

«УТВЕРЖДАЮ»
проректор
Московского государственного
университета имени М.В.Ломоносова
профессор А.А.Федянин



«11» марта 2019 г.

ОТЗ

ведущей организации,

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», на диссертацию Титова Олега Александровича «Теоретическое исследование электронного захвата в атомах и ионах с приложениями к проблемам физики нейтрино», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц

Диссертация О.А.Титова посвящена **актуальной** проблеме - исследованию эффектов, проявляющихся в электронном захвате в атомах и ионах и анализу возможностей применения этих эффектов для исследований в области физики нейтрино и слабых взаимодействий. Природа процесса электронного захвата такова, что его изучение включает в себя решение вопросов как атомной и ядерной физики, так и физики элементарных частиц.

Интерес к электронному захвату в последние годы возрос в связи с противоречивостью результатов ряда экспериментов, в которых исследовался захват электронов водородоподобными ионами. Наличие или отсутствие модуляций в распаде водородоподобных ионов по каналу электронного захвата и отличие закона распада от чисто экспоненциального не нашли окончательного объяснения и привлекли внимание к теоретическому рассмотрению реакции захвата электрона в ионах.

Целью диссертационной работы является теоретическое исследование эффектов, проявляющихся в электронном захвате в атомах и ионах, и изучение возможности их применения к проблемам физики нейтрино.

Для реализации этой цели О.А.Титовым проведено теоретическое описание сверхтонкого эффекта в водородоподобных ионах, ядра которых распадаются по каналу электронного захвата, и основанного на этом эффекте способа модуляции нейтринного излучения с помощью внешнего электромагнитного поля. В **Главе 2** сделана оценка интенсивности высокоэнергетических пучков электронных нейтрино с модулируемой монохроматической компонентой. Проведен отбор ядер-источников полностью монохроматических пучков и ядер источников интенсивных пучков с монохроматической компонентой. Были определены параметры водородоподобных ионов с этими ядрами и произведена оценка

перспективности применения пучков нейтрино с модулируемой монохроматической компонентой к исследованию реакции когерентного упругого рассеяния на ядрах.

Глава 3 посвящена обсуждению возможного эксперимента по измерению макроскопической силы отдачи, действующей на радиоактивный источник, ядра которого поляризованы и нестабильны относительно электронного захвата. Обсуждаются условия возникновения такой силы и возможная постановка эксперимента по её измерению. Для этого вычисляется угловое распределение нейтрино в электронном захвате для случая разрешённых переходов с учётом массы электронного нейтрино, выводится общее выражение для силы. Автор диссертации проводит отбор наиболее перспективных изотопов, которые могут быть использованы для проведения эксперимента по измерению силы отдачи от нейтринного излучения и оценивает возможности измерения силы отдачи различными методами. В этой главе также анализируются перспективы применения экспериментов по измерению силы отдачи от нейтринного излучения для фундаментальных исследований.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется полученным в работе результатом, показывающим, что за счёт сверхтонкого эффекта можно модулировать монохроматическую компоненту нейтринного пучка. Модулируемые пучки с монохроматической составляющей могут быть использованы в будущих нейтринных экспериментах для решения актуальных проблем современной нейтринной физики (поиск CP -нарушения в лептонном секторе, определение иерархии масс нейтрино и измерение углов смешивания).

Предложенный в работе способ измерения силы отдачи от нейтринного излучения может быть использован для проверки лоренц-инвариантности.

Научная новизна работы определяется тем, что в ней впервые предложен метод электромагнитной модуляции частично монохроматического пучка электронных нейтрино. В результате работы сформирован список ядер, водородоподобные ионы которых могут выступать в качестве источников полностью монохроматических пучков нейтрино или в качестве интенсивных источников частично монохроматических пучков нейтрино. Впервые выполнено последовательное вычисление силы отдачи от нейтринного излучения, действующей на источник, ядра которого поляризованы и распадаются по каналу электронного захвата за счёт разрешённого ядерного перехода общего вида.

В обоснованности результатов работы и выводов основных положений, выносимых на защиту, сомнений не возникает. Автор диссертации использует математический аппарат квантовой механики, релятивистской механики и квантовой теории поля; применяет формализм квантовой теории углового момента. Обоснованным также представляется использование для расчётов низкоэнергетической теории слабых взаимодействий.

Результаты работы докладывались на семинарах, международных конференциях и школах по физике частиц и астрофизике. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 научных работах, из которых 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, а 2 статьи — в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий

ВАК.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, автором продемонстрированы эрудиция и глубокие знания по нейтринной физике, о чем свидетельствует содержательный обзор проблематики, представленный во введении и Главе 1.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. Для лучшего понимания полученных в диссертации результатов было бы полезным сопроводить главы 2 и 3 выводами по главам.
2. Было бы полезным сопроводить текст диссертации более подробным перечнем используемых терминов и обозначений.
3. Результаты Главы 3 основываются на том факте, что угловое распределение нейтрино в электронном захвате асимметрично. В то же время в Главе 2 асимметрия вылета нейтрино не учитывается и её влияние на постановку эксперимента с модулируемыми пучками не комментируется.
4. В разделе 2.6 автор отмечает, что ядра-источники, наиболее подходящие для исследования когерентного рассеяния, могут отличаться от ядер, отобранных в разделе 2.4. При этом новый отбор ядер не производится, а дальнейшие численные оценки выполняются для ядра-источника Eu-140 без каких-либо дополнительных комментариев.
5. В разделе 3.2 вычисления производятся с учётом массы нейтрино, однако автор не комментирует, предполагаются при этом нейтрино дираковскими или майорановскими частицами.
6. На стр. 87 сказано, что по силе отдачи можно определить отношение приведённых матричных элементов для смешанных фермиевских и гамов — теллеровских переходов, считая известным отношение g_A/g_V . Это едва ли осуществимо на практике, поскольку отношение g_A/g_V для нуклонов в ядре может заметно отличаться от значения $g_A/g_V = -1.27$ для свободного нейтрона, а измерить его отдельно от отношения приведённых матричных элементов затруднительно.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация Титова О.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором теоретических разработок последовательно описаны процессы захвата электронов ядрами атомов и водородоподобных ионов и предложены основанные на этих процессах методы исследований, востребованные в нейтринной физике.

Полученные разработки могут быть использованы в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», ОИЯИ, ФИАН им.П.Н.Лебедева, НИИЯФ МГУ и других организациях, задействованных в проведении крупных экспериментов.

Таким образом, диссертация Титова О. А. «Теоретическое исследование электронного захвата в атомах и ионах с приложениями к проблемам физики нейтрино» соответствует

всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а сам Титов Олег Александрович безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Отзыв составлен зав. лабораторией
д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

 / Роганова Т.М./

Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на семинаре НИИЯФ МГУ:
«Астрофизика космических лучей» (руководитель семинара д.ф.м.н., профессор
М.И.Панасюк) 6 марта 2019 г.

Директор НИИЯФ МГУ
профессор



/Панасюк М.И./