

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. декана

Физического факультета МГУ

профессор А.А. Федянин



2014 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Диссертация Чирской Натальи Павловны «Математическое моделирование взаимодействия космических излучений с гетерогенными микроструктурами» выполнена на кафедре физики космоса физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

В 2011 г. Чирская Н.П. окончила физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014 г. Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова.

В 2014 г. Чирская Н.П. окончила очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Научный руководитель – доктор физико-математических наук профессор Новиков Лев Симонович, работает в должности заведующего отделом ядерных и космических исследований Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа посвящена исследованию расчетно-теоретическими методами процессов взаимодействия космических корпускулярных излучений с энергиями  $\sim 10^5 - 10^8$  эВ и потока атомарного кислорода с полимерными микрокомпозитами и многослойными тонкопленочными элементами конструкции и оборудования космических аппаратов с последующей выработкой рекомендаций по повышению стойкости современных и перспективных аппаратов к воздействию космических излучений.

В диссертации получены следующие новые результаты:

1. Численными методами с использованием программных комплексов GEANT, SRIM/TRIM, MULASSIS и др. исследованы радиационно-защитные свойства различных по структуре и составу полимерных микрокомпозитов и многослойных экранов. Показано, что применение полимерных композитов с наполнителями на основе легких элементов (H, B и др.) позволяет существенно улучшить характеристики защитных экранов за счет снижения эффективности образования вторичных нейтронов в веществе экранов. Для типичных материалов космической техники с сильно отличающимися свойствами: алюминия и полиэтилена выполнены расчетные оценки вклада ядерных взаимодействий в процесс ослабления потоков протонов с энергиями до 50 МэВ. Установлено, что степень ослабления потока ионизирующего излучения слоистыми структурами зависит от последовательности расположения материалов с отличающимися физическими свойствами (Al, W), но при числе слоев более 4–6 она

определяется усредненными параметрами вещества экрана.

2. Впервые исследованы радиационно-защитные свойства современных сотовых элементов конструкции космических аппаратов для случаев облучения их электронами радиационных поясов Земли и моноэнергетическими пучками электронов. Установлена определяющая роль процессов многократного рассеяния электронов стенками сотовой структуры в ослаблении исходного электронного потока.

3. Обнаружено и исследовано явление формирования биполярных электрических слоев в тонких (толщина слоев  $\sim 100$  мкм) многослойных структурах типа «металл-диэлектрик-металл», характерных, например, для кабельных сетей космических аппаратов. Показано, что этот эффект обусловлен возникновением  $\delta$ -электронов в материалах под действием первичного пучка электронов.

4. Разработана и апробирована новая методика определения эффективности регистрации электронов радиационных поясов Земли телескопическими детектирующими системами. Показаны значительные преимущества предложенного использования истинных потерь энергии электронов в детекторах при расчете эффективности регистрации по сравнению с традиционно применяемой методикой расчетов с применением значений средних потерь энергии.

5. С использованием полученных в НИИЯФ МГУ экспериментальных данных построена количественная модель эрозии полимерных материалов под действием пучков атомов кислорода с энергиями 5–30 эВ при плотности потока  $\sim 10^{15} - 10^{16}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и значениях флюенса  $10^{19} - 10^{21}$  см<sup>-2</sup>. С помощью созданной модели рассчитаны зависимости потерь массы полимерных микрокомпозитов от размера и распределения в матрице частиц наполнителя при разных углах падения атомов кислорода.

6. На основании результатов проведенных исследований выработаны рекомендации по организации вычислений, выбору алгоритмов и программных средств при моделировании воздействия космических излучений на материалы и элементы конструкции космических аппаратов, оптимизации параметров радиационно-защитных экранов и тонкослойных элементов оборудования, повышению стойкости полимерных композитов к воздействию атомарного кислорода, устранению методических ошибок при лабораторных исследованиях многослойных систем на электронных ускорителях, повышению точности измерения потоков частиц радиационных поясов Земли телескопическими детектирующими системами.

Практическая ценность результатов работы определяется возможностью их непосредственного использования при разработке новых материалов и радиационно-защитных экранов космических аппаратов, планировании лабораторных экспериментов на ускорителях заряженных частиц и натуральных экспериментов по изучению радиационных воздействий на КА и исследованию радиационных условий на орбитах эксплуатации аппаратов.

Личный вклад диссертанта: все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно; автором проведен выбор расчетных методов, выполнены работы по программированию геометрии исследуемых структур, моделированию воздействия излучений и интерпретации полученных результатов.

Достоверность результатов определяется использованием хорошо апробированных расчетных методов и программных комплексов, согласием результатов математического моделирования с результатами расчетов, выполненных другими авторами, и с экспериментальными данными.

#### Апробация работы

По результатам диссертации опубликовано 26 работ, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК. Основные результаты диссертации изложены в работах:

1. Чирская, Н.П. Математическое моделирование характеристик гетерогенных радиационно-защитных экранов космических аппаратов / Н.П. Чирская, Е.Н.

- Воронина, В.Н. Милеев, Л.С. Новиков, В.В. Синолиц // Перспективные материалы. — 2011. — № 13. — С. 948–957.
2. Воронина, Е.Н. Математическое моделирование радиационных воздействий на перспективные материалы космических аппаратов / Воронина Е., Новиков Л., Чирская Н. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. — 2011. — Т. 75, № 11. — С. 1593–1601.  
Voronina, E. Mathematical modeling of radioaction impact on advanced spacecraft materials / E. Voronina, L. Novikov, N. Chirskaya // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. — 2011. — Vol. 75, no. 11. — P. 1500–1506.
  3. Чирская, Н.П. Полимерные композиты для создания высокоэффективных систем радиационной защиты космических аппаратов / Н.П. Чирская, Е.Н. Воронина, В.Н. Милеев, Л.С. Новиков, В.В. Синолиц // Физика и химия обработки материалов. — 2011. — № 4. — С. 20–24.
  4. Воронина, Е.Н. Математическое и экспериментальное моделирование воздействия атомарного кислорода верхней атмосферы земли на наноструктуры и полимерные композиты / Е.Н. Воронина, Л.С. Новиков, В.Н. Черник, Н.П. Чирская, К.Б. Вернигоров, Г.Г. Бондаренко, А.И. Гайдар // Перспективные материалы. — 2011. — № 6. — С. 29–36.  
Voronina, E. Mathematical and experimental simulation of impact of atomic oxygen of the earth's upper atmosphere on nanostructures and polymer composites / E. Voronina, L. Novikov, V. Chernik et al. // Inorganic Materials: Applied Research. — 2012. — Vol. 3, no. 2. — P. 95–101.
  5. Власова, Н. А. Метрологические характеристики детекторов космического излучения / Н.А. Власова, Л.С. Новиков, И.А. Рубинштейн, А.В. Спасский, Н.П. Чирская // Физика и химия обработки материалов. — 2013. — № 6. — С. 32–39.
  6. Новиков, Л.С. Особенности радиационных воздействий на наноструктурированные материалы/ Л.С. Новиков, Е.Н. Воронина, Н.П. Чирская // Перспективные материалы. — 2013. — № 11. — С. 12–21.
  7. Воронина, Е.Н. Оценка эффективности применения многослойных микроструктур в системах радиационной защиты / Е.Н. Воронина, Н.П. Чирская // Физика и химия обработки материалов. — 2013. — № 5. — С. 23–28.

Результаты диссертации были доложены автором лично на следующих конференциях и семинарах:

- 21st Annual Student Conference «Week of doctoral student 2012», Prague, 2012;
- XVIII, XIX Международных конференциях по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям (ESACCEL), Обнинск, 2010, 2012;
- 2-й Всероссийской научной школе для молодежи «Концентрированные потоки энергии в индустрии наносистем материалов и живых систем», Москва, 2009;
- 1-й и 2-й Всероссийских школах-семинарах студентов, аспирантов и молодых ученых «Функциональные наноматериалы для космической техники», Москва, 2010, 2011;
- IX, X, XII-XIV Межвузовских научных школах молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине», Москва, 2008, 2009, 2011 – 2013;
- IX Курчатовской молодежной научной школе, Москва, 2011;

а также представлены на:

- 12th International Symposium on Materials in the Space Environment, ESA-ESTEC, Noordwijk, 2012;
- International conference on Computational modelling of nanostructured materials (ICCMNM-2013), Frankfurt am Main, 2013.

- XI Российско-Китайском Симпозиуме с элементами научной школы для молодежи «Новые материалы и технологии», Санкт-Петербург, 2011;
- 9-й Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, 2011;
- XIX, XXI, XXII Международных конференциях «Радиационная физика твердого тела», Севастополь, 2009, 2011, 2012.

Результаты диссертационной работы также докладывались и обсуждались на научном семинаре НИИЯФ МГУ «Астрофизика космических лучей и физика космоса».

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Математическое моделирование взаимодействия космических излучений с гетерогенными микроструктурами» Чирской Натальи Павловны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и 01.04.16 – физика атомного ядра и частиц.

Заключение принято на заседании кафедры физики космоса физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Присутствовало на заседании 11 чел. Результаты голосования: «за» - 11 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол № 71 от «06» февраля 2014 г.

Заведующий кафедрой Физики космоса  
профессор



Панасюк М.И.

Ученый секретарь кафедры  
доцент



Анохина А.М.

Заключение рассмотрено и утверждено на заседании Ученого совета НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына и Отделения ядерной физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

Протокол 56 от «20» июня 2014 г.

Председатель Ученого совета  
профессор



Панасюк М.И.

Ученый секретарь Ученого совета  
профессор



Страхова С.И.