

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук,

по диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук,

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 марта 2017 г. протокол № 2 о присуждении Москаленко Игорю Владимировичу учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Галактические космические лучи и диффузное излучение» по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия принята к защите 19 декабря 2016 г. (протокол №1) диссертационным советом Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул. д. 84/32, номер приказа Министерства образования и науки 75/нк от 15.02.2013 г.

Соискатель Москаленко Игорь Владимирович, 1962 г. рождения, работает ведущим научным сотрудником в Лаборатории Экспериментальной Физики им. В. В. Хансена Стэнфордского Университета с 2005 г. по настоящее время. В 1985 году соискатель окончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «Физика». В 1990 году соискатель защитил кандидатскую диссертацию по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. В период подготовки диссертации соискатель работал в Стэнфордском Университете в должности ведущего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Лаборатории Экспериментальной Физики им. В. В. Хансена Стэнфордского Университета.

Официальные оппоненты:

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, доктор физ.-мат. наук, директор Института Космических Исследований Российской академии наук, вице-президент РАН (г. Москва);

Ткачев Игорь Иванович, академик РАН, доктор физ.-мат. наук, заведующий Отделом экспериментальной физики Института Ядерных Исследований Российской академии наук (г. Москва);

Быков Андрей Михайлович, профессор, доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией Астрофизики Высоких Энергий Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук (г. Санкт-Петербург),

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В.

Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ) (г. Москва) в своём положительном заключении (заключение составлено Калмыковым Н. Н., профессором, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником отдела космических наук), подписанном директором НИИЯФ МГУ профессором, доктором физико-математических наук Панасюком М. И. и утвержденном проректором МГУ им. М. В. Ломоносова профессором Федяниным А. А., указала, что диссертационная работа «Галактические космические лучи и диффузное излучение» представляет собой законченное исследование и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия, а ее автор, Москаленко Игорь Владимирович, вне всякого сомнения, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук. Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов в области астрофизики космических лучей и гамма-астрономии и могут быть использованы в МГУ им. М. В. Ломоносова, ИЗМИРАН, ФИАН им. П. Н. Лебедева, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, ИТЭФ РАН, ИЯИ РАН, ИКИ РАН, НИЯУ МИФИ и др. Результаты исследования опубликованы в журналах, перечень которых утвержден ВАК. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Работа Москаленко И. В. обсуждалась на семинаре отдела космических наук НИИЯФ МГУ.

Соискатель имеет около 300 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 65 научных работ. Результаты, которые вошли в данную диссертацию, опубликованы в 58 статьях в ведущих международных рецензируемых журналах. Все основные результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых журналах из перечня ВАК. Научные результаты, представленные в диссертации, были получены автором лично, или при его непосредственном участии. Вклад автора во все рассмотренные в диссертации задачи является основным.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Moskalenko I. V., Strong A. W., Production and Propagation of Cosmic-Ray Positrons and Electrons // *Astrophys. J.* – 1998 – V. 493, P. 694
2. Strong A. W., Moskalenko I. V., Propagation of Cosmic-Ray Nucleons in the Galaxy // *Astrophys. J.* – 1998 – V. 509, P. 212
3. Moskalenko I. V., Strong A. W., Anisotropic Inverse Compton Scattering in the Galaxy // *Astrophys. J.* – 2000 – V. 528, P. 357
4. Strong A. W., Moskalenko I. V., Ptuskin V. S., Cosmic-Ray Propagation and Interactions in the Galaxy // *Annual Review of Nuclear and Particle Science* – 2007 – V. 57, P. 285
5. Moskalenko I. V., Strong A. W., Ormes J. F., et al., Secondary Antiprotons and Propagation of Cosmic Rays in the Galaxy and Heliosphere // *Astrophys. J.* – 2002 – V. 565, P. 280

6. Strong A. W., Moskalenko I. V., Reimer O., Diffuse Continuum Gamma Rays from the Galaxy // *Astrophys. J.* – 2000 – V. 537, P. 763
7. Moskalenko I. V., Porter T. A., Digel S. W., Inverse Compton Scattering on Solar Photons, Heliospheric Modulation, and Neutrino Astrophysics // *Astrophys. J. Lett.* – 2006 – V. 652, P. L65
8. Moskalenko I. V., Strong A. W., Reimer O., Diffuse galactic gamma rays, cosmic-ray nucleons and antiprotons // *Astron. Astrophys.* – 1998 – V. 338, P. L75
9. Moskalenko I. V., Porter T. A., The Gamma-Ray Albedo of the Moon // *Astrophys. J.* – 2007 – V. 670, P. 1467
10. Moskalenko I. V., Porter T. A., Digel S. W., et al., A Celestial Gamma-Ray Foreground Due to the Albedo of Small Solar System Bodies and a Remote Probe of the Interstellar Cosmic-Ray Spectrum // *Astrophys. J.* – 2008 – V. 681, P. 1708
11. Vladimirov A. E., Johannesson G., Moskalenko I. V., Porter T. A., Testing the Origin of High-energy Cosmic Rays // *Astrophys. J.* – 2012 – V. 752, P. 68
12. Vladimirov A. E., Digel S. W., Johannesson G., Michelson P. F., Moskalenko I. V., et al., GALPROP WebRun: An internet-based service for calculating galactic cosmic ray propagation and associated photon emissions // *Computer Phys. Comm.* – 2011 – V. 182, P. 1156
13. Johannesson G., Ruiz de Austri R., Vincent A. C., Moskalenko I. V., et al., Bayesian Analysis of Cosmic Ray Propagation: Evidence against Homogeneous Diffusion // *Astrophys. J.* – 2016 – V. 824, P. 16
14. Kachelriess M., Moskalenko I. V., Ostapchenko S. S., New Calculation of Antiproton Production by Cosmic Ray Protons and Nuclei // *Astrophys. J.* – 2015 – V. 803, P. 54
15. Abdo A. A., Ackermann M., Ajello M., et al., Fermi Large Area Telescope Observations of Two Gamma-Ray Emission Components from the Quiescent Sun // *Astrophys. J.* – 2011 – V. 734, P. 116
16. Ackermann M., Ajello M., Atwood W. B., et al., Fermi-LAT Observations of the Diffuse Gamma-Ray Emission: Implications for Cosmic Rays and the Interstellar Medium // *Astrophys. J.* – 2012 – V. 750, P. 3
17. Ackermann M., Albert, A. Atwood W. B., et al., The Spectrum and Morphology of the Fermi Bubbles // *Astrophys. J.* – 2014 – V. 793, P. 64
18. Ajello M., Albert A., Atwood W. B., et al., Fermi-LAT Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission toward the Galactic Center // *Astrophys. J.* – 2016 – V. 819, P. 44

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации определялся их авторитетом и компетентностью в областях астрофизики высоких энергий, физики космических лучей и межзвездной среды, ядерных взаимодействий, и радио-, ИК, оптической, рентгеновской и

гамма-астрономии, которые подтверждаются публикациями в международных и российских журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Создана уникальная реалистичная самосогласованная модель распространения космических лучей в Галактике, включающая в себя все стабильные и долгоживущие изотопы от ^1H до ^{64}Ni , антипротоны, электроны и позитроны, позволяющая вычислять трансформацию состава космических лучей в процессе распространения частиц в межзвездной среде и генерируемое ими диффузное излучение в радио-, рентгеновском и гамма-диапазонах. Распространение космических лучей рассчитывается посредством решения системы ~ 90 связанных нестационарных уравнений переноса в 3-х или 4-х мерном пространстве (пространственные координаты плюс координата момента или энергии) с заданным распределением источников и краевыми условиями для частиц в космических лучах. Уравнения распространения включают в себя все необходимые эффекты, такие как Галактический ветер (конвекция), распределенное ускорение в межзвездной среде (ускорение Ферми 2-го порядка), потери энергии, ядерные реакции, радиоактивный распад и рождение вторичных частиц и изотопов.

Опираясь на имеющиеся астрономические измерения, автором построены реалистичные модели компонент межзвездной среды: различных компонент газа, радиационного и магнитного полей. Всё вместе представляет собой не просто модель распространения космических лучей, а детально проработанную уникальную модель Галактики с подробным описанием всех процессов происходящих в межзвездной среде.

Автором предложен и реализован оригинальный метод решения систем нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных, т.н. транспортных уравнений, позволяющий находить точные решения даже при наличии ограниченных вычислительных ресурсов. Написан оригинальный пакет программ для вычисления эффективных сечений ядерных реакций, таких как сечения фрагментации и рождения вторичных изотопов, а также для описания цепочек их распадов, не имеющих аналогов. При этом учитывались как имеющиеся экспериментальные данные и пакеты программ, проверенные и протестированные автором, так и оригинальные расчеты и параметризации. Выполнены оригинальные расчеты сечений рождения вторичных частиц (нейтральных и заряженных мезонов, антипротонов) и их распадов, построены аппроксимации для их использования в расчетах. Описанная модель также включает в себя пакет для расчета возможных сигналов от аннигиляции или распада частиц темной материи.

Созданная модель успешно применялась и применяется в настоящее время для

теоретических предсказаний и интерпретации различных типов астрофизических данных, полученных в различных экспериментах. По своей точности и предсказательным возможностям созданная модель превосходит все когда-либо существовавшие модели. Многие исследования, в том числе описываемые в данной диссертации, были бы невозможны без использования созданной автором модели.

Автором впервые получены формулы расчета обратного Комптоновского рассеяния для произвольных спектральных, угловых и пространственных распределений электронов и фотонов. Результаты данной работы использованы для расчета спектров и распределения гамма-излучения генерированного в процессе анизотропного обратного Комптоновского рассеяния фоновых тепловых фотонов электронами космических лучей в Галактике, а также фотонов солнечного излучения электронами космических лучей в гелиосфере. В обоих случаях процессы Комптоновского рассеяния играют первостепенную роль, а учет анизотропии распределений электронов и фотонов оказывает существенное влияние на результаты расчетов.

Помимо развития модели диффузного Галактического излучения автором впервые выполнены расчеты гамма-излучения, возникающего при взаимодействии Галактических космических лучей с телами Солнечной системы, предсказано наличие протяженной компоненты гамма-излучения Солнца вследствие обратного Комптоновского рассеяния электронами космических лучей фотонов солнечного излучения, вычислен её спектр и угловое распределение на небе. Теоретические расчеты автора нашли блестящее подтверждение в результате анализа наблюдений гамма-телескопа Ферми, также описанного в диссертации.

Представленные в диссертации результаты базируются на использовании общепризнанных моделей физических явлений, методов и подходов астрофизики высоких энергий и ядерной физики. Правильность выбранных теоретических подходов также подтверждается и тем, что ряд полученных в работе результатов хорошо согласуется с наблюдательными данными, полученными на различных космических аппаратах. Полученные результаты неоднократно докладывались на всех основных международных и всероссийских конференциях, были опубликованы в ведущих мировых журналах. Их достоверность подтверждена независимым предварительным рецензированием.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Москаленко Игорю Владимировичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 13 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: « за » присуждение учёной степени 20, «против» присуждения учёной степени нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета Д 002.113.02

Академик РАН



Р.А.Сюняев

Ученый секретарь

к.ф.-м.н.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

А.Ю.Ткаченко