

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Сорокина Вячеслава Вадимовича «Уровни энергии мюонного дейтерия в квантовой электродинамике», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертационная работа В.В. Сорокина «Уровни энергии мюонного дейтерия в квантовой электродинамике» посвящена актуальной проблеме прецизионного описания тонкой и сверхтонкой структуры спектра энергии мюонного дейтерия. В последние годы после экспериментов коллаборации CREMA (Charge Radius Experiments with Muonic Atoms) с мюонным водородом и гелием возникла проблема, получившая название загадки зарядового радиуса протона и состоящая в том, что значения зарядовых радиусов протона и дейтрона получаются разными при их определении из экспериментов с электронными и мюонными атомами. Одно из направлений решения этой проблемы состоит в том, что выполняется новый анализ и расчет различных поправок в спектре энергии этих атомов, которые могут быть значительными при получении полных величин для определенных энергетических интервалов. Работа В.В. Сорокина заключалась в проведении новых расчетов различных вкладов в тонкую и сверхтонкую структуру мюонного дейтерия, в поиске новых существенных поправок. Важность таких расчетов, которые были проведены еще до экспериментального измерения трех частот перехода в мюонном дейтерии, состояла в том, чтобы получить численные значения частот перехода между уровнями  $2S$  и  $2P$ , которые бы могли послужить надежным ориентиром для эксперимента. Такие расчеты были выполнены в диссертационной работе В.В. Сорокина и использовались в дальнейшем коллаборацией CREMA для анализа полученных результатов. Актуальность диссертационного исследования определяется ориентацией на конкретные задачи описания наблюдаемых частот перехода между энергетическими уровнями в мюонном водороде, вычисление которых необходимо для проверки квантовой электродинамики и теории связанных состояний.

В.В. Сорокин вычислил новые поправки в сверхтонкой структуре  $S$ - и  $P$ -состояний мюонного дейтерия пятого и шестого порядка по  $\alpha$  на поляризацию вакуума, структуру и отдачу ядра, релятивистские поправки, которые на порядок улучшили предыдущие расчеты. Им были вычислены новые вклады, которые являются комбинацией перечисленных эффектов. При решении поставленных задач В.В. Сорокиным были построены необходимые вклады в оператор взаимодействия мюона и дейтрона в импульсном и координатном представлениях, вычислены соответствующие матричные элементы в аналитическом или численном виде. Сравнение некоторых промежуточных результатов для вкладов однопетлевой и

двухпетлевой поляризации вакуума показало совпадение с предыдущими расчетами других авторов.

Часть результатов диссертации получена при изучении уровней энергии мезомолекул водорода. Исследование уровней энергии мезоатомов и мезомолекул водорода находит важное применение при изучении ядерных реакций мюонного катализа. Учет различных поправок при определении уровней энергии этих систем дает возможность улучшить расчет вероятностей резонансного образования мезомолекул водорода и скоростей протекания реакций синтеза легких ядер.

Результаты, выносимые В.В. Сорокиным на защиту, были представлены на международных и российских научных конференциях: научной сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий" (Дубна, 2016; Нальчик, 2017; Москва, 2014), Всероссийском совещании по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам ФФК-2014 (Дубна 2014), Международной конференции по математической физике и ее приложениям (Самара, 2012, 2014); на XXV съезде по спектроскопии в ИС РАН (Троицк 2016); Международном семинаре по электромагнитным взаимодействиям ядер (EMIN) ИЯИ РАН (Москва 2018); IV Международной конференции по физике частиц и астрофизике МИФИ (Москва 2018) и других. Исследования, проведенные в диссертации В.В. Сорокиным, поддерживались грантом Министерства образования и науки РФ, стипендией фонда Династия, грантом для молодых ученых Самарской области.

Свою научную работу В.В. Сорокин начал еще в студенческие годы в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени С.П. Королева, который он закончил с отличием. Первые научные результаты, полученные им при написании работ бакалавра и магистра, явились основой для будущей диссертации, над которой В.В. Сорокин продолжил работать в аспирантуре. За время учебы в аспирантуре и написания диссертации В.В. Сорокин проявил себя как специалист высокой квалификации в области теоретической физики, способный самостоятельно решать поставленные задачи по актуальным проблемам физики частиц и ядерной физики. Он в полной мере владеет математическим аппаратом и численными методами, используемыми в современных теоретических исследованиях. При выполнении диссертационной работы В.В. Сорокин проявил трудолюбие, упорство в достижении цели, умение организовать свою работу. В целом В.В. Сорокина можно охарактеризовать как сформировавшегося научного работника, способного решать поставленные задачи, достойного ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа Сорокина Вячеслава Вадимовича выполнена на высоком научном уровне и носит законченный характер. Задачи,

поставленные и решенные в ней, являются актуальными и новыми. Результаты, полученные в диссертации, представляют научный интерес, опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, имеют важное значения для проверки квантовой электродинамики и теории связанных состояний частиц, цитируются зарубежными учеными. Все это дает основание считать, что Сорокин Вячеслав Вадимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

4.06.2019

Научный руководитель  
диссертационной работы  
доктор физ.-мат. наук, доцент,  
Самарский университет,  
кафедра общей и теоретической физики,  
профессор

А.П. Мартыненко

Подпись А.П. Мартыненко удостоверяю

Начальник отдела сопровождения деятельности  
ученых советов Самарского университета

Васильева И.П.

4.06.2019