

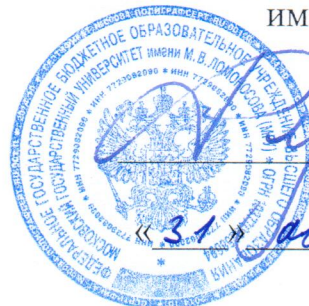


**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
имени **М.В.ЛОМОНОСОВА**
(МГУ)

Ленинские горы, Москва,
ГСП-1, 119991
Телефон: 939-10-00
Факс: 939-01-26

31.08.2016 № 1021-16/018-03
На № _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор Московского
государственного университета
имени М.В.Ломоносова
профессор, д.ф.-м.н.



А.А. Федянин

августа 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на диссертационную работу Горбунова Сергея Александровича «Модель формирования треков быстрых тяжёлых ионов в твёрдых телах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Актуальность темы выполненной работы

Теория трека тяжёлого иона в твёрдых телах разрабатывается уже много десятилетий, но и в настоящее время не может объяснить многих экспериментальных данных. Физическая модель трека важна и с фундаментальной точки зрения, и для использования во многих прикладных областях, например, для оценки радиационной стойкости материалов и приборов, для разработки радиационных нанотехнологий, для лучевой медицины, для создания новых твердотельных трековых детекторов. Поэтому развитие модельных представлений формирования треков быстрых тяжелых ионов в твердых телах является весьма

актуальной задачей, поставленной в диссертационной работе С.А. Горбунова.

Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для рассмотрения образования трека тяжёлого иона часто используются макроскопические модели, например, модель термической вспышки, описывающая эволюцию электронной и ионной подсистем уравнениями термодиффузии при отсутствии теплового равновесия, что приводит к использованию множества настраиваемых параметров в реализациях модели. Построение более реалистичной количественной микроскопической модели образования трека требует обширного компьютерного моделирования (Монте-Карло, молекулярная динамика) для описания многочисленных бинарных и коллективных взаимодействий.

В диссертации разработана оригинальная количественная модель возбуждения и релаксации материала в треке быстрых тяжёлых ионов, учитывающая особенности коллективной реакции электронной и ионной подсистем в процессе их взаимодействия и обмена энергией при формировании трека. Построена также количественная модель химической активации оливина в окрестности трека тяжёлого иона. Перечисленные факторы определяют научную новизну используемых диссертантом подходов, полученных им результатов, а также базирующихся на этом выводов и рекомендаций.

Теоретическая и научно-практическая значимость работы заключается в разработке оригинальной модели передачи энергии от возбуждённой подсистемы электронов в решётку, автоматически учитывающей в сечениях электрон-решётчного взаимодействия реализацию различных предельных случаев коллективной динамической реакции атомов. Автором продемонстрировано влияние энергии, сосредоточенной в ансамбле валентных дырок, на структурные

изменения в треках БТИ. На основании разработанной модели без использования подгоночных под калибровочные эксперименты параметров было оценено возбуждение решётки в треках БТИ в LiF, Al₂O₃, Mg₂SiO₄. Продемонстрировано, что энергии, передаваемой в решётку только от генерируемых в треке делокализованных электронов недостаточно для формирования наблюдаемых структурных изменений. Диссертантом выполнены количественные оценки степени химической активации материала в треках БТИ без использования данных калибровочных облучений. Известные к настоящему моменту модели травления треков БТИ используют в качестве подгоночных полученные при калибровочных облучениях параметры, что связано дополнительными предположениями и методологическими неточностями. Представленная в работе модель свободна от подгоночной процедуры. Это, в частности, позволяет оценить эффективность различных предполагаемых механизмов активации материала в зависимости от расстояния от оси трека.

Методология и методы исследования

В диссертационной работе использовались аналитические и численные методы исследований, компьютерное моделирование. Для описания кинетики и определения параметров возбужденной электронной подсистемы в треке БТИ применялась ранее разработанная модель TREKIS на основе метода Монте-Карло. Для расчета ДСФ и исследования релаксации возбужденной атомной подсистемы материалов применялся метод молекулярной динамики. Для оценки химической активации материала в треке БТИ использовалась химическая теория активированного комплекса.

Достоверность полученных диссертантом результатов

основывается на том, что разработанная им модель использует общие фундаментальные принципы с минимальным количеством упрощающих приближений. В расчетах применяются молекулярно-динамические

(МД) алгоритмы и потенциалы, которые широко используются сообществом. Весомым аргументом, свидетельствующим о достоверности результатов работы также является то, что рассчитанная диссертантом зависимость скорости передачи энергии в решетку от величины электронной температуры (на примере модельной системы - алюминия) в доступной для экспериментальной проверки области температур электронов согласуется с расчетами других авторов и имеющимися экспериментальными результатами. Помимо этого, диаметр области структурных изменений, получаемых в МД моделировании релаксации решётки в треках БТИ в LiF, Al₂O₃, Mg₂SiO₄ согласуется с экспериментальными данными. Также оценка радиуса химически активированной области в оливине ((Mg_{0.88}Fe_{0.12})₂SiO₄) после пролёта БТИ основывается на фундаментальной химической теории активированного комплекса и в области брэгговского пика электронных потерь энергии БТИ совпадает с экспериментально наблюдаемой величиной.

Рекомендации по дальнейшему использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные в диссертационной работе результаты и выводы могут быть рекомендованы к практическому использованию при разработке технологий контролируемой наноразмерной модификации материалов, при оценке радиационной стойкости различных материалов, используемых в технологиях ядерной энергетики, при прогнозировании эффектов воздействия тяжёлой компоненты космических лучей на бортовую электронику космических аппаратов, при разработке новых технологий получения трековых мембран, микродиафрагм, проводящих каналов, полимерных фильтров, наноструктур и нанопроволок различного назначения. Результаты диссертации могут быть использованы в исследованиях, проводимых в НИИЯФ МГУ, в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН, ОИЯИ г. Дубна, НИЦ

«Курчатовский институт», НИЯУ «МИФИ», ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ» и других научных организациях РФ.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Замечания

К недостаткам работы можно отнести:

а) отсутствие иллюстраций предельных случаев динамики системы рассеивателей в формализме динамического структурного фактора в Главе 2;

б) отсутствие объяснений мгновенности передачи остаточных энергий электронной подсистемы и избыточных энергий дырочной подсистемы в решётку и комментариев относительно последствий этой мгновенности в Главе 4.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку работы.

Заключение

Содержание диссертационной работы Горбунова С.А., представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, полностью соответствует заявленной специальности 01.04.02 «Теоретическая физика». Все выводы и практические рекомендации аргументированы и соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

Диссертационная работа Горбунова С.А. на тему «Модель формирования треков быстрых тяжёлых ионов в твёрдых телах», выполненная под руководством кандидата физико-математических наук, с.н.с. Волкова А.Е., является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научно-практической задачи, а именно: разработка количественной модели передачи части избыточной энергии возбуждённой электронной подсистемы в решётку в треках БТИ, учитывающей влияние подсистемы валентных дырок на кинетику возбуждения решетки материала в треке БТИ, позволяющую

произвести оценку химической активации материала в окрестности траектории БТИ.

Содержание диссертационной работы и отзыв о научно-практической значимости диссертации были заслушаны и обсуждены на семинаре «Астрофизика космических лучей и физика космоса» НИИ ядерной физики МГУ (протокол №1 от 21 июня 2016 года).

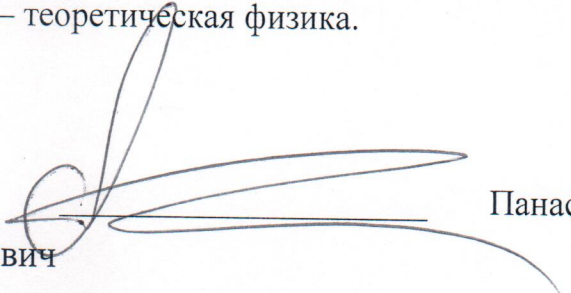
Результаты работы неоднократно докладывались на международных конференциях, а также опубликованы в виде 7 печатных работ, из которых 4 статьи в высокорейтинговом международном журнале (Nuclear Instruments and Methods in Physical Research B).

Диссертационная работа Горбунова С.А. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», ВАК Минобрнауки Российской Федерации (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Горбунов С.А. заслуживает присуждения присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Директор НИИЯФ МГУ

профессор, д.ф.-м.н.

Панасюк Михаил Игоревич



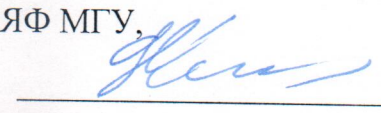
Панасюк М.И.

Заведующий Отделом

физики атомного ядра НИИЯФ МГУ,

профессор, д.ф.-м.н.

Чеченин Николай Гаврилович



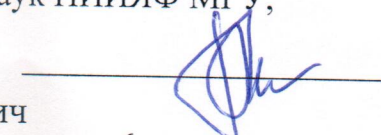
Чеченин Н.Г.

Отзыв составил:

в.н.с., Отдел космических наук НИИЯФ МГУ,

профессор, д.ф.м.н.

Галкин Владимир Игоревич



Галкин В.И.