

Отзыв

официального оппонента на диссертационное исследование Нарзиева Мирхусена на тему «Исследования физико-кинематических свойств метеороидов по результатам комбинированных радиолокационных и оптических наблюдений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.42 - Астрометрия и небесная механика.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.

Тема диссертационного исследования полностью соответствует Паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 1.3.42 – Астрометрия и небесная механика, в частности следующим пунктам:

1. п.2. Разработка методов определения положения в пространстве и движения небесных тел. Сюда относятся все методы, основанные на наземных и внеатмосферных астрономических наблюдениях, включая радиолокацию и лазерную локацию, а также определение массы, формы и гравитационных полей небесных тел на основе анализа наблюдений с Земли и данных космических аппаратов.

2.п.4. Исследование динамической эволюции систем небесных тел на различных временных масштабах.

3.п.7. Интерпретация результатов изучения движения небесных тел с целью построения геометрической, кинематической и физической картины мира.

Актуальность темы исследования.

Изучение физических и динамических свойств малых тел - астероидов, комет, метеороидов является ключом к пониманию происхождения и эволюции Солнечной системы и происхождения жизни на Земле. Такие исследования носят **фундаментальный** характер. Объекты темы исследования - метеороиды являются одними из самых многочисленных представителей малых тел. Это, и реликтовые тела, содержащие первичную информацию о состоянии вещества, из которого сформировалась Солнечная система. и продукты распада родительских тел - астероидов и комет, позволяющие понять эволюцию родственных тел – комет и астероидов и эволюцию Солнечной системы в целом.

Основная информации о физико-динамических и кинематических характеристиках метеороидов и о процессах, происходящих при взаимодействии метеороида с земной атмосферой, содержится в кривых свечения и ионизации метеора. Поэтому, изучение явлений, сопровождающих пролет метеороидов через атмосферу Земли, **дает значительную информацию геофизического** характера

(состав, плотность, временная переменность ионосферных слоёв E, E_s и ночного слоя E в результате взаимосвязи метеорных явлений с нижней частью ионосферы, мелкомасштабная и крупномасштабная турбулентности атмосферных вихрей т.д.).

Кроме того, развитие различных методов оптических и радиолокационных измерений, разработка теоретических основ физических процессов и механизмов взаимодействия метеороидов с атмосферой и поверхностью Земли **способствует развитию смежных научных дисциплин.**

В настоящее время изучение физических и кинематических свойств метеороидов все больше приобретает **практическое** значение, так как освоение космического пространства требует знания их физических характеристик и их распределение в околоземной и межпланетной среде.

Все вышесказанное определяет актуальность темы исследования.

Научная новизна результатов диссертации и положения, выносимые на защиту

Научная новизна диссертации отражена в перечне научных достижений, полученных диссертантом. Это:

1. Выявлены 8 совместных фото-радиолокационных метеоров за 1977–1980 гг., из которых 6 относятся к Персеидам, 1 - к потоку δ-Акварид и 1 - к спорадическому фону. Метеор № 770954 имеет спектр, полученный методом мгновенной экспозиции, что является единственным случаем в мире, и 57 радиотелевизионных метеоров.

2. Впервые исследована вариация блеска и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров разных диапазонов скоростей. Показано, что ход вариации интенсивности свечения и ионизации вдоль следа один и тех же метеоров удовлетворительно согласуется между собой.

3. Изучена взаимосвязь отношения интенсивности свечения к ионизации от скорости для двух групп метеоров по звёздной величине: а) $0^m \div +8^m$ и б) $-0^m \div -14^m$. Впервые выявлено, что у метеоров слабее 0^m звёздной величины с увеличением скорости и атомного веса (по данным лабораторного моделирования) логарифм отношения интенсивности свечения к ионизации уменьшается на порядок. Для метеоров ярче $-0^m \div -8^m$ $\lg I/q$ остаётся постоянным и составляет $-4,2$.

4. Установлены шкалы масс и зависимости радиовеличины от скорости метеоров на основе объединённых данных одновременных оптических и радиолокационных наблюдений. Причем разница в шкале радиовеличины между двумя крайними группами скоростей метеоров составила $1,7 \div 3^m$.

5. Определены шкалы масс как для *ярких* ($m > 0$), так и для *слабых* ($8 \leq m \leq 0$) (выделенное италикком цитируется так как изложено в диссертации)

радиометеоров. Рассчитаны впервые фотометрические и ионизационные массы радиооптических метеороидов, которые согласуются между собой.

6. Получены экспериментальные ионизационные кривые 1100 метеороидов, проведена классификация наблюдаемых форм отрезков и ионизационных кривых. Впервые изучено расположение высоты зеркальной точки относительно высоты максимума ионизации. Оказались, что высоты зеркальных точек на 0,4 км ниже высот максимума ионизации. Разработана методика определения физических характеристик радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта.

7. Выявлены общие закономерности и различия между кривыми блеска и ионизации метеоров в широком диапазоне звёздных величин ($+8,5^m \div -18^m$) и разных метеорных популяций. Установлено, что параметр R ($R = (H_b - H_m)/(H_b - H_e)$), где H_b , H_m и H_e - высоты начала, максимума и конца следа) на первой половине гистограммы распределения метеоров возрастает экспоненциально, а на второй половине убывает более плавно. Для болидов R находится в диапазоне 0,7–0,8, тогда как для ТВ- и Супер-Шмидтовских метеоров при переходе от популяции типа А к С2 и D наблюдается смещение положения максимума интенсивности свечения в гистограмме распределения по параметру R .

8. Измерены впервые скорость совместного радиотелевизионного метеора тремя способами: а) комбинированным R-TV, б) импульсно-дифракционным и в) впервые пеленгационно-временным методом. Скорость, измеренная комбинированным R-TV, оказалась на 1,5–3 км/с выше, чем скорость тех же метеоров, измеренная радиометодами.

9. Создан впервые новый каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий 8916 радиометеоров ярче $+5^m$. Проведен анализ распределения радиантов, скоростей, орбит и физических свойств метеоров на небесной полусфере. Выявлено, что радианты метеоров ярче $+5^m$ в северной части небесной полусферы распределены почти равномерно.

10. Идентифицированы 431 метеорных потоков и ассоциаций на основе анализа данных ежемесячных и годовых измерений радиантов, скоростей и орбит 10 913 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане, при этом около половины потоков выявлены впервые. Определены параметры распределения метеорных тел по массам S для дневных потоков η -Акварид, α -Цетид, Писцид, ν -Писцид и Ариетид, а также для ночных потоков δ -Акварид, Квадрантид, Геминид, Северных и Южных δ -Акварид, i -Акварид.

11. Проведена калибровка данных радионаблюдений относительно оптических. Полученные результаты сопоставлены с данными других авторов и результатами наблюдений с космических аппаратов и опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РТ.

Положения, выносимые на защиту.

- результаты комбинированных радио-оптических наблюдений метеоров в Таджикистане;
- изучение вариаций интенсивности свечения и ионизации вдоль следов метеоров и исследование отношения интенсивности этих процессов от скорости и химсостава, определение шкалы радио величины и масс ярких и слабых метеоров, результаты вычислений фотометрических и ионизационных масс одних и тех же метеороидов;
- данные ионизационных кривых метеоров, их квалификации по форме, исследование месторасположения высоты точки зеркального радиоотражения и разработка методики определения физических характеристик радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта;
- результаты анализа общности и различий в форме распределения интенсивности свечения и ионизации вдоль следов метеоров широких диапазонов звёздной величины и разных популяций;
- измерение скорости метеоров: а) комбинированным R-TV и б) впервые пеленгационно-временным радиометодами, создание нового Каталога радиометеоров ярче $+5^m$ и исследование распределения метеороидов по кинематическим и физическим свойствам;
- результаты идентификации метеорных потоков и ассоциаций и определение параметров распределения метеорных тел по массам в основных ежегодных дневных и ночных метеорных поток

Достоверность результатов диссертации.

Достоверность выводов и результатов работы основывается на огромной базе оптических и радиолокационных наблюдений метеоров в ГисАО, которые опубликованы в международных и национальных журналах **и, следовательно, прошли экспертную проверку.** Созданный «Каталог радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий 8916 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане» является частью Центра метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС). Полученные результаты сопоставлялись с данными других авторов и с результатами, полученными с космических аппаратов, опубликованы в рецензируемых изданиях, включённых в перечень ВАК. Разработанные автором новые методы редукции данных наблюдений в ИА НАНТ, а также научные результаты, были апробированы и доказали высокую степень достоверности и надёжности.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы. Она содержит 306 страниц машинописного текста, включает 39

рисунка и 40 таблиц. Список литературы содержит 307 наименований статей зарубежных и отечественных авторов.

Во Введении описаны степень ее изученности, проблемы и нерешенные задачи метеорной астрономии. На основе этого докторант сформулировал направления, решение которых существенно расширяет наши знания о природе метеороидов и их распределении в Солнечной системе, тем самым подчеркивая актуальность темы исследования.

В общей характеристике работы определены цель, задачи, объект и предмет исследования. Отмечается теоретические основы проведенного исследования, научная новизна, результаты, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, степень достоверности полученных данных, соответствие диссертации паспорту научной специальности и личный вклад диссертанта в подготовке работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в 52 печатных работах, из которых 1 монография, 29 статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, и 22 статьи – в сборниках трудов конференций.

Первая глава диссертации посвящена описанию процессов, сопровождающие полёт метеорного тела в атмосфере Земли. Различные формы абляции, такие как дробление, испарение, плавление и разбрызгивание расплавленных веществ или комбинация этих процессов и создаёт светящийся ионизационный след, наблюдения которого дают сведения о свойствах метеороида, физических процессах, сопровождающих явление метеора и свойствах атмосферы Земли. Диссертант последовательно, в виде обзора, рассматривает различные аспекты этих сложных процессов, приводит основные уравнения движения, испарения, свечения и ионизации, описывающие их физику. Тем самым устанавливается связь между формами кривых блеска, ионизационных кривых (наблюдаемых оптическими и/или радиолокационными методами), и физическими характеристиками метеороидов (массы, плотности и т.д.) и параметров атмосферы (плотность, давление, температура). Диссертант отметил, что при многостанционных радионаблюдениях наиболее уверенно определяется высота максимума ионизации. Что касается высот начала и конца следа, то они в основном восстанавливаются путём экстраполяции. В большинстве случаев радиолокационные наблюдения проводятся только с одного пункта. Поэтому интерпретация таких данных требует разработки специальной методики, которая применима для определения физических характеристик метеороидов. В связи с этим диссертантом предложен полуэмпирический метод определения масс и плотностей метеороидов, приемлемый для редукции данных радиолокационных наблюдений с одного пункта. Диссертант приводит подробное описание рассеяние радиоволн на метеорных следах и некоторые характеристики радиоэха от следов различных типов. Диссертант отмечает, что основным недостатком прежних многих работ было то, что авторы не принимали во внимание роль нейтральных частиц

метеорного вещества, а рассматривали только те реакции, которые происходят в атмосфере. А химический состав же метеорного следа существенно отличается от атмосферного. Такой подход не позволяет решить проблему взаимосвязи наблюдаемой длительности метеорного радиоэха и начальной электронной концентрации следа. Р. Ш. Бибарсовым в целом решена система дифференциальных уравнений, учитывающих баланс ионизации метеорного следа и роль нейтральных частиц метеорного вещества. Однако полученные результаты не были использованы для интерпретации наблюдательного материала - формы кривых ионизации метеоров. Этот пробел был восполнен диссертантом в последующих главах.

Вторая глава посвящена описанию комплексной оптико-радиолокационной аппаратуры, использованной для изучения интенсивности свечения и ионизации вдоль следов метеоров. Диссертант отмечает важность комбинированных комплексных оптических и радиолокационных наблюдений и одновременных базисных наблюдений одних и тех же метеоров. В связи с этим приведен критический обзор истории и результатов комбинированных методов исследования метеоров в земной атмосфере. Отдельно подробно в исторической последовательности описан комплекс аппаратуры Института астрофизики НАНТ для оптических и радиолокационных наблюдений метеорных явлений в земной атмосфере. Он включал базисные телескопические наблюдения, а затем базисные фотографические наблюдения метеоров на камерах НАФА-3С (фотографический метеорный патруль), использование телевизионной аппаратуры, ионосферной станции, метеорных импульсных радиолокаторов МИР-2 и МИР-3, радиокомплекса «Горизонт», радиопередатчика «Урал» и радиотехническая система «Горизонт», которые способствовали регистрации метеоров в широком диапазоне масс от 10^{-5} до 10^1 г. Для получения данных атмосферной траектории, радиантов, скоростей и орбит метеоров наблюдения велись на двух пунктах наблюдения: ГисАО и станции Кипчак, расположенной относительно ГисАО на расстоянии 34 км. Далее следуют описания: поиска одновременно зарегистрированных радиотелевизионных метеоров. Определение азимута и зенитного расстояния зеркальных точек; результаты комплексных радиотелевизионных наблюдений метеорных потоков; отождествление одновременно зарегистрированных радиотелевизионных метеоров и методика нахождения отражающей точки на следе метеора; методика фотометрической редукции данных радиотелевизионных наблюдений метеоров; результаты определения кривых блеска метеоров по данным комбинированных радиотелевизионных наблюдений; вариации свечения и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров при разных скоростях; метод определения кривой ионизации метеора; результаты поиска совместных метеоров по фото-радиолокационным наблюдениям.

В третьей главе диссертации приведены физических свойств метеороидов, как по результатам одновременных радиооптических наблюдений, так и по результатам базисных радиолокационных наблюдений метеоров.

В параграфах 1-3 этой главы приводятся результаты определения масс метеороидов по кривым свечения, с использованием метода интегрирования интенсивности свечения вдоль следа и по величине интенсивности свечения в точке максимума блеска. Определен поправочный коэффициент в высоты максимума свечения и ионизации, необходимый для расчёта масс метеороидов по результатам измерения интенсивности свечения и ионизации. Изложены методы определения масс метеороидов по кривым свечения и ионизации одних и тех же метеороидов, зарегистрированных радиооптическим методом. Вычислены массы одних и тех же слабых метеоров по величине интенсивности свечения и ионизации на высоте зеркальной точки. В параграфах 4-6 последовательно приводятся: определения шкалы масс ярких радиометеоров; применение критерия конечных высот для определения плотности параллельных радиооптических метеороидов; сопоставление теоретических и наблюдаемых кривых свечения метеороидов, полученных по результатам одновременных радиооптических наблюдений. Последнее позволило определить плотности поточных и спорадических метеороидов на базе теории квазинепрерывного дробления и вычислить средние величины объёмной плотности для 10 поточных метеороидов. Сделан вывод, что метеороиды потоков δ -Акварид и Геминид имеют плотную структуру, тогда как метеороидам потоков Персеид и Леонид присуща рыхлая структура. В 7-м параграфе исследованы физические характеристики суперболида Таджикистан по комбинированным результатам спутниковых и наземных наблюдений. Оценены среднее значение массы $17,8 \pm 2,4$ т. и средние значения плотности $1,2 \pm 0,1$ г/см³. 8-ой параграф посвящён исследованию параметра распределения метеорных тел по массам для некоторых ежегодных дневных и ночных метеорных потоков. Значение параметра S , полученное по интегральным распределениям метеорных тел по массам, для дневных метеорных потоков находится в интервале 1,4 (для потоков Писцид, α -Цетид и Пегасид) до 1,9 - для потоков η -Акварид, ν -Писцид и Ю. М. Ариетид».

Четвертая глава посвящена определению радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий метеоров, зарегистрированных по результатам одновременных оптико-радиолокационных наблюдений, а также данным базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пунктов в ГисАО Института астрофизики НАНГ. Скорости метеоров измерялись: а) одновременным телерадиолокационным, б) импульсно-дифракционным и в) пеленгационно-временным радиолокационным методами. Обнаружено небольшое различия между скоростями, измеренными комбинированным и радиолокационными методами, что объяснено диссертантом тем, что у большинства радиометеоров (68%) точки

зеркального радиоотражения находятся на нисходящих участках их ионизационных кривых, где метеоры испытывают наибольшее торможение. В параграфах 3-7 описаны: методики редукции данных радиантов, скоростей и элементов орбит по результатам одновременных радиотелевизионных и базисных радиолокационных наблюдений метеоров.; методика обработки наблюдательного материала для определения горизонтальных координат зеркально-отражающей точки; методика и результаты измерений радиантов и скоростей метеоров пеленгационно-временным радиометодом; результаты обработки наблюдательного материала для определения высоты зеркально-отражающей точки метеора; представлена методика определения горизонтальных координат радианта пеленгационно-временным методом. В 8-м параграфе описана программа вычисления радиантов, скоростей и орбит метеороидов при заведомо введённых расстоянии и азимуте каждого выносного пункта относительно центрального. В 9-м параграфе представлена методики вычисления атмосферной траектории метеора. В 10-м параграфе приведены результаты анализа распределения метеороидов на небесной сфере по геоцентрическим экваториальным координатам радиантов и скоростей, а также по гелиоцентрическим Кеплеровым оскулирующим элементам орбит. Определены также физические характеристики метеороидов, такие как внеатмосферная масса, звёздная величина радиометеора и линейная плотность электронов на высоте центральной точки метеорного следа.

Пятая глава диссертации посвящена идентификации метеорных потоков и ассоциаций по результатам ежемесячных и годовых базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пунктов с декабря 1968 по декабрь 1969 гг.

По данным свыше 10 683 метеоров выполнена идентификации метеорных потоков и ассоциаций на основе базисных радиолокационных измерений радиантов, скоростей и орбит метеоров пеленгационно-временным радиометодом в Таджикистане. В результате выявлены 431 метеорный поток и ассоциация, при этом около 50% обнаружены впервые. Некоторые потоки, такие как северные и южные ν -Офиурхиды, δ -Виргиниды, α -Скорпиониды, ν -Гидриды, Южные α -Леониды, S-Либриды, а также ряд ассоциаций, выявлены впервые радиолокационным методом.

Построены распределения метеороидов по элементам орбит для потоков и ассоциаций. Распределение больших полуосей $1/a$ для метеорных потоков и ассоциаций по нашим данным и по результатам радиолокационных наблюдений более слабых метеоров в Харькове.

Определены физических характеристик (масса и плотность) метеороидов в потоках и ассоциациях. Показано, что средние значения масс метеороидов в потоках и ассоциациях находятся в интервале от $7 \cdot 10^{-4}$ до 0,3 г, а их плотности варьируются в диапазоне 0,3–7 г/см³. При этом у 76% метеорных потоков и ассоциаций средние значения плотности метеороидов сосредоточены в диапазоне

1–4 г/см³. У 11% потоков и ассоциаций средние плотности находятся в пределах 4–7 г/см³, а 13% метеороидов имеют среднее плотности менее 1 г/см³.

Установлено, что плотность и структура метеорных тел потоков с общим происхождением имеют сходные значения. На основании анализа средних значений масс и плотностей метеороидов показано, что с увеличением значения массы частиц их средняя плотность уменьшается.

Показано что 22 группы метеороидов состоят из рыхлого кометного вещества, тогда как только 8 групп имеют железокремнистый состав.

Итоговые выводы диссертационной работы:

1. Получены теоретические выражения, описывающие формы кривых ионизации метеороидов с учётом различных форм абляции.

2. В результате одновременных комплексных фотографических, спектральных, телевизионных и радиолокационных наблюдений метеоров в 1977–1980 гг. в Институте астрофизики НАНТ выявлены: один общий зарегистрированный фотографический и телевизионный метеор, один радиолокационный и фотографический болид со спектральными данными, 7 одновременно зарегистрированных методами фотографии и радиолокации, и 57 радиотелевизионных метеоров.

3. По результатам одновременных радиотелевизионных наблюдений одних и тех же метеоров измерены скорости двумя способами: а) комбинированным телевизионно-радиолокационным и б) радиолокационным методом. Установлено, что скорость, измеренная комбинированным способом, на 1,5–3 км/с выше, чем скорость, измеренная радиолокационным методом.

4. Впервые получены кривые блеска и ионизации одних и тех же метеоров ярче +4^m по результатам одновременных телевизионных и радиолокационных наблюдений. Скорости метеоров составляют 14–69 км/с. Синхронность изменения интенсивности свечения и ионизации подтверждает их зависимость от единицы секундного расхода масс.

5. Исследованы зависимости отношения интенсивности свечения к ионизации от скорости для слабых (0^m ÷ +8^m) и ярких (0^m ÷ –7,2^m) метеоров. Установлено, что для слабых метеоров отношение уменьшается более чем на порядок с увеличением скорости. Лабораторные эксперименты показали, что изменение химического состава вещества увеличивает это отношение от –5,4 до –3,6.

6. Установлены зависимости радиовеличины от скорости. Разница в шкале радиовеличины между крайними группами скоростей составила 1,7–3^m.

7. Впервые определены шкалы масс (зависимость коэффициент ионизации от скорости) для слабых и ярких метеоров. Коэффициент ионизации увеличивается более чем на три порядка с ростом скорости.

8. Рассчитаны фотометрические и ионизационные массы для двух групп метеоров (0^m ÷ +8^m и –0^m ÷ –7,2^m, скорости 12–69 км/с). Получена хорошая

согласованность между массами, рассчитанными по разработанной шкале.

9. Вычислены параметры P , характеризующие месторасположение высоты максимума свечения и ионизации относительно начала и конца следа метеора. Установлено, что на первой половине распределения интенсивность возрастает экспоненциально, а на второй уменьшается плавно.

10. Исследованы распределения параметра P для различных метеорных популяций. Установлено, что болиды астероидного происхождения имеют максимум в интервале $P = 0,7-0,8$. Для кометных популяций (типы C2 и D) наблюдается смещение максимума, что свидетельствует о неоднородной структуре метеороидов.

11. Впервые внедрен пеленгационно-временной радиометод измерения радиантов и скоростей метеоров для редукции данных базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх–пяти пунктов в ГисАО. Для 10913 метеоров: сняты первичные данные с плёнки; выполнены счётные работы; определены горизонтальные координаты зеркальной точки и азимут радиантов; измерены дифракционные скорости, зенитные расстояния радиантов и пеленгационно-временные скорости; подготовлены исходные данные для расчёта экваториальных координат радиантов; составлена программа расчёта орбит и вычислены экваториальные и эклиптические координаты радиантов, а также внеатмосферные, геоцентрические и гелиоцентрические координаты метеоров.

12. Разработана методика определения атмосферной траектории метеоров, наблюдаемых с одной станции, вычислены линейная электронная плотность, радиовеличины и массы метеоров. Проведена калибровка шкалы масс радиометеоров на основе одновременных радиооптических наблюдений. С использованием этой шкалы рассчитаны массы 8916 радиометеоров ($5 \cdot 10^{-4} - 0,1$ г) с максимумом около 10^{-2} г.

13. Впервые составлен Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий 8916 метеоров ярче $+5^m$. Каталог зарегистрирован в Центр метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС) и не имеет аналогов среди ранее опубликованных каталогов.

14. Исследованы распределения радиантов, скоростей и элементов орбит метеороидов ярче $+5^m$. Установлено: а) радианты метеоров на северной небесной полусфере распределены почти равномерно; б) радиокомплекс МИР-2 способен зарегистрировать метеоры со склонением до -50° ; в) распределение геоцентрических скоростей имеет бинарное свойство с максимумами в интервалах 35–40 км/с и 55–60 км/с.

15. Проведена идентификация метеорных потоков и ассоциаций по данным каталога 8916 метеоров в три этапа: графическое построение двухмерного распределения по координатам радианта, отбор по скоростям и проверка по D-критериям Саутворта- Хокинса и Йопека. Выявлены 431 поток и ассоциация, половина из которых зарегистрирована радиолокационным методом впервые.

16. Изучен механизм разрушения метеороидов и определены плотности

поточных и спорадических метеороидов. Мелкие метеороиды более однородны по структуре. Наиболее плотные - Геминиды и Южные δ -Аквариды, наименее плотные - Ориониды и Леониды.

17. По интегральным распределениям метеорных тел по массам для дневных потоков η -Акварид, α -Цетид, Писцид, ν -Писцид, Ариетид и ночных δ -Акварид, Квадрантид, Геминид, Северных и Южных δ -Акварид, i -Акварид определены параметры S . Параметры S по массам и длительностям хорошо согласуются, что позволяет использовать их для интерпретации радионаблюдений с одной станции.

18. Выявлено, что потоки Северных и Южных δ -Акварид и дневные потоки α -Цетид и Писцид имеют одинаковый параметр S , что свидетельствует об их принадлежности к одному метеороидному рою и общности происхождения.

Научная, практическая, экономическая, и социальная значимость выполненного исследования.

Полученные результаты могут быть использованы в следующих областях: метеорная астрономия и астрофизика, исследование распределения метеорных частиц в околоземном и межпланетном пространстве, изучение процессов распространения радиоволн через ионизированные следы метеоров, моделирование и прогнозирование риска столкновения крупных метеороидов с Землёй, обеспечение безопасности функционирования спутников и космических аппаратов, а также в космонавтике и космологии Солнечной системы. В частности:

1. Каталог «Радянты, скорости, орбиты и атмосферные траектории 8916 радиометеоров, наблюдавшихся в Таджикистане» является завершающим этапом редукции наблюдательных данных и воплощением разработанных в диссертации методов обработки и определения физических и кинематических свойств метеорных частиц. Каталог зарегистрирован для использования в Базе данных метеоров Международного астрономического союза (МАС).

2. Шкалы радиовеличин, полученные в диссертации, позволяют переводить радиолокационные данные в оптические наблюдения и наоборот. Это крайне важно для обработки и интерпретации данных, полученных с различной аппаратуры (радиолокационной и оптической) с различной чувствительностью и в широком диапазоне звёздных величин.

3. Выражения и формулы, учитывающие совокупность факторов (разновидности дробления, вариации коэффициентов формы и др.), влияющих на формирование формы кривых ионизации метеоров, могут быть использованы для исследования процессов разрушения метеороидов в атмосфере Земли и определения их физических свойств.

4. Идентификация потоков и ассоциаций метеороидов позволяет проверять достоверность различных математических моделей эволюции метеорных роёв, моделировать и прогнозировать столкновения крупных объектов с Землёй.

5. Данные одновременных радиооптических наблюдений метеоров могут применяться для решения геофизических задач, таких как определение параметров турбулентной диффузии, изучение зависимости коэффициента прилипания электронов к нейтральным частицам от скорости, исследование факторов деионизации и т.д.

6. Разработанная методика вычисления масс и плотностей метеороидов может быть широко использована для редукции наблюдательных данных, полученных с одной станции, что актуально, поскольку большинство радионаблюдений метеоров проводится именно с одного пункта.

7. Материалы диссертации могут быть полезны докторантам, аспирантам, соискателям, магистрантам и студентам старших курсов кафедры астрономии и общей физики при преподавании специальных курсов, а также при подготовке дипломных и научных работ.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в 52 печатных работах, из которых 1 монография, 29 статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, и 22 статьи – в сборниках трудов конференций.

Автореферат диссертации соответствуют требованиям Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267.

Недостатки диссертационной работы.

1. На мой взгляд перечень научной новизны исследования можно было бы сократить за счет (укрупнения) объединение пунктов 4 и 5, 2 и 3 и изменить структуру, выделив по возрастающей наиболее важные результаты исследования в таком порядке, например: п.9, затем объединение пунктов 4 и 5, объединение пунктов 2 и 3, п.10. Или, примерно следовать структуре положений, выносимых на защиту, который хорошо структурирован по важности исследований.

2. В разделе степень изученности научной темы история основных этапов становления метеорной астрономии хорошо изложена. Но отдельные ее фрагменты повторяются в других разделах проведенного исследования. Некоторые места, отраженные в преамбуле Главы 2, стр. 46 повторяются в других главах

3. Личный вклад диссертанта хорошо освещен, но в отдельных главах собственные исследования автора идут в перемежку с историей и обширными цитатами из публикаций. Например, на стр. 44 отмечено, что **«Вопрос роли нейтралов метеороидного происхождения (НМП) ... наиболее всесторонне**

рассмотрена в Институте астрофизики НАН Таджикистана Р. Ш. Бибарсовым [107-112]».

А далее с красной строки написано «В частности, в результате многолетних исследований автор: а) определена энергия электронного сродства ...». Не понятно, кто автор - Р. Ш. Бибарсов или соискатель? Если Р. Ш. Бибарсов, то изложение его работ на стр. 44-46 излишне подробное.

На стр. 46 утверждается, что «Р. Ш. Бибарсовым в целом решена система дифференциальных уравнений, учитывающих баланс ионизации метеорного следа. Уравнения учитывают также роль нейтральных частиц метеорного вещества. Причём система уравнений решалась на ЭВМ для метеорных тел различной массы и скорости. Результаты моделирования на ЭВМ хорошо согласовались с наблюдениями.». А далее написано противоположное «Однако полученные результаты не были использованы для интерпретации наблюдательного материала особенно при получениях формы кривых ионизации метеоров.» Не ясно какие результаты?

4. Описка в п.5 научной новизны результатов. Написано «определены шкалы масс как для ярких ($m > 0$), так и для слабых ($8 \leq m \leq 0$) радиометеоров». Видимо должно быть «определены шкалы масс как для ярких ($m < 0$), так и для слабых ($0 \leq m \leq 8$) радиометеоров».

5. В нескольких местах диссертации перед «0» стоит знак + или -

6. Орфографическая ошибка в п.6. Вместо «Оказались, что высоты...» должно быть «Оказалось, что высоты...».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Я положительно и высоко оцениваю рассматриваемую работу. Представленная диссертационная работа является фундаментальной работой, в которой ранее нерешенные проблемы и задачи метеорной астрономии нашли свое решение. Основное достоинство работы заключается в комплексном подходе к исследованию физических процессов, сопровождающих вторжение метеороида в атмосферу, на основе комбинированных радиолокационных и оптических наблюдений. Отмечу наиболее важнейшие достижения диссертанта. Разработка методики вычисления масс и плотностей метеороидов. Оценки параметра распределения метеорных тел по массам и определение физических свойств радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта. Изучение таких параметров атмосферной траектории, как кривые блеска и ионизации, определение фотометрических и ионизационных масс, плотности и структуры метеороидов. Установления зависимости шкалы радиовеличин от скорости метеоров, что критично для сопоставления данных радиолокационных наблюдений с оптическими. Расчёт притока метеорного вещества и плотности потока метеороидов, падающих на Землю, исследование строения, возраста и происхождения метеорных тел. Эти данные легли в основу точного определения значений радиантов, скоростей и орбит, что важно для практического применения в решении безопасности космической деятельности. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Личный вклад автора в работу является решающим. Положения о научной и практической новизне работы аргументированы и не вызывают сомнения. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в различных научных учреждениях и обсерваториях. Впечатляет количество и география конференций, на которых соискатель докладывал работы, вошедшие в диссертацию. Результаты исследований опубликованы в 52-х печатных работах, из которых 1 монография, 29 статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, и 22 статьи – в сборниках трудов конференций. Они неоднократно докладывались на международных и российских конференциях и, следовательно, прошли экспертные проверки.

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

Отмеченные недостатки в диссертации не являются критическими. Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качество и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на ее научный уровень.

В целом, диссертация **Нарзиева Мирхусена** на тему **ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТЕОРОИДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**, представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.42 - Астрометрия и небесная механика, выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34, и 35 Порядка присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением, Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, № 267, а ее автор **Нарзиев Мирхусен** заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент: главный научный сотрудник, заведующий лабораторией малых тел Солнечной системы Отдела физики Солнца и Солнечной системы Крымской астрофизической обсерватории РАН,

доктор физ.-мат. наук

Киселев Николай Николаевич



Дата 4 июня 2026 г.

Адрес: 298409, Республика Крым, Россия

Бахчисарайский район, п. Научный

Крымская астрофизическая обсерватория,

Тел.: +7 9857945943; +7 9781162998

E- mail: kiselevnn42@gmail.com

Подпись Киселева Николая Николаевича подтверждаю:

начальник Отдела Кадров КраО РАН

А.С. Семенова

Дата 4 июня 2026 г.

