

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Ерохина Владимира Анатольевича на диссертацию Волчковой Анны Михайловны на тему «Эффект Зеемана и сверхтонкое расщепление в бороподобных многозарядных ионах с ненулевым спином ядра», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Высокоточные исследования эффекта Зеемана в многозарядных ионах играют большую роль в современной атомной физике. Экспериментальные исследования таких систем выполняются сегодня с относительной точностью до 10^{-11} . В сочетании с прецизионными теоретическими расчетами такие исследования позволяют уточнять значения фундаментальных констант и параметров ядер, выполнять проверку квантовой электродинамики связанных состояний и вести поиски новой физики за рамками стандартной модели. Таким образом, развитие численных методов и проведение расчетов нелинейных эффектов Зеемана в диссертации А.М. Волчковой является безусловно весьма актуальной и востребованной задачей.

Нелинейные эффекты дают заметный вклад в зеемановское расщепление в бороподобных ионах вследствие перемешивания близко расположенных уровней одинаковой четности магнитным полем, в результате чего достигается значительное усиление эффекта по сравнению, например, с литиеподобными ионами. Теоретические расчеты этих эффектов важны для интерпретации экспериментов по высокоточному определению g -фактора многозарядных ионов. Одновременное изучение водородо-, литие- и бороподобных ионов для одного изотопа позволяет уменьшить погрешность, связанную с ядерными эффектами. Теоретические расчеты g -фактора в ионах с ненулевым спином ядра и соответствующие прецизионные измерения могут обеспечить прецизионное определение магнитных моментов ядер с недоступной ранее точностью, что является весьма актуальной задачей. В работе А.М. Волчковой рассмотрены также и системы с замкнутыми оболочками. Такие системы также могут быть использованы для определения ядерных магнитных моментов с помощью высокоточных измерений в ловушке Пеннинга.

Большинство расчетов в диссертации выполнено независимо двумя методами: по теории возмущений и с помощью метода конечного поля. Для расчетов по теории возмущений используется метод конечного базисного набора для уравнения Дирака в центральном поле с использованием соотношений дуального кинетического баланса. Расчеты по теории возмущений позволяют получить хорошую численную точность для вкладов отдельных порядков, но требуют вывода громоздких формул в старших порядках. Метод конечного поля позволяет существенно упростить структуру вычисляемых выражений и при необходимости получить информацию о непертурбативных эффектах. С другой стороны, выделение отдельных порядков теории возмущений методом конечного поля требует выполнения численного дифференцирования, что приводит к потерям численной точности. В диссертации А.М. Волчковой метод конечного поля реализован с помощью численного решения уравнения Дирака во внешнем магнитном поле. Используется конечный базисный набор на основе V -сплайнов с наложением условий дуального кинетического баланса. На основе полученных волновых функций вычисляются необходимые матричные элементы, а дифференцирование по величине поля даёт нужный вклад в зеемановское расщепление. Развитый подход может быть также применен и во многих других задачах с аксиальной

33-06-490 от 17.04.2023

симметрией. Хорошее согласие результатов полученных двумя независимыми методами и сравнение с литературными данными свидетельствует о надежности проведенных вычислений.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений. Список литературы содержит 136 наименований. Во введении описывается актуальность работы, формулируются цели и задачи. В первой главе обсуждаются эффект Зеемана, нелинейные вклады в него и их значимость, описываются способы расчетов нелинейных вкладов. Вторая глава посвящена обсуждению теории сверхтонкого расщепления. В главе 3 обсуждается зеемановское расщепление в ионах с ненулевым спином ядра. Рассматривается сценарий определения ядерного g-фактора из экспериментальных и теоретических данных. Описываются способы расчета константы ядерного магнитного экранирования. В четвертой главе обсуждается межэлектронное взаимодействие в системах с одним валентным электроном и в системах с замкнутыми оболочками. Приводятся формулы для расчетов по теории возмущений и методом конечного поля. В главе 5 рассматриваются численные подходы к решению задачи. Рассматриваются метод дуального кинетического баланса и его расширение для систем с аксиальной симметрией. Приводятся формулы для матричных элементов, обсуждаются детали численного дифференцирования. В шестой главе представлены численные значения для нелинейных вкладов в эффект Зеемана и константы ядерного магнитного экранирования, проведено подробное обсуждение результатов. В заключении описываются основные результаты и выводы.

Результаты многократно представлялись на международных конференциях и семинарах разного уровня и опубликованы в шести статьях в журналах из списка ВАК.

По диссертационной работе Волчковой Анны Михайловны можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации все результаты приведены без погрешностей. Отсутствуют оценки ошибок, связанных с неучтенными эффектами (ядерные, квантовоэлектродинамические, вклады межэлектронного взаимодействия высших порядков).
2. В таблицах данные приводятся с большим числом значащих цифр. При этом сравнение методов конечного поля и теории возмущений показывает наличие заметной численной погрешности. Стоило обсудить, откуда берется погрешность и какой метод является более точным.
3. Межэлектронное взаимодействие рассматривается в рамках теории возмущений в первом порядке. На будущее, было бы полезно расширить вычисления на второй порядок теории возмущений по межэлектронному взаимодействию, особенно для метода конечного поля.

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер, не касаются основных положений диссертации и не снижают общее положительное впечатление о работе. В целом, диссертация А. М. Волчковой выполнена на высоком научном уровне и представляет значительный интерес с теоретической и практической точки зрения.

Диссертация Волчковой Анны Михайловны на тему: «Эффект Зеемана и сверхтонкое расщепление в бороподобных многозарядных ионах с ненулевым спином ядра» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном

университете». Соискатель Волчкова Анна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
главный научный сотрудник
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
доктор физико-математических наук
Ерохин Владимир Анатольевич



27.12.2022