



Астрономия

Карликовая планета Хаумеа и ее спутники

В.С. УРАЛЬСКАЯ,
кандидат физико-математических наук
ГАИШ МГУ

Астрономия не перестает удивлять нас новыми открытиями в Солнечной системе. Космические аппараты, достигшие планет-гигантов и их спутников, показывают нам новые миры, самые разнообразные, отличающиеся от привычных представлений. Метановые озера, обнаруженные на Титане, находятся в жидком состоянии и это единственное место в Солнечной системе, кроме Земли, где существуют жидкие озера на поверхности, сезонные изменения в атмосфере и метановые ливни. Под ледяной коркой Энцелада находится большой резервуар соленой воды, из которого происходят извержения водяных гейзеров, по составу близких к соленой воде океана. Пористая как губка поверхность Гипериона



и гладкая ледяная поверхность Елены – двух спутников Сатурна – являются еще одним контрастом в системе спутников Сатурна.

Но и наземные наблюдения приносят нам много удивительных новостей. Поражающее воображение многообразие среди тел, находящихся во внешней области Солнечной системы – в поясе Койпера – это только начало

новых открытий и новых представлений о них. Самый необычный объект пояса – карликовая планета Хаумеа, которая имеет форму, существенно отличающуюся от сферической. Уникальной оказалась ее система спутников, а наличие группы астероидов, движущихся на орбитах, подобных основному телу и составляющих семейство Хаумеа, указывает на громадный импакт, произошедший на ранних стадиях образования Солнечной системы. Американская АМС “Новые горизонты” достигнет окрестностей Плутона в 2015 г. (Земля и Вселенная, 2006, № 3, с. 108–109), она сможет открыть для нас многие тайны далекой области Солнечной системы.





НЕОБЫЧНАЯ КАРЛИКОВАЯ ПЛАНЕТА ХАУМЕА

Карликовая планета Хаумеа – один из самых интересных объектов Солнечной системы (Земля и Вселенная, 2009, № 1, с. 66–67). Третья по размеру среди карликовых планет, после Эриды и Плутона, она представляет собой сильно вытянутое эллипсоидальное тело. У нее есть два спутника. Хаумеа – родоначальница семейства малых тел с одинаковы-

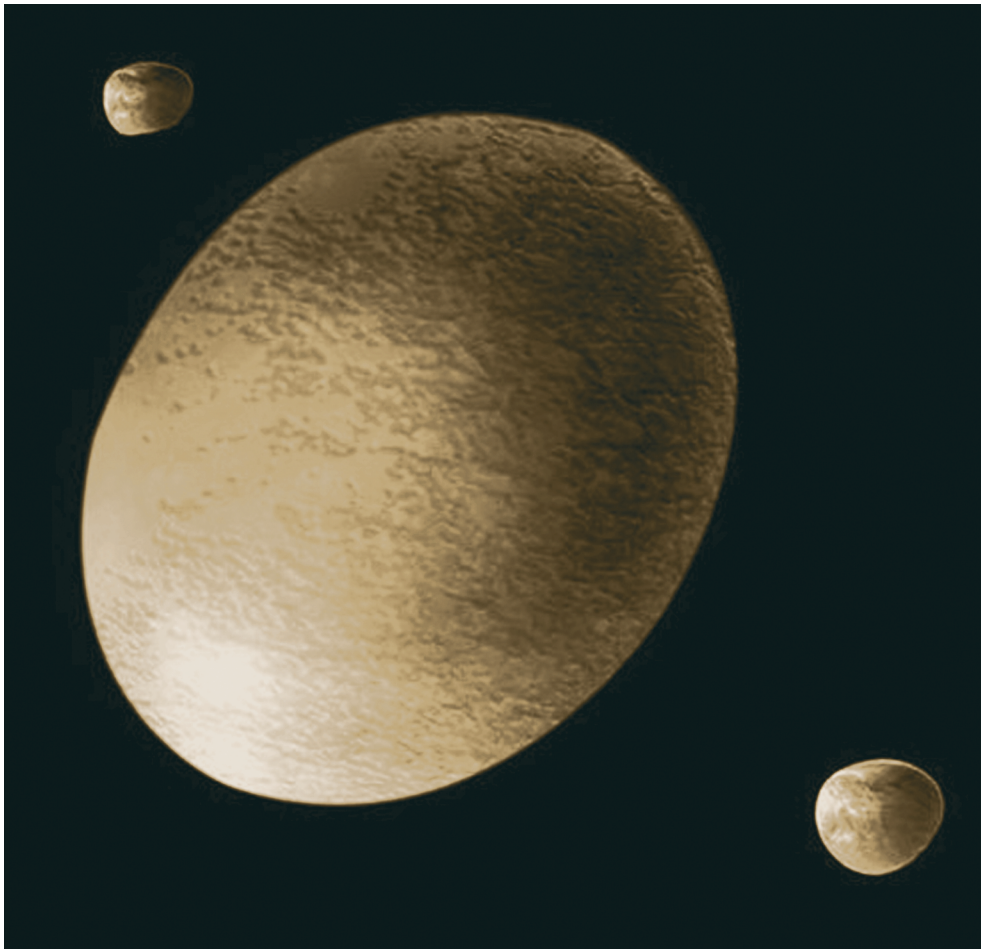
ми свойствами и орбитами.

В 2004 г. появилось сообщение об открытии транснептунового объекта, который получил временное обозначение 2003 EL61, а затем постоянный номер в Каталоге малых планет (136108). Объект был открыт на расстоянии 51 а.е., видимая звездная величина его в момент открытия составляла 17,5^m. Первооткрыватели объекта – Х.Л. Орtiz (J.L. Ortiz) с коллегами из обсер-

ватории Сьерра Невада (Испания) и М. Браун (M. Brown), профессор Калифорнийского технологического института.

Международный астрономический союз (IAU) классифицировал объект как пятую по присвоению ей статуса карликовой планеты после

Карликовая планета Хаумеа (Haumea) со спутниками. Рисунок художника А. Филда (A. Feild, Space Telescope Science Institute).





Цереры, Плутона, Эриды и Макемаке (Земля и Вселенная, 2007, № 2, с 23–24). Карликовая планета получила название Хаумеа (Haumea) по имени богини плодородия, деторождения и изобилия в гавайской мифологии. По преданиям, дети Хаумеа возникали из различных частей ее тела, она принимала всевозможные формы и испытала множество возрождений.

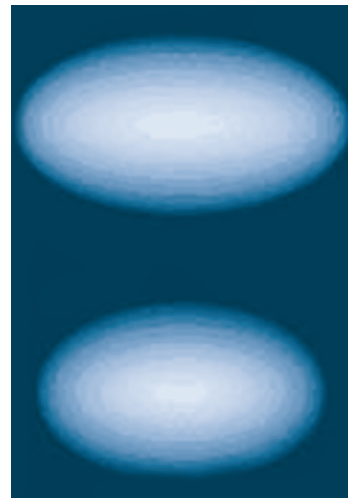
Хаумеа – классический объект пояса Койпера с большой полуосью 43 а.е., эксцентриситетом 0,2 и наклоном 28°. Период обращения вокруг Солнца составляет примерно 282 года. Расстояние от Солнца в перигелии – 34,62 а.е., в апогее тело находится на расстоянии 51,53 а.е., то есть карликовая планета была открыта практически в апогее. Это означает, что в течение ближайших 140 лет Хаумеа будет приближаться к Солнцу и Земле, и условия ее наблюдения будут улучшаться.

Фотометрические кривые яркости, полученные в разных диапазонах волн, свидетельствуют об очень быстром вращении карликовой планеты (период – 3,9 ч) и ее удлинненной форме. Оказалось, что Хаумеа вращается вокруг своей оси быстрее всех крупных транснептуновых объектов и даже всех небесных тел Солнечной системы размером свыше

100 км. Масса Хаумеа была определена из орбиты ее недавно открытого спутника и равна $4,2 \times 10^{21}$ кг, что составляет примерно 32% от массы Плутона.

Фотометрические наблюдения позволили определить форму, размер и альbedo этого тела. Высокая скорость вращения указывает на то, что тело должно быть сильно сжато или представлять собой трехосный эллипсоид вращения. Если представить Хаумеа в виде сфероида Маклорена, то динамическая стабильность такого сфероида Маклорена возможна при плотности, большей 2530 кг/м^3 . Так как для всех тел пояса Койпера предполагаемый состав – лед и камень, то плотность Хаумеа должна быть меньше плотности Луны, то есть меньше 3300 кг/м^3 . Используя критерий гидродинамического равновесия, Д. Рабинович (D. Rabinowitz, 2006) определил, что Хаумеа – это эллипсоидальное тело размером $1960 \times 1518 \times 996 \text{ км}$ при плотности 2600 кг/м^3 и очень высоком альbedo – 0,73. Таким образом, соотношение больших полуосей должно быть в пределах $b/a \sim 0,76\text{--}0,88$ и $c/a \sim 0,50\text{--}0,55$.

Оптический и инфракрасный спектры показывают, что поверхность Хаумеа почти целиком покрыта водяным льдом. Этим она существенно

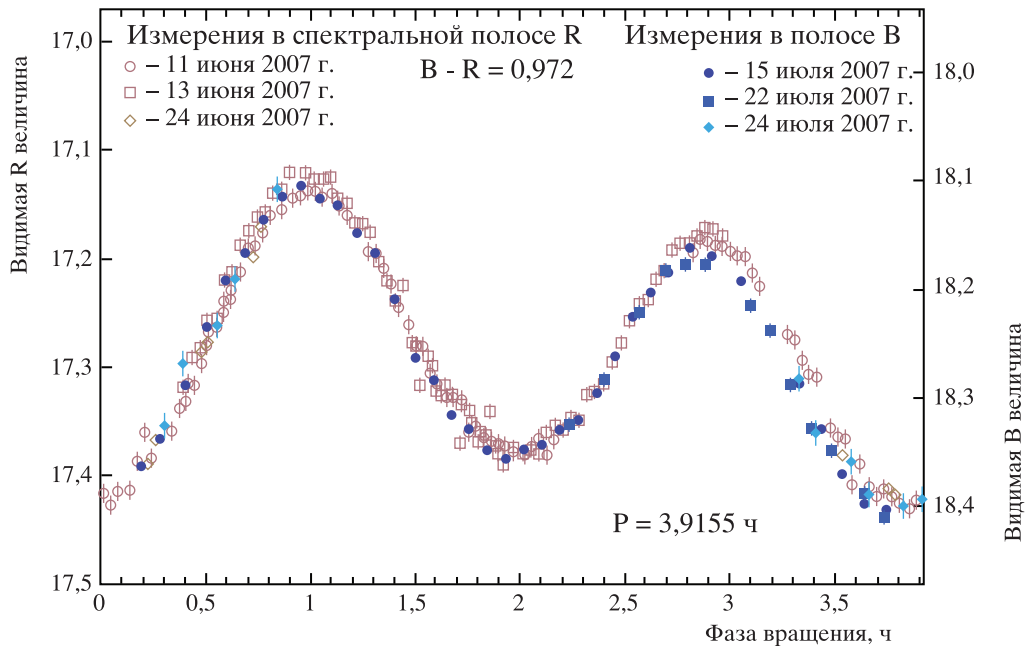


Наилучшее представление формы Хаумеа эллипсоидом Якоби, предложенное П. Ласерда (P. Lacerda) и Д.С. Джуиттом (D.C. Jewitt).

но отличается от таких карликовых планет, как Эрида, Плутон и Макемаке, поверхность которых богата метаном. Не обнаружено значительных вариаций в спектральном составе и в глубине абсорбции водяного льда при любых фазах вращения, это указывает на то, что поверхность Хаумеа достаточно однородна. Состав ее поверхности показывает одинаковое соотношение кристаллического и аморфного водяного льда, а количество других малых компонентов составляет не более 8%.

Если бы Хаумеа была равномерно окрашена, то кривая ее яркости была бы абсолютно симметричной, с равными мак-





Фотометрическая кривая яркости Хаумеа в двух длинах волн R и В. Два пика кривой за период вращения имеют разную высоту, что указывает на присутствие более красного пятна на поверхности планеты.

симумами и минимумами. Однако более поздние исследования показали, что у двух пиков кривой разная высота. Асимметрия говорит о том, что на поверхности есть область темнее и краснее остальной поверхности. Однако размер, форма и происхождение этой области на поверхности пока еще неизвестны.

СЕМЕЙСТВО ХАУМЕА

Предполагается, что малые тела в Солнечной системе часто сталки-

ваются. Так, в Главном астероидном поясе непосредственным доказательством столкновений является существование множества семейств астероидов с похожими свойствами поверхности и находящихся на подобных орбитах в результате большого импакта. В поясе Койпера, в отличие от этого, не было известно ни одного семейства, созданного катастрофическим столкновением. Однако у третьего по величине объекта за орбитой Нептуна–Хаумеа – есть все признаки громадного импакта, который создал его систему спутников, при этом в значительной степени лишил Хаумеа ледяной мантии и придал телу быстрое вращение.

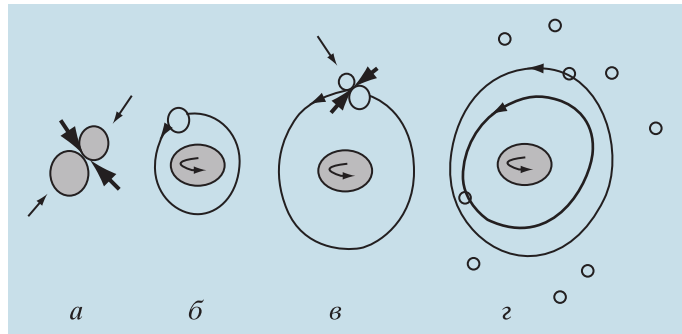
Удалось обнаружить семейство тел с подобными орбитами и свойствами поверхности. Это восемь объектов пояса Койпера – 1995 SM55, 1996 TO66, 1999 OY3, 2002 TX300, 2003 OP32, 2003 UZ117, 2005 CB79 и 2005 RR43, – имеющих одинаковые орбиты с большой полуосью 43 а.е., эксцентриситетом 0,14, наклоном 28° и средним движением 0,0034 град/сут. Это первое известное семейство в поясе Койпера, созданное громадным импактом, – семейство Хаумеа. Однако предполагаемое столкновение, произошедшее более 100 тыс. лет назад, находится в противоречии с дисперсией скоростей, наблюдаемых у его членов (140 м/с), которая значи-





тельно меньше, чем скорость отрыва у Хаумеа (900 м/с).

Один из сценариев образования этого семейства позволяет снять это противоречие. Сначала Хаумеа подверглась сильнейшему удару, который сообщил ей быстрое вращение и образовал спутник, вращающийся на орбите. Затем вновь образовавшийся спутник приливной эволюцией удаляется от основного тела. В некоторый момент спутник подвергается деструктивному разрушению, в результате чего возникли семейство Хаумеа и ее спутниковая система.



Возможный сценарий происхождения семейства Хаумеа и спутниковой системы, предложенный Х. Шлихтингом (H. Schlichting) и Р. Сари (R. Sari): а) Хаумеа подверглась сильнейшему удару, который сообщил ей быстрое вращение и образовал спутник, вращающийся на орбите; б) вновь образовавшийся спутник удаляется от основного тела вследствие приливной эволюции; в) спутник подвергается деструктивному разрушению; г) в результате образовались семейство Хаумеа и спутниковая система.

СПУТНИКИ ХАУМЕА – ХИИАКА И НАМАКА

Первый и наиболее яркий спутник, Хииака (Hi'iaka), был открыт 26 января 2005 г. на Обсерватории Кека (Keck Observatory) на Гавайях телескопом с лазерной адаптивной оптикой (Keck Observatory Laser Guide Star Adaptive Optics system) группой наблюдателей во главе с М. Брауном. Через полгода, 30 июня 2005 г., эта же группа открыла меньший, внутренний спутник – Намака (Namaka). Названия спутникам Хаумеа присвоены 17 сентября 2008 г. по именам дочерей гавайской богини плодородия. Хииака – богиня танца и патронесса Большого Острова

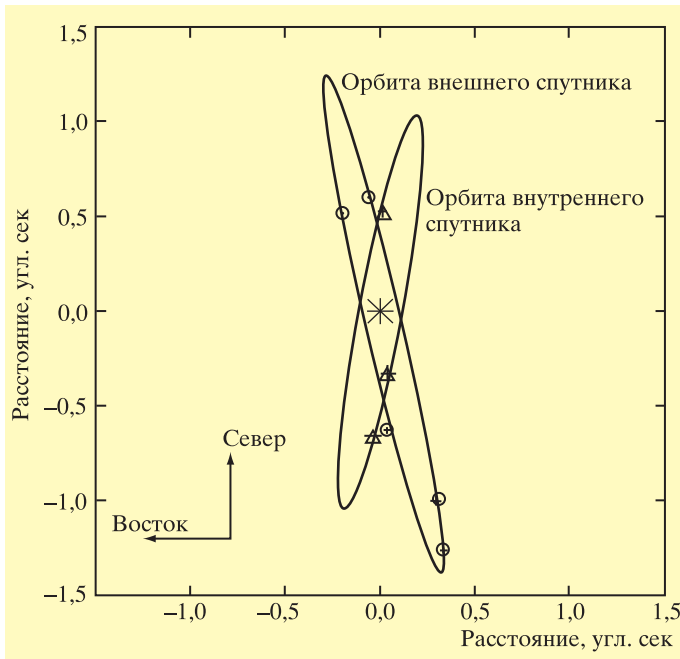
Гавайев, на котором расположена обсерватория Мауна-Кеа. Намака – богиня воды и моря; по легенде она охладила лаву своей сестры Пеле, которая текла в море, и превратила ее в новый остров.

Наблюдения этих спутников были проведены на Обсерватории Кека и камерой высокого разрешения Космического телескопа Хаббла. Периоды обращений Хииака и Намака составляют 49,5 и 18,3 суток соответственно с отношением периодов 2,7, то есть в движении спутников имеется резонанс средних движений, близкий к отношению 8 : 3. Отношение масс спутников к основному телу 0,0045 и 0,0005, а отношение масс спутников между собой

составляет примерно 0,1.

Крупный спутник, Хииака, имеет почти круговую орбиту с большой полуосью 49 880 км и эксцентриситетом 0,05. Намака обращается по сильно вытянутой орбите с большой полуосью 25 657 км и эксцентриситетом 0,25. Спутники движутся в различных плоскостях, причем взаимный наклон между двумя орбитами составляет 13°. Это не может быть вызвано взаимными возмущениями, а количественно можно объяснить приливной эволюцией при прохождении через резонансы средних движений с Хииака. Как уже отмечалось, в настоящее время этот резонанс близок к 8 : 3, он значительно влияет на орбиту



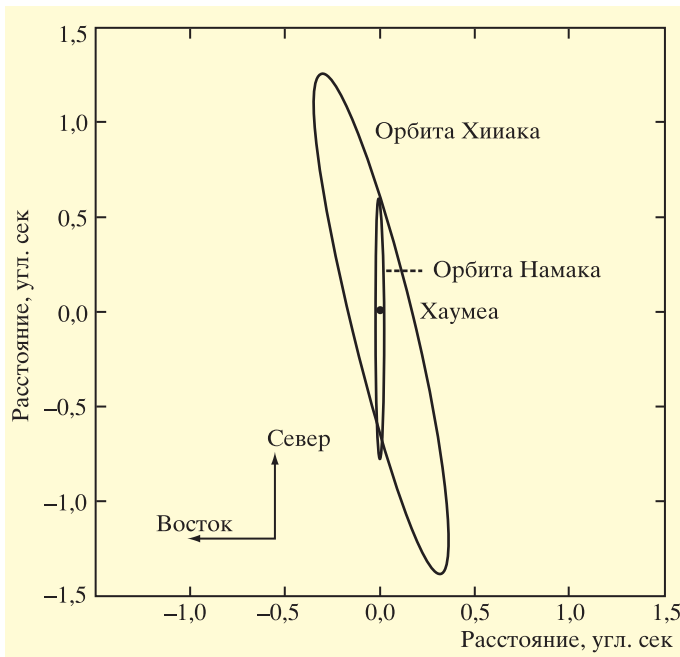


Предполагаемые орбиты двух спутников Хаумеа. Показаны наблюдения спутников и ошибки их измерений (M. Brown, 2005).

Намака, вызывая большую прецессию орбиты. Точно определить размеры спутников можно только при некоторых

предположениях относительно альbedo спутников и их плотностей. Масса и соотношение яркостей спутников пока-

зывают, что спутники должны иметь либо более высокое альbedo, либо меньшую плотность, чем основное тело. Спектральные и фотометрические свойства Хаумеа, Хииака и Намака совпадают, следовательно, их альbedo должны быть подобны (0,73). Тогда плотность спутников должна быть сравнима с плотностью водяного льда ($\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$). Это приводит к предположению, что спутники образовались после сильного импакта из богатой водяным льдом мантии Хаумеа и в дальнейшем в результате приливной эволюции достигли современного состояния. При этих значениях альbedo и плотности водяного льда размеры спутников будут для Хииака – 320 км, для Намака – 180 км.

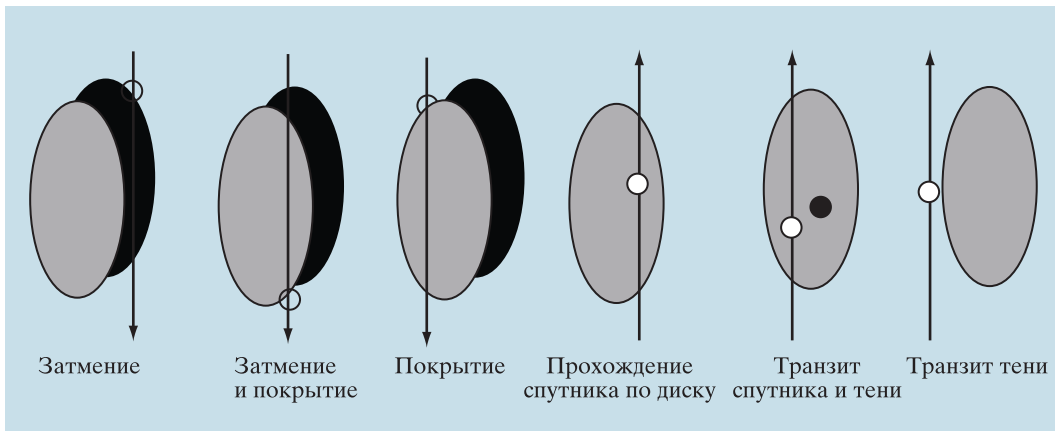


ВЗАИМНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ХАУМЕА

Изучение орбиты спутника Хииака показало, что мы немного опоздали с наблюдением взаимных затмений и покрытий

Относительные положения орбит спутников в марте 2008 г., за два месяца до начала взаимных явлений (D. Ragozzine, M. Brown, 2009).





Хаумеа и ее яркого спутника, которые произошли еще до их открытия. Система уже прошла период благоприятных наблюдений в 1999 г. и находится только в 4° от положения, когда она была ребром к наблюдателю, что давало возможность увидеть эти редкие явления. 2 июля 2009 г. произошло единственное и последнее в этом столетии взаимное явление между спутниками Хииака и Намака. В течение 140 лет такого больше не произойдет.

С целью наблюдения этого уникального явления для Космического телескопа Хаббла создали программу фотометрических исследований (Programme 11971), момент которого установлен с вероятностью 93%. Даже наблюдение одного такого события помогло бы установить плотность спутника Хииака с точностью до 15% и дать уникальную возможность определить условия формирования и эволюции этой необычной системы.

Однако никаких сообщений об успешности этого мероприятия не поступало.

В мае 2008 г. начали происходить взаимные затмения и покрытия в системе основное тело – спутник Намака. События продолжались от нескольких минут до 6 часов, при этом уменьшение звездной величины составляло примерно $0,03^m$. Такие взаимные явления будут наблюдаться в течение нескольких ближайших лет, а следующий цикл взаимных событий повторится только через 130 лет, то есть в 2139 г.

В 2008 г. должны были наблюдаться восемь взаимных явлений в системе Хаумеа, в 2009 г. произошло 20 взаимных событий в системе Хаумеа – Намака, в 2010 г. – 28, в 2011 г. – 27. Профессор М. Браун на сайте Калифорнийского технологического института разместил информацию для наблюдателей взаимных явлений в системе Хаумеа.

Взаимные явления, наблюдаемые в системе Хаумеа (с сайта М. Брауна <http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/2003EL61/mutual/>).

Хаумеа – очень слабый объект почти 18^m , поэтому его наблюдения представляют значительные трудности. Для хороших измерений требуется 2-м или более сильный телескоп. Кроме того, Хаумеа очень быстро вращается, при этом общее количество света изменяется на 25% за 4-часовой период. А суммарное изменение света при взаимных явлениях составляет только 1%, поэтому уловить это малое изменение яркости достаточно трудно. В настоящее время размер Хаумеа известен с точностью до 200–300 км. Если мы точно определим момент явления, то можно узнать размер лимба, а следовательно, и планеты с точностью примерно 20 км.





Наблюдения многих явлений позволят определить точную форму, размер, альbedo и плотность этой необычной планеты, положение ее полюса вращения, а также размер, альbedo и плотность внутреннего спутника Намака и уточнить орбитальные данные обоих спутников путем измерения возмущений орбиты Намака.

В системе Хаумеа возможны различные типы взаимных явлений. Это затмения и покрытия, прохождения спутника по диску планеты, прохождения тени и комбинация этих явлений. Для успешных наблюдений были рассчитаны время начала события, вид явления и продолжительность события, а также эфемериды для наблюдений. К сожалению, из-за неточности знания параметров системы неопределенность в фиксации момента события составляет ± 1 ч.

По предложенным эфемеридам явления наблюдались 7 и 18 июня и 14 июля 2008 г. коллективом авторов различных обсерваторий. Они получили фотометрические кривые для трех ночей предсказанных явлений. Все измерения проводились с красным фильтром, но с различными диафрагмами на телескопах, распределенных по долготе. Комбинируя астрометрические и фотометрические измерения, авторы надеются

получить карту альbedo, форму и гравитационные моменты основного тела, а также массы и альbedo спутников.

В 2009 г. взаимные явления наблюдались на обсерватории Пико дос Диас (Pico dos Dias) Национальной лаборатории астрофизики Бразильского министерства науки, с использованием 1,6-м телескопа фирмы Перкин-Элмер (Perkin-Elmer). Космический телескоп Хаббла также провел успешные наблюдения взаимных явлений 28 июня 2010 г. Обработка полученных астрометрических и фотометрических данных уже дала первые результаты, которые удивили ученых. Внешний спутник Хииака имеет быстрое вращение, что оказалось совершенно неожиданным для исследователей.

Обсуждается вопрос богатой феноменологии этих событий. Если бы в системе Хаумеа был только один спутник, то изменение взаимного расположения Земли и Хаумеа привело бы к тому, что взаимные события быстро закончились. Однако некомпланарная орбита внешнего яркого спутника так влияет на орбиту Намаки, что возвращает его орбиту к положению ребром к наблюдателю. Поэтому взаимные явления будут продолжаться еще несколько лет, давая замечательную возможность изучения этой уникальной системы.

НЕРЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ

Открытие необычной системы Хаумеа ставит перед учеными ряд небесно-механических задач, которые должны быть решены в будущем. Необходимо создать теорию поступательно-вращательного движения карликовой планеты Хаумеа, учитывая, что тело имеет форму сильно вытянутого эллипсоида с соотношением осей $1:0,8:0,5$, а также очень быстрое вращение с периодом 3,9 ч. Второй задачей является создание теории движения спутников в поле тяготения сильно сжатого тела (коэффициент, определяющий сжатие $J_2 = 0,244$) с учетом взаимного влияния спутников. При этом надо иметь в виду, что спутники движутся в разных плоскостях и их орбиты сильно отличаются от кеплеровских.

Кроме того, интересно проследить эволюцию орбит спутников на больших интервалах времени, чтобы подтвердить гипотезу импакта в прошлом и оценить устойчивость системы в будущем. Определение моментов и эфемерид взаимных явлений в системе Хаумеа – Намака надо провести со всей возможной точностью. В дальнейшем это приведет к уточнению параметров всей системы на основе наблюдений взаимных явлений в системе Хаумеа – Намака.

