

АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

УДК 41.17.02

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ В РАМКАХ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ**И. Д. Котляров***(Северо-Западный институт печати Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна)*

E-mail: ivan.kotliarov@gmail.com

Предложен набор общих критериев для классификации небесных тел, являющихся элементами планетных систем. Для Солнечной системы предложен дополнительный критерий принадлежности небесных тел к категории планет или карликовых планет на основе феноменологической формулы распределения планет в Солнечной системе.

В настоящее время существуют разногласия в трактовке терминов, обозначающих небесные тела в рамках планетных систем — таких понятий, как «планета», «карликовая планета», «двойная планета», «астероид», «комета», «метеороид».

Любая классификация по определению будет содержать элементы субъективного подхода: природа по своей сути непрерывна, а классификации дискретны. Однако в наших силах свести субъективность к минимуму и выработать формальные критерии отнесения небесных тел к той или иной категории.

В качестве системы, в рамках которой будет строиться иерархия небесных тел, примем планетную систему — совокупность небесных тел, обращающихся по эллиптическим орбитам вокруг удовлетворяющего определенным критериям центрального тела. Сам термин «планетная система», устоявшийся в астрономической практике, не совсем удачен, так как заставляет предположить, что она состоит только из планет, тогда как в ее состав могут входить и другие категории небесных тел (кометы, астероиды, спутники планет). Тем не менее он будет принят в силу сложившихся традиций.

Критерии принадлежности небесного тела к той или иной категории могут образовывать иерархию — будет существовать перечень критериев, которым небесное тело должно соответствовать обязательно (первичные критерии), и набор признаков, которые будут рассматриваться в спорных случаях (вторичные критерии). При этом первичные критерии будут носить универсальный характер (т. е. подходить для любой планетной системы), тогда как вторичные критерии могут варьироваться для разных систем (причина очевидна: спорные случаи возникают из-за специфики каждой планетной системы, и потому принципы разрешения противоречий также могут варьироваться для разных систем).

Критерии, которым должно удовлетворять центральное тело, просты: оно должно быть либо звездой (на любой ступени эволюции — от начала термоядерной реакции «водород–гелий» до черной дыры), либо коричневым карликом. Физические характеристики звезд и коричневых карликов хорошо известны и необходимость в дополнительном определении этих понятий отсутствует (см., например, статьи «Звезда» и «Коричневый карлик» в сетевой энциклопедии Википедия (<http://ru.wikipedia.org>)).

В качестве первичных критериев для планет выбраны следующие признаки.

1. Небесное тело обращается вокруг центрального тела по эллиптической орбите (центральное тело находится в фокусе эллиптической орбиты).

2. Небесное тело в любой период своей истории не является звездой (на любой стадии эволюции) или коричневым карликом. Для разграничения звезд и планет обычно применяют критерий массы (в частности, в наборе критериев Сотера [4]). Однако теоретически легко представить вращающуюся вокруг центрального тела черную дыру массой менее 12 масс Юпитера (нижний порог для коричневого карлика), которую в таком случае придется считать планетой, поэтому от критерия массы мы отказываемся и задаем требование «не быть звездой» в явном виде.

3. Форма тела представляет собой эллипсоид вращения (или, иначе, под действием собственной силы тяжести тело принимает форму, близкую к сферической). Критерий сферичности состоит в том, что расстояния от центра тяжести до любых трех точек на поверхности тела должны отличаться бы друг от друга не более чем на $k\%$. Значение k должно быть определено Международным астрономическим союзом; нам представляется разумным оценить его в 10% — в этом случае, например, Юнона и Веста не будут удовлетворять условию 3.

4. Масса тела не менее чем в 100 раз превышает массу всех других тел, обращающихся вокруг центрального тела по той же или близкой орбитам (или, иначе, находящихся в той же орбитальной зоне). Определение «общей орбитальной зоны» берется из модели Сотера [4].

5. Если у небесного тела есть спутники, то центр масс системы «небесное тело – спутники» должен лежать внутри небесного тела.

Из этих критериев логично вытекает определение карликовой планеты:

– карликовая планета — это небесное тело, удовлетворяющее сформулированным требованиям 1–3 и 5, но не удовлетворяющее требованию 4;

– если в той же орбитальной зоне находятся несколько небесных тел, удовлетворяющих условиям 1–3, то карликовой планетой будет считаться наиболее массивное из них — как это *de facto* произошло с Церерой, Плутоном и Эридой. Все остальные тела в этой орбитальной зоне будут считаться астероидами.

С учетом условия 5 Плутон определяется не как карликовая планета, а как элемент двойной карликовой планеты Плутон–Харон.

При таком подходе возможна ситуация, когда первоначально карликовой планетой будет признано одно тело, а затем, когда в той же орбитальной зоне будет обнаружено другое, более массивное, небесное тело, то статус карликовой планеты перейдет к нему (а первое тело соответственно этого статуса будет лишено). Мы не видим ничего экстраординарного в такой ситуации: статусы небесных тел периодически пересматриваются (и пример Плутона и Цереры — лучшее тому подтверждение), а пока не будет достоверно выяснено, какое из небесных тел в соответствующей орбитальной зоне является наиболее массивным, разумно считать их всех астероидами.

Для Солнечной системы в качестве вторичного критерия можно принять комбинацию закона Бутусова [1] (произведение средних расстояний от Солнца планет (в том числе карликовых), симметричных относительно Юпитера, равно квадрату среднего расстояния Юпитера от Солнца) и закона Тициуса–Боде [3].

Сразу оговоримся, что, по мнению большинства исследователей, закон Бутусова не имеет под собой физической основы. Тем не менее мы имеем дело с объективно соблюдающейся феноменологической закономерностью, которая, возможно, найдет свое объяснение в будущем.

Введем дополнительный параметр d , рассчитываемый по следующей формуле:

$$d = \text{sign}(6 - N). \quad (1)$$

Этот параметр можно назвать показателем симметрии планеты относительно Юпитера: для внутренних планет он равен 1, для внешних —1, а для Юпитера 0.

Комбинируя законы Бутусова и Тициуса–Боде, мы приходим к следующей формуле планетных расстояний:

$$R_N = 5.203^{1-d} \cdot (0.4 + 0.3 \cdot 2^k)^d, \quad (2)$$

$$k = \frac{4 - d(6 - N)}{\text{sign}(5 - d(6 - N))}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что небесное тело в Солнечной системе является планетой, если оно удовлетворяет условиям 1–5, и при этом его расстояние от Солнца соответствует формуле (2), т.е. если оно занимает строго определенную позицию по отношению к Солнцу. Иными словами, отсчитывая позиции от Солнца и подставляя соответствующий номер в формулу (2), мы получаем некое значение расстояния. Если на этом расстоянии находится небесное тело, соответствующее условиям 1–5, то оно признается планетой. Если для небесного тела не выполняется условие 4, то оно признается карликовой планетой, а несоблюдение условия 5 заставляет нас считать это тело двойной планетой.

Что делать в том случае, если небесное тело, удовлетворяя условиям 1–5, находится на орбите, не соответствующей формуле (2)? То, что нам известно о строении Солнечной системы, позволяет с большой долей уверенности утверждать, что небесных тел, удовлетворяющих условиям 1–5, за пределами орбиты Нептуна не существует, что решает самую главную проблему применимости формулы (2). Там могут быть тела, для которых соблюдаются условия 1–3, и два тела из этого множества уже признаны карликовыми планетами — Плутон и Эрида. Признавать остальные тела за пределами орбиты Эриды карликовыми планетами (даже при формальном выполнении условий 1–3) неразумно: планеты (включая карликовые) представляют собой важную таксономическую категорию, и раздувать их перечень до бесконечности нелогично (тогда полностью размоется граница между планетами и неплантами). Их лучше отнести к астероидам. Такова ситуация с Седной — условия 1–3 и 5 для нее выполняются, о соблюдении условия 4 достоверных данных нет, однако косвенные сведения заставляют предположить, что оно не выполняется. Ее орбита не соответствует формуле (2). Это заставляет нас причислить ее к астероидам, а не к карликовым планетам. Формула (2) позволяет нам ограничить число карликовых планет.

По сути дела, отказ признавать какое-либо тело за пределами орбиты Эриды (карликовой) планетой означает, что у него нет компаньона внутри орбиты Меркурия. Если таковой компаньон для Седны будет когда-либо обнаружен (пресловутый Вулкан) или же будет неопровержимо доказан факт его существования в прошлом, то это будет означать, что:

– статус соответствующего тела за пределами орбиты Эриды должен быть пересмотрен, т.е. оно

должно быть признано карликовой планетой (как уже говорилось выше, эта ситуация не является экстраординарной);

— закон Бутусова получит дополнительное подтверждение, и поиск физического обоснования для него станет задачей, требующей срочного решения;

— формула (2) должна быть изменена, так как она была построена исходя из справедливости закона Тициуса–Боде на участке Меркурий–Юпитер, т. е. она не предполагает наличия планет (в т. ч. карликовых) внутри орбиты Меркурия.

В случае формулы (2) речь идет не о квантовании планетных орбит и прочих спорных гипотезах: мы лишь используем объективные феноменологические закономерности строения Солнечной системы для классификационных целей.

Использование довольно громоздкой формулы для уточнения термина «планета Солнечной системы» может показаться спорным, и проще было бы ограничиться простыми и очевидными с точки зрения здравого смысла условиями 1–3. Но для научных измерений применяются именно строгие и стандартизированные меры величин, пусть и громоздко определяемые и вычисляемые, — и нет никаких причин отказываться от такого же подхода и при определении планеты в рамках Солнечной системы.

В завершение дадим определение двойной планеты. *Двойная планета* — это система из двух небесных тел, вращающаяся вокруг общего центра масс, лежащего на соединяющей их прямой вне каждого из этих тел и вращающегося вокруг центрального тела по эллиптической орбите. Для каждого из этих тел выполняются условия 2, 3 и 5 (если у них есть спутники), а для всей системы в целом — условие 4.

Двойной карликовой планетой будет совокупность из двух небесных тел, для которой в целом условие 4 не выполняется (Плутон–Харон).

Спутник планеты — небесное тело, обращающееся вокруг планеты (карликовой планеты или одного из элементов двойной планеты) по эллиптической орбите, причем центр масс системы «планета–спутник» находится внутри планеты. Это определение наилучшим образом соответствует сложившимся в астрономии традициям. Требований к форме спутников не предъявляется.

Аналогичным образом будет определяться спутник спутника (если таковые будут открыты, что маловероятно [6]) и спутники астероидов. Теоретически допустимы двойные спутники (хотя устойчивость такой системы в долгосрочной перспективе весьма сомнительны) и двойные астероиды, определяемые по аналогии с двойными планетами. Определение астероида будет предложено ниже.

Астероидами будем называть небесные тела следующих групп.

1. Тела, вращающиеся вокруг центрального тела, соответствующие условиям 2 и 5, но не удовлетво-

ряющие условиям 3 и 4. Если небесное тело не удовлетворяет условию 5, то оно будет считаться элементом двойного астероида.

2. Все тела, обращающиеся вокруг центрального тела в той же орбитальной зоне, что и карликовая планета, но менее массивные, чем она, и соответствующие условию 2.

Астероиды также должны удовлетворять следующему дополнительному критерию: диаметр (максимальное расстояние между двумя противоположными точками поверхности) должен быть не менее 50 м. Это условие зародилось из требования того, что линейные размеры астероида должны быть достаточными для того, чтобы он мог, не сгорев, пройти сквозь земную атмосферу и долететь до поверхности Земли. Этот критерий вполне разумен и заслуживает распространения на другие планетные системы.

Соответственно *метеороиды* — это астероиды с линейными размерами менее 50 м. *Комета* — небесное тело, состоящее в основном из льда, вращающееся вокруг центрального тела по сильно вытянутой орбите и формирующее при пролете вокруг центрального тела «кометный хвост». Типичные значения эксцентриситета для комет должны задаваться на основе эмпирических наблюдений. Соответственно кометные ядра в поясе Оорта будут относиться к астероидам.

Такой подход к кометам логичен: захват астероида планетой и превращение его в спутник никак не сказывается на физических характеристиках астероида, а только на динамических. Аналогично переход кометного ядра из облака Оорта в комету — это прежде всего изменение динамических свойств (параметров орбиты).

Возможны переходы разных элементов планетных систем из одной категории в другую: например, астероид или комета могут стать спутниками планеты, спутник планеты — астероидом. По этой причине представляется оправданным предложить обобщающее название для всех элементов планетной системы, кроме центрального (звезды). Таким названием могло бы стать *стеллино* (от лат. *stella* — звезда), для Солнечной системы — *солино* (от лат. *Solus* — Солнце).

По аналогии с *плутино* представляется оправданным дать общие названия для элементов главного пояса астероидов. Таким названием вполне могло бы стать *церино* (от Цереры), *пиаццино* или *ольберсино* (в честь Пиацци и Ольберса, сыгравших важную роль в открытии пояса астероидов). Наконец, обобщающим названием для небесных тел, находящихся в точках Лагранжа, могло бы стать *лагранжино*. Их также можно было бы называть сопутствующими телами для отличия их как от планет и астероидов (самостоятельно вращающихся вокруг Солнца), так и от спутников планет.

Заключение

Предложенные критерии выделения планет представляются более четкими и однозначными, чем существовавшие до сих пор. Определенную ценность имеет выделение категории «двойная планета». Интересен вторичный критерий определения планет в Солнечной системе на основе законов Бутусова и Тициуса–Бодде. Критерии для разграничения астероидов, метеороидов и комет могут быть приняты в качестве рабочих, однако нуждаются в доработке.

Предложенное обобщающее название для всех элементов планетной системы (кроме центрального) позволяет акцентировать внимание на том, что они являются элементами одного множества (хотя и разбиваемого на разные подмножества), а также

возможности перехода этих тел из одной категории в другую.

Литература

1. Бутусов К.П. // Некоторые проблемы исследования Вселенной. № 1. Л., 1973. С. 40.
2. Graner F., Dubrulle B. // *Astronomy and Astrophysics*. 1994. **282**. P. 262.
3. Nieto M. *The Titius-Bode law of planetary distances: its history and theory*. Oxford, 1972.
4. Soter S. What is a planet? (<http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0608/0608359.pdf>). Retrieved on 09.11.2006.

Поступила в редакцию
13.11.2006