

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Козлова Михаила Геннадьевича

на диссертацию Просняка Сергея Дмитриевича

на тему

«Квантово-механическое изучение атомно-молекулярных систем для анализа свойств ядер»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Диссертационная работа С. Д. Просняка посвящена теоретическому исследованию магнитной сверхтонкой структуры (СТС) и изотопических эффектов в атомах и молекулах. Расчеты СТС проводились с учетом конечного размера ядра и изучались поправки, которые нарушают пропорциональность между постоянными СТС и магнитными моментами ядер. Такие эффекты получили название сверхтонкой магнитной аномалии. Их учет позволяет уточнить магнитные моменты короткоживущих ядер, для которых единственным способом определения магнитных моментов является наблюдение магнитной СТС. Для распространенных долгоживущих изотопов магнитные моменты обычно определяются методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР), который имеет существенно более высокую точность, но гораздо меньшую чувствительность. В этом случае точность определения магнитных моментов ограничивается эффектом экранирования внешнего магнитного поля на ядре. Поэтому естественно, что этот эффект тоже обсуждается в одном из параграфов второй главы диссертации. В третьей главе проводятся расчеты сдвигов частот переходов в цепочках изотопов тяжелых элементов и определяются зарядовые радиусы соответствующих ядер. Последняя глава посвящена исследованию возможных экзотических взаимодействий электронов между собой и с нуклонами за счет обмена гипотетическими легкими аксионоподобными частицами (АПЧ). Эта глава тематически сильно отличается от остальной диссертации. Объединяющим элементом здесь служат единые методы расчетов и акцент на учете влияния конечного размера ядра, которое, как оказалось, является достаточно слабым.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что разработанные в ней методы расчетов магнитных аномалий и изотопических сдвигов позволяют систематически уточнить магнитные моменты и зарядовые радиусы многих короткоживущих ядер тяжелых элементов. Полученные в последней главе ограничения на константы связи АПЧ с электронами и нуклонами являются наиболее жесткими для промежуточного диапазона масс $m_a > 10^{-3} \text{эВ}$. Перечисленные результаты диссертационной работы **являются новыми** и свидетельствуют о ее **актуальности**.

Диссертация состоит из подробного введения, четырех глав и краткого заключения. Она включает 116 страниц, 2 рисунка и 24 таблицы. Список литературы содержит 214

наименований и достаточно полно отражает актуальную научную литературу по теме диссертации.

Во введении формулируются основные цели работы, обосновывается важность и актуальность темы диссертации и дается обзор литературы. Далее приведен список публикаций с указанием личного вклада автора. В конце введения сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации носит вводный характер. В ней довольно кратко и на базовом уровне описаны основные методы расчетов, которые используются в дальнейшем. Это описание не дает достаточно полного представления о том, как реально проводились расчеты. Дополнительные подробности о методах расчетов описаны в последующих главах.

Во второй главе работы исследуется магнитная аномалия и ее влияние на точность определения магнитных моментов ядер по спектроскопическим измерениям СТС. Это глава самая большая и содержит наиболее важные результаты диссертации. Она разбита на две части – теоретическую и расчетную. Основные расчеты проводились для изотопов нейтрального таллия. В заключительном параграфе описан расчет константы экранирования внешнего магнитного поля для молекулярного иона ReO_4^- .

В третьей главе исследуются изотопические сдвиги (ИС) в спектрах атомов золота и таллия. Для таких тяжелых атомов основной вклад в ИС дает полевой сдвиг, который определяется зарядовыми радиусами изотопов. Именно эта часть ИС представляет интерес для изучения свойств ядер спектроскопическими методами. Однако для аккуратного определения зарядовых радиусов ядер необходимо учитывать поправки, обусловленные нормальными и специфическими массовыми изотопическими сдвигами. Известно, что расчет специфических массовых сдвигов представляет большие трудности. В диссертации проведены рекордные по точности расчеты ИС для золота и таллия и получены уточненные значения зарядовых радиусов изотопов и изомеров этих элементов.

Четвертая глава посвящена расчетам Т,Р-нечетных эффектов в молекулярном ионе Hf^+ . Источником Т,Р-нарушения предполагалось взаимодействие, индуцированное обменом псевдоскалярными АПЧ. На этой молекуле проводился эксперимент по поиску электрического дипольного момента электрона. Из отрицательных результатов этого эксперимента можно получить ограничение на константы связи АПЧ с электронами и нуклонами. Расчеты проводились с учетом конечного размера ядра гафния. Соответствующие поправки пренебрежимо малы для легких АПЧ, но становятся заметны для масс $m_a > 10^8$ эВ.

Диссертация хорошо написана. В тексте даются ссылки на все основные работы по теме диссертации. Изложение хорошо аргументировано и логично. Возможно, имело смысл более четко объяснить связь четвертой главы с остальной частью работы.

По второй главе у меня есть следующее замечание. Автор исследует влияние магнитной аномалии на константу магнитной СТС. При этом сравниваются между собой очень

простые ядерные модели, такие, как однородно намагниченный шар и одночастичная модель Вудса-Саксона. Показано, что «... магнитная аномалия действительно сильно зависит от параметров используемой ядерной модели.» (стр. 54). Другими словами, это значит, что магнитная аномалия несет информацию о распределении намагниченности внутри ядра. Было бы полезно ввести параметр, который характеризует это распределение и от которого (в основном) и зависит величина аномалии. Правильный выбор такого параметра позволит проверять различные современные модели ядра, а не только простые одночастичные модели, рассмотренные в диссертации.

По тексту диссертации можно сделать еще несколько небольших замечаний.

1. Во введении на стр. 9 упоминаются изотонические цепочки ядер, но нигде в дальнейшем про них больше не говорится.
2. Во всей диссертации используется обозначение электронного состояния вида $7s^2 S_{1/2}$ вместо $7s^2 S_{1/2}$, или просто $7s_{1/2}$.
3. На стр. 32 говорится, что уравнения (2.3) и (2.5) написаны для валентного нуклона. Тогда в уравнение (2.5) должен входить заряд нуклона.
4. На стр. 34 написано, что водородоподобные ионы имеют сферическую симметрию, что странно.
5. На стр. 61 приведены конечные значения магнитных моментов ядер ^{185}Re и ^{187}Re , в которых теоретическая погрешность составляет около 400 ppm. Поправка на конечное распределение намагниченности в Таблице 2.11 примерно 70 ppm. Таким образом получается, что на сегодняшнем уровне точности эта поправка оказывается несущественной.
6. На стр. 67 говорится, что удалось добиться сходимости для электронных корреляций. Я не понял, как обосновывается это утверждение.
7. Похоже, что во всей Главе 4 (стр. 75-90) используются релятивистские единицы $\hbar = c = 1$.
8. На стр. 86 написано: «В случае легких АПЧ с массой менее $m_a = 10^2$ эВ, значения $W^{(ee)}_{ax}(m_a)$ получаются почти одинаковыми.» Как я понял, тут речь идет о роли корреляций. Если так, то, согласно Таблице 4.2, и при малых массах корреляционная поправка составляет около 40%, что не так мало.
9. В заключении (стр. 91) говорится, что в диссертации были реализованы новые методы для анализа свойств ядер. Не вполне ясно, что тут имеется в виду. Реализованы методы, которые были известны ранее, или предложены новые?

Все сделанные выше замечания и пожелания носят частный характер и не влияют на общую оценку диссертации. Работа выполнена на высоком профессиональном уровне, результаты полностью опубликованы в восьми статьях в ведущих международных рецензируемых журналах, таких, как Physical Review Letters, Physical Review A & C, Journal of Chemical Physics и др. и докладывались на многих научных конференциях.

Заключение. Диссертация Сергея Дмитриевича Просняка на тему: «Квантово-механическое изучение атомно-молекулярных систем для анализа свойств ядер» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском

государственном университете», соискатель Сергей Дмитриевич Просняк 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
Доктор ф.-м. н.,
ведущий научный сотрудник,

Петербургский институт ядерной
физики НИЦ «Курчатовский
институт»



Козлов Михаил Геннадьевич

30 декабря 2024 г.