

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Ибрагимова Алишера Абдуллоходжаевича

АБЕРРАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ХВОСТОВ И ИОНИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕР КОМЕТ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Специальность 1.3.1. - «Физика космоса, астрономия»

1. Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Ибрагимова А. А. посвящена исследованию взаимодействия плазменных кометных хвостов и ядер с гелиосферой Солнца, в частности с таким ее важнейшим элементом, как Солнечный ветер (СВ). Актуальностью этого исследования определяется возможностью использовать наблюдения хвостов комет для определения параметров межпланетной среды, уточнения модели гелиосферы, необходимостью прогноза геомагнитной активности, и возможностью изучения физических процессов, не реализуемых в земных лабораторных условиях. Диссертант отмечает, что для изучения пространственного расположения, строения и структуры хвостов комет используется кометоцентрическая система координат, связанная с плоскостью орбиты. Для перехода от прямоугольной системы в плоскости снимка к кометоцентрической системе координат в плоскости орбиты кометы широко используется метод Штумпфа. Однако практическое применение этого метода не описаны методически, например, что принимать за нуль-пункт кометоцентрической системы координат протяженного фотометрического ядра кометы. Диссертант предлагает упростить алгоритм определение кометоцентрических координат при перспективном проектировании по методу Штумпфа. Остается открытым вопрос почему скорость СВ, определяемая по ориентации плазменного хвоста кометы, систематически меньше по сравнению с данными, полученными непосредственно космическими аппаратами (КА). Решение этих и других

задач является целью диссертационной работы. В свою очередь, решение частных задач способствует решению фундаментальных проблем физики комет и гелиосферы. Поэтому, задачи, сформулированные в диссертационной работе Ибрагимов А. А., а именно:

- разработка алгоритма определения кометоцентрических координат при перспективном проектировании по методу Штумпфа, определение угла отклонения оси плазменного хвоста кометы относительно продолженного радиус-вектора (абберация);
- определение скорости СВ по измеренным углам абберации наблюдаемых комет, проведение сравнительного анализа с данными КА.
- определение коэффициента ионно-ионной эмиссии с ледяной поверхности в диапазоне энергии СВ, определение количества образующихся ионов и сравнение с данными КА.

представляются весьма важными. Они соответствуют приоритетным направлениям исследований комет и гелиосферы, предпринимаемых международным сообществом исследователей, и является их частью.

2. Структура диссертации.

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 наименования.

3. В качестве новых научных результатов автор выделяет следующее:

1. Впервые в метод перспективного проектирования Штумпфа внедрено условие повышения точности определения углов проектирования, вследствие чего упрощены измерения кометоцентрических координат.

2. Получено новое соотношение, учитывающее вклад тангенциальной составляющей скорости СВ и радиальной скорости кометы в определении угла абберации кометного хвоста.

3. Впервые определены значения скорости солнечного ветра по абберации плазменных хвостов комет C/2012 S1 (ISON), C/2014 Q2 (Lovejoy) и C/2019 Y4 (ATLAS) на соответствующие даты наблюдений.

4. Разработана новая методика вычисления тангенциальной скорости СВ с учетом теоретических и экспериментальных данных.

5. Впервые получено выражение, учитывающее поперечное действие сил на плазменный хвост кометы

6. Установлено, что воздействие тангенциальной составляющей СВ и солнечная гравитация на плазменный хвост кометы является причиной несоответствия теоретических результатов и прямых измерений скорости СВ.

7. Впервые получены коэффициенты ионной эмиссии при бомбардировке ледяной поверхности кометы протонами солнечного ветра.

8. Впервые определено количество ионов, расплывшихся с ледяной поверхности ядра кометы корпускулярным потоком солнечного ветра на расстоянии 3 а.е.

9. Впервые показана эффективность бомбардировки корпускулярного потока солнечного ветра, как механизма ионизации кометных молекул на начальных этапах ионообразования.

4. Автор выносит на защиту следующие положения:

1. Соответствие прямоугольных и экваториальных координат на изображении кометы уменьшают объем математических действий при перспективном проектировании по методу Штумпфа. Показано, что при использовании телескопа с экваториальной монтировкой и малым угловым полем обзора (например, 45'x45') увеличивается точность измерения кометоцентрических координат и исключается необходимость нанесения сетки экваториальных координат на изображение.

2. Наблюдения плазменных хвостов комет могут быть применены для определения скорости солнечного ветра с учетом дополнительного смещения оси плазменного хвоста кометы. Показано, что

а) неперiodические колебания оси плазменного хвоста длительностью до 2-х суток связаны с тангенциальной компонентой СВ;

б) заниженные значения скорости, определенных по абберации плазменных хвостов относительно данных КА связаны с действием солнечной гравитации.

Количественная оценка учета действия тангенциальной компоненты СВ и гравитации Солнца, позволяют привести в соответствие скорости солнечного ветра, определенные по наблюдениям комет и измеренные космическими аппаратами.

3. Взаимодействие солнечного ветра с поверхностью ядра кометы возможно при разряженной атмосфере и отсутствии у последней ионосферы. Определены коэффициенты ионно-ионной эмиссии при бомбардировке льда

протонами СВ. Вычислены скорости ионообразования с ледяной (H_2O+CO_2) поверхности кометного ядра под действием СВ на расстоянии 3 а.е.

4. Бомбардировка протонами СВ вносит существенный вклад как механизм ионизации на начальных этапах ионообразования в кометах. Показана доминирующая степень ионизации при ионном распылении ледяной поверхности ядра кометы с разряженной атмосферой на больших гелиоцентрических расстояниях (>3 а.е.).

5.Общая характеристика диссертации, оценка достоверности полученного наблюдательного материала, его обработки, анализа и вывод

Глава 1 носит обзорный характер. Рассматриваются существующие в литературе методы вычисления кометоцентрических координат. Основное внимание уделено методу Штумпфа. Отмечается, что при вычислении кометоцентрических координат по методу Штумпфа ошибки могут возникать из-за ошибок измерения угла поворота осей координат γ и определения центра фотометрического ядра кометы, так как фотометрическое ядро – протяженный объект. Автор так же считает необходимым оценить влияние прецессии и собственного движения звезд на конечную точность определения координат.

Диссертант описывает солнечный ветер и методы определения его скорости, механизмы ионизации кометных молекул, в том числе экспериментальное моделирование бомбардировки аналога поверхности ядра кометы плазмой.

В выводах к главе 1 диссертант отмечает ряд недостатков ранее проводимых исследований. Так в методе Штумпфа не описано как определяется центр фотометрического ядра кометы. Не показано влияние прецессии и собственного движения звезд на точность определения кометоцентрических координат. Также отмечается, что недостатком методов, определения скорости СВ по наблюдениям отклонения плазменных хвостов комет является отсутствие учета поперечных сил. Полученные таким методом значения скорости СВ часто занижены относительно измеренных с помощью КА и занижение тем больше, чем меньше скорость СВ. **Поскольку высказанные замечания не следуют непосредственно из изложенного материала, эти замечания логичнее было бы разместить в каждом подразделе или в отдельном разделе перед краткими выводами к главе.**

Глава 2 посвящена описанию метода Штумпфа, который используется для проектирования точек изображения комет на кометную орбиту с целью определения кометоцентрических координат. Автор предложил модифицированный метод Штумпфа, упрощающий измерения и увеличивающий точность. Для этой цели анализируется снимок плазменного хвоста кометы C/2014 Q2 (Lovejoy). Так автор нашел, что предложенная им модификация метода увеличивает точность определение угла поворота одной системы относительно другой в 2 раза. Однако метод Штумпфа представляет собой теоретическую основу преобразования одной системы координат в другую. Поэтому, на мой взгляд, нельзя говорить об усовершенствовании метода Штумпфа. Кроме того, следует отметить, что комета C/2014 Q2 (Lovejoy) если и имела на момент наблюдения 27.7 января 2015 г плазменный хвост, то он был слабым. По этой причине, этот снимок кометы не совсем подходит для применения метода Штумпфа и модификации алгоритма преобразования координат, предложенной автором. Более подробно критические вопросы по Главе 2 изложены в замечаниях.

Автор также оценивает влияние прецессии и собственных движений звезд на определение кометоцентрических координат и приходит к выводу о незначительности их влияния.

По методике, примененной автором, были определены кометоцентрические координаты осей хвостов кометы C/2019 Y4 (ATLAS) и кометы 67/P Churyumov – Gerasimenko и определены их углы абберации. На основании малых значений углов абберации автор сделал заключение о плазменной природе наблюдаемых хвостов этих комет. К этому выводу также возникают вопросы, которые подробно рассмотрены в Замечаниях по диссертации.

В **Главе 3** определяется радиальная скорость СВ по отклонению плазменных хвостов комет C/2012 S1 (ISON), C/2014 Q2 (Lovejoy), C/2019 Y4 (ATLAS). Для этой цели использованы изображения комет, полученные по эпизодическим и многосуточным наблюдениям.

Показано, что значение скорости СВ, полученное по эпизодическому наблюдению кометы, часто отличается от данных прямых измерений КА и может дать информацию лишь о характере потока СВ (спокойный, быстрый, спорадический). Значения скорости СВ, определенные по наблюдениям кометы с длительным временным разрешением (более трех суток), показали резкие отклонения отдельной скорости СВ от величины среднего значения.,

что по мнению автора обусловлено воздействием тангенциального СВ на плазменный хвост кометы. Кроме того, как показано в работе, действие тангенциальной составляющей СВ раскрывает причину отрицательной аберрации плазменных хвостов комет. Указывается, что для определения скорости СВ, как правило, имеющего радиальное направление, необходимо учитывать и тангенциальную составляющую скорости СВ. Автор сравнил значения скоростей СВ, определенных по наблюдениям комет и измеренными с помощью КА. В результате сравнения обнаружено систематическое занижение значений радиальной скорости СВ, определяемых по наблюдениям комет относительно данных прямых измерений с помощью КА. Данное занижение указывается в работах и других исследователей. В диссертации предложено, что данный факт (занижение) зависит от гравитации Солнца, которая приводит к дополнительному смещению оси плазменного хвоста кометы. Вычислены пределы смещения оси хвоста комет гравитацией Солнца, которые лежат в диапазоне $1.8^\circ < \Delta \varepsilon < 12.6^\circ$.

В Главе 4 рассмотрены результаты моделирования бомбардировки ледяной поверхности ядра кометы протонами солнечного ветра и приведены результаты. Вычислены коэффициенты пропорциональности эмиссии с использованием некоторых данных лабораторных экспериментов. На основе полученных коэффициентов пропорциональности определены значения скоростей образования ионов с поверхности льда H_2O+CO_2 на гелиоцентрическом расстоянии 1 а.е. Показано, что максимальная скорость образования положительных ионов составляет $7.56 \cdot 10^6 \text{ м}^2\text{с}^{-1}$, а для отрицательных ионов - $8 \cdot 10^6 \text{ м}^2\text{с}^{-1}$.

Найденные скорости образования ионов пересчитаны с учетом параметров СВ на 3 а.е., а затем использованы для нахождения концентрации ионов по известным соотношениям. Для проверки достоверности вычисленных значений концентраций ионов, проведено их сравнение с данными кометы 67P/Churyumov-Gerasimenko, полученными с помощью миссии «Rosetta». Показано, что теоретические оценки значения скорости образованных ионов и их концентрации совпадают с наблюдательными данными [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].

В заключение сформулированы выводы и обозначены перспективы дальнейшего исследования, приведен список литературы, который использовался при написании диссертации.

В Приложение приводится список сокращений, использованный в диссертации.

6. Рекомендации по использованию полученных результатов

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных учреждениях России и других стран, в которых ведутся исследования комет и Солнечного ветра, в том числе: САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, КрАО РАН.

7. Замечания по диссертационной работе

Для удобства я выделил замечания в целом по диссертации и частные замечания, которые располагаются по порядку встречаемости в тексте вопросов.

Замечания общего характера.

1. Автор пишет, что разработан усовершенствованный метод Штумпфа. Было бы правильнее сформулировать, что автор предложил упростить способ определения координат точек плазменного хвоста кометы. По мнению автора, упрощение измерений достигается, за счет того, что если изображение получено на телескопе с экваториальной монтировкой, то прямоугольная система координат совпадает с экваториальной системой координат. Это строго верно, если полярная ось телескопа точно установлена по азимуту и высоте, что на практике встречается редко, особенно в Таджикистане из-за землетрясений. Например, если полярная ось телескопа не точно направлена на полюс по высоте, то при малом поле зрения телескопа, на снимке неба, сделанном в меридиане, треки от звезд будут параллельны горизонтальной оси кадра, так это продемонстрировано на Рис. 2.3. Но на снимках, сделанных не в меридиане, треки от звезд не будут параллельны горизонтальной оси кадров, а идти под углом выше или ниже, в зависимости от отклонения полярной оси телескопа от направления на полюс мира. Похожие различия между треками от звезд и сторонами снимка будут наблюдаться, если полярная ось телескопа смещена от плоскости меридиана.

2. Автор отмечает, что в методе Штумпфа не ясно, как наносится начало отсчета кометоцентрических координат. По мнению автора решением этой задачи может быть **«ввод следующего условия: при равенстве значений определяемых прямоугольных координат кадра координатам центра ядра**

($x=x_c$; $y=y_c$) для кометоцентрических координат должны получиться нулевые значения ($\xi=0$, $\eta=0$), что наглядно демонстрирует рис. 2.1. На практике это достигается путем использования в вычислительной программе значений прямоугольных координат центральной области фотометрического ядра». Во-первых, автору нужно было бы дать подробное пояснение того, как он предлагает найти нулевые значения ($\xi=0$, $\eta=0$). Во-вторых, на самом деле в методе Штумпфа неявно предполагается совпадение нуль-пунктов осей прямоугольных координат в плоскости фотоснимка с осями кометоцентрических координат (смотри, например, формулу 1.35 в книге О.В. Добровольского «Кометы»).

3. Поскольку диссертационная работа основана на наблюдениях комет C/2012 S1 (ISON), C/2014 Q2 (Lovejoy), C/2019 Y4 (ATLAS) и 67P/Churyumov-Gerasimenko, было бы крайне желательно дать сведения о этих наблюдениях в отдельной таблице с указанием обстоятельств наблюдений (телескопы, приемники, разрешение, фильтры, экспозиции, автор и т.д.). В диссертации сведения о наблюдательном материале приводятся в разных местах и не полностью.

4. Так как изображения получены широкополосными фильтрами R, природа хвостов исследуемых комет неясна. Измеренные отклонения оси хвоста от продолженного радиус вектора соответствуют пределу плазменных хвостов. Наблюдения автором кометы C/2019 Y4 (ATLAS) проведены в период близкий ко времени фрагментации ядра. Автору нужно было найти дополнительные аргументы в доказательстве ионной природы хвоста кометы C/2019 Y4 (ATLAS).

5. Не определен личный вклад автора в работу.

Замечания частного характера.

1. Большинство приведенных рисунков в диссертации, требуют развернутого описания того, что изображено. Например, на Рис. 2.4. не приведены названия комет.

2. Стр. 40-41. Приводится таблица (скан) с параметрами и значениями кометоцентрических координат, которую автор почему-то считает рисунком 2.1?

3. Стр. 43 и 44. При вычислении углов поворота γ автор не указал, как определяются их ошибки. Не понятно почему погрешность угла поворота, определенная по формуле (2.1) меньше погрешности, определенной по

формуле (1.2). Не приведены ошибки и других величин, которые определены автором, например, они не указаны на рис. 3.7, 3.8.

4. Стр. 48. Ошибка в названии таблицы 2.3, в которой приведена разность между кометоцентрическими координатами, вычисленными без и с учетом прецессии.

4. Автор пишет, что по формуле (2.5) найдены разность кометоцентрических координат кометы C/2019 Y4 (ATLAS) с учетом собственного движения звезд (табл. 2.4). Но выражения (2.5) относятся к координатам кометы, а в табл. 2.4 приведены разности расстояний.

5. Встречаются неточности в тексте. Например, стр. 33. "Ионизация атома или молекулы — это эндотермическая реакция, в которой электрон атома либо удаляется в бесконечность, либо приближается **в радиус действия ядра**". Или на стр. 49. "В данном параграфе измеряются кометоцентрические координаты оси хвоста". Правильнее будет сказать "**координаты точек оси хвоста**".

8. Общее заключение о диссертации Ибрагимова А. А.

Представленная диссертационная работа Ибрагимова А. А. является законченной работой. Основные результаты по теме диссертации изложены в 10 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 7 из которых входят в перечень ВАК РФ, то есть прошли экспертную оценку. Они докладывались на международных и российских конференциях. Автор получил, обработал и проанализировал достаточный объем наблюдательных данных. Сами наблюдательные данные являются новыми в чем их непреходящая ценность. Они могут быть использованы в различных научных учреждениях и обсерваториях.

Несмотря на критические замечания, я в целом положительно оцениваю рассматриваемую работу. Выполненная работа продемонстрировала, что Ибрагимов А. А. состоялся как ученый. Он уверенно превысил необходимые требования, предъявляемые для кандидата физико-математических наук, а именно, умение планировать и осуществлять наблюдения, обрабатывать и анализировать полученный материал, с привлечением данных, опубликованных в научной литературе, применять необходимые модели.

Оформление диссертации и автореферата в целом соответствует требованиям ВАК. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации.

Все сказанное выше дает мне основание утверждать, что диссертационная работа **Ибрагимов А. А.** «АБЕРРАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ХВОСТОВ И ИОНИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕР КОМЕТ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА», представляет собой исследование, которое в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Ибрагимов Алишер Абдуллоходжаевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. - «Физика космоса, астрономия».

Д.ф.-м.н., с.н.с., главный научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук»
298409 п. Научный, Бахчисарайский район, Республика Крым
Тел. +7(978)1162998, kiselevnn42@gmail.com

 Н.Н. Киселев

Подпись Н. Н. Киселева заверяю:

Директор
Крымской астрофизической обсерватории,
канд. физ.-мат. наук




А. Н. Ростопчина-Шаховская

28 марта 2024 г.