Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 104, № 5, 113−118 (2008)

ИЗВЕСТИЯ
КРЫМСКОЙ
АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ

УДК 523.2

Исследования тел Солнечной системы и планет около звезд

В.В. Прокофьева-Михайловская

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
e-mail: prok@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 14 октября 2008 г.

Аннотация. Кратко описаны результаты исследований тел Солнечной системы и планетных систем около звезд, выполненные в НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”.

INVESTIGATIONS OF SOLAR SYSTEM BODIES AND STELLAR PLANETS, *by V.V. Prokofjeva-Mikhailovskaya.*

Ключевые слова: астероиды, спутники, планеты, планетные системы около звезд

1 Введение

Основное внимание уделено описанию исследований тел, входящих в Солнечную систему. К телам Солнечной системы относятся планеты, спутники планет, малые тела или астероиды, кометы и метеорные тела. В последние годы ведется активный поиск так называемых экзопланет, то есть внесолнечных планет.

2 Служба наблюдений и поисков малых планет

На протяжении многих десятилетий в НИИ “КрАО” ведется служба наблюдений и поисков малых планет Солнечной системы. Наблюдения были начаты Г.Н. Неуйминым в 1912 году вскоре после создания Симеизского отделения Пулковской обсерватории. В последующие годы в этой программе принимали участие С.И. Белявский, В.А. Альбицкий и П.Ф. Шайн. Наблюдения продолжались до 1953 г., исключая период с 1941 по 1947 гг., что было вызвано войной. Симеизская обсерватория по числу открываемых и занумерованных малых планет все эти годы занимала второе место среди участников международной службы малых планет: 148 из них получили постоянные номера и занесены в международный каталог малых планет.

В сентябре 1963 года регулярные наблюдения малых планет в НИИ “КрАО” возобновлены на двойном 40-см астрографе, установленном в поселке Научный. Ответственным за службу малых планет стал Николай Степанович Черных, который окончил аспирантуру Института теоретической астрономии АН СССР и был зачислен в штат НИИ “КрАО”. Под руководством Н.С. Черныха группой из трех сотрудников ИТА за тридцать лет:

- определено в общей сложности свыше 60 тыс. положений малых планет;
- открыто около 17 тысяч ненумерованных (неизвестных наблюдателю к моменту их обнаружения) астероидов;
- Международным центром зарегистрированы как открытые в НИИ “КрАО” 1286 новых малых планет, получивших постоянные номера (Черных, 2008).

В последнее время резко возрос интерес к астероидам, сближающимся с Землей. Наблюдения таких объектов требуют применения инструментов большей оптической мощи. Планы дальнейшего развития крымской программы наблюдений малых планет связаны с модернизацией 64-см телескопа системы Рихтера-Слефогта и оснащения его фотоэлектронной приемной системой − ПЗС-матрицей. Создана автоматизированная установка с ПЗС-камерой для наблюдений астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Она предназначена для участия в регулярных наблюдениях АСЗ в рамках международной программы Spaceguard Survey. Наблюдениями космического мусора сейчас занимается сотрудник КрАО В.В. Румянцев.

Организация службы наблюдений и поисков малых планет дала незапланированный выход: сотрудниками КрАО и ИТА были открыты новые кометы, получившие их имена. Например, комета Смирновой-Черных 1975YII, Черных 1978 IY и др.

3 Исследования физических характеристик астероидов

Для исследования физических характеристик астероидов в НИИ “КрАО” на нескольких телескопах ведутся фотометрические, колориметрические и поляризационные наблюдения. Определяются размеры астероидов, периоды их вращения, характеристики поверхности, выявляется двойственность (В.В. Прокофьева, Л.Г. Карачкина, В.В. Бочков, Н.М. Гафтонюк, А.Н. Рублевский).

3.1 Открытия спутников у астероидов.

Исследование двойственной и более сложной структуры астероидов ведется в НИИ “КрАО” под руководством В.В. Прокофьевой с 1992 г. С этой целью на цифровом телевизионном комплексе 0.5-метрового телескопа МТМ-500 систематически измеряется блеск избранных астероидов в фотометрических полосах B, V, R Джонсона-Моргана. Частотный анализ одновременных наблюдений в трех полосах B, V и R позволяет определить периоды вращения компонент астероида и выявить наличие спутников. Анализ наблюдений позволяет исследовать такие тонкие эффекты вращения астероидов, как прецессия оси их вращения или орбиты спутника.

Фотометрические V-наблюдения астероида Сильвия позволили обнаружить два периода, кроме известного ранее периода 0.215985 суток. Наличие этих периодов было подтверждено анализом показателей цвета B-V и V-R. Астероид оказался тесной парой, а сейчас около него известно присутствие еще двух небольших тел, одно из которых было предсказано крымскими учеными. Анализ многочисленных наблюдений астероида 423 Диотима дал возможность обнаружить его двойственность и предложить модель двух тел, имеющих размеры 200 км и 80 км. Спутник, как и наша Луна, повернут к главному телу практически одной стороной. Прецессия оси вращения выявлена у астероида 1620 Географ, что позволило сделать предположение о наличии у него небольшого спутника. Типичным представителем двойной астероидной системы, в которой два тела вращаются относительно общего центра тяжести, почти касаясь друг друга, является астероид 4179 Тоутатис. Астероид 21 Лютеция согласно результатам анализа одновременных наблюдений, полученных в полосах B, V, R, является сложной спутниковой системой (Прокофьева-Михайловская, 2009).

Направление исследований двойных астероидов, начатое и проводимое сейчас в НИИ “КрАО”, было подтверждено открытием спутника Дактиль у астероида Ида, снимки которого были получены с борта космического аппарата “Галилей” в феврале 1994 г. За цикл работ “Спутники астероидов” В.В. Прокофьева в 1996 г. была награждена премией им. Н.П. Барабашова Президиума национальной Академии наук Украины. Последнее десятилетие в астрономии ознаменовалось многочисленными открытиями двойных астероидов, число которых уже около 200. Известно несколько тройных систем.

3.2 Обнаружение астероидов в метеорных потоках

По результатам наблюдений 1997−2003 годов, проведенных на горе Кошка Институтом астрономии РАН, вблизи радиантов метеорных потоков Персеиды, Гемениды, Тауриды обнаружено около тридцати объектов метрового и декаметрового размера. Таким образом, впервые надежно выявлено существование нового класса объектов в метеорных потоках и получена оценка доли в них таких объектов. В работах участвовали сотрудники НИИ “КрАО” И.В. Николенко, Д.И. Неяченко и А.Д. Зенькович.

3.3 Обнаружение YORP-эффекта

Впервые в мире в 2007 г. обнаружено ускорение вращения астероида, которое вызвано световым давлением солнечного излучения. Это сделано по наблюдениям астероида 1862 Apollo, полученным Н.М. Гафтонюк на 1-метровом телескопе в Симеизе и наблюдениям других авторов. В 2008 г. такой же эффект был открыт с участием Н.М. Гафтонюк у астероида 1620 Географ. Для анализа использовались 89 кривых блеска. Интервал наблюдений охватил 39 лет. Полученное ускорение скорости вращения составило $(1.1 \pm 0.3) \times 10^{-8}$ рад/сут, что согласуется с теоретической оценкой, равной 1.5×10^{-8} рад/сут.

3.4 Оценка размеров пятен на поверхностях астероидов

Под руководством В.В. Прокофьевой в настоящее время разработана и используется методика дистанционного определения размеров пятен на поверхностях астероидов. Частотный анализ эквивалентных ширин полосы поглощения гидросиликатов, расположенной на длинах волн 410−450 нм, в спектрах астероида 21 Лютеция и 4 Веста, позволил обнаружить детали различных размеров. Наиболее характерные размеры оказались небольшими. На основании этого сделан вывод об их недавнем появлении на поверхностях этих астероидов, прошедших стадию магматического плавления. Созданная методика позволяет получить новую информацию, связанную с вариациями на поверхностях тел химико-минерального состава, а также может быть использована для изучения космогонических процессов во всей Солнечной системе. Кроме того, она дает информацию для создания средств защиты Земли от столкновения с опасным астероидом.

4 Образование спутников планет и астероидов

Под руководством Н.Н. Горькавого с помощью исследования свыше миллиона траекторий частиц в гравитационном поле Солнца и планеты удалось построить модель формирования спутниковых систем Юпитера, Сатурна и Нептуна, которая с единых позиций и вполне логично объяснила причины формирования всех прямых и обратных спутников этих систем. Предсказанные спутники были открыты.

Н.Н. Горькавым с соавторами разработана модель образования спутников у астероидов: при бомбардировке астероида микрометеороидами выбитое с его поверхности вещество накапливается в протоспутниковом облаке, где и образуется спутник. С целью проверки гипотезы проведен сравнительный анализ скоростей вращения одиночных и двойных астероидов. Показано, что величины разностей средних скоростей вращения одиночных астероидов и главных тел двойных астероидов составляют 2.05 об/сут и 6.56 об/сут для астероидов главного пояса и АСЗ соответственно. Эти значения превосходят ошибки их вычисления в 9 и более раз. Таким образом проведенный анализ подтвердил наличие следствия, вытекающего из теории Н.Н. Горькавого. Им получены теоретические оценки эффективности уменьшения массы

астероидного пояса за счет уноса вещества в межзвездное пространство из-за гравитационного влияния Юпитера. Механизм может объяснить образование пояса и уменьшение его массы.

5 Исследования Луны

Н.А. Козырев сделал в 1955 г. вывод об отсутствии магнитного поля у Луны на основе наблюдения люминисценции системы кратера Аристарх. Это было подтверждено в 1959 г. после запуска к Луне первых автоматических станций

В 1958 г. Н.А. Козырев, наблюдая на 50-дюймовом телескопе НИИ "КрАО", впервые получил спектрограммы лунного кратера Альфонс, свидетельствующие о выходе газа из центральной горки кратера и о вулканических явлениях на Луне. Впоследствии его наблюдения были подтверждены.

Н.Н. Горькавый выдвинул и теоретически обосновал модель образования спутников земноподобных планет, соединившую достоинства теорий Рускол-Сафронова и мегаимпакта и исключившую их недостатки. По новой модели Луна выросла из аккреционного диска, но вещество в него было доставлено из земной коры благодаря частым ударам о нашу планету астероидных тел диаметром 10−100 км (Горькавый, 2007).

6 Исследования Венеры, Сатурна, Марса и Юпитера

Венера. На основе спектральных наблюдений Н.А. Козырева в КрАО (1953 г.) обнаружен азот в ее атмосфере в виде молекул, что было подтверждено прямыми измерениями при помощи аппаратов АМС "Венера-5", "Венера-6" в 1969 г.

Сатурн. В 1968 г. Н.А. Козырев обнаружил присутствие водяного пара в кольцах Сатурна и объяснил его появление влиянием "фотовозгонки", то есть разрушения солнечным излучением кристаллической решетки льда. Вначале данная интерпретация встретила возражения Д. Койпера и Д. Крикшенка, которые объясняли подобные наблюдения наличием в кольцах Сатурна аммиачного льда, но в 1970 г. они признали интерпретацию Козырева.

Марс. В 1971 г. В.В. Прокофьева объяснила эффект усиления контрастов на поверхности Марса (известный в течение многих лет как эффект "синих прояснений") возникновением пылевых образований над его "материками", что было подтверждено наблюдениями с космических аппаратов "Маринер-6" и "Маринер-7" и сейчас является общепринятым.

Юпитер. Теоретические исследования Н.А. Козырева, посвященные внутреннему строению Юпитера, показали возможность высокой температуры в его центре и наличие существенного теплового потока из его недр (1951 г.). Такой поток был зарегистрирован американскими АМС "Пионер-10" и "Пионер-11" в 1973 г.

7 Исследования эффектов, вызванных падением кометы Шумейкер-Леви 9 на Юпитер

Падение фрагментов кометы Шумейкер-Леви 9 на Юпитер в 1994 г. дало возможность впервые наблюдать и изучать эффекты, связанные со взрывами кометных тел в атмосфере планеты. В НИИ "КрАО" для наблюдений эффектов падения осколков кометы на Юпитер на телескопе МТМ-500 была собрана аппаратура, обеспечивающая одновременные спектральные и фотометрические наблюдения Юпитера. С ее помощью были проведены наблюдения спектров деталей Юпитера и получены фотометрические разрезы диска Юпитера, на которых были зарегистрированы яркие образования над краем планеты.

Изучение спектров показало сильную и быструю переменность как в интенсивностях известных линий и полос атмосферы Юпитера, так и в появлении отдельных спектральных особенностей, вызванных взрывами кометных тел (Прокофьева, Таращук, 1996). Последние обычно

наблюдаются в кометах при их приближении к Солнцу. Перед падением на Юпитер комплекса фрагмента Q было обнаружено появление высокоскоростных натриевых облаков, находящихся на расстояниях 4−5 радиусов Юпитера от его центра и быстро меняющих яркость. Было сделано предположение, что высокоскоростные облака натрия возникали в результате ионизации кометного натрия в токовых трубках в магнитосфере Юпитера, ускорения образовавшихся ионов и их последующей рекомбинации (Прокофьева и др., 2001).

Таким образом, исследования процессов, возникших при падении на Юпитер осколков кометы Шумейкер-Леви 9, позволило получить новые научные данные о свойствах межпланетного вещества.

8 Планетные кольца

На горе Кошка группой под руководством Н.Н. Горькавого были исследованы причины возникновения планетных колец, процессы роста и разрушения сталкивающихся снежных частиц внутри колец Сатурна, механизмы возникновения расслоения колец, а также открыты новые гидродинамические неустойчивости в планетных кольцах.

В результате многолетних исследований крымских астрономов в сотрудничестве с московскими учеными в 1994 г. появилась книга “Физика планетных колец” (Горькавый, Фридман, 1994), впервые содержащая описание и теории динамических феноменов систем планетных колец. Английское издание книги вышло в 1999 г. в издательстве Springer. Благодаря исследованию колец Урана удалось точно предсказать орбиты 5 спутников Урана, которые “Вояджер−2” открыл через полгода. Крымским астрономам удалось построить полную динамическую модель арок Нептуна, которые, как предсказывали ученые, должны быть набором вихрей из крупных тел. Десятка полтора таких вихрей, нанизанных бусинками на прозрачное непрерывное колечко Адамса, и были обнаружены впоследствии при тщательном исследовании фотографий “Вояджера”.

9 Исследование динамики межпланетной пыли

Развит новый кинетический подход для исследования динамики межпланетной пыли с учетом различных эффектов: Пойнтинга-Робертсона, испарения частиц, резонансного захвата дрейфующих частиц планетами и гравитационного рассеяния на планетах. Подход базируется на новых аналитических и численных решениях, полученных Н.Н. Горькавым и Т.А. Тайдаковой в соавторстве с американскими астрономами Л.Озерным и Дж. Мазером. Новый метод позволил рассчитать первую физическую трехмерную модель облака межпланетной (зодиакальной) пыли для частиц из астероидного пояса, комет и транснептунианских объектов. Это позволило с точностью нескольких процентов вычислять карту тепловой эмиссии и рассеянного света для космических телескопов для любой точки Солнечной системы и для любой длины волны.

Новая модель позволила объяснить ряд важнейших наблюдаемых эффектов, в частности резкий обрыв концентрации зодиакальной пыли за границей в 2 а. е. и данные “Пионеров” и “Вояджеров” о наличии практически постоянного количества пыли за орбитой Юпитера.

10 Планеты около звезд

Самые внешние (> 50 а. е.) гигантские (10−1000 масс Земли) планеты, вращающиеся вокруг звезд, являются перспективной целью для прямого обнаружения в телескоп. Планетные системы Веги, Бета Пикторис и Эпсилон Эридана – хороший пример мультипланетных систем и результаты теоретического моделирования это подтверждают.

В соответствии с моделированием Н.Н. Горькавого Эпсилон Эридана имеет самую внешнюю планету-гигант ~ 0.2 масс Юпитера на расстоянии 55−60 а. е. Недавно по доплер-эффекту была обнаружена внутренняя планета с массой Юпитера на расстоянии 3.4 а. е., тем самым мультипланетность этой системы получила свое подтверждение. Кроме того, из общих теоретических соображений можно ожидать, что Эпсилон Эридана обладает и другими планетами с массами ~ 0.1−1 масс Юпитера, расположенными на расстоянии 5−50 а. е. Можно надеяться, что небольшие планеты на расстоянии ~ 1 а. е. также возможны и обладают приемлемыми параметрами.

Бета Пикторис – звездно-планетная система с особенной спектральной активностью, которая явно определяется сбросом на звезду комет, рассеиваемых на внутренних планетах-гигантах. Моделирование этих спектральных эффектов в статье Горькавого Н.Н. и Тайдаковой Т.А. (1995) предполагало систему из 2 планет на радиусах 3.2 и 5.9 а. е. с массами 0.0019 и 0.00095 от массы звезды. Динамическое моделирование изгиба диска Бета Пикторис (Горькавый и др., 2004) включает гравитационное влияние планеты с массой ~ 10 масс Земли на расстоянии 70 а. е. и маленьким наклонененим (2.5°) к плоскости пылевого диска, что и вызывает изгиб последнего. Авторы указанной статьи полагают на основании открытий колец Джексона-Зука на радиусах 14, 28, 52 и 82 а. е, что Бета Пикторис – мультипланетная система с 5−6 планетами-гигантами на расстояниях между 3 и 80 а. е.

Был также проведен анализ удивительных пылевых структур в дисках возле Веги и Эпсилон Эридана и показано, что они объясняются наличием возле этих звезд планет с массами 2 и 0.2 масс Юпитера соответственно и радиусами орбит в 50−60 а. е. Были вычислены положения этих планет и предложен метод наблюдательной проверки расчетов по угловому вращению узоров.

Н.Н. Горькавым выдвинута и обсуждена гипотеза о существовании “реликтового ускорения”. С ее помощью дано объяснение “эффекта Пионеров” и эффекта “темной материи” в галактиках и скоплениях галактик.

11 Заключение

В НИИ “КрАО” большое внимание уделялось телам Солнечной системы. Много лет проводилась служба поиска новых малых планет, давшая огромное число новых объектов. Проводилась фотометрия астероидов, позволившая впервые обнаружить у них спутники; исследования физических характеристик астероидов позволило обнаружить на их поверхностях пятна разного размера. Наблюдались большие планеты и Луна, исследовались эффекты, вызванные падением на Юпитер фрагментов кометы Шумейкер-Леви 9. Проведены теоретические исследования образования различных тел Солнечной системы и планетных систем около звезд.

Литература

Горькавый Н.Н.// Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 2. С. 143.
Горькавый Н.Н., Тайдакова Т.А. // Письма в Астрон. журн. 1995. Т. 21. С. 939.
Горькавый Н.Н., Фридман А.М. // Физика планетных колец. М.: Наука. 1994.
Прокофьева-Михайловская В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 2. С. 156.
Прокофьева В.В., Таращук В.П. // Астрон. вестник. 1996. №. 2. С. 140.
Прокофьева В.В., Таращук В.П., Цап Ю.Т. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2001. Т. 17. №. 6. С. 538.
Прокофьева-Михайловская В.В., Батраков Ю.В., Карачкина Л.Г // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. (наст. том).
Таращук В.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. (наст. том).
Черных Л.И. // Космический венок малых планет. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008.