

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе Лукьянцева Дмитрия Сергеевича «Влияние рефракционных эффектов гравитационных и плазменных неоднородностей на распространение электромагнитного излучения космических источников», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика.

Лукьянцев Дмитрий Сергеевич проявил способность к научным исследованиям будучи студентом 2 курса физического факультета Иркутского государственного университета. В процессе обучения показал себя внимательным и вдумчивым студентом, способным находить нестандартные решения задач. После окончания с отличием магистратуры физического факультета по направлению «радиофизика» Лукьянцев Д.С. поступил в целевую аспирантуру на кафедру радиофизики и радиоэлектроники. Живой интерес к проблемам физики Космоса и основательная радиофизическая подготовка позволили ему приступить к решению актуальных задач космической радиофизики. В результате высокой работоспособности и трудолюбия Лукьянцев Д.С. в процессе обучения в аспирантуре получил ряд важных научных результатов и подготовил диссертационную работу.

Диссертация Лукьянцева Д.С. посвящена теоретическому исследованию и математическому моделированию особенностей транспорта электромагнитного излучения космических источников в поле тяготения группы астрофизических объектов с учетом окружающей хаотической плазмы и гравитационного шума. Работа выполнена в соответствии с планами основного научного направления Иркутского государственного университета «Исследование фундаментальных проблем физики элементарных частиц, астрофизики, физики околоземного пространства, радиофизики и геофизики» на 2021-2025 гг. Исследования проводились при поддержке министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FZZE-2020-0024, FZZE-2023-0004, FZZE-2024-0005) на базе уникальной научной установки «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (соглашение № 075-15-2021-675) и грантов для поддержки молодых ученых ИГУ (темы 091-20-305, 091-21-305, 091-22-307).

Для корректной интерпретации данных астрофизических экспериментов необходима оценка характеристик распространения электромагнитного излучения космических источников через окружающую среду. Существенным искажающим фактором структуры принятых сигналов являются эффекты полей тяготения. Транспорт излучения в окрестности массивных астрофизических объектов может сопровождаться

гравитационным линзированием, изменением наблюдаемого спектра и фокусировкой потока излучения. Также в структуре сигналов необходимо учитывать маскирующее действие стохастических неоднородностей космической плазмы и гравитационного шума.

Для учета влияния искажающих факторов на структуру принятого излучения Лукьянцев Д.С. использовал методы космической радиофизики. Он разработал аппарат численно-аналитического моделирования и комплекс программ расчета рефракционных характеристик электромагнитного излучения космических источников при просвечивании группы массивных астрофизических объектов в присутствии плазменных и гравитационных неоднородностей. Основу аппарата составляет численно-аналитическое решение стохастических дифференциальных уравнений Лагранжа-Эйлера, полученных из вариационного принципа Ферма. Влияние гравитации учтено посредством использования модели эффективного показателя преломления вакуума, выраженного через гравитационный потенциал. С помощью разработанного аппарата в диссертации проведено математическое моделирование рефракционных характеристик электромагнитных волн различных частотных диапазонов в гравитационном поле группы астрофизических объектов с учетом гравитационного шума и неоднородностей космической плазмы. Показано, что хаотические неоднородности плазмы маскируют эффекты поля тяготения и накладывают существенные ограничения на длину электромагнитной волны для наблюдения гравитационного линзирования. Поэтому линзовый эффект гравитационного поля реализуется только в определенном диапазоне электромагнитной шкалы колебаний. Проведенные вычисления показали, что для метрового диапазона длин волн гравитационное линзирование имеет высокую степень статистического замыкания. Между тем уже в дециметровом диапазоне учет рефракционного рассеяния волн на неоднородностях плазмы не приводит к значительному искажению траекторной картины. Таким образом, рабочие частоты метрового диапазона длин волн представляют собой условную низкочастотную границу для наблюдений рефракционного эффекта гравитационного линзирования в хаотической космической плазме.

Разработанный аппарат моделирования рефракционных характеристик электромагнитного излучения можно использовать для интерпретации экспериментальных данных, в том числе при изучении объектов невидимых в электромагнитном диапазоне, но проявляющих себя через гравитационное взаимодействие. Задавая различные конфигурации систем астрофизических объектов с соответствующими пространственными масштабами, можно синтезировать различные лучевые структуры в картинной плоскости наблюдателя, которые позволят

идентифицировать скрытые массивные объекты в натуральных экспериментах. С другой стороны, учет линзирования и фокусировки электромагнитных волн в гравитационном поле группы объектов позволяет точнее восстановить мощность энергосвечения непосредственно самого источника излучения. Решение данной задачи особенно важно в настоящее время при регистрации мощных электромагнитных всплесков, природа которых далеко не ясна.

В диссертационной работе Лукьянцев Д.С. предложил метод определения параметров коронального выброса звездной плазмы по данным радиопросвечивания. В лучевом приближении получено численно-аналитическое решение краевой траекторной задачи в различных частотных диапазонах, в том числе на низких частотах, когда значительны эффекты рефракции. Полученные функциональные соотношения связывают характеристики траекторий и групповые задержки сигналов просвечивания на различных рабочих частотах с параметрами коронального выброса. Показана возможность определения плотности регулярной фронтальной части коронального выброса по данным многоволновых измерений групповых задержек сигналов дискретных космических источников.

Считаю, что диссертационная работа «Влияние рефракционных эффектов гравитационных и плазменных неоднородностей на распространение электромагнитного излучения космических источников» является законченным научным исследованием. Она соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ, а ее автор Лукьянцев Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика.

Научный руководитель
доктор физ.-мат.наук, профессор

Афанасьев
Николай Тихонович

09 апреля 2025 г.

Профессор кафедры радиофизики и радиоэлектроники
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет» (ИГУ)

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1
Тел. 8-9643502256

E-mail: spacemaklay@gmail.com

Шифр специальности, по которой защищена
докторская диссертация: 01.04.03
– радиофизика (1999 г.)

