

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

Московского государственного

университета имени М. В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин



А.А. Федянин

2017 г.

О Т З Ы В

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию **МОСКАЛЕНКО Игоря Владимировича «Галактические космические лучи и диффузное излучение»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности **01.03.02 - Астрофизика и звёздная астрономия**

Диссертация И. В. Москаленко является итогом многолетней работы автора и посвящена разработке модели распространения космических лучей в Галактике, их взаимодействию с межзвёздной средой и объектами солнечной системы, а также генерации диффузных излучений. Помимо теоретических расчётов и результатов моделирования, диссертация содержит данные наблюдений, выполненных в составе коллаборации Ферми.

Актуальность работы обусловлена спецификой проблем, возникающих при изучении космических лучей и генерируемых ими излучений, и вряд ли нуждается в специальном обосновании, поскольку все эти проблемы требуют адекватного учёта изменений, происходящих в процессах распространения от источников к наблюдателю. Между тем, в силу различных причин, далеко не все практически важные задачи допускают осуществление такого учёта. Впечатляющие экспериментальные достижения последних 10-15 лет значительно повысили потребность в осуществлении надёжных и детальных вычислений. В связи с этим особую значимость приобрёл вопрос о переходе от модельных расчётов, проводимых отдельными группами исследователей, что неизбежно влекло излишние упрощения, к использованию более реалистичных и самосогласованных подходов. К реализации именно такого плана действий

приступили в 1996 году И.М. Москаленко и Э. Стронг. В результате возникла широко известная программа GALPROP, которая по праву может считаться «стандартной моделью», и которую используют многие экспериментальные группы и большое число пользователей во всём мире.

Оценка содержания диссертации и её завершенности. Диссертация состоит из введения и пяти частей (вместо традиционных глав). При этом вторая часть состоит из 3 глав, третья из 12, четвёртая из 7, пятая из 7 и шестая из 2. Диссертация довольно велика по объёму и содержит 448 страниц, в том числе 172 рисунка, 35 таблиц и список литературы из 649 наименований.

Часть первая (введение) содержит общую характеристику работы.

Вторая часть содержит общие сведения о космических лучах, диффузии, энергетических потерях и других процессах в межзвёздной среде, существенных для распространения космических лучей и генерации диффузного излучения.

Третья часть содержит детальное описание модели GALPROP, численной схемы, различных физических процессов, включая солнечную модуляцию. Кроме того, в этой части описан пользовательский интерфейс WebRun, разработка которого привела к существенному упрощению расчётов процесса распространения. В этой же части приведено детальное описание подходов к расчёту ядерных реакций.

Четвёртая часть (интерпретация) содержит многочисленные примеры использования модели: интерпретация данных по космическим лучам, в том числе данных Voyager 1, данных по антипротонам и доле позитронов. Здесь же описано применение Байесовских методов и обучаемых нейронных сетей для определения параметров диффузии и состава космических лучей.

Пятая часть посвящена описанию телескопа Ферми и моделированию диффузного излучения. Приведены примеры применения модели GALPROP для анализа излучения от центральной части Галактики. В частности, рассмотрено рождение пар фотонами на фотонах межзвёздной среды.

Шестая часть содержит результаты расчётов взаимодействия космических лучей внутри Солнечной системы. Рассмотрен спектр гамма-излучения, генерируемого в процесс обратного комптоновского рассеяния фотонов солнечного света на электронах галактических космических лучей и результаты наблюдения этого эффекта телескопом Ферми.

Таким образом, даже из очень краткого изложения содержания диссертации становятся очевидными как личный вклад автора, так и огромный объём работы, им выполненной, его стремление затронуть все наиболее интересные аспекты современных исследований. Текст диссертации

характеризуется внутренним единством и хорошо отражает положения, выносимые на защиту.

Научная новизна и практическая ценность.

Создана уникальная реалистичная самосогласованная модель распространения космических лучей в Галактике, включающая все стабильные и долгоживущие изотопы от водорода до никеля, а также антипротоны, электроны и позитроны. Модель обеспечивает возможность рассчитывать трансформацию состава в процессе распространения частиц в межзвёздной среде и генерируемое ими диффузное излучение в рентгеновском, гамма и радио диапазонах. Помимо взаимодействий со средой, уравнения учитывают эффекты Галактического ветра и доускорения в межзвёздной среде.

Модель включает несколько независимых пакетов программ и использует по мере необходимости сформированные ими наборы данных (например, пакет для расчёта ядерных реакций и образования изотопов, модели распределения компонент газа, модель фотонного поля, распределение регулярного и случайного магнитного поля, вплоть до пакета, позволяющего рассчитывать сигналы от аннигиляции или распада частиц тёмной материи).

Модель GALPROP успешно применяется для предсказаний и интерпретации данных разнообразных экспериментов и по своим возможностям значительно превосходит ранее существовавшие подходы. Следует особо отметить стремление И.В. Москаленко сделать программу доступной для возможно более широкого круга потенциальных пользователей.

Значимость полученных автором диссертации результатов следует из положений, выносимых на защиту:

1. Создание уникальной самосогласованной модели распространения различных компонент галактических космических лучей и модельные расчёты распределений диффузного галактического синхротронного и гамма-излучений, построение глобальной модели Галактики и определение спектра внегалактического излучения;
2. Крупномасштабное изучение диффузного галактического гамма-излучения с использованием телескопа Ферми;
3. Применение методов, основанных на теореме Байеса, для определения параметров распространения космических лучей в Галактике;
4. Вывод формализма расчёта обратного комптоновского рассеяния в анизотропном фотонном поле и его применение для расчётов различных процессов генерации гамма-излучения;

5. Теоретическое предсказание и наблюдение эффекта обратного комптоновского рассеяния электронов в составе галактических космических лучей с атмосферой Земли и поверхностью Луны и малых тел, а также пылью в Солнечной системе: в Поясе астероидов, системах Троянов на орбитах Юпитера и Нептуна, поясе Койпера и облаке Оорта.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений. Результаты исследований И.В. Москаленко хорошо известны мировой научной общественности, а созданная им программа GALPROP стала общепризнанным рабочим инструментом и, таким образом, многократно подвергалась всесторонней проверке.

Следует специально отметить, что диссертация прошла впечатляющую апробацию. Автором было сделано около 100 приглашённых и обзорных докладов на различных международных конференциях и совещаниях, в том числе и в Российской Федерации. Начиная с 1997 года, И.В. Москаленко участвовал во всех международных конференциях по космическим лучам. Основные результаты его исследований отражены в 65 научных статьях в ведущих международных журналах, индексируемых Web of Science. Всё это даёт основания считать, что результаты работы И. В. Москаленко успешно прошли независимую научную экспертизу и являются достоверными и обоснованными.

Существенных замечаний по представленной диссертационной работе нет, хотя автору диссертации следовало бы упомянуть среди прочих и эксперимент НУКЛОН, начавшийся в самом конце 2014 года. Работа хорошо написана и оформлена, так что могла бы стать хорошей основой для издания весьма полезной книги.

В целом диссертация И.В. Москаленко представляет собой завершённое исследование актуальной научной проблемы и может быть квалифицирована как новое научное достижение, существенно повышающее эффективность расчётов, связанных с процессами распространения космических лучей в Галактике.

Таким образом, диссертация И. В. Москаленко «Галактические космические лучи и диффузное излучение» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, с дополнениями от 21 апреля 2016 года № 335, а сам Игорь Владимирович Москаленко, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звёздная астрономия.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Отзыв составил

Главный научный сотрудник отдела космических наук Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д. В. Скобельцына ФГБОУ высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, доктор физ.- мат. наук, профессор



Калмыков Н. Н.

Отзыв рассмотрен и утверждён и одобрен на заседании Совета Отдела космических наук (протокол № 9 от 1 марта 2017 г.). Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына ФГБОУ высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва.

Директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына ФГБОУ высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, доктор физ.- мат. наук, профессор



Панасюк М. И.