

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Санкт-Петербургского
государственного университета



С. В. Микушев

«24» февраля 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Ибрагимова Алишера Абдуллоходжаевича на тему «Аберрация плазменных хвостов и ионизация поверхности ядер комет под воздействием солнечного ветра», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия

Диссертация А.А. Ибрагимова посвящена актуальной теме получения характеристик солнечного ветра в разных частях Солнечной системы, используя для этого наблюдения комет на разной удаленности от Солнца, а также характеристик взаимодействия солнечного ветра с самой кометой и ее ядром. Исследованиям солнечного ветра уделяется в настоящее время большое внимание как насущной задачи в изучении не только межпланетной среды в Солнечной системе, но и как важному фактору, влияющему на состояние космической погоды на Земле. Запущены и работают космические аппараты (КА) в районе орбиты Земли, есть исследовательские аппараты, постепенно приближающиеся к Солнцу, планируется запуск дополнительных новых КА для изучения солнечного ветра.

Рассмотрение возможности получения характеристик солнечного ветра по наблюдательным данным комет в дополнение к КА является интересной задачей, поскольку количество наблюдаемых комет значительно больше числа КА. К тому же расположение комет более разнообразно и охватывает значительно большее пространство Солнечной системы, чем имеющиеся и планируемые исследовательские КА. Важным моментом в исследованиях при таком подходе является наличие и образование наблюдаемой плазмы

вокруг ядра кометы, и этому вопросу в диссертации А.А. Ибрагимова уделено также внимание.

В рамках проведенного исследования автором использованы наблюдения нескольких комет на Гиссарской астрономической обсерватории Национальной Академии Наук Таджикистана и экспериментальные данные, полученные по взаимодействию потока частиц с ледяной поверхностью при очень низкой температуре, моделирующему взаимодействию частиц солнечного ветра с поверхностью ядра кометы, расположенной на большом расстоянии от Солнца.

Структура и содержание работы

В диссертации А.А. Ибрагимова рассматривается взаимодействие плазменного хвоста кометы с солнечным ветром и образование плазмы вокруг ядра кометы, которое тоже связывается с воздействием частиц солнечного ветра на ледяную поверхность ядра кометы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Полный объем диссертации составляет 119 страниц, включая 28 рисунков и 21 таблицу. Список литературы включает в себя 132 наименований. В Приложении приводится список сокращений, используемый в диссертации.

Во **Введении** представлен краткий обзор предмета исследования и содержания диссертационной работы. Обсуждаются ее актуальность, цели, задачи, научная новизна полученных результатов и практическая значимость. Содержатся основные положения, выносимые на защиту, список публикаций, на основании которых представляется данная диссертация. Представлена информация об апробации результатов на республиканских и международных конференциях, о публикации, на основании которых представляется данная диссертация.

В **Главе 1** дается краткое описание и границы применимости существующих методов и моделей, которые используются при описании природы взаимодействия солнечного ветра с плазменным хвостом кометы. Рассматриваются методы и результаты измерений скорости солнечного ветра, обсуждается точность определения координат относительно центра кометы. Формулируются проблемы и вопросы, которые являются объектом исследования настоящей работы.

В **Главе 2** обсуждаются характеристики и определенные достоинства в использовании метода Штумпфа для перспективного проектирования точек изображения на кометную орбиту для определения координат относительно центра кометы. Обсуждаются недостатки метода, связанные с неопределенностью положения центра фотометрического ядра из-за его протяженности. Предложена модификация в методе Штумпфа для усовершенствования подхода и определения точки отсчета прямоугольных

координат на изображении кометы, а также указаны условия упрощения измерений. Показано, что кометоцентрические координаты при обработке реальных изображений комет, определенные с применением модифицированного метода Штумпфа, имеют меньшую погрешность. Также показано, что учет влияния прецессии и собственных движений звезд на точность при измерении кометоцентрических координат оси хвоста кометы незначительно и ими можно пренебречь, что важно при практическом применении.

В **Главе 3** по обработке изображений трех комет, полученных на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики Национальной Академии Наук Таджикистана (ИА НАНТ), были определены радиальные скорости солнечного ветра. Был применены методы, описанные в Главе 2. Анализ результатов показал, что эпизодические наблюдения часто недостаточны и могут дать лишь ограниченные сведения об общем характере солнечного ветра в данное время. Многосуточные наблюдения более информативны, позволяют определить радиальную скорость солнечного ветра и показывают наличие отклонений в скорости, вызванных воздействием трансверсальной составляющей солнечного ветра на плазменный хвост кометы. Найдено систематическое занижение значений радиальной скорости солнечного ветра по сравнению с измерениями с помощью космических аппаратов, в частности, КА Advanced Composition Explorer. В диссертации обосновывается, что заниженные значения для скорости вызваны влиянием на плазменный хвост кометы двух эффектов: притяжения Солнца, вызывающее дополнительное смещение оси хвоста кометы, и трансверсальной составляющей солнечного ветра, и эти эффекты нужно учитывать. Также оценены пределы таких смещений для хвоста кометы.

В **Главе 4** предложен и рассмотрен как первичный механизм ионного образования плазмы вокруг ядра кометы – бомбардировка ледяной поверхности ядра кометы частицами солнечного корпускулярного потока, состоящего в основном из потока протонов. При этом комета находится еще на больших расстояниях от Солнца. Рассмотрение опирается на экспериментальные результаты, выполненные в Лаборатории экспериментальной астрофизики ИА НАНТ по бомбардировке ледяной поверхности из смеси H_2O и CO_2 при температуре 80К. В работе определены коэффициенты перехода от экспериментальных лабораторных данных к взаимодействию солнечного потока с ледяной поверхностью ядра кометы и с учетом расстояния от Солнца. Контроль полученных результатов, коэффициентов и соотношений был выполнен по данным для кометы 67P/Churumov-Gerasimenko, КА “Rozetta”, находившихся на расстоянии 3 а.е. от Солнца. Показано, что теоретические оценки скорости образования плазмы и концентрации ионов при бомбардировке ядра кометы находятся в согласии с наблюдательными данными.

В **Заключении** подробно сформулированы выводы диссертации, обозначены перспективы дальнейшего исследования, указан личный вклад соискателя, приведен список литературы, который использовался при написании диссертации, выражена благодарность сотрудникам различных астрономических учреждений за поддержку, советы, внимание и обсуждение хода работы.

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных данных наблюдений и применением апробированных методов при их обработке. Также результаты и выводы были представлены и обсуждены на международных и республиканских конференциях и семинарах. Они опубликованы в рецензируемых журналах, из них 7 публикаций в рекомендованных ВАК журналах. Достоверность результатов по экспериментальному моделированию корпускулярного взаимодействия с ядром кометы и использованной модели проверена сопоставлением с наблюдательными данными КА, полученных для взаимодействия потока частиц с ледяной поверхностью кометы 67P/Churumov-Gerasimenko в международной космической миссии "Rozetta".

Результаты проведенных исследований были представлены на различных конференциях и семинарах, включая НАН Таджикистана и международные, в том числе в ИНАСАН, МГУ, ИКИ и в США (Houston, Arizona).

Часть результатов, выносимых на защиту, получена в совместных исследованиях, опубликованных с соавторами в научных статьях. Личный вклад А.А. Ибрагимова выделен и значителен. В четырех совместных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, его фамилия стоит первой.

Замечания по содержанию и оформлению

Диссертационная работа А.А. Ибрагимова представляет собой завершенное научное исследование на актуальную тему. Текст работы четко изложен и имеет ясную структуру.

Основным существенным недостатком, осложняющим практическое применение предложенного метода для получения параметров солнечного ветра, является ограниченность данных, которые можно получить по визуальным наблюдательным данным о хвосте кометы, даже используя ПЗС-матрицы,

Это связано с небольшим плазменным хвостом на больших расстояниях от Солнца и сравнительно с ним большими размерами комы,

маскирующими и затрудняющими определить точное положение ядра кометы. Поэтому было бы желательно более подробное обсуждение этих осложняющих факторов для их уменьшения при практическом применении рассматриваемого метода. Для более широкого использования предложенного метода такое обсуждение для оптимизации наблюдений и их обработки было бы уместно. Кометы наблюдаются регулярно, они находятся в различных частях Солнечной системы и расстояниях, и конечно возможность получения дополнительных данные о характеристиках солнечного ветра очень на разных расстояниях, в разные моменты и в разные фазы солнечного цикла были бы очень полезны.

Также желательно более подробное описание, как вычислять и учитывать поперечную составляющую солнечного ветра, искажающую значение угла отклонения плазменного хвоста (Глава 3). Здесь был бы уместен конкретный пример приближенного учета такой поправки при обработке реального наблюдательного изображения кометы и вычислении скорости солнечного ветра.

Имеются следующие замечания по тексту и оформлению диссертации, так как вкрались досадные и совершенно явные опiski:

на с. 36 ссылка на рис. 1.2 не соответствует тексту

на с. 38 написано $2 \cdot 10^6$ Па вместо $2 \cdot 10^{-6}$ Па

на с. 72 указывается ссылка на рис 3.9 вместо 3.8

В списке литературы имеется ряд погрешностей:

- у источника [74] не указаны страницы,
- у источника [78] страницы указаны с ошибкой,
- источники [78] и [106] совпадают и не указан год выпуска (2020) ,
- у источника [109] нет названия работы,
- у источника [111] не указан год выпуска (2023).

Указанные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Ибрагимова Алишера Абдуллоходжаевича «Аберрация плазменных хвостов и ионизация поверхности ядер комет под воздействием солнечного ветра» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему и удовлетворяет требованиям ВАК. Результаты, полученные в диссертационной работе, вносят существенный вклад в возможности исследования и получения характеристик солнечного ветра в разных частях Солнечной системы и на

различных гелиоцентрических широтах и расстояниях и могут быть применены для нахождения новых данных по солнечному ветру.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Ибрагимов Алишер Абдуллоходжаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Отзыв подготовлен кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры небесная механика федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Николаем Петровичем Питьевым.

Отзыв обсужден и утвержден на общем семинаре кафедры небесной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», протокол № 44/8/13-02-1 от 22 февраля 2024 года.

Заведующий кафедрой небесной механики,
Доктор физико-математических наук,
Профессор

 И.И. Шевченко

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9.

Телефон (812) 328-97-01

e-mail: spbu@spbu.ru

Сайт: spbu.ru

