

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о работе Горбунова Сергей Александровича по кандидатской диссертации «Модель формирования треков быстрых тяжёлых ионов в твёрдых телах», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

С.А. Горбунов обучался в Московском Инженерно-Физическом Институте (Национальном Исследовательском Ядерном Университете) с 2006 по 2012 год, с 2008 года на кафедре Теоретической Ядерной Физики. Я являюсь научным руководителем С.А. Горбунова с 2009 года, когда он, будучи студентом 3-го курса, пришёл в Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт» для прохождения научной практики.

Бакалаврская и магистерская дипломные работы С.А. Горбунова были связаны с исследованием кинетики быстропротекающих процессов, реализующихся в наноразмерных треках быстрых тяжёлых ионов (БТИ), тормозящихся в веществе в режиме электронных потерь энергии. После окончания МИФИ, с 4 октября 2012 года С.А. Горбунов был зачислен по конкурсу в аспирантуру ФИАН по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, где он продолжил под моим руководством работу по вышеуказанной тематике.

Нанометрический пространственный и фемто-пикосекундный временной масштабы кинетики возбуждения и релаксации, экстремальный характер этого возбуждения делают невозможным применение привычных макроскопических моделей и подходов к описанию процессов в треке БТИ. В частности, при взаимодействии с решёткой материала быстрых ($\sim 1-20$ кэВ) электронов, генерируемых в треке, невозможна реализация электрон-фононного механизма обмена энергией. В течение короткого времени рассеяния быстрых электронов, меньшего времени атомных осцилляций в решётке, атомы «заморожены» в своих текущих положениях, и их динамическая реакция на вносимое возбуждение аналогична динамической реакции идеального газа. Кроме этого, ввиду быстрой пространственной диссипации внесённой избыточной энергии, для описания кинетики решётки материала в треке БТИ слабо применимы как концепция локального теплового равновесия, так и термодиффузионная модель теплопроводности.

Поэтому, остро востребовано построение адекватной количественной модели кинетики трека, основанной на наиболее общих физических принципах.

С.А. Горбуновым был разработан и реализован численный алгоритм расчёта скорости электрон-решётчного обмена энергией, основанный на формализме динамического структурного фактора (ДСФ). Этот формализм позволяет учитывать особенности коллективной реакции решётки, реализуя различные предельные случаи отклика пространственно и динамически связанного ансамбля атомов решётки на вносимое возбуждение в экстремальных условиях трека БТИ. ДСФ различных материалов в этой модели рассчитывался методом молекулярной динамики (МД).

Вышеупомянутая модель электрон-решётчного взаимодействия была использована, как один из основных модулей в разрабатываемой в группе мультимасштабной модели возбуждения материалов в треках БТИ. В частности, с использованием параметров возбуждённой электронной подсистемы в треках БТИ, полученных в результате применения Монте-Карло модели TREKIS, С.А. Горбуновым было проведено МД моделирование возбуждения решётки различных материалов в треках различных БТИ. Очень важным результатом этой работы стала демонстрация того, что энергии, передаваемой в решётку только от релаксирующих электронов (это предполагается, например, в широко используемой сообществом, модели двухтемпературной термической вспышки) недостаточно для формирования экспериментально наблюдаемых в треках БТИ структурных превращений.

Следующим шагом в работе было проведение МД моделирования возбуждения и структурных изменений в решётке, учитывающего релаксацию избыточной энергии валентных дырок, генерируемых в треке БТИ. Снова, для определения начальных условий, характеризующих состояние электрон-дырочного ансамбля в треке, была использована МК программа TREKIS. В результате этой работы С.А. Горбуновым была продемонстрирована роль избыточной энергии валентных дырок в формировании треков БТИ.

Полученные результаты позволили С.А. Горбунову построить оригинальную модель химической активации оливина ($(\text{Mg}_x\text{Fe}_{1-x})_2\text{SiO}_4$)

вокруг траектории БТИ. Эта работа была связана с желанием количественно проанализировать результаты проводимых в ФИАН экспериментов по детектированию треков ядер сверхтяжёлых элементов в метеоритном оливине, который рассматривается, как естественный природный детектор тяжёлых и сверхтяжёлых ядер галактических космических лучей. Используемая методика детектирования треков этих ядер основана на жидкостном химическом травлении.

При помощи химической теории активированного комплекса С.А. Горбунов связал получаемую из разработанной модели информацию о физическом возбуждении электронной и ионной подсистем материала со скоростью реакции облучённого материала с жидким химическим травителем. Важным результатом явилось то, что это позволило количественно объяснить наблюдаемую химическую активацию оливина в микронной окрестности траектории БТИ (далеко за пределами нанометрической области структурных изменений) нейтрализацией разлетающимися из центра трека электронами поливалентных катионов железа, входящих в состав оливина, как примесь замещения. Разработанная модель может быть использована для уточнения и принципиального улучшения результатов экспериментов и оценки зарядов космических ядер.

Для успешного решения представленных перед С.А. Горбуновым задач требовалось применение всех профессиональных навыков, необходимых успешно работающему теоретику, таких, как (а) накопление информации и критический анализ имеющихся экспериментальных результатов, (б) глубокое понимание фундаментальных принципов, относящихся к различным физическим направлениям. Умелое применение этого знания при формулировании моделей и их технической реализации (аналитической и численной), (в) формулирование предложений по проведению «критических» экспериментов, (г) представление сообществу полученных результатов, способность анализировать критику сообщества и учитывать её при совершенствовании моделей.

Решая поставленные задачи, С.А. Горбунов продемонстрировал владение этими навыками и показал способность к самостоятельной работе. Т.е.

квалификация С. А. Горбунова позволяет ему самостоятельно ставить и решать научные задачи на современном международном уровне.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней. Считаю, что С. А. Горбунов достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Научный руководитель:
старший научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Физического института
им. П. Н. Лебедева Российской Академии наук (ФИАН),
кандидат физико-математических наук
Волков Александр Евгеньевич
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53
тел. +7(499) 135-87-18, e-mail: a.e.volkov@list.ru

Волков

Подпись Волкова А. Е. удостоверяю:

Учёный секретарь ФИАН
Цвентух М. М.

