

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Андреева Олега Юрьевича 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.

Диссертация Волчковой А.М. посвящена изучению эффекта Зеемана в многозарядных ионах. Расщепление уровней энергии под действием магнитного поля описывается  $g$ -фактором, который является одной из наиболее точно измеряемых величин. Сравнение экспериментальных данных по измерению  $g$ -фактора и теоретических расчётов позволяет, во-первых, осуществлять проверку квантовоэлектродинамической теории в сильных полях и, во-вторых, получать значения таких фундаментальных констант, как масса электрона, постоянная тонкой структуры, различные магнитные и электрические моменты ядер, которые присутствуют в расчёте как параметры. На основе существующих современных методов расчёта свойств многозарядных ионов в рамках диссертации было разработано множество оригинальных методов для исследования зеемановского расщепления уровней энергии. Численные расчёты, представленные в диссертации, уже были использованы для анализа экспериментальных данных и получения важных физических констант. Востребованность полученных результатов экспериментаторами и ценность разработанных методов расчёта определяют высокую актуальность диссертации Волчковой А.М..

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

В введении чётко сформулированы актуальность работы, современное состояние области исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе обсуждается эффект Зеемана. В частности, представлена теория возмущения по взаимодействию с внешним магнитным полем и соответствующая диаграммная техника. Введена параметризация поправок к энергии за счёт зеемановского расщепления. В заключении главы приводится связь используемой теории возмущений и непертурбативного метода учёта взаимодействия с внешним магнитным полем.

Вторая глава посвящена сверхтонкому расщеплению, которое возникает при учёте распределения электрического заряда и намагниченности в ядре. В частности, обсуждается учёт квадрупольного электрического момента ядра и дипольного магнитного момента ядра. В главе подробно изложен подход для учёта таких взаимодействий.

В третьей главе рассматривается зеемановское расщепление для ионов с ненулевым спином ядра. Здесь происходит объединение результатов предыдущих двух глав. Также представлена диаграммная техника. В заключении главы обсуждается возможность непертурбативного одновременного учёта взаимодействия с внешним магнитным полем и с магнитным моментом ядра.

33-06-488 от 17.04.2023

В четвёртой главе рассматривается учёт вклада межэлектронного взаимодействия в зеемановское расщепление. В диссертации отдельно рассматриваются ионы с одним валентным электроном (Li и B-подобные ионы) и ионы с замкнутыми оболочками на примере He-подобных ионов. В диссертации произведён учёт фейнмановских графиков, описывающих однофотонный обмен. Такой подход недостаточен для удовлетворительного учёта межэлектронного взаимодействия. Для решения этой проблемы в работе использовался метод добавления в гамильтониан эффективного экранирующего потенциала с последующим учётом этой добавки (вычитанием её) по теории возмущений. В диссертации использовались несколько различных экранирующих потенциалов, что позволило провести анализ погрешности этого метода учёта межэлектронного взаимодействия.

В пятой главе обсуждается метод конечного базисного набора (на примере B-сплайнов) для решения уравнения Дирака. В частности, обсуждается проблема появления шпурioзных состояний и возможность её решения с помощью метода дуального кинетического баланса. Отдельно рассматриваются применение этого метода для сферически симметричного потенциала и для потенциала с аксиальной симметрией. В последнем случае обсуждается проблема выбора состояний с заданной чётностью.

В шестой главе представлены результаты численных расчётов. Представлены полученные параметры для зеемановского расщепления, описывающие поправки квадратичные и кубические по внешнему магнитному полю. Представлены результаты расчёта констант ядерного магнитного экранирования. В заключении обсуждаются результаты расчёта ядерного сверхтонкого смешивания в ионе тория, в частности, представлены результаты сверхтонкого расщепления. Эти данные необходимы для изучения уникального дипольного перехода в ядре тория, который предполагается использовать для построения ядерных часов.

В диссертации Волчковой А.М. представлено теоретическое исследование расщепления уровней энергии, вызванное учётом взаимодействия с внешним магнитным полем и с ядерными электрическими и магнитными моментами. В работе рассматривались многозарядные ионы с двумя, тремя и пятью электронами. В рамках диссертации разработан непертурбативный метод расчёта зеемановского расщепления и нахождения параметров расщепления. Межэлектронное взаимодействие учитывалось с помощью поправок на однофотонный обмен и использования экранирующего потенциала. Были вычислены коэффициенты ядерного магнитного экранирования. Результаты, полученные в диссертации, необходимы для интерпретации экспериментальных данных и имеют большое значение для современной физики.

Диссертация написана хорошо, основная часть работы представлена достаточно подробно и на очень хорошем уровне. К диссертации имеется несколько вопросов.

- 1) Были ли учтены радиационные поправки? Важны ли они?
- 2) Возможно ли с помощью учёта фейнмановских графиков двухфотонного обмена улучшить точность расчёта.
- 3) Нет ли необходимости учитывать поправки на то, что магнитное поле не константа?

Диссертация Волчковой Анны Михайловны на тему: «Эффект Зеемана и сверхтонкое расщепление в бороподобных многозарядных ионах с ненулевым спином ядра» соответствует/не соответствует (выбрать) 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/не заслуживает (выбрать) 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

Доктор физико-математических наук, без учёного звания,  
профессор, кафедры квантовой механики  
Санкт-Петербургского государственного университета

Андреев О.Ю.

29 марта 2023 г.

*Олег Андреев*



*28.03.2023*

