

## ОТЗЫВ

официального оппонента на докторскую диссертацию Нарзиева Мирхусена **«Исследование 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.

### ***1. Соответствие диссертации специальностям и отраслям науки, по которым она представляется к защите***

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

*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.*

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

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

### ***2. Актуальность исследования.***

Проблемы продвинутой в докторскую диссертацию Нарзиева Мирхусена **«Исследование физико-кинематических свойств метеороидов по результатам комбинированных радиолокационных и оптических наблюдений»**, безусловно представляет большой интерес в решение целого ряда проблемы метеорной астрономии, астрофизики, область геофизики и распространение радиоволн, обеспечение безопасности полета межпланетной и космической миссий а также для прогноза и предотвращения столкновения крупных объектов с планетой Земли и т.д.

Нине исследование метеоров как в оптическом, так и в радиолокационном диапазоне становится всё более важным. В частности, изучение комплексных физико-кинематических характеристик метеороидов на основе данных симультанных радио-оптических наблюдений и их взаимодействия с атмосферой Земли и ионосферой может способствовать

решению некоторых проблем, важных для жизни людей. Среди многочисленных факторов, вызывающих человеческие жертвы и разрушения на Земле, особенно опасны такие явления, как землетрясения и проникновение в атмосферу Земли метровых и дециметровых метеороидов, которые сосредоточены в некоторых метеорных потоках, ассоциациях и группах метеоритообразующих метеороидов, которые могут приземляться с разрушительными последствиями. Такие явления весьма опасны для тех областей Земли, где расположены атомные станции, химические заводы, дамбы (плотины) гидроэлектростанций и плотно населённые жилые районы. Подобные события могут приводить к региональным разрушениям и несчастным случаям с людьми, что было наглядно продемонстрировано падением Челябинского метеорита 15 февраля 2013 года в России. Известно, что активное влияние метеороидов на верхнюю атмосферу вызывает первичное накопление ионов  $M^+$  в спорадическом слое ионосферы, который чувствителен к сейсмической активности. Следовательно, исследование физико-кинематических свойств метеороидов является неотложной задачей как в прикладных, так и в фундаментальных исследованиях.

Исследование комплексных физико-кинематических свойств метеороидов комбинированным радиооптическим методом может помочь в понимании генезиса Солнечной системы и процессов, происходивших после образования малых тел, то есть в изучении космогонии Солнечной системы, их свойств, происхождения и эволюции, а также в определении природы их родительских объектов — комет и астероидов.

**3. Степень научной новизны результатов диссертации и положения, выносимые на защиту.** К числу новым научным результатам, полученным и представленным в диссертации, относятся следующие:

1. **Впервые** в Таджикистане с участием докторантом проведено комплексные фотографические, телевизионные, спектральные и радиолокационные наблюдения, где в результате анализа выявлены: 8 совместных фото-радиолокационных метеоров, из которых 6 относятся к Персеидам, 1 — к потоку  $\delta$ -Акварид и 1 — к спорадическому фону; один фото-телевизионный зарегистрированный метеор; один фото-радиолокационный метеор со спектром полученный методом мгновенной экспозиции, что является единственным случаем в мире, а также 57 метеоров зарегистрированный одновременно радиотелевизионным методом.
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 ( $8 \leq m \leq 0$ ) радиометеоров. Рассчитаны впервые фотометрические и ионизационные массы радиооптических метеороидов, которые согласуются между собой.

6. **Получены** экспериментальные ионизационные кривые 1100 метеороидов. Проведена классификация наблюдаемых форм кривых свечения и ионизаций, изучено расположение высоты зеркальной точки относительно высоты максимума свечения и ионизации. Получено, 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 радиометодам. 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 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане” (метеоров 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  $\eta$ -Акварид,  $\alpha$ -Цетид,  $\beta$ -Писцид,  $\gamma$ -Писцид и Ариетид, а также для ночных потоков  $\delta$ -Акварид, Квадрантид, Геминид, Северных и Южных  $\delta$ -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 кривых свечения и 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 потоках.

#### **4. Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований.**

В последние три десятилетия существенно возрос интерес к проведению целого ряда различных научно-технических экспериментов, о чем свидетельствует перечень цитированные публикации в диссертации. Однако в подавляющем большинстве публикаций представляется информация лишь для одной зеркально-отражающей точки, что недостаточно для симультанного исследования вариаций свечения и ионизации вдоль следа метеоров. Ранее полученные сведения о кривых свечения и ионизации в работе Кук и др. 1973, а также данные о массах и плотностях, полученные Верниани и др., относятся к метеорам слабее от  $+6^m$  до  $+12^m$ . А форма индивидуальных ионизационных кривых в случае слабых метеоров была задана в виде подходящей параболы. Вместо с тем при определении плотности в работах Верниани и др., а также масс и плотностей в работах Бибарсова, Чеботарёва, Гартмана и др. не учитывалось влияние дробления и других факторов, что искажает полученные конечные результаты. Ныне экспериментальные кривые ионизации, получены по редукции данных головного эхо, а кинематические свойства, приведённые в ранее опубликованных Каталогах, не калиброваны с результатами оптических наблюдений.

Методологические основы настоящего исследования основаны на использовании новое пеленгационно-временного радиометода измерения радиантов, скоростей метеоров, и разработка методика определения физические характеристики радиометеоров наблюдаемых с одного пункта, докторантом.

#### **5. 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 включает 307 наименований зарубежных и отечественных авторов.

#### **Краткое содержание глав диссертации**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определена её цель, сформулирована научная новизна полученных результатов, их область применения, основные результаты, выносимые на защиту, а также показан личный вклад автора и положения, предлагаемые к защите.

**Первая глава** посвящена процессы, сопровождающие полет метеорного тела в земной атмосфере, где описаны уравнения ионизации с учётом различных форм абляции, включая квазинепрерывное, прогрессивное,

осколочное и вспышечное дробление, зависимости характеристик радиоэха от мощности и длительности радиоотражения, учёту влияния различных факторов деионизации на разрушение ионизированных метеорных следов. Описывается зависимость длительности радиоэха для метеоров, наблюдаемых как в ночное, так и в дневное время суток, приводятся уравнения длительности радиоэха с учётом процессов деионизации, параметров аппаратуры и характеристик метеорного следа.

**Вторая глава** посвящена исследованию связи между интенсивностями оптической яркости и ионизации одних и тех же метеоров. Здесь представлены история, современного состояния цели и задачи комбинированных радио-оптических наблюдений, характеристики комплексов Оптических и радиолокационных аппаратуры, результаты комплексных наблюдений, методика фотометрической редукиции и результаты трёхлетних комплексных оптических и радиолокационных наблюдений метеоров, где в результате анализа докторантом выявлен 8 совместных метеоров, один из которых принадлежит метеорному потоку Южных  $\delta$ -Акварид, один - к спорадическому фону, а остальные 6 метеоров - к метеорному потоку Персеид, один совместный фотографический и телевизионный метеор, один радиофотографический болид со спектральными данными и 57 радиотелевизионных метеоров. Приведены методика редукиции данных одновременных фоторадиолокационных и радиотелевизионных наблюдений, данные о кривые блеска и ионизации одних и тех же метеоров, результаты определения кривых ионизации метеоров и квалификация кривых блеска и ионизации по форме.

**Третья глава** диссертации посвящена исследованиям физических свойств метеороидов как по результатам одновременных радиооптических наблюдений, так и по данным базисных радиолокационных наблюдений метеоров. Приводятся результаты определения шкалы масс как ярких, так и слабых метеороидов, на основе которых рассчитаны фотометрические и ионизационные массы одних и тех же метеоров, который находились в хорошем соответствии между собою. Массы метеороидов по кривым свечения рассчитаны двумя методами, а) путём интегрирования интенсивности свечения вдоль следа и б) по величине интенсивности свечения в точке максимума блеска. Средние значения масс, рассчитанные вторым методом, оказались в три раза больше масс, определённых первым методом. На основании этих результатов был введён поправочный коэффициент для расчёта масс метеороидов по результатам измерения интенсивности свечения и ионизации в высоты максимума свечения и ионизации и рассчитаны ионизационные массы по результатам радиолокационных наблюдение

поточных и спорадических метеороидов и определены индекса массы, результаты, которые находятся в диапазоне 1.4-1.9 для различных ночных и дневных метеорных потоков.

Плотности индивидуального метеора вычислены как по параметру PE так и на основе теории КНД. Вычисленные значения плотностей по параметру PE находятся в широком диапазоне от 0.10 до 4.4 г/см<sup>3</sup>. Используя данные объёмным плотностям автором и вычисленным значениям минералогическим плотностям Бэнюхом, рассчитал величины пористости для нескольких метеорных потоков. Получено, что метеороиды потоков  $\delta$ -Акварид и Геминид имеют плотную структуру, тогда как метеороидам потоков Персеид и Леонид присуща рыхлая структура.

**Четвёртая глава** посвящена измерению радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий метеоров, зарегистрированных по результатам одновременных оптико- радиолокационных наблюдений, а также данным базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пяти пунктов в ГисАО Института астрофизики НАНТ. Автором по результатам одновременных радиотелевизионных наблюдений одних и тех же метеоров измерен скорости двумя способами: а) комбинированным телевизионно- радиолокационным и б) импульсно-дифракционным и новым пеленгационно-временным радиометодам. Получено, что скорость, измеренная комбинированным способом, на 1,5–3 км/с выше, чем скорость, измеренная радиолокационным методом.

Диссертант впервые внедрен пеленгационно-временной радиометод измерения радиантов и скоростей метеоров для редукции данных 10916 радиометеоров зарегистрированных в ГисАО и вычислены радианты, скоростей и орбит и на основе разработанным автором методике вычислял физические характеристики индивидуальных метеоров и составлял “Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане”, где Каталог зарегистрирован в Центре метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС). Каталог не имеет аналог среди ранее опубликованных. Диссертант по результатам анализ распределения радиантов, скоростей и элементов орбит метеороидов, пришел, к выводу, что радианты метеоров на северной небесной полусфере распределены почти равномерно.

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

произведено по данным свыше 10 916 радиометеоров в два этапа: а) графическим методом по двумерному распределению координат радиантов и скоростей; б) с применением критерия Саутворта–Хокинса и критерия Йопека. В результате анализа выявлены 431 метеорный поток и ассоциация, где около 50% выявлены впервые. Некоторые потоки, такие как северные и южные  $\nu$ -Офиурхиды,  $\delta$ -Виргиниды,  $\alpha$ -Скорпиониды,  $\nu$ -Гидриды, Южные  $\alpha$ -Леониды, S-Либриды, а также ряд ассоциаций, выявлены радиолокационным методом впервые.

Докторантом для метеороидов каждого потока и ассоциации вычислены их радиовеличины, массы и плотности. Средние значения масс метеороидов ( $m$ , г.) в потоках и ассоциациях находятся в интервале от  $7 \cdot 10^{-4}$  до 0,3 г, а их плотности ( $\delta$ , г/см<sup>3</sup>) варьируются в диапазоне 0,3–7 г/см<sup>3</sup>. При этом у 76% метеорных потоков и ассоциаций средние значения плотности метеороидов сосредоточены в диапазоне 1–4 г/см<sup>3</sup>. У 11% потоков и ассоциаций средние плотности находятся в пределах 4–7 г/см<sup>3</sup>, а 13% метеороидов имеют среднее плотности менее 1 г/см<sup>3</sup>.

#### **6. *Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации***

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивались использованием апробированных результатов наблюдений, разработанный методом определения физических свойств метеороидов зарегистрированных с одного пункта наблюдений, внедрение впервые новый пеленгационно-временной радиометодом измерение кинематических свойств метеоров наблюденных в Таджикистане. При проведении исследований использовались впервые результаты комбинированных фотографических, телевизионных, спектральных и радиолокационных наблюдений метеоров проводимые впервые в мире в Таджикистане с участием докторантом, разработка методика редукции данных радиолокационных наблюдений метеоров, полученного синхронно в периоде действия метеорной экспедиции в Могадишо (Сомали) и в Харькове.

Вместо с тем докторант впервые получил экспериментальные кривые блеск и ионизации метеоров ярче +5<sup>m</sup>, определял фотометрические и ионизационные массы одних и тех же метеороидов, изучил структуры поточных и спорадических метеороидов. Он возглавлял работы лаборантам, непосредственно принял участие в редукции данные круглосуточные ежемесячные двухгодичные радиолокационные наблюдения около 11 000 радиометеоров, наблюденных в ГисАО с 4-ёх пунктов, с применением впервые новым пеленгационно-временным радиометодом измерения

радиантов, скоростей и орбит индивидуальных метеоров, которое как по чувствительности (в три раза) так и по точности измерения (в 1.7 раза) превосходит импульсно-дифракционным методом (ИДМ), которые ранее широко использовались для редукции материалов, полученных в большинстве радиолокационных обсерваториях мира. По полученным материалам составлен Каталог радиантов, скоростей и орбит радиометеоров, на основе которого выявлены потоки и ассоциации, результаты, которые зарегистрированы в центре метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС).

Достоверность сформулированных положений подтверждается опубликованным «Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий радио метеоров, наблюдаемых в Таджикистане» которые зарегистрированы в Базе метеорных данных (БМД) Международного астрономического союза (МАС). Выводы в диссертационной работе сформулированы корректно, базируются на результатах, неоднократно обсужденных на научных семинарах Солнечной системы Института астрофизики НАНТ, на ряде международных симпозиумах и конференциях и опубликованных в периодических научных изданиях.

#### ***7. Научная и практическая значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их практическому применению***

Создание нового «Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий радио метеоров, наблюдаемых в Таджикистане» по результатам ежемесячных полуторогодичных радиолокационных наблюдений в ГисАО и результаты комплексных радио-оптических наблюдений метеоров в Таджикистане, представляет собой значительный вклад в науку. Каталог обладает важной научно-прикладной ценностью, так как предоставляет подробную информацию о физико-кинематических и данных атмосферной траекторий, что имеет существенное значение для дальнейших исследований в области метеорной астрономии, космонавтики и космогонии Солнечной системы.

Информация о массах и плотностях метеороидов в потоках и ассоциациях важна для более глубокого понимания структуры метеорных потоков, а также для прогнозирования плотности падающего потока метеороидов на Землю. Это подтверждает научную значимость работы, так как она охватывает ключевые аспекты, связанные с метеорной активностью.

#### ***8. Опубликованные результаты диссертации в научной печати***

Основные результаты диссертации опубликованы в 52 печатных работах, в том числе одна монография, 29 статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в

перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, и 23 статьи – в сборниках трудов международных конференциях и симпозиумах.

### ***9. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК***

Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Она написана хорошим русским и грамотным научным языком. Содержание и результаты докторской диссертации соответствуют Паспорту специальности 1.3.42 – Астрометрия и небесная механика.

В ней содержится незначительное число несоответствий редакционного исследования.

Имеется несколько замечаний к работе:

1. Обзорная часть диссертации написана очень подробно, по возможности следует сократить текст.
2. Несмотря на то, что диссертация написана понятно, в ней встречаются некоторые стилистические и орфографические ошибки.
3. В диссертационной работе ряд графиков и рисунков представлен без надлежащего указания их происхождения. Неясно, являются ли данные иллюстрации оригинальными результатами автора или заимствованы из внешних источников. В связи с этим необходимо для всех рисунков и графиков предоставить корректные ссылки на источники либо явно указать, что они выполнены автором диссертации самостоятельно.
4. Объем диссертационной работы является весьма значительным и составляет 306 страниц. Если это допускается действующими требованиями и регламентом, было бы целесообразно сократить объем работы примерно до 150 страниц, сделав изложение более компактным и концентрированным. Вместе с тем данное замечание носит исключительно рекомендательный характер, и в случае несогласия автора возражений с моей стороны не имеется.

Несмотря на высказанные замечания, считаю, что диссертационная работа Нарзиева Мирхусена **«Исследование физико-кинематических свойств метеороидов по результатам комбинированных радиолокационных и оптических наблюдений»** выполнена на высоком профессиональном уровне.

Автореферат и опубликованные научные статьи правильно демонстрируют содержание диссертации, которая полностью удовлетворяет требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а докторант – Нарзиев Мирхусен, несомненно заслуживает присуждения ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности 1.3.42 – Астрометрия и небесная механика.

**Официальный оппонент,**

Доктор физико-математических наук,  
Институт перспективных исследований  
при Университете «Новый Узбекистан»



Нарзиллоев Бахтиёр

Адрес: Республика Узбекистан, г. Ташкент, Мирзо-Улугбекский район, ул. Мовароуннахр, 1.

Телефон: +998990759408

E-mail: b.narzilloev@newuu.uz

Подпись д.ф.-м.н.,

Нарзиллоев Бахтиёр заверяю:

Юрист-консультант, Институт перспективных исследований  
при Университете «Новый Узбекистан»



Насимов

Дата: 2 " Июня " 2026 г.