

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу

Воронова Ярослава Владимировича по теме «Теоретические исследования неупругих столкновений атомов и ионов различных химических элементов с атомами и ионами водорода»,

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

Неупругие процессы при столкновениях атомов, ионов, молекул и т.д. определяют свойства газовых и плазменных сред, при этом основным источником информации об этих средах является теоретическое моделирование. В силу самой большой распространенности водорода во Вселенной, во многих случаях для проведения указанного моделирования необходимо знать характеристики неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов, ионов, молекул различных химических элементов с атомами и ионами водорода. При этом число неупругих парциальных процессов исчисляется тысячами и даже миллионами. Одним, но не единственным физически важным примером является моделирование атмосфер звезд в условиях отклонения от локального термодинамического равновесия. Указанное моделирование является практически единственным способом определения не только качественного, но и количественного состава звезд. В связи с этим на протяжении более полувека активно проводятся многочисленные моделирования атмосфер звезд. На протяжении этого времени было осознано, что, во-первых, для надежного моделирования надо знать характеристики процессов столкновений с атомами и ионами водорода для сотен, тысяч и иногда миллионов парциальных переходов; оценки характеристик большого числа неупругих процессов проводились с помощью классической формулы Дравина; впоследствии было показано, что применение этой формулы приводит к большим погрешностям рассчитываемых характеристик, вплоть до множителей в несколько порядков как в сторону завышения, так и в сторону занижения. Во-вторых, было показано, что наибольшие погрешности моделирования вносят неопределенности в оценках характеристик неупругих процессов столкновений атомов и ионов различных химических элементов с атомами и ионами водорода. В связи с этим физически корректные расчеты характеристик неупругих процессов столкновений с атомами и ионами водорода являются актуальными и востребованными во многих областях физики, астрофизики, физики плазмы, химической физики и т.д.

В связи с вышесказанным разработка физически корректных и надежных теоретических методов расчета характеристик неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и ионов различных химических элементов с атомами и ионами водорода является актуальной. В диссертации Воронова Я. В. развит ряд теоретических подходов для расчетов вероятностей неадиабатических переходов, сечений и констант скорости различных неупругих процессов. Рассчитаны характеристики большого числа физически значимых процессов, таких как процессы нейтрализации, образования ионной пары, возбуждения и девозбуждения, происходящих при столкновениях атомов и ионов лития, включая различные изотопы, кальция и кислорода с атомами и ионами водорода. Анализ результатов позволил диссертанту определить общие закономерности рассчитанных данных.

Стоит отметить, что каждая конкретная столкновительная система обладает индивидуальными особенностями, и поэтому для каждой пары сталкивающихся партнеров необходимо выбирать наиболее подходящий метод исследования неадиабатической ядерной динамики. В своей работе диссертант развил следующие методы ядерной динамики: детерминистический и стохастический методы прыгающих и ветвящихся токов

вероятности, многоканальный аналитический подход, полуэмпирический метод учета тонкой структуры сталкивающихся партнеров. Воронов Я. В. разработал и оптимизировал компьютерные программы, что позволило ему провести трудоемкие расчеты, а также значительно сократить время счета и повысить точность расчетов. В диссертацию включены результаты расчетов 1432 парциальных процессов, и примерно такое же количество рассчитанных данных в диссертацию не включены, чтобы не перегружать диссертацию. Главным результатом работы диссертанта является тот факт, что развитые методы являются квантовыми, и поэтому рассчитанные данные являются физически обоснованными и достоверными. Результаты теоретических исследований Воронова Я. В. хорошо согласуются с имеющимися немногочисленными полностью квантовыми расчетами других авторов, а также с редкими экспериментальными данными.

Воронов Ярослав Владимирович окончил аспирантуру РГПУ им. А. И. Герцена по направлению 03.06.01 Физика и астрономия в 2022 году. За время обучения активно занимался научной деятельностью: изучил и проанализировал научную литературу по квантовой теории рассеяния, освоил различные вычислительные методы и языки программирования, провел большой объем расчетов, обработал и критически проанализировал полученные результаты с помощью различных методов. За время обучения в аспирантуре проявил высокое трудолюбие, ответственность и способности как к аналитической, так и к вычислительной работе. Являлся исполнителем (и в некоторых грантах, ответственным исполнителем) грантов РФФИ («Аспиранты»), РНФ, Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» и Государственных заданий Министерства науки и высшего образования РФ, Министерства просвещения РФ.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 9 статей, в таких журналах как *The Astrophysical Journal*, *Physical Review A*, *Journal of Chemical Physics*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, все журналы из Q1. Еще столько же научных статей опубликовано Вороновым Я. В. в рецензируемых научных журналах, входящих в базы данных *Web of Science Core Collection*, *Scopus*, Ядро РИНЦ и в Перечень ВАК, но не включены в диссертацию, чтобы не перегружать диссертацию.

Также результаты были представлены на следующих международных научных конференциях:

1. Международная конференция «Звезды, планеты и их магнитные поля» (17–21 сентября 2018 года, Санкт-Петербург, Россия). Стендовый доклад «Расчёты атомных данных о неупругих процессах при столкновениях различных химических элементов с водородом».
2. Международная конференция «XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии», симпозиум "The Periodic Table through Space and Time" (9-13 сентября 2019 года, Санкт-Петербург, Россия). Стендовый доклад «Application of the probability current method to nuclear dynamical calculations in collisions with hydrogen».
3. Международная конференция «Physics of Stars and Planets: atmospheres, activity and magnetic fields» (16-20 сентября 2019 года, Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н. Туси, Шамахи, Азербайджан). Стендовый доклад «Application of the probability current method to nuclear dynamical calculations in collisions with hydrogen».
4. Всероссийская конференция с международным участием «Физика звёзд: теория и наблюдения» (26–30 июня 2023 года, Москва, Россия). Стендовый доклад «Атомные данные о неупругих процессах, происходящих при столкновениях $B + H$ и $B^+ + H$ ».

Оценивая работу Воронова Я. В., отмечу, что за время обучения в магистратуре и аспирантуре, а также благодаря интенсивной научной работе, диссертант значительно вырос в научном смысле и приобрел опыт научно-исследовательской работы на мировом уровне. Он овладел методами теоретической физики, в частности, квантовой теории столкновений, освоил на высоком уровне программирование, провел трудоёмкие

систематические расчеты, приобрел навыки проведения теоретического анализа получаемых результатов, освоил работу с научной литературой, включая чтение научных статей на английском языке и написание статей на английском языке. В связи с этим можно утверждать, что Воронов Я. В. является квалифицированным физиком.

Оценивая диссертацию в целом, отметим, что она является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития теоретической физики. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Таким образом, диссертация Воронова Ярослава Владимировича на тему: «Теоретические исследования неупругих столкновений атомов и ионов различных химических элементов с атомами и ионами водорода» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Воронов Ярослав Владимирович 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.

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук, профессор,

заведующий кафедрой

теоретической физики и астрономии



А. К. Беляев

РГПУ им. А.И. ГЕРЦЕНА

подпись Беляева А.К.

удостоверяю «14» 09 2023 г.

Отдел кадров управления по работе с кадрами
и организационно-контрольному обеспечению

