теме диссертации А.Ю. Воронина, "Физика взаимодействия ультра-холодного антиводорода с веществом", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

1. В.И. Кукулин, Ди- и мультимезонные кластеры в ядрах: нетрадиционный взгляд на природу ядерных сил и структуру ядер, Ядерная физика т. 74 (11), с.1594–1614 (2011).
2. В.И. Кукулин, О.А. Рубцова, Современные методы теоретического описания многочастичного рассеяния и ядерных реакций, Ядерная физика т. 75, с. 1447-1461 (2012).
3. В.И. Кукулин, М.Н. Платонова, Короткодействующие компоненты ядерных сил: эксперимент против мифологии, Ядерная физика т. 76 (12), с.1549–1565 (2013).
4. M.N. Platonova and V.I. Kukulin, Abc effect as a signal of chiral symmetry restoration in hadronic collisions, Physical Review C **87** (2), 025202 (2013).
5. V.I. Kukulin. Dibaryon concept for short-range 2n and 3n forces: consequences for hadronic and nuclear physics, Few-Body Systems **55**, 633 (2014).
6. V.I. Kukulin, M.N. Platonova, Chiral symmetry restoration in  $\sigma$ -meson production in hadronic processes, European Physical Journal Web of Conferences **73**, 05005 (2014).
7. O.A. Rubtsova, V.I. Kukulin, V.N. Pomerantsev, Wave-packet continuum discretization for quantum scattering, Annals of Physics **360**, 613 (2015).

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий лабораторией  
теории атомного ядра НИИЯФ МГУ



В.И. Кукулин

7 декабря 2015г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына  
(НИИЯФ МГУ)  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.  
Тел: 8-495-939-49-05, e-mail: kukulin@nucl-th.sinp.msu.ru

Подпись В.И. Кукулина заверяю

Директор НИИЯФ МГУ  
профессор



М.И. Панасюк