

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Кербикова Бориса Олеговича на диссертацию Куприяновой Екатерины Александровны «Гравитационные состояния в ультрахолодных квантовых системах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

В диссертационной работе «Гравитационные состояния в ультрахолодных квантовых системах» Куприяновой Е. А. содержится теоретическое исследование долгоживущих состояний ультрахолодных атомов антиводорода в гравитационном поле Земли над материальной поверхностью.

Полученные в работе результаты могут использоваться для экспериментального изучения антиводорода и, в частности, для прецизионных измерений гравитационной массы антиводорода.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка литературы и трех приложений.

Во *введении* обосновывается актуальность темы исследования, ставятся цели работы. Подчеркивается научная новизна полученных результатов.

В *первой главе* описываются особенности взаимодействия антиводорода с материальной поверхностью. Рассматривается эффект надбарьерного квантового отражения, играющий ключевую роль при характеристике взаимодействия антиводорода с проводящей поверхностью. Рассмотрены гравитационные квазистационарные состояния антиводорода в гравитационном поле над проводящей поверхностью, обусловленные надбарьерным отражением.

Вторая глава посвящена методу измерения гравитационной массы антиводорода. Предложен способ спектроскопического исследования гравитационных состояний антиводорода и получения с помощью такого способа гравитационной массы антиводорода.

В *третьей главе* анализируется важнейший эффект, приводящий к наибольшей погрешности при получении гравитационной массы антиводорода в эксперименте – эффект сдвига резонансной частоты за счет предлагаемого спектроскопического метода.

Четвертая глава посвящена оценке других эффектов, приводящих к погрешностям измерения гравитационной массы. Рассматривается способ повышения точности эксперимента при помощи использования отражающей поверхности из жидкого гелия.

В *заключении* сформулированы основные результаты работы.

В *приложениях* приведены детали выводов аналитических выражений.

На защиту выносятся *следующие положения*:

- 1) Развитие теоретической модели поведения атома антиводорода в гравитационном поле Земли вблизи проводящей поверхности.
- 2) Метод наблюдения квантовых гравитационных состояний антиводорода при помощи индуцирования резонансных переходов между ними.
- 3) Принципиальная схема эксперимента для прецизионного определения гравитационной массы антиводорода.
- 4) Рассмотрение возможных эффектов, учет которых необходим для оценки точности прецизионного эксперимента ЦЕРНа (GBAR/AD-7) по определению гравитационной массы антиводорода и для возможности наблюдения гравитационных квантовых состояний антиводорода.

Диссертация состоит из 102 страниц, содержит 16 рисунков и 6 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 76 источников.

Результаты диссертации представляются *актуальными*. Они являются теоретической частью программы исследований антиводорода в реализуемом в настоящее время проекте GBAR в ЦЕРНе. Данный проект направлен на исследование гравитационных свойств атомов антиводорода, прецизионное измерение гравитационной массы антиводорода и тест слабого принципа эквивалентности для атомов антиводорода.

Новые результаты, полученные автором диссертации, могут быть использованы для постановки эксперимента по изучению гравитационных свойств атомов антиводорода и по изучению их взаимодействия с материальными поверхностями. Предложена новая принципиальная схема наблюдения резонансных переходов между квантовыми гравитационными состояниями антиводорода в гравитационном поле Земли над проводящей поверхностью. Возбуждение таких переходов предлагается осуществлять под действием переменного неоднородного магнитного поля (интенсивность которого, обеспечивающая максимальную вероятность перехода, подбиралась в работе) или под действием вибрации поверхности. Впервые проведена теоретическая оценка точности измерения гравитационной массы антиводорода в планируемом эксперименте ЦЕРНа по исследованию поведения атомов антиводорода над материальной поверхностью в гравитационном поле Земли и оценка точности проверки слабого принципа эквивалентности. Впервые изучен наиболее существенный эффект, приводящий к ошибке в получении гравитационной массы — эффект сдвига резонансной частоты (динамический эффект Штарка), обусловленный выбранным спектроскопическим методом, и его влияние на определение гравитационной массы антиводорода в эксперименте. Величина описанного эффекта оценена численно с помощью точного решения временного уравнения Шредингера и аналитически с помощью формализма

квазиэнергий. Также впервые изучается ряд других эффектов, приводящих к погрешностям в определении гравитационной массы антиводорода в эксперименте. Впервые проведено изучение рассеяние антиводорода на различных поверхностях с целью поиска наилучшей поверхности для проведения экспериментов с антиводородом. Выбрана оптимальная отражающая поверхность — жидкий гелий, которая на порядок увеличивает время жизни антиводорода, по сравнению с идеально проводящей поверхностью. Новым является изучение рассеяния на идеальной проводящей поверхности, покрытой пленкой жидкого гелия конечной толщины.

Список публикаций автора по теме диссертации содержит 6 работ, среди которых 4 опубликованы в ведущих международных реферируемых журналах. По материалам диссертации сделаны доклады на трех международных и одной всероссийской конференции.

Автореферат детально отражает содержание диссертации.

Основные результаты работы представляются достоверными, обоснованными и оригинальными.

Единственный пункт, обсуждение которого следовало бы включить в диссертацию, состоит в следующем. Известно, что в магнитном поле невозможно отделить движение атома водорода как целого от его внутренней динамики (Лэмб, Горьков и Дзялошинский, Лозовик и другие). Импульс центра масс не является интегралом движения в магнитном поле. Возникает вопрос о том, скажется ли это на гравитационных экспериментах. Вероятно соответствующие поправки малы, однако их следовало бы оценить.

Оценивая диссертацию Куприяновой Е. А., можно сказать, что она выполнена на высоком научном уровне. Замеченные недочеты не умаляют ценности диссертации и не влияют на ее высокую оценку.

Диссертация Куприяновой Екатерины Александровны на тему
 «Гравитационные состояния в ультрахолодных квантовых системах»
 полностью соответствует специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и
 элементарных частиц» и удовлетворяет всем требованиям «Положения о
 присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением
 Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на
 соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор
 заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник лаб 190
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Институт теоретической и экспериментальной физики
 имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра
 «Курчатовский институт»,
 доктор физико-математических наук
 Кербиков Борис Олегович



117218 Россия, Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25,
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Институт теоретической и экспериментальной физики
 имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра
 «Курчатовский институт»
 e-mail: bkerbikov@gmail.com

3. 05. 2018 г.

Подпись *Верина*
 (И.И. Верина - Подпись И.И. Верина)



Список основных работ официального оппонента Кербикова Б. О. по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. B.O.Kerbikov, A quest for new physics inside the neutron, *Physics of Atomic Nuclei*, vol.80, 1000 (2017).
2. M.A.Andreichikov, B.O.Kerbikov, Yu.A.Simonov, Magnetic focusing of hyperfine interaction in hydrogen, *JETP Lett.*, vol.99, 246 (2014).
3. M.A.Andreichikov, B.O.Kerbikov, V.D.Orlovsky, Yu.A.Simonov, Neutron in strong Magnetic field, *Phys.Rev.*, vol.D89, 074033(2014).
4. D.G.PhilipsII, B.O.Kerbikov, et.al., Neutron-Antineutron oscillations: theoretical Status and experimental prospects, *Phys.Rept.*, vol.612, 1 (2016).
5. B.O.Kerbikov and M.A.Andreichikov, Electrical conductivity in dense quark matter with fructuations and magnetic field included, *Phys.Rev.*, vol.D91, 074010 (2015).
6. B.O.Kerbikov and M.S.Lukashov, Fluctuation sound absorption in quark matter, *Modern Phys.Lett.*, vol.31, 1650179(2016).
7. M.A.Andreichikov, B.O.Kerbikov, E.V.Luschevskaya, Yu.A.Simonov, O.E.Solovjeva The evolution of meson masses in strong magnetic field, *JHEP*, vol.05, 1(2017).
8. B.O.Kerbikov, M.A.Andreichikov, Yu.A.Simonov, Mesons in ultra-intense magnetic field: an evaded collapse, *EPJ Web of Conferences*, vol. 137, 05011(2017).