

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Коломиец С. В.  
«Структура метеорного комплекса высокоэксцентричных орбит Солнечной системы по  
результатам радиолокационного зондирования атмосферы в Харькове»  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Специальность: 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования)

Диссертационная работа С. В. Коломиец посвящена изучению структуры и особенностей комплекса метеорных тел Солнечной системы, с большими значениями эксцентриситетов ( $e > 0,9$ ), включая параболические орбиты ( $e = 1$ ) и гиперболические орбиты ( $e > 1$ ), на основе данных наземного радиолокационного зондирования атмосферы Земли на частоте 31,1 МГц в интервале высот 70-130 км. Проблема присутствия в Солнечной системе комплексов тел (метеороидов, комет) имеющих гиперболические орбиты, а значит и возможное происхождение вне нашей планетной системы сформулирована давно, но до сих пор не была решена. Ключевой вопрос заключается в точности, с которой эти орбиты регистрируются, а значит и реальности таких орбит. Между тем ее решение имело бы большое значение, как с точки зрения понимания эволюции орбитальных параметров разных тел, так и с точки зрения изучения возможных физических особенностей объектов, имеющих разные источники или области происхождения, включая их происхождение вне Солнечной системы. Поэтому задачи, решаемые в диссертационной работе С. В. Коломиец, относятся не только к области метеорной астрономии, но и являются одними из ключевых задач проблемы происхождения и эволюции Солнечной системы. Безусловно, тема диссертации и сформулированные для ее решения задачи являются актуальными.

### Содержание работы

Диссертационная работа С. В. Коломиец состоит из перечня условных обозначений и сокращений, введения, пяти разделов, выводов, приложения и списка использованных источников. Полный объем диссертации составляет 194 страницы, включая 48 рисунков, 21 таблицу, 7 страниц приложения, 22 страницы списка использованных источников из 238 наименований.

Во **Введении** обоснована актуальность темы, изложены основная цель, задачи и методы исследования, приведена научная новизна полученных результатов, практическая ценность работы и личный вклад автора. Приведены данные о представлении результатов диссертационной работы на конференциях и в публикациях.

В **Разделе 1** автор приводит подробные сведения о физике метеорных явлений, кинематике метеороидов в атмосфере, свойствах земной атмосферы. Рассмотрены модель атмосферы в метеорной зоне, а также приток метеорного вещества в атмосферу. Последний подраздел посвящен постановке задач проведения исследований. Здесь автор подробно рассматривает возможные механизмы происхождения гиперболических метеороидов, достоверность наблюдаемых гиперболических орбит. Из обзора вытекает

постановка задач исследования, а именно оценка требуемой точности измерений, сформулировать критерии отбора таких тел из всех тех, что были зарегистрированы и провести их поиск с учетом селективности наблюдений в атмосфере Земли.

В **Разделе 2.** рассматриваются радиолокационные данные по метеороидам с высокоэксцентрическими орбитами, полученные в Харькове в 1972-1978 гг. Приведены параметры метеорной автоматизированной радиолокационной системы (МАРС), на которой были проведены экспериментальные исследования и ее сравнение с другими наиболее известными орбитальными радаром в мире. Для метеороидов, которые были зарегистрированы радаром МАРС, описана процедура и алгоритм определения их скоростей и координат радиантов, которые являются исходными величинами для расчета орбит.

В **Разделе 3.** Решение задачи реальности гиперболических орбит метеороидов сложна, поскольку связана с точностью определяемых параметров орбит, полученных из наблюдений. Поэтому диссертант уделяет этому особое внимание и приводит результаты собственных расчетов погрешностей (или неопределенностей – термин используемый диссертантом) параметров орбитального движения метеороидов. Численные значения неопределенностей параметров определялись по формулам среднеквадратических ошибок измерений. Диссертант пришел к выводу, что по крайней мере, 30% исследованных гиперболических орбит по критерию  $2\sigma$  применительно к эксцентриситету  $e$  могут быть реальными, что составляет 0,8 % от общего числа орбит, полученных в 1975 году.

В **Разделе 4** автор рассматривает механизмы образования гиперболических орбит метеороидов и распределение параметров метеорных высокоэксцентричных орбит. Представлено теоретическое обоснование и экспериментальная проверка возможности перевода эллиптических и параболических орбит метеороидов в гиперболические орбиты в результате тесных сближений с планетами. Исследована структура метеороидного комплекса высокоэксцентричных орбит по данным МАРС с использованием радиус векторов восходящего  $R_{\Omega}$  и нисходящего  $R_N$  узлов метеороидной орбиты.

В **Разделе 5** проанализирована структура массива высокоэксцентричных орбит из базы данных ХНУРЭ и его генетическую связь с кометами. В частности рассмотрена связь метеорных потоков  $\eta$ -Акварид и Орионид с кометой Галлея, связь комплекса высокоэксцентричных метеорных орбит малых размеров в окрестностях орбиты Земли и Солнца с околосолнечными кометами или так называемыми кометами «царапающими Солнце», а также с метеорно-астероидным комплексом Эксцентрид. Последний комплекс представляет особый интерес, так как в него входят метеороиды и потенциально опасные астероиды (РНА / NEA), которые близко подходят к орбите Земли. Получены орбитальные параметры потоков, связанных с кометой Галлея и параметры 12 потоков типа Эксцентрид, чьи родительские тела неизвестны, однако могут быть опасны с точки зрения кометно-астероидной угрозы для Земли, так как имеют наибольшую вероятностью встречи с Землей.

В разделе **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ** автор перечисляет основные результаты проведенного исследования.

В **ПРИЛОЖЕНИИ** размещен выборочный каталог метеорных гиперболических орбит, полученных с помощью МАРС.

## **Новизна полученных выводов, общая характеристика работы, оценка достоверности полученных результатов**

Из наиболее важных **новых результатов**, полученных в работе, я отмечаю следующие:

1. Разработана методика, построен алгоритм и вычислены неопределенности скоростей, координат радианта и параметров орбит метеорных тел, полученных на метеорной автоматизированной радиолокационной системе МАРС. Тем самым увеличена точность вычислений орбитальных элементов. Построена эмпирическая модель распределения неопределенностей этих величин.

2. Создана электронная база данных и выборочный каталог метеорных орбит с большими значениями эксцентриситетов метеороидов интервала масс  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  г.

4. Построены распределения параметров гиперболических и почти параболических орбит метеорных тел. Создана эмпирическая модель распределения орбитальных характеристик метеорных тел с эксцентриситетом вблизи единицы.

5. Показана реальность гиперболических орбит метеороидов, с учетом исследования механизмов происхождения гиперболических орбит и повышения точности вычислений орбитальных элементов.

6. Предложен метод использования радиуса-вектор узлов гиперболической метеорной орбиты в качестве характерного параметра для определения относительного размера гиперболической орбиты и возможного места ее образования, в частности от возмущения планет.

7. Выявлены структурные и получены орбитальные характеристики высокоэксцентричных метеорных потоков  $\eta$ -Акварид и Орионид с афелиями  $\sim 35,0$  а.е., которые связаны с кометой 1P / Галлея. Выделены 12 высокоэксцентричных метеорных потоков с афелиями  $Q \sim 1,1$  а.е., родительские тела которых неизвестны, однако которые могут быть опасны с точки зрения кометно-астероидной угрозы для Земли.

В диссертации решены актуальные задачи метеорной астрономии. Решение этих задач непосредственно связаны с изучением Земли, так как метеороиды, воздействуют на ее атмосферу, а также имеют непосредственное отношение к фундаментальной проблеме происхождения и эволюции Солнечной системы. Результатом работы стали новые данные о ранее малоизученном комплексе метеорных орбит имеющие эксцентриситеты близкие или большие 1. Важно отметить, что для решения поставленных задач использована огромная база качественных экспериментальных данных радиолокационного дистанционного зондирования атмосферы в Харькове, созданная десятилетиями усилиями сотрудников ХНУРЭ, включая соискательницу рассматриваемой диссертационной работы. Само по себе использование этого огромного массива данных представляет большую научную и практическую ценность.

Представленные соискателем данные неоднократно использовались другими авторами, о чем свидетельствуют зарубежные и отечественные литературные источники. Результаты работы С.В. Коломиец были широко представлены на международных и украинских конференциях, семинарах, опубликованы в солидных зарубежных и украинских журналах и, таким образом, прошли проверку на достоверность.

**Практическое значение полученных результатов.** Разработанный автором алгоритм расчета неопределенностей параметров орбит метеорных тел может использоваться другими исследователями. Полученные распределения параметров гиперболических орбит метеорных тел, оценки их неопределенностей, а также сам каталог орбит метеороидов с большими значениями эксцентриситетов дают важный практический материал для решения большого круга астрономических исследований. В частности они могут быть использованы для сравнения с аналогичными параметрами, полученными по другим массивам данных. Экспериментальные данные по метеорным потокам -Акварид и Орионид рекомендуются к использованию другими исследователями для сравнения.

### **Рекомендации по использованию полученных результатов**

Полученные С. В. Коломиец результаты рекомендуется использовать в Астрономической обсерватории КНУ им. Т. Шевченка, НИИ «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета им. И. И. Мечникова и других астрономических учреждениях Украины, а также в зарубежных институтах и обсерваториях, прежде всего в Институте астрофизики Таджикской АН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, ИКИ РАН, и других.

Полученный в диссертации материал может быть использован для дальнейшей разработки проблемы гиперболических метеоров и поиска межзвездной компоненты метеорного вещества, исследования структуры отдаленных и близких областей Солнечной системы, разработки модели метеорного вещества в Солнечной системе.

### **Недостатки**

Общим недостатком работы является излишняя подробность изложения общеизвестных данных, что прослеживается практически во всех разделах диссертации. За счет сокращения этих подробностей объем диссертации мог бы быть существенно сокращен без потери качества. В ряде разделов есть повторы изложения материалов.

**Раздел 1.** В подразделах 1.1.1 – 1.2.4. (17-42 стр.) излишне подробно рассматриваются общие характеристики физики атмосферы Земли и метеорного явления. Эта часть обзора слабо связана с проблемным вопросом, составляющим сущность диссертации, а именно освещения разных подходов к достоверности гиперболических орбит метеороидов, рассматриваемым в подразделе 1.3.

Термин абляция объяснен только на 29 стр, хотя используется на более ранних страницах.

Встречаются неудачные формулировки. Например: «Структура комплекса высокоэксцентричных орбит метеорных тел Солнечной системы для эксцентриситетов 0,9 и выше ...» Лучше было написать : «Структура комплекса высокоэксцентричных орбит метеорных тел Солнечной системы с эксцентриситетами 0,9 и выше .....».

Не ясно, что имелось в виду во фразе «То, что и межзвездные частицы, и те частицы, которые покидают Солнечную систему, могут иметь гиперболические орбиты, усложняет анализ данных по таким орбитам.».

**Раздел 2.** Раздел «ХАРЬКОВСКИЕ МЕТЕОРНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ ПО ВЫСОКОЭКСЦЕНТРИЧНЫМ ОРБИТАМ» включает не соответствующие его содержанию сведения. Например, подраздел 2.5 Элементы орбит тел Солнечной системы находится явно не на месте. Его в сокращенном виде нужно было поставить в разделе 1.

**Раздел 3.** В этом разделе диссертант использует математические методы обработки результатов измерений. Строго говоря, выражение «Эмпирическая модель ....» должна подразумевать математическое описание экспериментальных данных. Автор на самом деле строит распределение неопределенностей. Кроме того, это гистограммы **рассчитанных** неопределенностей (или ошибок), поэтому термин эмпирическая модель используется не совсем по назначению.

Фраза «Сопоставление наших результатов [9, 29] с другими [3, 6] подтверждает достаточную точность в определении орбит метеорных тел на комплексе МАРС». А разве орбиты, рассматриваемые в работе [3] выполнены не на основе данных комплекса МАРС?

Диссертант пришел к выводу, что, по крайней мере, 30% исследованных гиперболических орбит по критерию  $2\sigma$  применительно к эксцентриситету  $e$  могут быть реальными, что составляет 0,8 % от общего числа орбит, полученных в 1975 году. Не дано разъяснение, почему рассмотрены данные, взяты только для результатов наблюдений, проведенных в 1975 г?

Можно было сократить текст в начале раздела до фразы «В настоящее время ...»

**Раздел 4.** Подраздел «4.1 Размеры Солнечной Системы и некоторые проблемы ее изучения» является лишним. Сведения, приводимые в подразделе «4.2 Кометная динамика и кометы с орбитами гиперболического типа ( $e > 1$ ) в Солнечной системе» излишне подробны. В конце этого подраздела есть одна важная ссылка «В [144] обосновывается, что выявление концентрации перигейных направлений в комплексе долгопериодических комет к точке апекса пекулярного движения Солнца было бы важнейшим аргументом в пользу гипотезы о межзвездной природе комет». Диссертант не отмечает, можно ли этот аргумент применить к метеороидам? Кроме того, следовало бы отметить, что по гелиоцентрическим элементам нельзя судить о форме первоначальной орбиты, так как она искажена движением Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Чтобы исключить указанное влияние, необходимо определить форму орбиты кометы относительно барицентра Солнечной системы.

В подразделе «4.3 Распределения параметров высокоэксцентричных орбит метеороидов» не ясно, в чем сущность модели автора. Снова автор считает, что «построенные распределения являются составной частью эмпирической модели гиперболического движения метеорных тел». Мне представляется, что термин модель применен не по назначению.

Ближайшая звезда Проксима Центавра расположена на расстоянии 270 тыс. а.е от Солнца.

**Раздел 5.** Подраздел 5.1 Поточковая и спорадическая составляющая метеорного вещества Солнечной системы является обзорным.

## **Общие выводы**

Встречаются не совсем корректные выражения. Например, «В работе **доказано**, что структуру комплекса высокоэксцентричных орбит метеорных тел Солнечной системы по экспериментальным данным наземного дистанционного радиолокационного зондирования атмосферы в Харькове **можно анализировать** на предмет присутствия ...».

## **Общее заключение о диссертации С. В. Коломиец**

Несмотря на высказанные критические замечания, я положительно и высоко оцениваю рассматриваемую работу. Представленная диссертационная работа С. В. Коломиец является законченной работой. Автором обработан и проанализирован огромный массив наблюдательных данных. Основные положения диссертации обоснованы и подтверждаются литературными данными. Диссертация имеет большое практическое значение. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в различных научных учреждениях и обсерваториях.

Выполненная работа продемонстрировала, что С. В. Коломиец состоялась как ученый. Диссертация значительно превышает необходимые требования, которые должен продемонстрировать кандидат физико-математических наук. Результаты исследований опубликованы в 25-ти специализированных журналах, то есть прошли экспертную оценку. Они неоднократно докладывались на международных и украинских конференциях, а также проводились в рамках государственных научных программ и являлись составной частью международных программ..

Автореферат работы полностью соответствует диссертации.

Все сказанное выше дает мне основание утверждать, что диссертационная работа С. В. Коломиец «Структура метеорного комплекса высокоэксцентричных орбит Солнечной системы по результатам радиолокационного зондирования атмосферы в Харькове», представляет собой исследование, которое в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор С. В. Коломиец несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования.

Зав. отделом «Физика малых небесных тел»

Главной астрономической  
обсерватории НАН Украины,  
доктор физ.-мат. наук

Н.Н. Киселев

Подпись Н. Н. Киселева заверяю:

Ученый Секретарь Главной астрономической  
обсерватории НАН Украины,  
канд. физ.-мат. наук

Л. Н. Свачий

12 октября 2015 г.