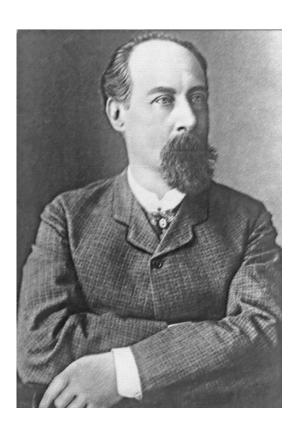
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «VIII БРЕДИХИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

INTERNATIONAL CONFERENCE «VIII BREDIKHIN CONFERENCE»



ТЕЗИСЫ ABSTRACTS

04- 08 Сентября 2023/ 04-08 September 2023 Заволжск/ Zavolzhsk Россия /Russia



http://www.agora.guru.ru/bredikhin2023



В г. Заволжск с 4 по 8 сентября 2023 г. состоится научная конференция с международным участием "VIII Бредихинские чтения". Серия конференций, посвященных новейшим достижениям в теории комет, динамике малых тел Солнечной системы, астероидно-кометной опасности под названием «Бредихинские чтения» была организована Российской академией наук (до 1991 АН СССР). Конференции названы в честь великого русского астронома Ф. А. Бредихина, директора Московской обсерватории, директора Пулковской обсерватории, внесшего определяющий вклад в развитие исследований комет и метеоров.

Организаторы конференции: Институт астрономии РАН, Муниципальное казенное учреждение культуры "Заволжский городской художественно-краеведческий музей" и Администрация Заволжского городского поселения.

Сборник тезисов общим объемом 43 стр., содержащий 45 работ, позволяет ознакомиться с представленными на конференции докладами¹.

© ИНАСАН. 2023.

_

¹ Грамматика и стиль изложения – авторские

Содержание

CEK	КЦИЯ 1. Кометы
	1. Баканас Е. С., Барабанов С. И. Комета Р/2012 NJ La Sagra по наблюдениям Симеизе
	2. Барабанов С. И., Баканас Е. С. Выявление связи АСЗ с объектами Солнечной истемы и поиск среди них кандидатов в активные астероиды
	3. <i>Бусарев В. В.</i> Новые подтверждения гипотезы о происхождении астероидов римитивных типов
	4. <i>Бусарев В. В., Кузнецов С. Ю.</i> О формировании оптически тонкой пылевой кзосферы у активных астероидов
	5. Гусев В. Д., Кузнецов Э. Д. Моделирование распада двойных транснептуновых бъектов
1.	6. Дорофеева В. А. Оценка роли малых ледяных тел при формировании планет 10
	7. <i>Емельяненко В. В.</i> Динамическая эволюция малых тел во внешней части олнечной системы
	8. <i>Емельяненко Н. Ю</i> . Преобразования орбит малых тел в сближениях с планетами10
	9. Иванов А. Л., Иванов В. А., Курбатов Г. А., Лысенко В. Е., Воропаев В. А., арабанов С. И. Наблюдения комет в Кубанском госуниверситете
	10. <i>Ипатов С. И.</i> Миграция экзокомет в планетных системах Проксима Центавра Траппист 1
за	11. Киселев Н., Жужулина Е., Петров Д., Карпов Н. Синтетические фазовые высимости поляризации комет в широкополосных и узкополосных кометных олосах
Д	12. Кохирова Г. И., Рахматуллаева Ф. Д., Горшанов Д. Л., Львов В. Н., евяткин А. В., Латипов М. Н. наблюдения покрытия звезды спутником Нептуна ритоном в обсерватории санглох
	13. <i>Кузнецов В. Б.</i> , <i>Чернетенко Ю. А</i> . Динамика кометы 157P/Tritton и ее рагментов
	14. Кузнецов Э. Д., Аль-Шиблави О. М., Гусев В. Д. Оценки возраста пяти пар ранснептуновых объектов на близких орбитах
КС	15. <i>Медведев Ю. Д., Павлов С. Р.</i> Объяснение аномальной вспышечной активности ометы 29P/Schwassmann-wachmann 1. гипотеза о наличии у кометы крупных путников
	16. <i>Медведев Ю. Д., Павлов С. Р., Чернетенко Ю. А.</i> Негравитационные эффекты движении кометы 45 Р/ Хонда-Мркос-Пайдушакова
	17. <i>Николенко И. В., Аршинкин С. С.</i> Разработка и создание поляриметра пя телескопа ЦЕЙСС-1000
	. 18. <i>Николенко И. В., Крючков С. В., Аршинкин С. С.</i> История наблюдений стероидов и комет в Симеизской обсерватории

1.19. Новосадов Б. К. Соотношение кинетической энергии и полного углового момента системы взаимодействующих тел
1.20. Перов Н. И. К вопросу о происхождении планетных систем
1.21. <i>Петров Д., Жужулина Е., Савушкин А.</i> Влияние внутренней структуры частин на поляризационные свойства кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1
1.22. Сачков М. Е. Возможности космической обсерватории «Спектр-УФ» по изучению комет и экзопланет
1.23. Сидоренко В. В. Вращение кометных ядер и физические факторы, определяющие его свойства
1.24. <i>Филиппов Ю. П.</i> Комета C/2017 K2 Panstarrs: количественный анализее некоторых физических свойств
1.25. <i>Шематович В. И.</i> Новые результаты космических миссий к малым телам в Солнечной системе
1.26. <i>Щербина М. П., Бусарев В. В.</i> Астероиды с признаками сублимационной активности: поиск, сравнение физических и динамических свойств, влияние условий
СЕКЦИЯ 2. Метеороиды, метеоры, метеориты
2.1. <i>Бахмутова А. С., Яковлев Г. А., Панкрушина Е. А., Гроховский В. И.</i> Влияние структурных особенностей плессита в железных метеоритах на морфологию синтезируемых углеродных нанотрубок
2.2. <i>Брыкина И. Г., Егорова Л. А.</i> О неопределенности моделирования взаимодействия метеороида с атмосферой, связанной с моделью абляции
2.3. <i>Брыкина И. Г., Егорова Л. А.</i> О некоторых закономерностях и факторах случайности в распределениях по массам фрагментов разрушенных метеороидов и астероидов
2.4. Дюндик С. С., Максимова Е. М., Наухацкий И. А. Исследование теплового расширения троилита из обыкновенного хондрита Calama 009
2.5. <i>Ефремов В. В., Попова О. П., Карташова А. П.</i> Индекс масс для потоков Персеид, Орионид и Геминид
2.6. Золотарёв Р. В., Шустов Б. М. Динамика метеороидных потоков, возникающих при столкновениях АСЗ
2.7. <i>Ефимов А. В., Жабин В. С., Муртазов А. К.</i> Широкоугольные ПЗС-наблюдения ярких Персеид в Рязани
2.8. Ипатов С. И. Обмен метеоритами между Землей и Луной
2.9. Карташова А. П. Методы метеорных наблюдений
2.10. Коротышкин Д. В., Шерстюков О. Н., Валиуллин Ф. С. Метеорные наблюдения на радиолокационной станции Казанского федерального университета
2.11. <i>Муфтахетдинова Р. Ф., Гроховский В. И., Хотинов В. А.</i> Физико-механические свойства железных метеоритов
2.12. <i>Петрова Е. В., Гроховский В. И.</i> Экспериментальное моделирование воздействий на вещество метеорита

Научная конференция с международным участием «VIII Бредихинские чтения»

	2.13. <i>Подобная Е., Попова О., Глазачев Д.</i> Классификация недавних мест падения метеороидов на Марсе
	$2.14.$ Рябова $\Gamma.$ $O.$ Относительное положение астероида 3200 Фаэтон и модельного потока Γ еминид
	2.15. Сергиенко М. В., Нефедьев Ю. А. Метеорный поток Андромедиды
	2.16. Шустов Б. М., Золотарёв Р. В. Метеороиды астероидного происхождения в ОКП
C	ЕКЦИЯ 3. История астрономии
	3.1. Касаткина С. В. Новые данные о семье Бредихиных
	3.2. <i>Лукаш Н. В.</i> Коллекция А. С. Головиной в собрании государственного музея А. С. Пушкина
	3.3. <i>Рахматуллаева Ф. Дж.</i> Изобретение астрономических инструментов в средневековой центральной Азии: вклад Абу Махмуда Худжанди

СЕКЦИЯ 1. КОМЕТЫ

1.1. КОМЕТА Р/2012 NJ LA SAGRA ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В СИМЕИЗЕ

Баканас Е.С., Барабанов С.И. Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

Комета P/2012 NJ La Sagra была вначале открыта как астероид (La Sagra Sky Survey) и только спустя некоторое время была обнаружена кометная активность — тонкий хвост. Вскоре после ее открытия в Симеизской обсерватории были проведены наблюдения данной кометы. В данной работе приводятся полученные изображения в Симеизской и других обсерваториях и дано сравнение различных вариантов обработки полученных данных.

1.2. ВЫЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ АСЗ С ОБЪЕКТАМИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ПОИСК СРЕДИ НИХ КАНДИДАТОВ В АКТИВНЫЕ АСТЕРОИДЫ

Барабанов С. И., Баканас Е. С. Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

Проведен статистический анализ орбитальных и физических характеристик известных активных астероидов, в том числе кандидатов в этот список. Для ряда астероидов, сближающихся с Землей, для которых ранее проводились фотометрические наблюдения в Симеизской обсерватории и близких по своим характеристикам к известным активным астероидам, был проведен поиск объектов Солнечной системы с близкими орбитами. На основании проведенного анализа полученных списков объектов делается предположение о возможности включения некоторых астероидов в список кандидатов для исследования возможности обнаружения у них кометной активности.

1.3. НОВЫЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ АСТЕРОИДОВ ПРИМИТИВНЫХ ТИПОВ

Бусарев В. В. ГАИШ МГУ, Москва, Россия

В 2012 г. была выдвинута гипотеза о происхождении астероидов С-типа и углистых хондритов, как фрагментов каменно-ледяных тел, образовавшихся вместе с Юпитером в ранней Солнечной системе, за границей конденсации водяного льда на \sim 4-5 а.е. от Солнца [1]. Она основана на аналитическом анализе В. С. Сафронова условий и темпов роста Юпитера и других планет-гигантов [2], а также на результатах спектральных наблюдений астероидов Главного пояса (ГП). Расчеты Сафронова показали [2], что при достижении прото-Юпитером массы в несколько масс Земли, его аккреция меньших по размеру тел сменилась их преимущественным выбросом во всех направлениях, включая зону ГП. Подтверждениями связанного с этим транспорта в центральном направлении замерзших летучих соединений (в основном льда H_2O

и органики) являются, вероятно, пятна нетипичных гидросиликатов и углистовещества, обнаруженные на поверхности многих хондритового астероидов высокотемпературных типов по данным спектральных наблюдений [3-6] и космических исследований (в частности астероида 4 Веста с КА Dawn (HACA) [7, 8]). Указанные результаты позволяют рассматривать физико-химические и динамические процессы образования астероидов С-типа, как общие, которые могли привести к возникновению всех астероидов примитивных типов (низкотемпературных по происхождению), в том числе D- и P- астероидов с более высоким содержанием органики (CHON), к которым относятся Троянцы Юпитера [9]. Важно отметить, что обсуждаемый выброс меньших тел из зон формирования планет-гигантов на завершающей стадии их роста и последующая "очистка" их орбит от таких тел рассматривается как универсальный космогонический процесс. Обнаружения в ГП астероидов так называемых «комет Главного пояса» (КГП) – около двух десятков малых тел (в основном с диаметром меньше 1 км), проявляющих сублимационную активность вблизи перигелия [10] - также могут быть подтверждениями обсуждаемой гипотезы. Согласно измерениям на космическом телескопе Джеймса Уэбба, водяной пар был обнаружен при отсутствии газообразного CO₂ в коме 238P/Read, одной из этих MBC [11], что является признаком ее образования не на далекой периферии Солнечной системы, как ядер большинства комет, а на значительно меньшем расстоянии от Солнца, за границей льда Н2О. Учитывая, что общий список астероидов ГП с признаками активности уже насчитывает более 40 тел (напр., [12]), можно предполагать, что КГП – это не ядра классических комет, которые оказались на астероидных орбитах с эксцентриситетами < 0.3) благодаря действию неизвестного механизма, а представляют собой фрагменты расколотых при столкновениях более крупных астероидов примитивных типов (или даже исходных каменно-ледяных тел). Эти малые тела, активированные, возможно, при недавних ударах, подтверждают высокое содержание водяного льда в их родительских телах.

- 1. Busarev V. V., 2012. ACM Conf., 2012, Niigata, Japan, Abs. #6017; https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1211/1211.3042.pdf.
- 2. Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет/ М: Наука, 1969, 244 с.
- 3. Rivkin A. S. et al., 1995, Icarus, 117, 90-100.
- 4. Busarev V. V., 1998, Icarus, 131, 32-40.
- 5. Бусарев В. В., 2002, Астрон. вестн. 36, 39-47.
- 6. Бусарев В. В., 2016, Астрон. вестн. 50, 15-26.
- 7. De Sanctis M. C. et al., 2012, Aph. J. Lett., 758. L36 (5pp).
- 8. McCord T. B. et al., 2012, Nature, 491, 83-86.
- 9. Emery J. P. et al., 2011, Astron. J., v. 141, article id. 25.
- 10. Hsieh H.H. et al., 2023. Planet. Sci. J., 4, 43 (22pp).
- 11. Kelley M.S.P. et al., 2023. Nature, 1, 2.
- 12. Jewitt D., Hsieh H. H., 2022, arXiv preprint arXiv:2203.01397.

1.4. О ФОРМИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИ ТОНКОЙ ПЫЛЕВОЙ ЭКЗОСФЕРЫ У АКТИВНЫХ АСТЕРОИДОВ

Бусарев В.В. 1 , Кузнецов С.Ю. 2 1 — ГАИШ МГУ, Москва, Россия

2 – МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет космических исследований, Москва, Россия

В спектрах отражения некоторых астероидов Главного пояса примитивных типов (С, В, F, G, X), в недрах которых может сохраняться водяной лёд, наблюдаются необычные максимумы рассеяния света от ~0.4 до ~0.65 мкм при прохождении этих тел вблизи перигелия (напр., [1-3]). Моделирование показывает, что такие максимумы возникают при рассеянии отраженного солнечного света в оптически тонкой пылевой экзосфере (ПЭ) астероида, которая состоит из частиц от субмикронного микронного до размеров с показателями преломления, характерными для водяного льда, силикатов и органики [3, 4]. Механизмом образования такой ПЭ является сублимация подповерхностных залежей водяного льда или его локальных обнажений (как последствий ударных событий), вызывающая газовые потоки, которые под влиянием осевого вращения астероида приводят к формированию временной (диссипирующей) ПЭ из частиц указанных размеров. Есть ли другие механизмы, которые могли бы поддерживать более длительное наличие разреженной ПЭ (например, от нескольких месяцев до нескольких лет) в слабом гравитационном поле астероидов (с силой $\sim 10^{-2} \div 10^{-5}$ силы земного поля в соответствии с массой тела), а также при отсутствии магнитного поля? В стационарных условиях суммарное действие на самые мелкие частицы давления солнечного света и особенно радиационного давления (при обмене зарядами частиц с электронами и протонами солнечного ветра) должно их быстро удалять из ближайших окрестностей астероидов. Но как раз последние факторы обеспечивают, вероятно, более длительное существование на активных астероидах ПЭ. Как известно (напр., [5, 6]), электростатическое поле фотоэмиссионной природы на безатмосферных небесных телах может отрывать от поверхности и заставляет левитировать пылевые частицы обсуждаемых размеров. При этом над поверхностью астероида, около подсолнечной точки, образуется плазменно-пылевая оболочка с толщиной от сантиметров ЛО нескольких метров и напряженностью электростатического поля порядка нескольких вольт на метр [6, 7]. Как следует из 2D-моделирования (напр., [7]), толщина такой заполненной частицами плазменной оболочки на освещенной стороне тела увеличивается к утреннему и вечернему терминаторам, где достигается наибольшая разность потенциалов (до ~300 V/m) электростатического поля, которое ускоряет движение самых мелких заряженных пылевых частиц настолько, что они покидают гравитационное поле астероида (напр., [5, 6]). Таким образом, электростатическое поле и солнечное радиационное давление на подсолнечной стороне активного астероида (наблюдаемой наземными оптическими методами) могут привести к образованию тонкой и относительно устойчивой ПЭ (с толщиной в пределах $\sim 10 \div 10^3$ м и оптической толщиной < 0.5), состоящей из частиц минимальных размеров (~0.01÷1.0 мкм) в виде близкого к поверхности плазменнопылевого слоя при условии, что скорость инжекции пылевых частиц в этот слой при сублимации льда Н2О превышает скорость их выброса электростатическим полем в области терминатора. Возможно, такой вывод подтверждается высотой подсвеченной Солнцем ПЭ сближающегося с Землей активного астероида 101955 Бенну (~25 м, согласно нашей оценке по изображению астероида из [8]), который изучался в 2018-2020 годы с помощью космического аппарата OSIRIS-REx.

Литература:

1. Busarev V. V. (2015) Icarus, 262, 44-57.

- 2. Бусарев В. В. и др. (2016) Астрон. вестн., 50, 300-312.
- 3. Busarev V.V. et al. (2021) Icarus, v. 369, 114634 (18 pp).
- 4. Петрова Е. В., Бусарев В. В. (2023) Астрон. вестн., 57, 166–180.
- 5. Nitter T., Havnes O. (1992) Earth, Moon, and Planets, 56, 7-34.
- 6. Lee P. (1996) Icarus, 124, 181-194.
- 7. Hartzell C.M. (2019) Icarus, 333, 234–242. (2D)
- 8. Lauretta D.S. et al. (2019) Science, 366, eaay3544.

1.5.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА ДВОЙНЫХ ТРАНСНЕПТУНОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Гусев В. Д., Кузнецов Э. Д. Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Поиск пар транснептуновых объектов (THO) на близких орбитах показал, что такие пары принадлежат к динамически холодным объектам пояса Койпера [1]. В этой области складываются благоприятные условия для сохранения тесных двойных систем ТНО [2], в то же время широкие двойные системы ТНО распадаются в результате сближений с другими объектами [3]. Сверхширокие двойные системы ТНО распадаются из-за длительного гравитационного взаимодействия с ТНО динамически холодного класса на интервалах времени порядка возраста Солнечной системы [4]. Таким образом, распад двойных ТНО является одним из механизмов формирования пар на близких орбитах. В настоящей работе исследуются условия распада двойных ТНО с целью определения начальных условий, соответствующих формированию пары.

Выполнено моделирование распада двойных ТНО массой от 10^{-14} до 10^{-10} масс Солнца при отношении масс компонент: 1:1, 1:2, 1:10, 1:25. Динамическая эволюция моделировалась в пакете NBI [5] с помощью симплектического интегратора на основе отображения типа Уиздома-Холмана для иерархических систем N-тел. По результатам численных экспериментов, представлены наиболее вероятностные сценарии распада при различных отношениях масс компонентов. Получены оценки относительных расстояний, скоростей компонентов и метрики Холшевникова [6], соответствующие моменту формирования пары ТНО на близких орбитах. В зависимости от отношения масс компонентов относительное расстояние может принимать значения от 1.2 до 2.2 радиусов сфер Хилла первичного компонента, а относительная скорость от 1 до 1.42 второй космической скорости относительно первичного компонента. Метрика Холшевникова сильно зависит от массы распадающейся системы, и принимает значения от около 5 до 400 км $^{1/2}$ (от около $0.4 \cdot 10^{-4}$ до $0.3 \cdot 10^{-2}$ а.е. $^{1/2}$).

- 1. Kuznetsov E. D., Al-Shiblawi O. M., Gusev V. D., Ustinov D. S. Pairs of Trans-Neptunian Objects with Close Orbits // 52nd Lunar and Planetary Science Conference: Lunar and Planetary Science Conference. 2021. P. 1859
- 2. Nesvorny David, Vokrouhlicky David. Binary survival in the outer solar system // Icarus. 2019. V. 331. P. 49-61
- 3. Campbell H. Stability and Formation of Ultra-Wide Kuiper Belt Binaries // AAS/Division of Dynamical Astronomy Meeting : AAS/Division of Dynamical Astronomy Meeting. 2021. V. 53. P. 501.04
- 4. Campbell H. M., Stone L., R., Kaib N. A. Close Trans-Neptunian Object Passages as a Driver of the Origin and Evolution of Ultrawide Kuiper Belt Binaries // The Astronomical Journal. V. 165. Id. 19. P. 11.
- 5. Varadi F., Ghil M., Kaula W. M. Mass-Weighted Symplectic Forms for the N-Body Problem // Celest. Mech. Dyn. Astr. 1997. V. 72. P. 187-199

6. Kholshevnikov K. V., Kokhirova G. I., Babadzhanov P. B., Khamroev U. H. Metrics in the space of orbits and their application to searching for celestial objects of common origin // Mon. Not. R. Astron. Soc. 2016. V. 462. P. 2275-2283

1.6.

ОЦЕНКА РОЛИ МАЛЫХ ЛЕДЯНЫХ ТЕЛ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНЕТ ПО КОСМОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Дорофеева В.А.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия

Экспериментальные исследования последних лет позволили выявить важные особенности состава ряда планет. Они свидетельствуют о том, что в процессе образования планеты аккрецировали вещество не только из ближних, но и из дальних регионов протопланетного околосолнечного диска. Большую роль при этом могли играть малые тела, содержавшие в своем составе помимо каменной и органической составляющих также льды. В докладе будет показано, как, основываясь на космохимических ограничениях, можно оценить состав и строение малых ледяных тел, определивших, в частности, соотношение компонентов в атмосферах Юпитера и Сатурна, а также привнесли летучие компоненты на Землю.

1.7. ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ МАЛЫХ ТЕЛ ВО ВНЕШНЕЙ ЧАСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Емельяненко В.В. Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Обсуждаются новые наблюдательные данные об объектах внешней части Солнечной системы и теоретические исследования динамики и происхождения этих объектов. Наиболее важными представляются открытия комет с перигелиями за орбитой Юпитера и далеких транснептуновых объектов. Новая информация о структуре населения внешней части Солнечной системы создает предпосылки для существенного улучшения модели формирования облака Оорта. Гравитационное взаимодействие малых тел на промежутке времени порядка возраста Солнечной системы может приводить к большим преобразованиям орбит объектов, расположенных далеко за орбитой Нептуна.

1.8. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРБИТ МАЛЫХ ТЕЛ В СБЛИЖЕНИЯХ С ПЛАНЕТАМИ

Емельяненко Н.Ю. Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Исследуются параметры орбит малых тел, приводящие к сближениям с планетами. Анализируются значения постоянной Тиссерана в сближениях модельных и наблюдаемых астероидов и комет.

1.9. НАБЛЮДЕНИЯ КОМЕТ В КУБАНСКОМ ГОСУНИВЕРСИТЕТЕ

Иванов А.Л. 1 , Иванов В.А. 1 , Курбатов Г.А. 1 , Лысенко В.Е. 1 , Воропаев В.А. 2 , Барабанов С.И. 3

1 — Кубанский госуниверситет, Астрофизическая обсерватория, Краснодар, Россия 2 — Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша 3 — Институт астрономии РАН, ЗНБ ИНСАН.

В Астрофизической обсерватории Кубанского госуниверситета проводятся наблюдения комет с целью получения астрометрических и фотометрических характеристик. Рассмотрен: состав комплекса, методика наблюдений и обработки изображений.

1.10. МИГРАЦИЯ ЭКЗОКОМЕТ В ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ ПРОКСИМА ЦЕНТАВРА И ТРАППИСТ 1

Ипатов С. И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

Изучалось движение планетезималей-экзокомет под гравитационным влиянием планет в экзопланетных системах Проксима Центавра и TRAPPIST 1. Массы обеих звезд составляют около 0.1 массы Солнца. Проксима Центавра имеет 3 планеты, причем самая большая планета с массой $7m_{\rm E}$ ($m_{\rm E}$ - масса Земли) движется на расстоянии 1.5 а.е. от звезды. TRAPPIST 1 имеет 7 планет, и самая дальняя планета находится всего в 0.06 а.е. от звезды. Массы этих 7 планет находятся между $0.3m_{\rm E}$ и $1.4m_{\rm E}$.

Размер зоны питания планеты Проксима Центавра c обсуждается в [1]. Было отмечено, что спустя сотни миллионов лет некоторые планетезимали все еще могли двигаться по эллиптическим резонансным орбитам (например, при резонансах 1:1, 5:4, 3:4) внутри зоны питания этой планеты, в основном очищенной от планетезималей. Около половины планетезималей из зоны питания были выброшены гиперболические орбиты. Был сделан вывод о том, что большая полуось орбиты планеты c могла уменьшиться не менее чем в 1.5 раза при аккумуляции этой планеты [2]. Зона питания планеты c располагалась за линией льда. Вероятность столкновения экзокометы-планетезимали, первоначально находившейся в зоне питания планеты c, с внутренней планетой b была получена равной примерно $2 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} при начальном эксцентриситете орбит планетезималей, равном 0.02 или 0.15 соответственно [2]. Приведенные выше значения вероятностей превышали вероятность столкновения с Землей планетезималей, мигрировавших из зоны планет-гигантов Солнечной системы. Последняя вероятность (на одну планетезималь) обычно была меньше 10⁻⁵ [3]. На планеты b и d может быть доставлено много ледяного материала и летучих веществ. Наклонения орбит 80% планетезималей, двигавшихся между 500 и 1200 а.е. (радиус Хилла) от звезды, не превышали 10°. Около 90% планетезималей, впервые достигших расстояния 500 а.е. от звезды, впервые достигли 1200 а.е. менее чем за 1 млн лет [4].

Результаты расчетов показали, что несколько планет в системе TRAPPIST-1 аккумулировали планетезимали, первоначально находившиеся на одинаковом расстоянии [5]. Столкновений планетезималей с родительской звездой не было. На гиперболические орбиты было выброшено не более 3% планетезималей. Часто выброса планетезималей из дисков у планет b - d не было. Более половины планетезималей из дисков у планет b - d столкнулись с планетами менее чем за 1000 лет, а для дисков b - d даже за 250 лет. Времена эволюции дисков планетезималей у планет b - h

варьировались от 12 тыс. до более чем 60 млн лет. Если вблизи орбит планет в системе TRAPPIST-1 на поздних стадиях аккумуляции планет было много планетезималей, то внешние слои соседних планет могут включать аналогичный материал. Для сравнения в [3] сделан вывод, что каждая планета земной группы аккумулировала в себя планетезимали из зон питания всех планет земной группы.

Работа была выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН.

Литература

- 1. Ипатов С.И. Устойчивые орбиты в зоне питания планеты Проксима Центавра с // Астрономический вестник. 2023, т. 57, N 3. C. 248-261.
- 2. Ipatov S.I. Delivery of icy planetesimals to inner planets in the Proxima Centauri planetary system // Meteoritics and Planetary Science. 2023. V. 58. P. 752-774.
- 3. Маров М.Я., Ипатов С.И. Процессы миграции в Солнечной системе и их роль в эволюции Земли и планет // Успехи физических наук. 2023, т. 193. N 1. C. 2-32.
- 4. Ипатов С.И. Движение планетезималей в сфере Хилла звезды Проксима Центавра // Астрономический вестник. 2023, т. 57, N 6, в печати.
- 5. Ipatov S.I. Mixing of planetesimals in the TRAPPIST-1 exoplanetary system // Thirteenth Moscow Solar System Symposium (13M-S3). 2022. 13MS3-EP-PS-02. P. 378-380.

1.11.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ФАЗОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ КОМЕТ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ И УЗКОПОЛОСНЫХ КОМЕТНЫХ ПОЛОСАХ

Н. Киселев¹, Е. Жужулина², Д. Петров², Н. Карпов¹

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

² Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, Республика Крым, Россия

Различные типы рассеивающих частиц (например, пылинки комет, реголитовые поверхности безатмосферных тел) различного состава и морфологии проявляют характерные поляризационные свойства рассеянного излучения. Как следствие, поляриметрические наблюдения могут предоставить ценную информацию о природе рассеивающих частиц и физических процессах, которые не могут быть получены из других видов наблюдения.

В настоящее время накоплен значительный наблюдательный материал по апертурной поляриметрии комет [1], включающий 3441 наблюдение линейной и круговой поляризации 95-ти комет, наблюдавшихся с 1881 до 2016 г. Используя существующую базу данных и большое количество новых наблюдений, полученных в 2018 - 2023 гг. на 2.6-м телескопе КрАО и на 2-м телескопе обсерватории Пик Терскол, мы построили синтетические фазовые зависимости поляризации долгои короткопериодических комет в широкополосных и узкополосных кометных полосах. Для определения параметров фазовых кривых (Pmin, amin, ainv, h, Pmax, amax) были использованы различные приближения, применение которых было критически проанализировано. В итоге, получены средние характеристики поляризации излучения атмосфер комет, что применимо для изучения их общих характеристик, классификации. особенностей отдельных выявления комет сопоставление со свойствами поляризованного излучения родственных объектов.

Литература

1. Kiselev N., Shubina E., Velichko S., Jockers K., Rosenbush V., Kikuchi S. (Eds.). 2017. Compilation of Comet Polarimetry from Published and Unpublished Sources, urn:nasa:pds:compil-comet:polarimetry::1.0, NASA Planetary Data System, 2017. https://pdssbn.astro.umd.edu/holdings/pds4-compil-comet:polarimetry-v1.0/SUPPORT/dataset.html)

1.12. НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ЗВЕЗДЫ СПУТНИКОМ НЕПТУНА ТРИТОНОМ В ОБСЕРВАТОРИИ САНГЛОХ

Кохирова Г. И. 1, Рахматуллаева Ф. Д. 1, Горшанов Д. Л. 2, Львов В. Н. 2, Девяткин А. В. 2, Латипов М. Н. 1

1 - Институт астрофизики НАН Таджикистана

2 - Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

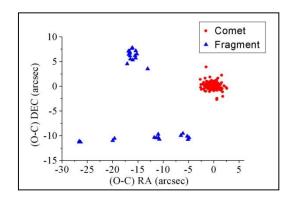
6 октября 2022 г. на телескопе Цейсс-1000 обсерватории Санглох были произведены оптические наблюдения покрытия звезды ТҮС 5254-00839-1 спутником Нептуна Тритоном. Построена кривая блеска звезды и выявлено, что участки спада и подъёма блеска имели конечную продолжительность от 15 до 24 секунд. Это, по-видимому, объясняется наличием атмосферы у Тритона. На кривой блеска этого явления выявлена «ступенька». которая может свидетельствовать 0 возможном присутствии слабого у покрываемой звезды тесного объекта. Определены высокоточные астрометрические координаты Тритона на средний момент покрытия.

1.13. ДИНАМИКА КОМЕТЫ 157Р/TRITTON И ЕЕ ФРАГМЕНТОВ

Кузнецов В.Б., Чернетенко Ю.А. Институт прикладной астрономии РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Комета 157Р/Тгіtton впервые наблюдалась в 1978 г. и было получено 11 наблюдений. Затем, до 2003 г., комета не наблюдалась, а с 2003 г. наблюдалась в каждом появлении. Всего получено 1673 наблюдения (на 1.06.2023 г. [1]). В появлении 2021–2023 гг. наблюдался фрагмент **b**, для него получено 30 наблюдений. Целью работы является определение момента времени разделения кометы и оценка скорости отделения фрагмента.

Был получен ряд орбит, объединяющих различные интервалы наблюдений. Учет негравитационного ускорения проводился по модели Марсдена [2]. Оказалось, что весь интервал наблюдений, 1978-2023 гг., представить одной орбитой не удается. Орбиты, полученные на интервалах 1978-2017, 2003-2017, 2009-2023, 2003-2023 показывают согласующиеся значения негравитационных параметров A_1 , A_2 , A_3 . На интервале 2015-2023 гг. произошло изменение знака A_2 , что может свидетельствовать об изменении состояния кометы, которое привело к ее фрагментации на интервале между 2017 и 2022 гг. На рис.1 слева показаны O-C кометы и фрагмента $\bf b$ относительно орбиты 2015-2023 гг.



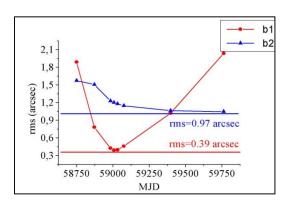


Рис.1. Слева — О—С в 2021—2023 гг. кометы и фрагмента относительно орбиты 2015—2023 гг. Справа — результаты варьирования момента отделения для фрагментов **b1** и **b2**.

Видно, что наблюдения фрагмента представляются двумя группами, а орбиты, для них полученные, различаются значительно. Поэтому было предположено, что фрагментов было два, **b1** и **b2**, и наблюдались они в разное время. Для оценки времени разделения на интервале 2019-2022 гг. фиксировалось несколько положений кометы и по наблюдениям фрагмента определялись поправки только к компонентам скорости фрагмента. Полученные при этом значения СКО сравнивались со значением СКО (0.39"), полученным при определении орбиты фрагмента. Для фрагментов **b1** и **b2** результаты варьирования показаны на рис. справа. Удалось найти момент времени, в который могло произойти отделение фрагмента **b1**, 6 июня 2020 г., и оценить изменение скорости фрагмента, как: 5.02 ± 0.07 м/сек. Для фрагмента **b2** определить таким способом момент разделения не удалось, как видно на рис., поэтому мы предположили, что отделение этого фрагмента также произошло 6 июня 2020 г. и изменение скорости в этом случае составило 0.86 ± 0.22 м/сек. Полученные значения скоростей отделения согласуются со значениями, полученными для ряда других комет [3]. Причиной изменения знака А2 и фрагментации кометы может быть столкновение с некоторым телом. Полученная нами примерная дата разделения, 6 июня 2020 г., находится между моментом сближения с Юпитером до 0.265 а.е. 10 февраля 2020 г. и прохождением через восходящий узел орбиты 13 августа 2020 г.

Литература:

- 1.https://minorplanetcenter.net//db_search
- 2. Marsden, B. G., Sekanina, Z., and Yeomans, D. K., Comets and nongravitational forces. V.// Astron. J. 1973. V. 78, P. 211–225.
- 3. Sekanina Z., The problem of split comets revisited//Astron.&Astrophys. 1997. V.318, P. L5-L8.

1.14.

ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА ПЯТИ ПАР ТРАНСНЕПТУНОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА БЛИЗКИХ ОРБИТАХ

Кузнецов Э.Д., Аль-Шиблави О.М., Гусев В.Д. Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

В работе [1] исследована динамическая эволюция 26 пар транснептуновых объектов (ТНО) на близких орбитах. Анализ метрик Холшевникова ρ_2 и ρ_5 позволил предположить, что эти пары ТНО могут быть молодыми. Исследование динамической эволюции этих пар на интервале времени 10 млн лет в прошлое не позволило однозначно установить их возраст. В настоящей работе для пар ТНО с минимальными расстояниями между орбитами выполнено исследование вероятностной эволюции на интервалах времени 10 и 200 млн лет. Элементы орбит ТНО были взяты из каталога Asteroids Dynamic Site — AstDyS (https://newton.spacedys.com/astdys/) на эпоху МЈD 59000 (31.05.2020). Для каждого ТНО генерировалось 1000 клонов в пределах ошибок определения элементов орбиты.

Численное моделирование выполнялось с помощью программы Orbit9, входящей в комплекс OrbFit (http://adams.dm.unipi.it/~orbmaint/orbfit/). При моделировании на интервале времени 10 млн лет в прошлое учитывались возмущения от восьми больших планет и карликовой планеты Плутон, на интервале 200 млн лет в прошлое учитывались возмущения только от четырех планет-гигантов. Для оценки возраста пар использовались два метода. В первом методе выполнялся анализ моментов низкоскоростных сближений клонов, относящихся к разным ТНО пары. Условия такого

сближения: расстояние между ТНО порядка радиуса сферы Хилла, относительная скорость ТНО порядка второй космической скорости относительно более массивного ТНО на расстоянии, равном относительному расстоянию между объектами. Во втором методе анализировались моменты времени достижения минимального значения метрики ρ_2 между клонами разных ТНО. Результаты приведены в таблице 1. Низкоскоростные сближения для рассматриваемых пар не зафиксированы. Полужирным шрифтом выделены наиболее вероятные оценки возраста пар на основе анализа минимальных значений метрики ρ_2 .

Таблица 1. Оценки возраста пар ТНО: t_1 – по сближениям ТНО, t_2 – по минимумам метрики ρ_2

Пара ТНО	10 млн лет		200 млн лет	
Tiapa TITO	t_1 , млн лет	t_2 , млн лет	t_1 , млн лет	t_2 , млн лет
1999 HV11 — 2015 VF172	2.9 ± 1.9	0.39 ± 0.13	91 ± 61	0.37 ± 0.17
2003 QL91 — 2015 VA173	4.5 ± 2.9	2.3 ± 2.2	45 ± 47	4.4 ± 1.1 145 ± 7 191 ± 8
2013 SD101 — 2015 VY170	1.2 ± 0.8	0.78 ± 0.78	4.2 ± 3.3 126 ± 22	0.20 ± 0.20 2.5 ± 0.4
2002 CY154 — 2005 EW318	1.2 ± 0.9	0.54 ± 0.52	84 ± 66	0.59 ± 0.55 104 ± 48
(88268) 2001 KK76 — 2015 GV58	1.0 ± 0.7	0.17 ± 0.11	106 ± 58	0.20 ± 0.15

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Литература:

1. Кузнецов Э.Д., Аль-Шиблави О.М., Гусев В.Д. Динамическая эволюция пар транснептуновых объектов // Астрономический вестник. 2022. Т. 56. №2. С. 132—144.

1.15. ОБЪЯСНЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ КОМЕТЫ 29P/SCHWASSMANN-WACHMANN 1. ГИПОТЕЗА О НАЛИЧИИ У КОМЕТЫ КРУПНЫХ СПУТНИКОВ

Медведев Ю.Д., Павлов С.Р. Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

Аномальную вспышечную активность кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1 мы объясняем наличием у кометы спутников, соприкасающихся с поверхностью ядра кометы в перицентрах своих орбит. Предполагается, что спутники движутся по вытянутым орбитам, и в результате столкновений с пылевым слоем ядра выбрасывается большое количество пыли, отражение от которой вызывает периодические вспышки яркости. В зависимости от глубины проникновения спутников в пылевой слой происходит увеличение яркости кометы различной интенсивности. Улучшение орбиты кометы с привлечением позиционных наблюдений позволяет определить преимущественное направление выброса вещества по смещению фотоцентра, которое мы интерпретируем как направление вектора скорости наибольшего спутника в перицентре.

Результаты математического моделирования выброса и последующего движения пылевых частиц, вызванного контактом спутника с пылевым слоем ядра кометы, объясняют образование наблюдаемых в коме структур: пылевых джетов и их

зеркальной симметрии, а также протяженность области выброса вещества с поверхности ядра кометы.

Литература:

1. БАА (British Astronomical Association): [Электронный ресурс] URL: https://britastro.org/section_information_/comet-section-overview/mission-29p-2 (Дата обращения 13.06.2023)

1.16. НЕГРАВИТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ДВИЖЕНИИ КОМЕТЫ 45 Р/ ХОНДА-МРКОС-ПАЙДУШАКОВА

Медведев Ю. Д., Павлов С. Р., Чернетенко Ю. А. ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Комета 45Р была обнаружена 3 декабря 1948 года японским астрономом Минору Хонда, чешским и словацким астрономами Антоном Мркос и Людмилой Пайдушакой. Комета динамически принадлежит семейству Юпитера и движется по слабо наклоненной орбите с периодом 5,25 года. Значение MOID (минимальное расстояние между орбитами) этой кометы с орбитой Земля 0.0604 а.е. делает возможным тесные сближения этой кометы с Землей. В появлениях 2011 и 2017 гг. произошло уникальное событие комета сблизилась с Землей в двух появлениях подряд: 14 августа 2011 г комета подошла к Земле на расстояние 0.06120 а.е., а 11 февраля 2017 г. на расстоянии 0.08319 а.е. Это позволило получить большое количество позиционных наблюдений этой кометы, а также радиолокационных наблюдений: измерений задержек и смещений Доплера. Это, в свою очередь, позволило более тщательно исследовать динамику кометы на интервале между сближениями, поскольку позиционные наблюдения и радиолокационные наблюдения сближения имеют пространственную точность. Попытки объединить общепринятой моделью наблюдения этой кометы, включающие моменты сближений в 2011 и 2017 гг., не привели к успеху. При представлении наблюдений единой орбитой присутствовали систематические уклонения. Не случайно, в каталоге JPL приводится две орбиты для этих наблюдений [1]. В докладе мы рассматриваем различные эффекты, которые могли бы объяснить эти систематические уклонения в О-С. Одними из них, по нашему мнению, являются изменения смещения фотоцентра кометы и отличие негравитационных ускорений до и после сближения с Землей. Рассматривается также возможность тесных сближений кометы в этот период с одним или несколькими астероидами главного пояса и их влияние на движение кометы.

Литература:

1. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology [Электронный ресурс]. URL: http://ssd.jpl.nasa.gov (дата обращения: 13.06.2023).

1.17. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ПОЛЯРИМЕТРА ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА ЦЕЙСС-1000

Николенко И.В., Аршинкин С.С. Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия

Ранее, для поляриметрических наблюдений на телескопе Цейсс-1000 (ИНАСАН) использовался прибор, где в качестве светоприёмника применялась ПЗС-камера ST-6. Для улучшения проведения наблюдений и последующей обработки данных был

разработан и сконструирован новый поляриметр, с применением штатных: камеры FLI 16803 и турели FLI CRW 3-10.

Новое изделие имеет компактные размеры, позволившие установить его внутри трубы телескопа и содержит:

- линейный поляризационный светофильтр диаметром 82 мм, который может вращаться и устанавливаться в три фиксированных положения, через 120 градусов;
- устройство ввода/вывода поляризационного светофильтра из светового пучка, позволяющее оперативно переходить от поляриметрических измерений к фотометрическим и обратно;
- дополнительное колесо, для сменных светофильтров (диаметром 60 мм) на четыре положения. В настоящее время используются три узкополосных светофильтра на длины волн 642, 662, 684 нм и свободное отверстие, для использования светофильтров турели FLI CRW 3-10.

Были проведены первые тестовые наблюдения. Планируется использовать этот поляриметр в качестве штатного оборудования телескопа Цейсс-1000.

Литература:

- 1. Поляриметр для наблюдения комет на телескопе Цейсс-1000 // И.А. Маслов, И.В. Николенко // Научные труды Института астрономии РАН. 2022. № 2 7. 129-131.
- 2. И.А. Маслов, С.В. Крючков, И.В. Николенко, В.А. Муницын, О.С. Угольников, Известия Крымской астрофизической обсерватории, 111, 34, 2015, URL https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25897247.
- 3. M. G. Hauser, T. Kelsall, D. Leisawitz, and J. Weiland, COBE Ref. Pub. No 98-A (Greenbelt, MD: NASA/GSFC), 1998
- 4. И.А. Маслов, Астрономический Циркуляр 1648, 2021, http://www.sai.msu.su/EAAS/AC/1601-/ac1648.pdf.
- 5. И.А. Маслов, Астрономический Циркуляр 1646, 2020, http://www.sai.msu.su/EAAS/AC/1601-/AC1646.pdf.

1.18.

ИСТОРИЯ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ И КОМЕТ В СИМЕИЗСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Николенко И.В., Крючков С.В., Аршинкин С.С. Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия

История Симеизской обсерватории, которая является частью ИНАСАН, перешагнувшая свой 100-летний юбилей, неразрывна связана с наблюдениями малых тел Солнечной системы. В статье приводится история наблюдений малых тел в разные периоды существования обсерватории [1-7].

- 1. Г.Н. Неуймин. Симеизское отделение Пулковской обсерватории за 25 лет. 1908-1923 г.
- 2. Б.М. Шустов, А.Д.Зенькович, Л.В. Рыхлова, С.К. Татевян Астросоветовские годы Симеизской обсерватории. Известия Крымской астрофизической обсерватории, №5, 2008.
- 3. И. В. Николенко, Д. И. Неяченко, А. Д. Зенкович. Поиск и наблюдения небесных тел в околоземном пространстве на телескопе Цейсс-1000 КрАО. / Космическая наука и технология. 2003. Т.9, № 2. С. 312 317.
- 4. И. В. Николенко, Е. Баканас, С. И. Барабанов, С. В. Крючков. Астрометрия и фотометрия малых планет Солнечной системы, сближающихся с орбитой Земли,

- в Симеизе. / В сб.: Околоземная астрономия 2009»: тр. конф. / Ред. Л.В. Рыхлова, В.В. Емельяненко, Е.С. Баканас. М: ГЕОС (2010), с. 257.
- 5. И. А. Маслов, И. В. Николенко, С. В. Крючков. Дифференциальная поляриметрия протяженных астрономических объектов / Известия КрАО, Т. 111, №1, 2015 г., с. 34-40.
- 6. С. И. Барабанов, И. М. Волков, Е. С. Баканас, И. В. Николенко Исследования астероида 348400 (2005 JF21) / В сб.: «Околоземная астрономия 2015»: тр. конф. / Ред. Б. М. Шустов, Л.В. Рыхлова, Е.С. Баканас. Москва (2015), с. 106-111.
- 7. Volkov, I. M.; Barabanov, S. I.; Nikolenko, I. V.; Kryuchkov, S. V.; Sergeev, A. V. Spectral observations and photometry of the near-Earth object (25916) 2001 CP44./ May 2019 (Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 49, no. 2, p. 301-306.

1.19.

СООТНОШЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ПОЛНОГО УГЛОВОГО МОМЕНТА СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТЕЛ

Новосадов Б. К.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

Представлено новое соотношение, связывающее кинетическую энергию системы взаимодействующих тел с полным угловым моментом системы. В данном соотношении кинетическая энергия разбивается на сумму кинетической энергии центра масс системы, энергии вращения системы как целого и энергии внутренних движений, которые характеризуются нулевым полным угловым моментом. Такое представление может быть полезно при анализе механики движения системы тел космического пространства.

1.20. К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Перов Н. И.^{1,2}

- 1 Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия
 - 2 ГАУК ЯО «Культурно-просветительский центр имени В.В. Терешковой», Ярославль, Россия

Обзор современных представлений о структуре, динамике и формировании планетных систем даётся в монографии [1]. Книга [2] посвящена динамике тел Солнечной системы. При образовании планетных систем важную роль играют процессы миграции тел [1, 2]. В работе [3] показано, что учёт магнитного поля позволяет установить распределение по большим полуосям планет r_n =0.21·3 $^{n/2}$ (n=1, 2...).

При введении сферы действия Солнца r_{max} относительно Галактики (r_{max} =50000 a.e.) на основании этой формулы можно прийти к выводу, что в Солнечной системе существует ещё 13 неоткрытых планет (полагая, что Солнце образовалось из материи, сконцентрированной в шаре радиусом r_S =0.21 a.e., а *неизвестные* планеты из соответствующих неоднородных концентрических шаров (слоев), с массой равной массе Меркурия, каждый — чтобы момент импульса Солнечной системы увеличился не более чем на 10%).

Рассмотрим процесс миграции малого тела в системе «звезда – электрически заряженное малое тело» с учётом притяжения звезды, светового давления, эффекта

Пойнтинга—Робертсона и магнитного поля. Уравнение плоского движения малого тела представим в виде

$$\ddot{r} = -G \bullet - (M_S - \frac{\pi R^2 q r_{SE}^2}{Gmc} -) \bullet \frac{x \textbf{\textit{i}} + y \textbf{\textit{j}}}{r^3} - \pi R^2 q r_{SE}^2 \bullet \frac{(2(x^2 \dot{x} + y x \dot{y}) - (x y \dot{y} - y^2 \dot{x})) \textbf{\textit{i}} + (2(x y \dot{x} + y^2 \dot{y}) + (x^2 \dot{y} - y x \dot{x})) \textbf{\textit{j}}}{mc^2 r^4} + \frac{e B_s R_s^3}{mr^3} (\dot{y} \textbf{\textit{i}} - \dot{x} \textbf{\textit{j}}).$$

В качестве примера примем следующие значения исходных величин: ${\bf r}$ гелиоцентрический радиус-вектор частицы, ${\bf x}$ и у – его компоненты, а ${\bf x'}$ и у – соответствующие компоненты скорости, ${\bf G}=6.674\cdot 10^{-11}{\rm m}^3/({\rm c}^2\cdot{\rm kr})$ – гравитационная постоянная, ${\bf M_S}=1.9891\cdot 10^{30}$ кг - масса Солнца, ${\bf q}=1360~({\rm BT/m}^2)$ – солнечная постоянная, ${\bf r}_{\rm SE}=149597870700~{\rm m}=1$ а.е. – 1 астрономическая единица, ${\bf R}_{\rm -}$ радиус сферической частицы, ${\bf m}$ – её масса, ${\bf c}$ – скорость света, ${\bf e}$ – электрический заряд частицы, ${\bf B}_{\rm S}$ – индукция магнитного поля на поверхности Солнца, ${\bf R}_{\rm S}$ – радиус Солнца, ${\bf i}$ и ${\bf j}$ – единичные векторы оси абсцисс и оси ординат гелиоцентрической системы координат, соответственно, ${\bf R}_{\rm S}=6.9551\cdot 10^8{\rm m}$. Допустим, ${\bf B}_{\rm S}=0.01{\rm Tл}$, ${\bf e}=1.6\cdot 10^{-3}{\rm K}$ л (заведомо завышенные значения), ${\bf R}=0.01~{\rm m}$, ${\bf m}=1.67\cdot 10^{-6}{\rm kr}$. Если единицы длины, массы и времени равны 1000 а.е., ${\bf M}_{\rm S}$ и 1.58805927·10¹¹ с, соответственно, то ${\bf G}=1$. Начальные условия (во введённых единицах измерений) положим равными: ${\bf x}_0=1$, ${\bf y}_0=1$, ${\bf x}'=-0.1$, ${\bf y}'=0.01$. Максимальный интервал времени интегрирования дифференциальных уравнений составлял 100 единиц времени (503236.36 тропических лет).

С учётом всех факторов, малое тело сближается с Солнцем до расстояния 9.8 а.е. (Puc1A). С учётом только гравитации, малое тело сближается с Солнцем до 7 а. е. (Puc.1B).

Таким образом, негравитационные силы могут оказывать заметное влияние на миграцию малых тел и, следовательно, на процесс происхождения планетных систем.

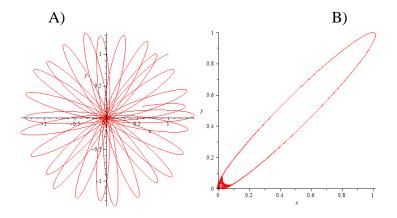


Рис 1. Миграция малого тела. А) Учёт гравитации, светового давления, эффекта Пойнтинга-Робертсона, магнитного поля. r_{min} =2 а.е. на интервале 96.7592<t<96.7628 единиц времени. В) Учёт только гравитации. r_{min} =7 а.е. на интервале 1.755<t<1.76 единиц времени.

- 1. Маров М.Я., Шевченко И.И. Экзопланеты. Экзопланетология / М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. 138 с.
- 2. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы / Перев с англ. под ред. И.И. Шевченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.—588 с. 3. Griv E. On the origin of the Solar system // Dynamics of populations of planetary systems / Eds. Knezevic Z. and Milani A. Proc. of the 197th Coll. of the IAU. Belgrade, Serbia and Montenegro. Aug. 31-Sept. 4. 2004. Cambridge University Press, 2005.

1.21. ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ЧАСТИЦ НА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМЕТЫ 29P/SCHWASSMANN-WACHMANN 1

Петров Д., Жужулина Е., Савушкин А. Крымская астрофизическая обсерватория, Республика Крым, Россия

Введение

Орбита кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1 полностью находится позади орбиты Юпитера, на расстоянии примерно 6 астрономических единиц. В результате эта комета доступна для наблюдений с Земли только в довольно узком диапазоне фазовых углов от 0 до 10 градусов. Особенностью кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1 является то, что время от времени она показывает увеличение блеска на 1-5 звёздных величин. При типичной яркости этой кометы от 16 до 19 зв.вел. всплеск яркости может увеличить ее яркость до 13 зв.вел., а в некоторых случаях и до 10 зв.вел., что соответствует более чем тысячекратному увеличению яркости.

В работе [1] было показано, что вспышки можно объяснить наличием у кометы одного или нескольких крупных спутников (более километра), с перицентрическим расстоянием орбиты, примерно равным радиусу ядра кометы и имеющим период вращения от 6 до 14 дней. Благодаря тому, что спутник при прохождении перигелия «трется» о поверхность кометы, он оставляет борозду на мягкой пыльной поверхности кометы и поднимает шлейф пыли по обе стороны от проведенной борозды.

Поляриметрические наблюдения кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1, произведённые на 2.6-м телескопе KpAO, показали, что у данной кометы может меняться не только яркость, но и степень линейной поляризации (см. рис.1). На данном рисунке показаны результаты наблюдений в широкополосном фильтре R. В других фильтрах видна аналогичная картина. На рисунке видно, что на фазовом угле \approx 8.3° степень поляризации может отличаться примерно в два раза. Этот наблюдательный факт требует объяснений.

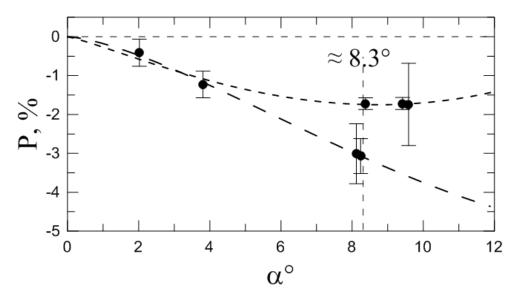


Рис.1. Фазовая зависимость степени линейной поляризации кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1. Штриховые линии представляют собой аппроксимацию тригонометрическим полиномом.

Модель частиц

Одним из возможных объяснений могут послужить морфологические изменения, происходящие с кометным веществом, которые, как было показано в работе [2], влияют

на изменение яркости кометы. Исходя из общих соображений, очевидно, что они должны становиться более «пушистыми», т. е. размер рассеивающей частицы должен увеличиваться за счет взаимного разделения составляющих ее фрагментов.

Для этого была разработана специальная модель, названная радиально-пористой фрактальной частицей. В ее основе лежит квазифрактальная частица, объединяющая иерархию шероховатостей на всех уровнях [3]. Примеры таких частиц показаны в левой части рис.2. Морфологические изменения таких частиц характеризуются параметром R/R_0 , где R — радиус сферы, описанной вокруг морфологически изменённой частицы, а R_0 — радиус сферы, описанной вокруг начальной частицы.

Результаты и выводы

Исходя из того, что частицы состоят из водяного льда, мы произвели компьютерное моделирование фазовой зависимости степени линейной поляризации для разных R_0 и R/R₀. Правая часть рисунка 2 показывает карту распределения степени линейной поляризации для фазового угла 8.3°. Из рисунка видно, что морфологические изменения структуры частиц влияют на степень линейной поляризации, начиная с размера частиц более 400 нм. Когда частица становится более «пушистой», величина возрастает. При этом степень линейной поляризации увеличивается по абсолютной величине и даже при больших величинах R/R₀ становится положительной.

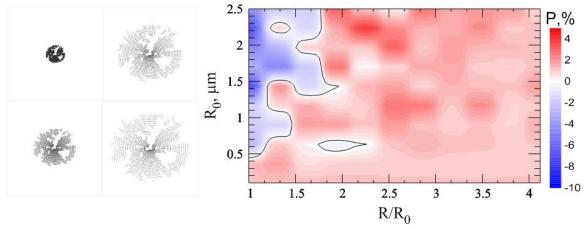


Рис. 2. Примеры радиально-пористых фрактальных частиц и карта степени поляризации рассеянного ими света.

В ходе наблюдений было обнаружено значительное отличие степени линейной поляризации кометы 29P/Schwassmann-Wachmann 1 на одном и том же фазовом угле в разное время наблюдений. Компьютерное моделирование показало, что эти изменения степени поляризации могут быть объяснены морфологическими изменениями внутренней структуры кометного вещества.

- 1. Medvedev Yu.D., Pavlov S.R. Explanations for Periodic Comet Flares 29P/Schwassmann-Wachmann 1 // Proceedings of the All-Russia scientific conference "The Multifaceted Universe: Theory and Observations 2022". 2022. p. 148.
- 2. Petrov D.V., Zhuzhulina E.A. Influence of the internal structure of dust on the light-scattering properties of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 // Proceedings of the "Thirteenth Moscow Solar System Symposium 2022", 2022, p. 285-286.
- 3. Petrov D.V., Zhuzhulina E.A. Polarization properties of quasi-fractal porous particles // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2022. V. 289, 108298.

1.22.

ВОЗМОЖНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «СПЕКТР-УФ» ПО ИЗУЧЕНИЮ КОМЕТ И ЭКЗОПЛАНЕТ

Сачков М. Е. Институт астрономии РАН, Москва, Россия

За более чем 50 летний период развития ультрафиолетовой астрономии в мире проведено большое количество кратковременных космических экспериментов и запущено около двух десятков орбитальных космических аппаратов (обсерваторий) для долговременных наблюдений объектов в УФ. Внимание исследователей к этому диапазону объясняется широким спектром возможностей, открывающимися перед учеными при использовании наблюдений Вселенной в ультрафиолете. Целью проекта «Спектр-УФ» является создание космической обсерватории, предназначенной для проведения наблюдений в вакуумном и ближнем УФ-диапазонах электромагнитного спектра (110–310 нм) для детального исследование отдельных астрономических объектов методами УФ-спектроскопии и построения высококачественных изображений на сравнительно малом поле зрения (до 10 угловых минут). Базовая программа проекта нацелена на решение ключевых научных задач, включающих исследование комет и экзопланет. В докладе будет представлена информация о состоянии дел по проекту и о перспективах развития УФ-астрономии в России и мире.

1.23. ВРАЩЕНИЕ КОМЕТНЫХ ЯДЕР И ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕГО СВОЙСТВА

Сидоренко В.В. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Введение. Вращение ядра оказывает существенное влияние на многие процессы, изучаемые специалистами по физике комет. Различные гипотезы о характере вращения ядра представляют обязательный элемент математических моделей, разрабатываемых для решения сложных баллистических и навигационных задач, возникающих при изучении комет с пролетающих космических аппаратов. Поэтому важно иметь адекватное представление о возможных параметрах вращательного движения кометных ядер и о физических факторах, определяющих его свойства.

Физические процессы, оказывающие влияние на вращение кометных ядер, подразделяются на постоянно действующие и спорадические. Главными факторами, действующими постоянно, являются реактивные моменты, возникающие при анизотропной сублимации вещества с поверхности ядра, и диссипация энергии при нестационарных деформациях ядра в том случае, когда направление оси вращения не совпадает с одной из главных осей инерции. К спорадическим факторам можно отнести, например, перераспределение вещества в кометном ядре на определенном этапе его эволюции и возможные столкновения с другими малыми небесными телами, не проводящие к разрушению ядра.

«Соревнование» диссипации и раскручивания ядра реактивными моментами. То, что сублимация вещества с поверхности кометного ядра создает реактивные моменты, оказывающие влияние на его вращение, отмечалось еще в классической работе Ф. Уиппла [1]. Действие реактивных моментов может привести кометное ядро в такое движение, в котором его вращение существенно отличается от свойственного большинству небесных тел вращению вокруг оси с наибольшим моментом инерции. В частности, у кометы Галлея продольная ось ядра образует

с вектором кинетического момента угол около 66°, тогда как при вращении вокруг оси наибольшим моментом инерции этот угол был бы равен 90° [3]. В [4,5] мы установили, какими параметрами определяется эволюция вращения кометных ядер. Как оказалось, важную роль играет распределение активных областей по поверхности ядра.

Кувыркание гасится диссипацией энергии при нестационарных вращениях деформируемого небесного тела. Трещины в материале ядра могут усилить диссипацию энергии и ускорить детамблинг.

Пример. В качестве примера такого соревнования можно рассмотреть вращение ядра кометы 19Р/Боррелли. Наблюдения этого ядра были проведены космическим аппаратом "Deep Space 1" в сентябре 2001 г. Как оказалось, активные зоны на поверхности ядра этой кометы расположены «неэффективным» образом для создания существенного реактивного момента. Поэтому внутренняя диссипация обеспечивает устойчивость вращения ядра вокруг оси с наибольшим моментом инерции.

Литература:

- 1. Samarasinha, N.H., Mueller, B.E.A., Belton, M.J.S., Jorda, L.: Rotation of cometary nuclei // COMETS-II, 2004, P.281-289.
- 2. Whipple, F.L.: A Comet Model. II. Physical Relations for Comets and Meteors // Astrophys. J., 1951, 113, P. 464-474.
- 3. Belton, M.J.S., Julian, W.H., Anderson, A.J., Mueller, B.E.A.: The spin state and homogeneity of comet Halley's nucleus // ICARUS, 1991, 93, P. 183-193.
- 4. Neishtadt, A.I., Scheeres, D.J., Sidorenko, V.V., Vasiliev, A.A.: Evolution of comet nucleus rotation // ICARUS, 2002, 157, P. 205-218.
- 5. Sidorenko, V.V., Scheeres, D.J., Sidorenko, V.V., Stooke, P.J., Vasiliev, A.A.: The influence of reactive torques on comet nucleus rotation //Cel. Mech. Dyn. Astron., 2003, 102, P. 133-147.

1.24.

КОМЕТА С/2017 K2 PANSTARRS: КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЕЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Филиппов Ю.П.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, Россия

В настоящей работе выполнен количественный анализ основных физических свойств долгопериодической кометы C/2017 K2 PANSTARRS. В работе дан краткий обзор основных понятий фотометрии небесных тел. Представлен вывод аналитического выражения для радиуса сферического ядра кометы в рамках фотометрического метода и выполнена оценка его значения (8.8 км). Отдельное внимание уделено трудности определения искомого радиуса у данной кометы с использованием указанного метода, в силу исключительно ранней активности её ядра на подходе к Солнцу.

С использованием модели мультикомпонентного сферического ядра и оптикогеометрического метода определения средней массовой плотности ядра кометы получены интервалы возможных значений для средней массовой плотности, массы и пористости ядра. Показано, что комета C/2017 K2 PANSTARRS обладает массивным ядром, размеры и плотность которого выше среднего, при этом имеющее достаточно высокую пористость.

С использованием усовершенствованной модели Виппла выполнена оценка массовых потерь ядра кометы, изменения его радиуса в течение одного сидерического периода её обращения. Сделана оценка оставшегося количества оборотов вокруг Солнца и времени её жизни.

Интервалы возможных значений для средней массовой плотности (ρ_N), пористости (C_N) и массы ядра (M_N) кометы C/2017 K2 PANSTARRS

Физическая	Минимальное	Максимальное	Среднее	
величина	значение	значение	значение	
ρn	622	767	688	
C _N	0.37	0.45	0.41	
М _N , ×10 ¹⁵ кг	1.78	2.19	1.96	

Численный анализ выполнен на примере монокомпонентного ядра из водяного льда. Продемонстрировано, что численные значения для массовых потерь ядра кометы C/2017 K2 PANSTARRS и изменения его радиуса выше, чем у других долгопериодических комет, что обусловлено большими размерами ядра и присутствием на его поверхности большого количества водяного льда.

Литература:

- 1. Whipple F. L. A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. Astrophysical Journal. 1950. V.111. p. 375-394.
- 2. Wainscoat R.J., Wells L., Micheli M., Sato H. Central Bureau Electronic Telegrams. 2017. 4393.
- 3. Meech J., et al. CO-Driven Activity in Comet C/2017 K2 (PANSTARRS) // The Astrophysical Journal Letters. 2017. 849(1). L8.
- 4. Jewitt D., Hui M.-T., Mutchler M., et al. A Comet Active Beyond the Crystallization Zone // The Astrophysical Journal Letters. 2017. 847(2). L19.
- 5. Филиппов Ю.П. Новый метод определения интервала допустимых значений средней массовой плотности ядра периодической кометы. Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета. 2018. №1(12). С. 19-31.
- 6. Филиппов Ю.П. Определение интервалов допустимых значений для средней массовой плотности ядер некоторых комет в рамках оптико-геометрического метода. V Всероссийская астрономическая конференция "Небо и Земля", посвященная 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. – Иркутск: ИГУ. – 2021. – С. 37-43.

1.25. НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ К МАЛЫМ ТЕЛАМ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

Шематович В. И. Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Малые тела Солнечной системы активно изучаются посредством как космических миссий, так и наземных средств наблюдений, так как представляют собой тела относительно небольшого размера, образовавшиеся на ранних стадиях эволюции Солнечной системы порядка 4,6 миллиарда лет тому назад. Они часто рассматриваются как носители важной информации о первичном веществе, вовлеченном в образование Солнечной системы. За последние три десятилетия наземные и космические наблюдения астероидов и комет, в сочетании с теоретическими и вычислительными работами, изменили наше понимание малых тел в Солнечной системе. Так, например, сейчас принято считать, что астероиды с диаметрами > ~200 м представляют собой «груды щебня»: гравитационно связанные, неконсолидированные фрагменты, которые возможно являются погасшими ядрами комет.

Собственно, исследование астероидов и комет в текущих космических миссиях определяется рядом причин: (а) представляют собой оставшиеся фрагменты со времени бурного формирования Солнечной системы; (б) они могут содержать ключи

к происхождению жизни – органическое вещество; (в) они могут содержать ценные материалы – редкие металлы и др.

В докладе обсуждаются ряд новых данных о физических свойствах малых тел в Солнечной системе, полученных в недавних космических миссиях к астероидам и кометам. Будет дан обзор важных и наиболее интересных результатов миссий КА JAXA Hayabusa-2 к астероиду Рюгу (1999 JU3 Ryugu) и КА NASA OSIRIS-REх к астероиду Бенну (101955 Bennu), КА NASA DART к двойному астероиду Дидим-Диморф. Результаты этих миссий дают ключи к пониманию как механизмов формирования и эволюции астероидов и комет как одних из самых ранних и сохранившихся почти в первозданном виде малых тел Солнечной системы, так и особенностей истории планеты Земля. Например, каковы химические и физические характеристики для сближающихся с Землей астероидов и комет и каков их астробиологический потенциал как носителей сложной абиотической органики в Солнечной системе.

1.26.

АСТЕРОИДЫ С ПРИЗНАКАМИ СУБЛИМАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ: ПОИСК, СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ

Щербина М. П. 1,2 , Бусарев В. В. 2,1 1 — Институт астрономии РАН, Москва, Россия 2 — ГАИШ МГУ, Москва, Россия

Поиски астероидов с так называемой кометоподобной, или сублимационно-пылевой активностью — достаточно актуальная задача последнего десятилетия [1, 2]. Причинами, вызывающими данный эффект, могут быть ударные события, высокая вероятность которых в Главном поясе астероидов подтверждается модельными расчетами [3], а также повышенная солнечная активность, приводящая к отрыву частиц реголита [4,5].

По результатам ряда наших работ [4,5,6,7] удалось обнаружить признаки сублимационной активности для 16 астероидов. В декабре 2021-феврале 2022 гг. в Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ были осуществлены UBVRI-фотометрические наблюдения астероидов, находящихся вблизи перигелийных расстояний. В результате были зарегистрированы значительные спектральные признаки активности 6 астероидов Главного пояса и ее слабые признаки еще у 5 объектов.

Для всех обнаруженных объектов в данной наблюдательной программе, а также выявленных ранее были проведены сравнения физических и динамических свойств. Необходимо отметить, что некоторые найденные астероиды с признаками активности принадлежат семействам Адеоны и Фемиды, активность которых была нами ранее установлена [4, 5]. Принадлежность активных астероидов к семействам, вероятно, является следствием разрушения их родительских тел с достаточно большим объемом ледяных залежей.

Установлена связь между наблюдаемыми признаками пылевой активности астероидов и солнечной активностью в периоды наблюдения. Сделан вывод, что проходящие ударные волны от солнечных корональных выбросов вещества усиливали квазиодновременную активность рассмотренных объектов.

- 1. Jewitt D. et al. The active asteroids //Asteroids IV. 2015. P. 221-241.
- 2. Jewitt D., Hsieh H.H. The Asteroid-Comet Continuum // Chapter for the book Comets III, edited by K. Meech and M. Combi, University of Arizona Press. arXiv preprint arXiv:2203.01397, 2022

- 3. Шустов Б.М., Золотарёв Р.В., Бусарев В.В., Щербина М.П. Ударные события как возможный механизм активации сублимационно-пылевой активности астероидов Главного пояса // Астрон. журн. 2022. Т. 99. № 11. С. 1058–1071.
- 4. Бусарев В.В., Щербина М.П., Барабанов С.И., Ирсмамбетова Т.Р., Кохирова Г.И., Хамроев У.Х., Хамитов И.М., Бикмаев И.Ф., Гумеров Р.И., Иртуганов Э.Н., Мельников С.С. Подтверждение сублимационной активности примитивных астероидов Главного пояса 779 Нины, 704 Интерамнии и 145 Адеоны и ее вероятные спектральные признаки у 51 Немаузы и 65 Цибелы // Астрон. вестн. 2019. Т. 53. № 4. С. 273–290.
- 5. Busarev V.V., Petrova E.V., Irsmambetova T.R., Shcherbina M.P., Barabanov S.I. Simultaneous sublimation activity of primitive asteroids including (24) Themis and (449) Hamburga: Spectral signs of an exosphere and the solar activity impact // Icarus. 2021. V. 369. id. 114634 (18 p.)
- 6. Busarev V.V., Makalkin A.B., Vilas F., Barabanov S.I., Scherbina M.P. New candidates for active asteroids: Main-belt (145) Adeona, (704) Interamnia, (779) Nina, (1474) Beira, and near-Earth (162173) Ryugu // Icarus. 2018. V. 304. P. 83–94.
- 7. Бусарев В.В., Савелова А.А., Щербина М.П., Барабанов С.И. Спектральные признаки одновременной сублимационной активности и появления пылевой экзосферы у 8 астероидов Главного пояса вблизи перигелия // Астрон. вестн. 2022. Т. 56. № 2. С. 92–108.

СЕКЦИЯ 2. МЕТЕОРОИДЫ, МЕТЕОРЫ, МЕТЕОРИТЫ

2.1.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛЕССИТА В ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТАХ НА МОРФОЛОГИЮ СИНТЕЗИРУЕМЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Бахмутова А. С. 1, Яковлев Г. А. 1, 1, Панкрушина Е. А. 1, 2, Гроховский В. И. 1 1 — Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

2 – Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

В настоящее время в метеоритах находят различные углеродные модификации, например, наноалмазы, фуллерены, углеродные нанотрубки [1, 2]. Исследователи предлагают модели формирования этих наноструктур, предполагают [2], что в роли катализаторов процессов их роста выступают железоникелевые сплавы, содержащиеся в метеоритах. Настоящее исследование посвящено изучению влияния структуры плессита в метеоритах на морфологию искусственно синтезируемых углеродных нанотрубок (УНТ). Синтез был проведён по известной технологии [3], и, хотя такие эксперименты не могут смоделировать процессы формирования существующих в метеоритах структур, они способны выявить базовые зависимости морфологии от структуры.

Для анализа и синтеза на образцах были выбраны и отмечены области, содержащие чёрный плессит с размером фаз <0,1 мкм в метеорите Сеймчан (палласит главной группы), дуплексный плессит с размером фаз 0,1-1 мкм в метеорите Чинге (ung, атаксит). Образцы были подготовлены по стандартной методике приготовления металлографических шлифов, затем подвергнуты травлению в 2 % растворе HNO_3 в C_2H_5OH в течение 5 минут. УНТ на поверхности образцов синтезировали на автоматизированной установке CVDomna, в реакционную зону которой подавалась парогазовая смесь, содержащая этанол и воздух. Процесс пиролиза проводился при температуре 550 °C и давлении 15 кПа в течение 10 минут. Охлаждение образца проводилось в разреженной атмосфере воздуха. Исследовали структуру УНТ с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100, растрового электронного микроскопа Zeiss SIGMA VP и рамановского спектрометра LabRam HR Evolution при длине волны возбуждения 514 нм.

В результате синтеза на поверхностях плессита в образцах были получены многослойные УНТ с внешним диаметром от 10 до 50 нм и внутренним диаметром от 5 до 15 нм, количество слоев составляло 30-40. Они были неупорядоченными и на концах трубок содержались частицы, послужившие зародышами для их формирования. Плессит в железных метеоритах представлен областями с разными размерами фаз и содержанием никеля [4], наибольшее количество УНТ было получено на плессите с минимальным размером фаз. По измеренным рамановским спектрам были выявлены полосы, свойственные многослойным УНТ, соответствующие полученным в работе [4]. Показано, что по степени графитизации они ближе к аморфному углероду [5]. По соотношению интенсивности пиков рассчитан размер кристаллического домена УНТ. Он составил 3 нм для дуплексного и 2 нм для чёрного плессита. Кроме того, ширина полос в рамановском спектре и интенсивность такова, что многослойные УНТ,

полученные на поверхности плессита с размером фаз <0,1 мкм (чёрный плессит в образце метеорита Сеймчан), однороднее, содержат меньше дефектов, чем МУНТ, полученные на поверхности дуплексного плессита в Чинге.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета в соответствии с программой "Приоритет-2030" и в рамках соглашения с Министерством науки и высшего образования № 075-03-2023-006 от 16.01.2023 (номер темы FEUZ-2023-0014).

2.2.

О НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТЕОРОИДА С АТМОСФЕРОЙ, СВЯЗАННОЙ С МОДЕЛЬЮ АБЛЯЦИИ

Брыкина И. Г., Егорова Л. А. Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Одним из основных процессов, которые необходимо учитывать при моделировании взаимодействия небесных тел с атмосферой, является их абляция, потеря большей части массы в результате сильного нагрева, плавления и испарения. Проблема моделирования абляции связана с недостаточностью данных о тепловом потоке и удельной теплоте абляции в метеорном диапазоне параметров, так как имеющиеся результаты численных и экспериментальных исследований этих характеристик получены в основном для скоростей, характерных для космических аппаратов, и поэтому большей частью не применимы для небесных тел, входящих в атмосферу с более высокими скоростями. В связи с этим, в литературе при решении уравнений метеорной физики коэффициент теплопередачи полагается постоянным, значение удельной теплоты абляции также полагается постоянным и, как правило, равным теплоте испарения обыкновенных хондритов. В данной работе при решении этих уравнений радиационная и конвективная составляющие теплового потока задаются с помощью полученных с использованием литературных данных аппроксимационных зависимостей от скорости, размера тела и плотности атмосферы, и вводится фактор неопределенности для учета неточности задания коэффициента теплопередачи при больших скоростях. Для эффективной теплоты абляции предложена зависимость от скорости полета, учитывающая изменение механизма уноса массы вдоль траектории по мере торможения метеороида и интерполирующая ее значения между теплотой испарения и теплотой плавления или шелушения. Задавались также принятые в литературе постоянные значения коэффициента теплопередачи и теплоты абляции. Путем численного решения уравнений метеорной физики при различных способах задания коэффициента теплопередачи и удельной теплоты абляции оценивается погрешность (разброс результатов) моделировании скорости, потери массы, траектории и энерговыделения крупного метеороида (или его фрагментов) в атмосфере, которая может достигаться из-за неточности модели абляции, при разных начальных скоростях, размерах и углах входа в атмосферу. Исследуется влияние начальных параметров на возможную погрешность моделирования.

2.3.

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ И ФАКТОРАХ СЛУЧАЙНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ПО МАССАМ ФРАГМЕНТОВ РАЗРУШЕННЫХ МЕТЕОРОИДОВ И АСТЕРОИДОВ

Брыкина И.Г., Егорова Л.А. Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Распределение фрагментов по массам является важной характеристикой разрушения небесных тел в космическом пространстве при столкновениях и в атмосфере Земли под действием аэродинамических сил. Оно описывается функцией кумулятивного числа фрагментов, для которой была выведена зависимость от безразмерной массы фрагмента (отнесенной к общей массе), массовой доли наибольшего фрагмента и свободного параметра – степенного индекса. Полученная формула применена для описания двух типов распределений по массам: неиспарившихся фрагментов разрушенных в атмосфере метеороидов и астероидов, выпавших на землю в виде метеоритов, и фрагментов тел (образцов метеоритов и земных материалов), разрушенных в ударных моделирующих фрагментацию экспериментах, астероидов космическом пространстве. Проводится сопоставление между распределениями метеоритов и распределениями, полученными в результате экспериментов. Оценен диапазон изменения степенного индекса для каждого типа разрушения. Выявлены некоторые закономерности в распределениях метеоритов на основе исследования двенадцати метеоритных дождей. Изучается влияние фактора случайности, связанного с неполнотой коллекции найденных метеоритов, иными словами, изучается вопрос, можно ли сделать вывод о распределении выпавших фрагментов в полной (идеальной) коллекции, характеризующей разрушение метеорного тела, на основе доступной неполной, случайной коллекции метеоритов. Обсуждается влияние другого фактора случайности, связанного с воспроизводимостью распределений фрагментов после разрушений при одних и тех же условиях. На основании данных более 170 экспериментов проведен анализ зависимости важного параметра разрушения – массовой доли наибольшего фрагмента – от удельной энергии удара. Для режима полного разрушения найдена с точностью до множителя 2 (фактор случайности) аппроксимация массовой доли максимального фрагмента в виде степенной зависимости от удельной энергии.

2.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ТРОИЛИТА ИЗ ОБЫКНОВЕННОГО ХОНДРИТА CALAMA 009

Дюндик С.С., Максимова Е.М., Наухацкий И.А. Физико-технический институт

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Троилит, FeS, минерал гексагональной кристаллической системы, является основным акцессорные минералом метеоритов разных типов. В настоящее время этот минерал привлекает большое внимание учёных своими уникальными свойствами и возможностью использования в спинтронике [1].

В настоящей работе методом рентгенофазового анализа исследовался минеральный состав фрагмента метеорита Calama 009 (L6, S3/4, W1/2), найденного в 2017 году в пустыне Чили метеоритной экспедицией Уральского федерального университета. Было установлено, что метеорит состоит из оливина (Fe,Mg) $_2$ SiO $_4$, плагиоклаза (Na,Ca,K,Al) $_2$, $_5$ [Si $_2$,O $_8$], энстатита Mg $_2$ Si $_2$ O $_6$, тэнита $_7$ -Fe(Ni,Co), камасита $_7$ -Fe(Ni,Co), хромита FeCr $_2$ O $_4$, гётита FeO(OH) и троилита FeS.

Дальнейшие структурные исследования проводились для троилита, выделенного методом магнитной сепарации из фрагмента метеорита Calama 009. Методом высокотемпературной рентгеновской дифрактометнии была изучена зависимость относительного изменения межплоскостного расстояния для основного пика троилита (114) от температуры, рис.1.

По графику видно наличие двух реперных точек около 100 ^оC и 300 ^оC, в которых меняется ход температурной зависимости. Известно, что при комнатной

температуре троилит, FeS, имеет пространственную группу симметрии $P\overline{6}2c$. При нагревании до $t \sim 140~^{0}C$ троилит превращается в ромбическую структуру типа MnP (Pnma) и постепенно перерастает в гексагональную структуру типа NiAs (P63/mmc) при $t \sim 340^{0}C$ [2].

Значения температур структурных переходов для троилита из исследуемого метеорита может отличаться от аналогичных температур троилита из других образцов, что может быть обусловлено различной степенью его нестехиометрии [2].

Детальное исследование теплового расширения фаз, из которых состоят метеориты, имеют важное значением при моделировании тепловой эволюции их родительских тел.

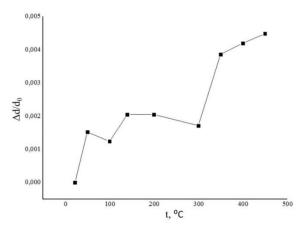


Рисунок 1. — Зависимость относительного межплоскостного расстояния для основного пика троилита от температуры

Литература

- 1. Ricci F., Bousquet E. Unveiling the Room-Temperature Magnetoelectricity of Troilite FeS // Physical Review Letters. 2016. V. 116. 227601.
- 2. Kruse O. Mössbauer and X-ray study of the effects of vacancy concentration in synthetic hexagonal pyrritites //American Mineralogist. 1990. V. 75. P. 755–763.

2.5. ИНДЕКС МАСС ДЛЯ ПОТОКОВ ПЕРСЕИД, ОРИОНИД И ГЕМИНИД

Ефремов В.В.¹, Попова О.П.¹, Карташова А.П.² 1- Институт динамики геосфер им. М.А. Садовского РАН, Москва, Россия 2- Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Одним из параметров, который используется для изучения эволюции метеорного вещества проводится в околоземном пространстве, является Индекс масс.

Предполагается, что кумулятивное распределение масс метеороидов описываются степенным законом распределения. Если предположить, что dN — это количество метеороидов с диапазоном масс от m до m+dm, то индекс масс s можно определить, как: $dN \propto m^{-s}d$ m.

Был проведен анализ индекса масс для метеорных потоков Персеид, Орионид и Геминид. В работе использовались данные Глобальной Метеорной Сети (GMN) (https://globalmeteornetwork.org/). Для расчетов были взяты данные для потоков Персеид и Орионид за 2019-2022 гг., для Геминид — 2018 г. Для каждого потока рассчитан индекс масс по фотометрической массе и по массе, которая получена по эмпирической

зависимости (от максимальной абсолютной звездной величины, угла и скорости входа метеороида).

2.6. ДИНАМИКА МЕТЕОРОИДНЫХ ПОТОКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ АСЗ

Золотарёв Р.В., Шустов Б.М. Институт астрономии РАН, Москва, Россия

В работе исследуются особенности происхождения и динамики метеороидных потоков астероидного происхождения. Рассматривается столкновение астероида, сближающегося с Землёй (АСЗ) с меньшим по размеру астероидом главного пояса (ГПА). Такой сценарий предполагается более вероятным, так как большинство АСЗ, в силу своего происхождения, пересекают ГПА, в котором существенно большая плотность объектов и, соответственно, выше вероятность столкновения.

Основываясь на теоретических и лабораторных исследованиях процесса столкновения [1], были получены распределения получающихся частиц по размерам и скорости (распределение по направлениям и зависимость скорости от массы частицы), а также оценка для массы выбрасываемого вещества. Полученные оценки согласуются с экспериментом DART [2]. На примере модельного астероида исследована динамическая эволюция метеороидного потока, формирующегося в результате столкновения. Рассматриваемый диапазон размеров частиц: 0.1 — 100 мм в диаметре. Динамика потока исследовалась при помощи численного интегрирования движения частиц в Солнечной системе с учётом гравитационных возмущений (давление излучения и эффект Пойтинга-Робертсона). и радиационных сил Использовался открытый код REBOUND [3].

Также как и в случае потоков кометного происхождения, после отделения от родительского тела, частицы «растягиваются» вдоль орбиты, постепенно формируя квази-кольцеобразную структуру. Как и следовало ожидать, негравитационные силы и эффект начальной скорости наиболее сильно влияют на более лёгкие частицы. Сближения с планетами делают структуру потока нерегулярной, «рваной». В отличие от метеороидных потоков кометного происхождения, где вещество регулярно добавляется в поток в результате кометной активности, при столкновениях выброс вещества происходит однократно. Вариации плотности в таких потоках сложно прогнозировать, так как время и место столкновения точно неизвестны.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант №22-12-00115

Литература:

- 1. A. Nakamura and A. Fujiwara. Velocity distribution of fragments formed in a simulated collisional disruption // Icarus. 1991. Vol. 92. P. 132
- 2. J.-Y. Li, M. Hirabayashi, T. L. Farnham et al. Ejecta from the DART-produced active asteroid Dimorphos // Nature. 2023. Vol. 616. No 7957. P. 425
- 3. H. Rein and S. F. Liu. REBOUND: an open-source multi-purpose N-body code for collisional dynamics // Astronomy and Astrophysics. 2012. Vol. 537. A128

2.7. ШИРОКОУГОЛЬНЫЕ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЯ ЯРКИХ ПЕРСЕИД В РЯЗАНИ

Ефимов А.В., Жабин В.С., Муртазов А.К. Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия Метеорный поток Персеиды является одним из самых наблюдаемых в мире. Метеороиды этого потока с блеском ярче $0^{\rm m}$ имеющие размеры от 1 мм и массу от $0.02~\Gamma$ являются опасными для космической техники и человека в околоземном пространстве.

Здесь представлены результаты ПЗС-мониторинга ярких метеоров в Персеидах в период с 2007 по 2023 г., которые проводились на обсерватории РГУ имени С.А. Есенина (λ =2^h 39^m, ϕ =54° 38′) и пункте наблюдений под Рязанью (λ =2^h 39^m, ϕ =54° 28′). Всего за этот период зарегистрировано около 400 ярких метеоров.

Для наблюдений использовалась камера Watec-902H с широкоугольным объективом Computar T2314FICS, дающие поле зрения 140°X100°. Регистрация осуществлялась программой SonotoCo. Проницающая способность системы составляет $2.5^{\rm m}$.

Результаты показали, что активность ярких метеоров в потоке достаточно близко совпадает с активностью всего потока по данным результатов визуальных наблюдений Международного метеорного общества. В период максимума их поток в среднем составил $F=(3,8\pm1,1)\cdot10^{-7}$ км $^{-2}$ с $^{-1}$, отношение к общему потоку всех метеоров 0,076. Среднее содержание ярких метеоров в потоке за 15 лет составило 0.052 \pm 0.008.

Среднее количество соударений опасных метеороидов с объектами в околоземном пространстве в период пика активности, характеризующее их опасность, составило R=0,4 \cdot 10 $^{-6}$ м $^{-2}$.

2.8. ОБМЕН МЕТЕОРИТАМИ МЕЖДУ ЗЕМЛЕЙ И ЛУНОЙ

Ипатов С. И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

Изучена эволюция орбит тел, выброшенных с Земли или Луны. В каждом варианте расчетов исследовалось движение 250 тел, выброшенных с Земли или Луны, при фиксированных значениях угла выброса $i_{\rm ej}$ (отсчитываемого от плоскости поверхности), скорости выброса vesc и шага интегрирования по времени. В разных вариантах значения угла выброса i_{ej} составляли 15° , 30° , 45° , 60° , 89° или 90° . Скорость $v_{\rm esc}$ тел, выброшенных из Земли, в основном равнялась 11.22, 11.5, 12, 14 или 16.4 км/с, но рассматривались и другие значения в диапазоне от 11.22 до 11.5 км/с. Для интегрирования уравнений движения использовался симплектический алгоритм из пакета интегрирования SWIFT [1]. Учитывалось гравитационное влияние Солнца и всех восьми планет. Из интегрирования исключались тела, которые столкнулись с планетами или Солнцем или достигли 2000 а.е. от Солнца. Рассматривался выброс тел из шести противоположных точек земной поверхности, а также из дальней (от Солнца) точки Луны для ряда значений скоростей и углов выброса тел. В рассмотренных вариантах расчетов движения тел, выброшенных с Земли, большая часть тел покидала сферу Хилла Земли и двигалась по гелиоцентрическим орбитам. Их динамическое время жизни достигало нескольких сотен миллионов лет. В [2] движение тел, выброшенных с Земли, изучалось в течение интервала времени, равного 30 тыс. лет, и рассматривались начальные скорости, перпендикулярные к поверхности Земли.

При более высоких скоростях выброса $v_{\rm esc}$ вероятности $p_{\rm E}$ и $p_{\rm M}$ столкновений тел с Землей и Луной в целом были ниже. На всем рассматриваемом интервале времени при $v_{\rm esc}$, равном 11.5, 12 и 14 км/с, значения $p_{\rm E}$ составляли примерно 0.3, 0.2 и 0.15–0.2 соответственно. При скоростях выброса $v_{\rm esc} \le 11.3$ км/с, т.е. немного превышающих параболическую скорость, большая часть выброшенных тел падала обратно на Землю. Вероятность $p_{\rm M}$ столкновения выброшенного с Земли тела с Луной была примерно в 15–35 раз меньше, чем с Землей при $v_{\rm esc} \ge 11.5$ км/с. Вероятность $p_{\rm M}$ столкновения тела

с Луной находилась в основном в районе 0.01-0.016 при $v_{\rm esc} \le 11.4$ км/с и 0.005-0.01 при $v_{\rm esc} \ge 12$ км/с. Тела, выброшенные с Земли, могли участвовать в формировании внешних слоев Луны. Тел, выброшенных с Земли и упавших на зародыш Луны, вероятно, было недостаточно для того, чтобы Луна выросла до своей нынешней массы из маленького зародыша, двигавшегося по нынешней орбите Луны. Этот результат свидетельствует в пользу образования вблизи Земли крупного лунного зародыша. Средние скорости столкновений выброшенных тел с Землей тем больше, чем больше скорость выброса. Значения этих скоростей составили около 13, 14-15, 14-16, 14-20, 14-25 км/с при скорости выброса, равной 11.3, 11.5, 12, 14 и 16.4 км/с соответственно. Скорости столкновений тел с Луной были выше при больших скоростях выброса и находились в основном в пределах 7–8, 10–12, 10–16 и 11–20 км/с при $v_{\rm esc}$, равном 11.3, 12, 14 и 16.4 км/с соответственно.

Вероятность $p_{\rm E}$ столкновения с Землей тела, выброшенного с Луны, в конце эволюции составляла около 0.3–0.32 при $v_{\rm esc}$ =2.5 км/с, 0.2–0.22 при $v_{\rm esc}$ =5 км/с и 0.1-0.14 при $12 \le v_{\rm esc} \le 16.4$ км/с, если бы Луна двигалась по своей современной орбите (с радиусом $r_{\rm ME}$, равным $60r_{\rm E}$, где $r_{\rm E}$ — радиус Земли). Поэтому при скоростях $v_{\rm esc}$, несколько превышающих параболическую скорость, значения $p_{\rm E}$ могли быть примерно одинаковыми для выброса с Земли и Луны, но при разных скоростях выброса, если учесть более низкие минимальные скорости тел, выбрасываемых с Луны. Тела, выброшенные с лунного зародыша, двигавшегося близко к Земле, падали обратно на Землю и Луну, если их начальная скорость была меньше соответствующей параболической скорости. При $v_{\rm esc}$ =2.5 км/с и $r_{\rm ME}$, равном $3r_{\rm E}$ или $5r_{\rm E}$, динамическое время жизни выброшенных тел было менее 5 сут. При $v_{\rm esc}$ =5 км/с и $r_{\rm ME}$ =5 $r_{\rm E}$ значение $p_{\rm E}$ составляло около 0.3 при рассматриваемых углах выброса $i_{\rm ej}$ от 30° до 89°.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект 21-17-00120.

2.9. МЕТОДЫ МЕТЕОРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Карташова А. П. Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

Метеорные тела (метеороиды) имеют размеры от 30 мкм до 1 м в диаметре [IAU, F1], поэтому они практически недоступны прямым наблюдениям даже в самые мощные телескопы. Единственный способ их регистрации состоит в наблюдениях этих частиц при взаимодействии с атмосферой Земли. Для метеорных наблюдений используют методы, позволяющие регистрировать различные свойства метеорных частиц. Оптические наблюдения проводятся при помощи фотографических и телевизионных камер. Кроме того, при взаимодействии метеороидов с атмосферой образуются ионизированные следы, могут возникать ударные волны и волны давления, которые приводят к формированию инфразвуковых сигналов. Эти явления можно регистрировать другими методами (радиолокацией, акустическими наблюдениями и др.). Каждый из этих методов имеет свою область применения, специфические особенности и результативность.

Наблюдения различного типа необходимы для решения широкого круга задач метеорной астрономии, среди которых можно упомянуть исследование притока метеорного вещества на Землю, изучение параметров метеорных потоков, выявление новых метеорных потоков, получение оценок массы и плотности метеорных частиц в каждом потоке и спорадическом фоне, проведение мониторинга распределения метеорного вещества в Солнечной системе как с целью обеспечения безопасности космических полетов, так и для снижения угрозы «астероидной» опасности.

В данной работе мы рассмотрим разные методы метеорных наблюдений и результаты исследований, полученные с их помощью.

2.10.

МЕТЕОРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ КАЗАНСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Коротышкин Д. В., Шерстюков О. Н., Валиуллин Ф. С. Институт Физики, Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия

Метеорные явления человек наблюдал давно. Яркие болиды всегда привлекали внимание людей. Но с развитием оптической техники, математического аппарата данные наблюдения стали регулярными и систематизированными. Развитие радиолокационного метода зондирования атмосферы позволило обнаруживать ионизированные следы, которые оставляют после себя метеоры, сгорая на высотах мезосферы — нижней термосферы Земли (70-110 км). Данный метод зарекомендовал себя альтернативным способом наблюдения за притоком метеорного вещества, так как данный метод работает круглые сутки 7 дней в неделю вне зависимости от погодных условий.

Развитие современных цифровых технологий и доступность вычислительной техники и элементной базы электронных компонентов позволило создать на базе метеорного радара Skiymet современный радиолокационный комплекс [1,2]. Данный комплекс позволяет обнаруживать и регистрировать радио эхо от ионизированных метеорных следов. В отличие от оптических наблюдений, где можно зарегистрировать до 100 метеорных явлений в час, метеорный наблюдения на модернизированном радаре КФУ дают от 600 до 10000 метеоров в час в зависимости от времени суток и сезона года. В среднем за год число суточных регистраций составляет порядка 45000 штук. Данные регистрации позволяют оценить ряд параметров метеоров:

- 1) угловые координаты (с точностью до долей градуса), пространственные координаты точки сгорания метеора в атмосфере (с точностью несколько сотен метров).
 - 2) видимая скорость метеорной частицы (с точностью порядка 0.1-5%).
 - 3) интенсивность отклика радиосигнала (аналог оптической яркости метеора).
 - 4) ряд других параметров, связанных с динамикой атмосферы.

Отличительной чертой метеорного радара КФУ является наличие длинных измерительных баз (максимальных расстояний между 12 приемными антеннами): 220х170 метров. Это своего рода «апертура» радара, которая позволяет накапливать больше сигнала на фоне атмосферных шумов и получать большую точность в определении угловых координат отражающих точек.

На основе анализа амплитуд и фаз отраженных радиоэхо от отдельного метеорного следа получаются оценки скоростей метеорных частиц. Скорости рассчитываются на основе адаптированного метода с использованием преобразования Френеля [3]. Оценки доступны для 60% имеющихся регистраций, что является уникальным результатом. Высокий процент оценок скоростей метеоров позволяет проводить улучшенную селекцию выборок при выделении метеорных потоков на фоне спорадических метеоров.

Последние разработки в области анализа метеорных следов позволили не только получить угловые и пространственные координаты метеорного следа в целом, но и определить угловые координаты отдельных частей этого следа для особо крупных метеорных частиц. Это позволило определить траекторию движения метеорной частицы в атмосфере и вычислить ее радиант. За сутки удается определить радиант по траектории более чем у 1000 метеоров.

Основные области применения метеорного радара: исследование метеорных потоков и спорадического метеорного фона. Метеорный радар позволяет:

- 1. Исследовать внутрисуточную и межсуточную изменчивость количества метеорных частиц метеорного потока.
- 2. Определять радиант метеорного потока статистическим образом по методу Джонса [4]. В случае достаточно сильных метеорных потоков, можно определять дрейф радианта внутри суток.
 - 3. Проводить оценки индексов масс метеоров [5,6].
- 4. Определять и отслеживать радианты спорадических источников в зависимости от времени года.
- 5. Сопоставление наблюдений на метеорном радаре и регистраций на видеокамеру.
 - 6. В некоторых случаях получать траекторию движениях метеорной частицы.

Таким образом, метеорный радар КФУ является уникальным в России инструментом исследования притока метеорного. В результате наблюдений накоплены данные о более чем 80 млн. метеорных отражений.

Работа Коротышкина Д.В. и Валиуллина Ф.С. финансировалась за счет субсидии Минобрнауки РФ FZSM-2023-0015, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Литература:

- 1. Hocking, W.K., Fuller B., Vandepeer B. Real-time Determination of Meteor-related Parameters Utilizing Modern Digital Technology// J. Atmos. Solar-Terr. Physics. 2001. Vol. 63. P.155-169.
- 2. Korotyshkin, D., Merzlyakov, E., Sherstyukov, O., Valiullin, F. Mesosphere/lower thermosphere wind regime parameters using a newly installed SKiYMET meteor radar at Kazan (56N, 49E) //Advances in Space Research. 2019. Vol. 63. Iss. 7. P. 2132-2143.
- 3. Elford, W.G. Radar observations of meteor trails, and their interpretation using Fresnel holography: a new tool in meteor science. Atmos. Chem. Phys. 2004. V. 4. P. 911–921.
- 4. Jones J. and Jones W. Meteor radiant activity mapping using single-station radar observations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2006. Vol. 367. N. 3. pp. 1050-1056.
- 5. McIntosh, B. A., Simek, M. Mass distribution of meteoroids as determined by radar observations of underdense meteor trails. 1969. Canadian Journal of Physics. V. 47, I.1.P. 7–22.
- 6. Pokorny, P., Brown, P. G. A reproducible method to determine the meteoroid mass index. 2016. Astronomy & Astrophysics. V. 592, A150.

2.11. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ

Муфтахетдинова Р. Ф., Гроховский В. И., Хотинов В. А. Уральский федеральный университет, Физико-технологический институт, Екатеринбург, Россия

Проблема исследования структуры и свойств материалов внеземного происхождения (метеориты и астероиды) в последнее время принимает особую актуальность в связи с осознанием кометно-астероидной опасности для Земли и изысканием возможностей ее предотвращения. Несомненно, характер разрушения при соударении в космическом пространстве и метеорных тел в земной атмосфере или при ударе о поверхность Земли определяется, прежде всего, их прочностными характеристиками [Адушкина и др., 2005]. Однако к настоящему моменту в научной литературе данные о механических свойствах метеоритов весьма ограничены [Petrovic, 2001], а исследования по влиянию состава и структуры метеоритного вещества на показатели прочности с позиций механики разрушения практически не проводилось. Более того, большая часть данных о механических характеристиках получена при испытаниях на сжатие образцов, и лишь несколько результатов относятся к механическим испытаниям на растяжение [Додд, 1986; Дж. Вуд, 1971].

В качестве материала для исследований использовано вещество железных метеоритов Чинге, Сеймчан, Сихотэ-Алинь, Дронино и сплав Fe-7.7Ni. Образцы были подготовлены по стандартной металлографической методике, используя механическую шлифовку и полировку. Травление проводилось 3%-ным раствором азотной кислоты в спирте. Для исследования микроструктуры применялись оптический микроскоп Axiovert 40 MAT и двулучевой электроно-ионный микроскоп ZEISS CrossBeam AURIGA. Испытания на растяжения проводились на современной универсальной серво-гидравлической разрывной машине INSTRON 3382.

Итак, проведены статические и динамические испытания вещества метеоритов различной природы и структуры, оценен вклад упругой и пластической деформации и определен характер разрушения. Установлено, что наибольшей ударной вязкостью среди исследованного вещества метеоритов обладают атакситы с субмикроскопической структурой – метеорит Чинге. Ударная вязкость составила 2210 кДж/м2 . Значительное влияние на разрушение оказывает наличие выделения фосфидов и сульфидов по границам макрозерен (метеориты Сихотэ-Алинь и Сеймчан). В этом случае на разрушение необходимо затратить энергии даже на порядок меньше, чем для разрушения каменного метеорита. Выявленные закономерности и особенности разрушения многофазных тел внеземного происхождения носят междисциплинарный фундаментальный характер.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Р Φ , научный проект, FEUZ-2023-0014.

Литература:

- 1. Катастрофические воздействия космических тел. / В.В. Адушкина и др.. М.: ИКЦ Академкнига, 2005. 310 с.
- 2. Petrovic J.J. Review Mechanical properties of meteorites and their constituents / J.J.Petrovic // Journal of material science. 2001. V. 36. P. 1579- 1583.
- 3. Додд Р.Т. Метеориты: Петрология и геохимия (Перевод с англ. А.В. Иванова). М.: Мир, 1986. 725 с.
- 4. Дж. Вуд. Метеориты и происхождение солнечной системы (Перевод с англ. А.Н. Симоненко). М.: Мир, 1971. 497 с.

2.12. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЕЩЕСТВО МЕТЕОРИТА

Петрова Е. В., Гроховский В. И. Уральский федеральный университет, Физико-технологический институт, Екатеринбург, Россия

В процессе своей эволюции, вещество метеоритов претерпевает воздействия различных экстремальных факторов – температуры, ударов, облучения, сверхвысоких скоростей и др. Некоторые из известных процессов преобразования вещества возможно моделировать экспериментально в лабораторных условиях. Данная работа посвящена обзору экспериментов с веществом в лаборатории Микроскопии материалов и метеоритов кафедры Физических методов и приборов контроля качества Физикотехнологического института УрФУ.

В качестве материала для исследований использовано вещество светлой литологии хондрита Челябинск LL5. С первых дней после падения этого метеорита, вещество было обнаружено и изучалось сотрудниками лаборатории EXTRA TERRA CONSORTIUM. Основные выводы о структуре вещества этого хондрита приведены в следующих публикациях [Popova et al., 2013; Galimov et al. 2013; Kohout et al., 2014; Badyukov et al. 2015; Morlok et al., 2017; Oshtrakh et al., 2016, 2019]. Реконструкция истории формирования вещества этого хондрита до его попадания в атмосферу Земли описаны в [Sharygin et al., 2015; Petrova et al., 2016; Reighter et al., 2017; Kaeter et al., 2018; Trieloff et al., 2018]. Кроме того, есть предположения, что темная литология хондрита Челябинск LL5 сформировалась в результате нагрева вещества светлой литологии. Экспериментальная проверка этой гипотезы была выполнена путем теплового, ударного и радиационного воздйствий в лабораторных условиях.

- 1. Были выполнены эксперименты по термическому воздействию нагрев серии образцов светлой литологии в электрической вакуумной печи SNVE-9/18 до температур 700–1500°C [Danilenko et al., 2019; Kruglikov et al., 2019], а также термический анализ образцов светлой и темной литологии [Petrova et al., 2017; Danilenko et al., 2018].
- 2. Эксперимент по нагружению сферически-сходящимися ударными волнами шара из вещества хондрита Челябинск был выполнен в ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр ВНИИТФ» им. Е.И. Забабахина (г. Снежинск) [Петрова и др. 2019; Grokhovsky et al., 2020; Kohout et al., 2020].
- 3. Эксперименты по ионной имплантации были выполнены с помощью ионного источника «Пульсар-М» в ИЭФ УрО РАН. В результате отмечено потемнение поверхности образцов [Панков и др., 2020].

Таким образом, в лабораторных условиях выполнено моделирование воздействий температуры, ударов и облучения на вещество хондрита Челябинск LL5 и зафиксированы изменения в его структуре и свойствах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Р Φ , научный проект, FEUZ-2023-0014.

- 1. Панков С.А., Петрова Е.В., Кругликов Н.А., Даниленко И.А., Нифонтов Р.В., Гроховский В.И., Гущина Н.В., Махинько Ф.Ф., Овчинников В.В. Изменение спектральных характеристик хондрита Челябинск после теплового и радиационного воздействия // Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2020. [Электронный ресурс]: тезисы докладов VII Международной молодежной научной конференции, посвященной 100-летию Уральского федерального университета, Екатеринбург, 18-22 мая 2020 г. С. 281-283.
- 2. Петрова Е. В., Гроховский В. И., Кохоут Т., Муфтахетдинова Р. Ф., Яковлев Г. А. Метеорит Челябинск после ударно-волнового эксперимента // Геохимия, 2019 Т. 64, №8, с. 859-868.
- 3. Badyukov D. D., Raitala J., Kostama P., Ignatiev A. V. Chelyabinsk Meteorite: Shock Metamorphism, Black Veins and Impact Melt Dikes, and the Hugoniot // Petrology. 2015. V. 23. P. 103–115.
- 4. Galimov, E.M., Kolotov, V.P., Nazarov, M.A. et al. Analytical results for the material of the Chelyabinsk meteorite. Geochem. Int. 2013, V. 51, P. 522–539.
- 5. Grokhovsky V. I., Muftakhetdinova R.F., Yakovlev G.A et al. Post-impact metamorphism of the Chelyabinsk meteorite in shock experiment // Planetary and Space Science, 2020. V. 192, 105050.
- 6. Danilenko I.A., Petrova E. V., Zamyatin D. A., and Grokhovsky V. I. Chromite crystals in experimentally heated Chelyabinsk LL5 meteorite // Meteoritics & Planetary Science 2018 Vol. 53, SI, A50.

- 7. Danilenko I. A., Petrova E. V., Yakovlev G. A., and Grokhovsky V. I. Experimental Modelling of the Thermal Effect on Chelyabinsk Meteorite // Meteoritics & Planetary Science 2019 Vol. 54, Issue S2, P. A82
- 8. Kaeter D., Ziemann M., A., Bottger U. et al. The Chelyabinsk meteorite: New insights from a comprehensive electron microscopy and Raman spectroscopy study with evidence for graphite in olivine of ordinary chondrites // Meteoritics & Planetary Science, 2018. Vol. 53, P. 416-432.
- 9. Kohout, T., Gritsevich M, Grokhovsky V. et al. Mineralogy, reflectance spectra, and physical properties of the Chelyabinsk LL5 chondrite Insight into shock-induced changesin asteroid regoliths // Icarus 2014. V. 228, P. 78-85.
- 10. Kohout T., Petrova E. V., Yakovlev G. A. et al. Experimental constraints on the ordinary chondrite shock darkening caused by asteroid collisions // Astronomy and Astrophysics, 2020, Vol. 639, Article A146
- 11. Kruglikov N. A., Danilenko I. A., Muftakhetdinova R. F., Petrova E.V., Grokhovsky V. I. Spectral Characteristics of the Meteoritic Material after the Modeling of Thermal and Shock Metamorphism // AIP Conference Proceedings 2019, 2174, 020227.
- 12. Morlok A., Bischoff A., Padzek M. et al. Chelyabinsk a rock with many different (stony) faces: An infrared study // Icarus. 2017, V. 284, P. 431-442.
- 13. Oshtrakh M. I., Maksimova A. A., Klenchar Z. et al. Study of Chelyabinsk LL5 meteorite fragments with different lithology using Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution // Journal of Radioanal and Nuclear Chemistry 2016. V. 308, P. 1003-1111.
- 14. Oshtrakh, M. I., Maksimova, A. A., Chukin, A. V. et al. Variability of Chelyabinsk Meteoroid Stones Studied by Mössbauer Spectroscopy and X-Ray Diffraction // Spectrochim. Acta, Part A: Molec. and Biomolec. Spectroscopy 2019, 219, P. 206-244.
- 15. Popova O.P, Jenniskens P., Emel'yanenko V., et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization //Science 2013. Nov 29; 342(6162) P. 1069-73.
- Petrova E.V., Grokhovsky V. I., and Muftakhetdinova R. F. Heat Treatment of the Different Structure Zones in the Chelyabinsk Meteorite // Meteoritics & Planetary Science 2016. Vol. 51, Nr. S1, A513
- 17. Petrova E. V., Maksimova A. A., Danilenko I. A., and Grokhovsky V. I. Thermal Effect on the Chelyabinsk LL5 Meteorite Texture // Meteoritics & Planetary Science 2017 Vol. 52, SI, A269
- 18. Righter, K., Abell P., Agresti D. et al. Mineralogy, petrology, chronology, and exposure history of the Chelyabinsk meteorite and parent body // Meteoritics & Planetary Science 2018. 50: 1790-1819.
- 19. Sharygin, V.V., Karmanov N., Podgornykh N. M. et al. Na-Fe-Phosphate Globules in Impact Metal-Troilite Associations of Chelyabinsk Meteorite // Meteoritics & Planetary Science 2015. V. 50, pp. 5274.
- 20. Trieloff M., Korochantseva E.V., Buikin A. I. et al. The Chelyabinsk meteorite: Thermal history and variable shock effects recorded by the 40Ar-39Ar system // Meteoritics & Planetary Science 2018. V. 53, P. 343-358.

2.13. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕДАВНИХ МЕСТ ПАДЕНИЯ МЕТЕОРОИДОВ НА МАРСЕ

Подобная Е., Попова О., Глазачев Д. Институт Динамики Геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, Москва, Россия

На Земле метеороиды размером 1-10 метров обычно наблюдаются во время короткого пролета через атмосферу; большая часть их массы остается в атмосфере из-за разрушения и абляции, в редких случаях их фрагменты находятся как метеориты.

На Марсе подобные объекты приводят к образованию кратеров и кратерных кластеров из-за разреженной марсианской атмосферы [1]. Плотность атмосферы у поверхности Марса соответствует примерно 30 км высоте в атмосфере Земли, таким образом, кратерные поля на Марсе позволяют изучать детали фрагментации, которые невозможно обнаружить в земных условиях. Свойства космических объектов оцениваются по наблюдательным данным при определенных предположениях и с не очень высокой точностью; изучение марсианских кластеров дает возможность независимо оценивать свойства метеороидов.

Ранее было предсказано, что метеороиды в марсианской атмосфере могут разрушаться и образовывать кратерные кластеры на поверхности планеты [2-3]. Такие свежие кластеры были обнаружены [4]. В настоящее время опубликованы подробные данные для более чем 1200 недавних датированных мест падения метеороидов [5-6]. Эти данные содержат информацию о размере и расположении кратеров в кластере. Новые данные постоянно публикуются проектом HiRISE, таким образом в нашем текущем каталоге дополнительно содержится около 650 новых мест падения метеороидов.

Ivanov et al. [7] предложили разделить места падения на 4 типа на основании имеющейся на тот момент небольшой статистики (около 20 случаев). Первый тип (Тип 0) объединяет одиночные и парные кратеры, а также кластеры с одним крупным кратером и несколькими (< 9) намного меньшими. Кластеры с крупным кратером, дополненным многочисленными мелкими (> 10), были выделены как Тип 1; другие кластеры были отнесены ко 2-му типу, а насыщенные кластеры (более 400 кратеров) были отмечены как 3-й тип.

В презентации предложенная классификация будет применена к существенно обновленному каталогу и будет обсуждаться ее применимость к расширенным данным. Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (проект № 23-27-00432).

- 1. Hartmann W.K., Daubar I.J., Popova O., Joseph Emily C.S. Martian cratering 12. Utilizing primary crater clusters to study crater populations and meteoroid properties // Meteoritics&Planetary Sci. 2018. V. 53, P. 672–686.
- 2. Popova O., Nemtchinov I., Hartmann W. Bolides in the present and past martian atmosphere and effects on cratering processes//Meteoritics&Planetary Sci. 2003. V. 38. P. 905-925.
- 3. Popova O., Hartmann W., Nemtchinov I.V., Richardson D.C., Berman D.C. Crater clusters on Mars: Shedding light on martian ejecta launch conditions // Icarus. 2007. V. 190. P. 50-73.
- 4. Malin M.C., Edgett K.S., Posiolova L.V., McColley S.M., Dobrea E.Z.N. Present-day impact cratering rate and contemporary gully activity on Mars // Science. 2006. V. 314. P. 1573-1577.
- 5. Daubar I.J., McEwen A.S., Byrne S., Kennedy M.R., Ivanov B. The current Martian cratering rate // Icarus. 2013. V. 225. P. 506-516.
- 6. Daubar I.J., Dundas C.M. and 16 coauthors. New Craters on Mars: An Updated Catalog // Journal of Geophysical Research (Planets). 2022. V. 127. e2021JE007145.
- 7. Ivanov B.A., Melosh H.J., McEwen A.S., HIRISE Team. Small impact crater clusters in high resolution HiRISE images // 39th LPSC. 2008. Abstract 1221.

2.14.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ АСТЕРОИДА 3200 ФАЭТОН И МОДЕЛЬНОГО ПОТОКА ГЕМИНИД

Рябова Г. О.

НИИ прикладной математики и механики Томского госуниверситета, Томск, Россия

В статье Battams et al. [1] опубликованной в конце 2022 года, описаны наблюдения пылевого следа, полученные с КА Parker Solar Probe. Этот пылевой след располагается вдоль орбиты астероида (3200) Фаэтон и со всей очевидностью является метеороидным потоком Геминид. Ключевым результатом исследования является то, что пылевой след, хотя и находится вблизи орбиты астероида, но отчётливо отделён от неё и расстояние возрастает как функция истинной аномалии. Причём он располагается с внешней стороны от орбиты астероида. Отсюда возникают вопросы: мог ли пылевой след эволюционировать после выброс из родительского тела? был ли вообще выброс произведён с орбиты Фаэтона (т.е. нынешней орбиты)?

В представленном докладе исследуется относительное положение модельного потока Геминид [2, 3] и его родительского астероида вдоль орбиты. Получено, что после 2000 лет эволюции орбита родительского тела всё ещё находится в потоке, хотя и смещена от центра потока. Это смещение действительно является функцией истинной аномалии, но ядро потока располагается внутри орбиты астероида, что можно было предсказать и без моделирования (воздействие эффекта Пойнтинга-Робертсона). Сравнение с данными наиболее точных наблюдений метеоров Геминид с Земли [4, 5] показало, что их орбиты отличаются от модельных, но вместе с тем они довольно тесно лежат вокруг орбиты родительского тела. Это не совпадает с заключением Battams et al., которое сделано на основе другой выборки наблюдений (CAMS), правда, не очень точной. Предварительный вывод Battams et al. таков: смещение потока скорее всего произошло в результате эволюции. Это не противоречит гипотезе Рябовой (выдвинутой и обоснованной во многих её работах) о том, что образование Геминид произошло в режиме катастрофы - с сильным изменением орбиты родительской кометы, позднее превратившейся в астероид. Другими словами, воздействовать могли оба фактора.

- 1. Battams K., Gutarra-Leon A. J., Gallagher B. M. et al. Continued PSP/WISPR observations of a Phaethon-related dust trail // ApJ. 2022. V. 936. Id. 81 (19 pp.).
- 2. Ryabova G.O. A preliminary numerical model of the Geminid meteoroid stream // MNRAS. 2016. V. 456. P. 78–84.
- 3. Ryabova G.O. On mean motion resonances in the Geminid meteoroid stream // Planet. Space Sci. 2022. V. 210. Id. 105378 (11 pp).
- 4. Koten P., Spurný P., Borovička J., Stork R. Catalogue of video meteor orbits. Part 1 // Publications of the Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences. 2003. V. 91. P. 1–32.
- 5. Borovička J., Spurný P., Shrbený L. Data on 824 fireballs observed by the digital cameras of the European Fireball Network in 2017–2018. II. Analysis of orbital and physical properties of centimeter-sized meteoroids // A&A. 2022. V. 667. Id. A158 (24 pp).

2.15. МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК АНДРОМЕДИДЫ

Сергиенко М. В., Нефедьев Ю. А. Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

В работе рассматривается малый метеорный поток Андромедиды и определяются его родственные связи с околоземными астероидами с помощью авторского синтетического метода.

Синтетический метод представляет собой совокупность критериев — это критерии определяющие расстояние между орбитами - D критерий Драммонда [1], метрика Холшевникова [2] и динамические критерии - постоянная Тиссерана [3], квазистационарные параметры μ и ν [4], а также долгота перигелия π орбиты метеоров.

Описание синтетического метода приведено в [5]. Метод подразумевает комплексный подход к осуществлению поиска родительского тела. Включает в себя определение значений порога для каждого из критериев синтетического метода, которые потом используются в интервальной оценке для выявления родственного родительского тела, и присвоение фактора по каждому из критериев для вычисления результирующего фактора, по которому определяется родственность двух тел. Метод применяется к каждому из метеорных телевизионных каталогов в отдельности. Метеорные орбиты отобраны из телевизионных каталогов метеорных орбит: Meteoroid Orbit Database v3.0, CAMS [6], EDMOND 5 v.04 Европейской метеорной сети [7] и каталог SonotaCo [8]. Орбиты астероидов Аполлонов выбираются из базы Jet Propulsion Laboratory [9].

Для метеорного потока Андромедиды выявлена связь с астероидами (2020 SR7), (2021 FD), (2009 WJ1), (2009 ST103), (2021 EN4), (2003 UQ25), (2009 TA1), (2004 GB2), (2016 UP36), (2016 FC14), (2021 SX3), (2012 EL5), (2015 VY105). Все астероиды проверены по критерию Саутворта-Хоккинса [10] и критерию Ашера [11] на связь между собой. Для каждого отождествленного астероида приводится результат интегрирования орбитальных элементов назад и вперед на период порядка пятисот лет.

Применение синтетического метода для исследование связи метеорного потока с околоземными астероидами повышает достоверность нахождения родственных связей для исследуемых объектов.

- 1. Drummond J.D. A test of comet and meteor shower associations # Icarus. 1981. Vol. 45. P. 545-553.
- Kholshevnikov K.V., Kokhirova G.I., Babadzhanov P.B., Khamroev U.H. Metrics in the space of orbits and their appication to searching for celestial objects of common origin // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2016. Vol. 462. Issue 2. P. 2275-2283.
- 3. Tisserand F. Traite de mecanique celeste // Paris: Gouthier-Villar. Vol. 4. P. 200.
- 4. Крамер Е.Н. Шестака И.С. Квазистационарные параметры малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. 1987. Т. 21. №1. С. 75-83.
- 5. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Kholshevnikov K.V. Multifactorial method of search for small bodies in close orbits // Astronomy reports. 2020. Vol. 64, Issue 12. P. 1087-1092.
- 6. URL: http://cams.seti.org/
- 7. URL: https://www.meteornews.net/edmond/edmond/edmond-database/
- 8. SonotaCo. A meteor shower catalog based on video observation in 2007-2008 // WGN, Journal of the International Meteor Organization. 2009. Vol. 37, P. 55–62
- 9. URL: http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi

- 10. Southworth R.B., Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smithsonian Contributions to Astrophysics. 1963. Vol. 7. P. 261-285.
- 11. Asher D. J., Clube S.V.M., Napier W.M., Steel D.I. Coherent catastrophism // Vistas in Astronomy. 1994. Vol. 38. P. 1-27.

2.16. МЕТЕОРОИДЫ АСТЕРОИДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОКП

Шустов Б. М. ¹, Золотарёв Р. В. ¹ 1– Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Метеороидные потоки — обычные и весьма многочисленные объекты в Солнечной системе. С практической точки зрения особый интерес представляют потоки, образующеся в результате распада объектов, сближающихся с Землей (ОСЗ) и проявляющиеся как метеорные потоки при входе в земную атмосферу.

Согласно [1] статистика метеорных потоков в Центре метеорных данных МАС на конец 2020 г включала 835 потоков, 112 из которых получили названия, официально признанные MAC. Среди метеорных потоков, уверенно ассоциированных с родительским телами (их несколько десятков), практически все такие потоки ассоциируются с кометами, несмотря на то что большинство ОСЗ – это астероиды (АСЗ). И все же происхождение некоторой (дискутируемой) доли метеороидных потоков, а также метеороидов, ответственных за спорадические метеоры, объясняется распадом АСЗ. Главная задача данной работы – оценить эту долю на основе выявления статистических закономерностей по результатам моделирования и эволюции метеороидных потоков астероидного происхождения [2].

Представлены следующие результаты:

- Темп производства метеороидов астероидного происхождения сравним или превышает темп производства метеороидов кометами.
- Темп входа метеороидов астероидного происхождения различного размера в ОКП сильно зависит от спектра масс метеороидов. Наибольшая сходимость с результатами наблюдений отмечается при спектре масс с индексом в пределах 1.7 2.0.
- По-видимому, большинство метеороидных потоков, проявляющихся как слабые метеорные потоки ($zhr < \sim 1$), имеют астероидное происхождение.

- 1. T. J. Jopek, G. I. Kokhirova, P. Jenniskens, D. Janches, M. Hajdukova, and R. Rudawska, IAU Meteor Data Center: the shower database, Izvestiya Natsional'noy Akademii Nauk Tadzhikistana. Otdeleniye Fiziko-Matematicheskikh I Khimicheskikh nauk, 2, 51 (2021)
- 2. Золотарёв Р.В., Шустов Б.М., Динамика метеороидных потоков, возникающих при столкновениях АСЗ, в данном издании

СЕКЦИЯ 3. ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

3.1. НОВЫЕ ДАННЫЕ О СЕМЬЕ БРЕДИХИНЫХ

Касаткина С. В.

Муниципальное казенное учреждение культуры "Заволжский городской художественно-краеведческий музей"

3.2. КОЛЛЕКЦИЯ А. С. ГОЛОВИНОЙ В СОБРАНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО МУЗЕЯ А.С. ПУШКИНА

Лукаш Н. В.

хранитель музейных предметов I категории Государственного музея А.С. Пушкина

3.3.

ИЗОБРЕТЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ В СРЕДНЕВЕКОВОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ: ВКЛАД АБУ МАХМУДА ХУДЖАНДИ

Рахматуллаева Ф. Дж. Институт астрофизики НАНТ, Душанбе, Таджикистан

Абу Махмуд Хамид ибн Хидр Ходжанди (известный как Абу Махмуд Худжанди), (Аль-Худжанди), был среднеазиатским астрономом и математиком таджикского происхождения, жившим в Х веке. Аль-Худжанди родился около 940-1000 гг. в городе Ходженте. Ходжент того времени был крупным и развитым центром Средней Азии с уже сложившейся традицией ремесленно-торговой и культурной жизни. жизни Абу Махмуда Худжанди совпадает с периодом правления государства Саманидов (825-999 гг.). В 994 году в городе Рей (город в Иране), при правления эмира Фахруддавла из династии Буидов, он обратил внимание на наблюдение за небесными светилами. Ему принадлежит изобретение и постройка астрономического инструмента - секстанта радиусом примерно 40 м, которым пользуются для определения точных положений планет и опорных звезд, появляющихся в зоне планет. Аль Худжанди считается учителем Абу Райхана Беруни. Абу Райхан Беруни в своей книге «Китаб-уттахдиди нихаят-иль-амокин ли тасех масофат-иль-масокин» назвал Аль-Худжанди выдающимся и уникальным ученым того времени в создании и изобретении астролябии и изобретении других астрономических инструментов. Аль-Худжанди принадлежит ряд работ по астрономии: «Книга о действиях с астролябией», «Книга об универсальном инструменте», «Книга тимпане горизонтов», «Книга o об определении наклона эклиптики», «Книга об уточнении склонения и широты местностей», «Книга об азимуте киблы».