

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Чубукова Дмитрия Валерьевича на тему: «Нарушение фундаментальных симметрий в атомах и молекулах: P, T-нечетный эффект Фарадея и P-нечетная оптическая активность», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Диссертация Д.В. Чубукова посвящена исследованию нарушения фундаментальных симметрий в атомных и молекулярных системах. Актуальность такого исследования определяется той большой ролью, какую играют эти симметрии как в проверке Стандартной модели (СМ), так и в поисках новой физике за ее рамками. Атомные эксперименты, нацеленные на обнаружение и исследование эффектов несохранения пространственной четности, играют крайне важную роль для проверки СМ. Достаточно упомянуть, что эксперимент по обнаружению вращения плоскости поляризации света парами атомарного висмута, выполненный в Новосибирске в 1978 году, был первым доказательством существования нейтральных слабых токов, ответственных за взаимодействие электронов с нуклонами. Эксперимент же с нейтральным цезием, в комбинации с соответствующими теоретическими расчетами, обеспечивает наиболее точную на данный момент проверку электрослабого сектора СМ при низких энергиях. Совсем недавние эксперименты с молекулой ThO, выполненные коллаборацией АСМЕ, в комбинации с соответствующими теоретическими расчетами, выполненными в ПИЯФ/СпбГУ, устанавливают наиболее жесткое ограничение на электрический дипольный момент (ЭДМ) электрона, существенно ограничивая, тем самым, область возможных расширений СМ. Все это несомненно свидетельствует о высокой актуальности темы настоящей диссертации.

Диссертацию условно можно разделить на две части. В первой части исследуются эффекты нарушения пространственной четности в легких гомоядерных молекулах. Вторая часть посвящена P, T-нечетному эффекту Фарадея в тяжелых атомах и молекулах. Ввиду того, что P-нечетные эффекты в электрон-электронном взаимодействии исследовались до сих пор только при высоких энергиях, представляется крайне важным найти возможность наблюдения этого взаимодействия при низких энергиях. Идея о том, что такое наблюдение возможно в легких молекулах, была выдвинута много лет назад руководителем автора настоящей диссертации. Однако, для проверки этой идеи было необходимо провести соответствующие очень сложные расчеты, т. к. обычно искомый эффект сильно подавлен по сравнению со слабым взаимодействием электрона с ядром. Именно такие расчеты были выполнены в настоящей диссертации. Эти расчеты показали, что такое наблюдение является возможным в молекуле параводорода. Другой крайне важной задачей является наблюдение зависящего от спина ядра прямого P-нечетного слабого взаимодействия электрона с ядром. Дело в том, что в тяжелых атомах, где исследовались зависящие от спина ядра эффекты слабого взаимодействия, основной вклад определяется взаимодействием электрона с анапольным моментом ядра, а интересующий нас эффект дает только маленькую поправку. В настоящей диссертации показано, что молекула ортоводорода является уникальным кандидатом для поиска зависящего от спина ядра прямого электрон-ядерного слабого взаимодействия, т. к. в этом случае интересующий нас эффект дает основной вклад. Во второй части

диссертации, где речь идет о P, T- нечетных эффектах, развит подход для наблюдения этих эффектов посредством изучения P, T-нечетного аналога эффекта Фарадея во внешнем электрическом поле на атомах и молекулах с использованием внутриволостной лазерной абсорбционной спектроскопии. Показано, что в рамках этого подхода с использованием молекулярного пучка RbF можно, в принципе, улучшить на несколько порядков имеющееся сейчас ограничение на величину P, T-нечетных эффектов. И хотя практическая реализация этого подхода требует решения целого ряда технических проблем, перспективы значительного улучшения ограничения на величину ЭДМ электрона способны стимулировать дальнейшие продвижения в этом направлении.

Диссертация написана достаточно хорошо, хотя и не лишена отдельных неточностей и опечаток. В качестве замечаний следует отметить следующее:

- 1) При обсуждении современного состояния теории и эксперимента по наблюдению эффекта несохранения пространственной четности в нейтральной атоме цезия на стр. 6 утверждается о согласии со СМ на уровне 0.3% со ссылкой на работу 2009 года [10]. В этой связи следует отметить, что, как было обнаружено позднее в работах австралийской группы, в работе [10] погрешность расчета корреляционных вкладов была сильно недооценена, что по-сути вернуло состояние теории на уровень 2005 года [9].
- 2) Приведенный на стр. 27 гамильтониан Дирака-Кулона должен сопровождаться разъяснением того, в каком пространстве он действует. Известно, что этот оператор приобретает смысл только после того, как он зажимается между проекторами на положительно-энергетические состояния.
- 3) На стр. 28 используется понятие «динамический корреляции электронов» без какого-либо пояснения что это такое.
- 4) На стр. 51-52, где рассматривается коэффициент усиления ЭДМ электрона в атоме, следовало бы все-таки сначала сказать про теорему Шиффа.

Разумеется, указанные выше замечания не касаются основных результатов диссертации и не снижают, в целом, очень высокой оценки проделанной автором диссертации работы.

Диссертация Чубукова Дмитрия Валерьевича на тему: «Нарушение фундаментальных симметрий в атомах и молекулах: P, T-нечетный эффект Фарадея и P-нечетная оптическая активность» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чубуков Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Д.ф.-м.н., профессор

В.М. Шабаев

01.06.2020