

Охота на девятую планету

Кандидат
физико-математических наук

С.М. Комаров



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Майкл Браун из Калифорнийского технологического института в городе Пасадена пользуется большим авторитетом среди своих коллег как знаток малых планет. Одно из ярких его достижений — закрытие Плутона: именно по его инициативе бог подземного царства лишился своей планеты, которая перешла в разряд малых транснептуновых объектов. После этого, а Плутон был разжалован в 2006 году, в Солнечной системе осталось восемь настоящих планет. Неудивительно, что расчет, проведенный им совместно с Константином Батыгином, который показал, что девятая планета в Солнечной системе все-таки с большой вероятностью имеется, был встречен с энтузиазмом. Астрономы наперебой стали предлагать модели механизма формирования этой планеты, а также ее орбиты — удачная модель позволила бы направить телескопы именно в ту точку, где следует ожидать ее появления.

Главный аргумент в пользу существования планеты Батыгина — Брауна — удивительная согласованность (см. «Химия и жизнь», 2016, 3) в движении шести недавно открытых крупных транснептуновых объектов, первым из которых была планета Седна, обнаруженная в 2004 году. Глядя на ее вытянутую орбиту, Браун с коллегами задумался: а нет ли на периферии Солнечной системы невидимой пока планеты? После того как Скотт Шеппард и Чедвик Трухильо открыли в 2014 году еще один подобный Седне объект — 2012VP11, стало возможным проводить расчеты, что они и сделали. Схожий анализ провели и знаменитые своими работами по динамике планетной системы братья-астрономы Карл и Рауль де ла Фуэнте-Маркосы. Однако лишь работа Батыгина

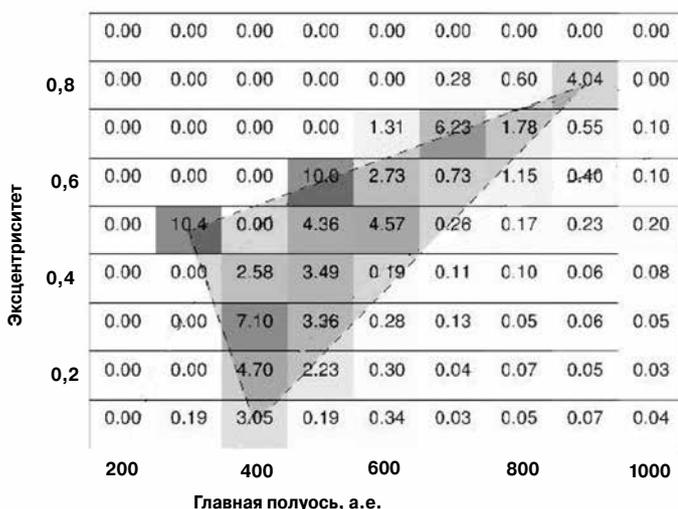
— Брауна сумела обеспечить переход количества в качество: скепсис относительно девятой планеты исчез. С начала 2016 года как в научных журналах, так и в службе электронных препринтов arXiv.com вышло около десятка разнообразных статей о девятой планете; по ним можно составить представление о текущих успехах и будущих планах.

Напомним суть дела. Планета Батыгина — Брауна должна иметь массу примерно как у Нептуна, то есть в 10—30 земных; такие планеты ныне принято называть нептунами. Ее орбита сильно вытянута: афелий, то есть самая удаленная точка, находится чуть ли не в 1000 астрономических единиц от Солнца. Еще одна характерная особенность: орбита вытянута в направлении, противоположном тому, в котором вытянуты орбиты шести транснептуновых объектов, составляющих аномалию, то есть девятая планета не стягивает их, а отталкивает от себя.

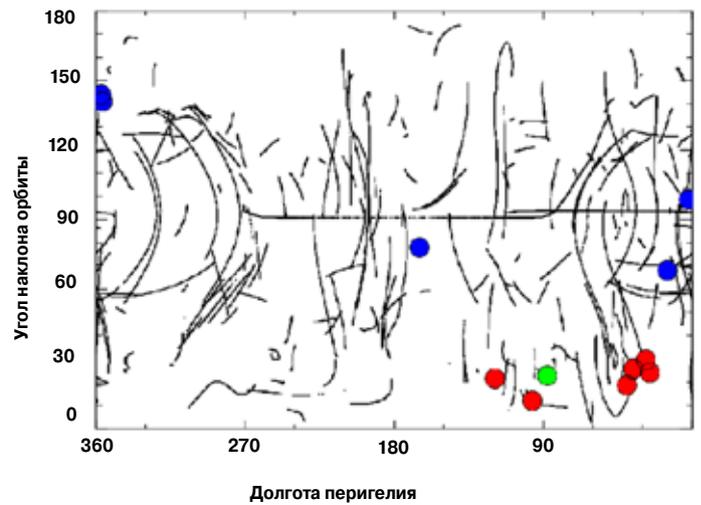
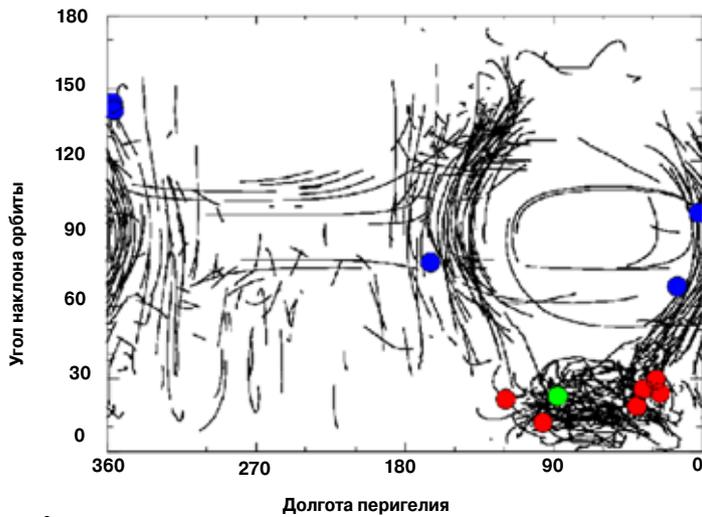
Естественно было продолжить эти изыскания и уточнить характеристики орбиты загадочной планеты. Батыгин и Браун сделали это к марту 2016 года (arXiv:1603.05712v1 [astro-ph.EP] 17 Mar 2016). Они взяли систему из тысячи планетозималей — зародышей планет, разместили их на периферии Солнечной системы, где влиянием внутренних планет можно пренебречь, затем варьировали параметры девятой планеты и смотрели, как она выстраивает планетозимали в каждом из вариантов. Ее афелий располагали с шагом 100 а. е. на расстояниях от 200 до 800 а. е., эллипс делали то близким к окружности, то крайне вытянутым, а масс было три — в десятую долю Земли, равной земной и в десять раз больше. Рассчитывали же вероятность того, что шесть выбранных наугад небесных тел соберут свои перигелии в нужном квадранте небесной сферы подобно тому, как это делают объекты класса Седны. Такая мера была выбрана, видимо, из следующих соображений. По мнению астрономов, число малых тел, двигающихся по далеко вытянутым орбитам, велико, но мы видим лишь ничтожно малую часть, волею случая оказавшихся в поле зрения телескопов. Очевидно, что если распределение небесных тел по орбитам, полученное в результате моделирования, окажется хоть в какой-то мере отвечающим реальности, то вероятность воспроизвести эту случайность будет выше, нежели когда результаты моделирования с реальностью не связаны.

Прогнав более тысячи расчетов, они узнали, что, во-первых, с легкими девятыми планетами номер не проходит — для выстраивания малых планет масса должна быть значительно больше земной. А во-вторых, удалось выделить треугольник параметров орбиты, в котором вероятность найти указанную шестерку тел больше 1%. Он дал значения афелия от 300 до 900 а. е., а перигелия от 200 до 350 а. е. (рис. 1) Иными словами, планета Батыгина — Брауна не подходит на роль легендарной планеты Нибиру: она не может залететь во внутреннюю область Солнечной системы.

Коль скоро примерные параметры орбиты понятны, можно было заняться важнейшим делом — определить угол ее наклона. Для этого был выбран нептун с афелием 700 а. е. и



1 Штриховой линией показана область параметров орбиты девятой планеты, при которых малые небесные тела на периферии Солнечной системы с большей вероятностью выстраиваются так, как на это видят астрономы (Michael E. Brown, Konstantin Batygin, *Observational constraints on the orbit and location of planet nine in the outer Solar system*, arXiv:1603.05712v1 [astro-ph.EP] 17 Mar 2016)



2

Если орбита девятой планеты наклонена к плоскости эклиптики под углом 30° , то орбиты малых тел при моделировании формируют два скопления, которые можно заметить в реальной Солнечной системе: параметры реальных небесных тел показаны кружками. Если угол наклона другой, например, 90° , то никакой системы в расположении орбит заметить нельзя, как на рисунке справа. (Michael E. Brown, Konstantin Batygin, *Observational constraints on the orbit and location of planet nine in the outer Solar system*, arXiv:1603.05712v1 [astro-ph.EP] 17 Mar 2016)

соотношением длин осей эллипса 0,6. При наклоне орбиты на 30° к плоскости эклиптики такая планета дала не одну, а две аномалии. Во-первых, орбиты значительной части малых тел выстроилась в плоскостях, близких к плоскости обращения девятой планеты. А во-вторых, немалая часть тел выстроилась в перпендикулярной плоскости (рис. 2а). Их легко опознали: это так называемые астероиды-кентавры, которые обращаются между Юпитером и Нептуном: у некоторых из них орбиты действительно перпендикулярны плоскости эклиптики. Объекты с сильно наклоненными орбитами давали и некоторые другие варианты, в том числе полярная орбита девятой планеты, то есть наклоненная к плоскости эклиптики на 90° . Но это сочли случайностью — никаких закономерностей в наклонах орбит малых тел не было (рис. 2).

А далее логично проверить, не видел ли кто загадочной планеты: полные обзоры неба астрономы выполняют уже не одно десятилетие, хоть и не с целью поиска новых планет Солнечной системы. Так, например, спутник WISE строил карту реликтового излучения, обзор Каталина был затеян для выявления астероидов, сближающихся с Землей; обзор, предпринимавшийся для поиска темной материи, охватывает значительные области Южного полушария. Многие транснептуновые объекты среди их данных удавалось заметить, причем неоднократно, однако никаких видимых свидетельств существования девятой планеты не нашли. По мнению Батыгина и Брауна, это позволяет наложить новые ограничения на размер и светимость планеты — если она находится в тех областях неба, которые были подвергнуты обзорам, ее размер не может превышать девяти земных. Соответственно, если предполагать, что это ледяной гигант типа Нептуна, его масса не более 30 земных, а светимость в настоящий момент не превышает 21 звездной величины.

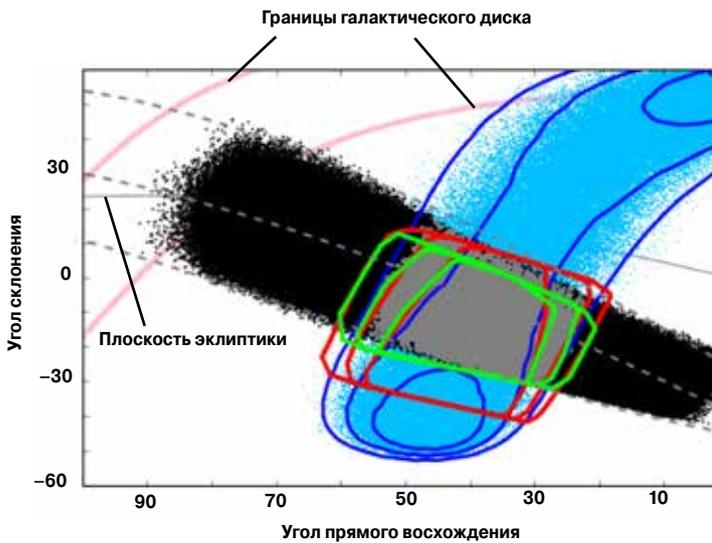
Обзоры неба — это снимки неба с бесчисленными разноцветными пятнами, которые нужно специально обрабатывать, чтобы доказать: вот это пятно, лишь немногим отличающееся от фона — не случайная флуктуация яркости, а реальный объект. Но есть и другой способ — направить телескоп в определенную точку пространства и попытаться найти планету в результате систематических наблюдений. Как выбрать точку? Первым такую попытку предприняла

Агнесс Фиенга с коллегами из Парижской обсерватории («Astronomy & Astrophysics», 2016, 587, L8; doi: 10.1051/0004-6361/201628227). Суть идеи такова. При предполагаемом периоде обращения более 10 тысяч лет девятая планета должна выглядеть практически неподвижным объектом на звездном небе. Соответственно она будет влиять на движения всех объектов Солнечной системы как некий постоянный центр притяжения. Можно ли найти следы такого воздействия? Оказывается, да; точность современных приборов позволяет это сделать по крайней мере в одном случае.

В 2004 году аппарат НАСА «Кассини» прилетел к Сатурну и десять лет проводил исследования его системы. При этом шел постоянный обмен сигналами с наземной станцией, и это дало возможность достаточно часто определять расстояние между Землей и «Кассини» с точностью до метров. Поскольку аппарат находится в поле тяжести Сатурна и его спутников, он двигался вместе с планетой, то есть флуктуации этого расстояния отражали флуктуации расстояния до центра тяжести системы Сатурна. Их анализ и дал основание Фиенге отметить, что если девятая планета находится на упомянутой выше тестовой орбите Батыгина — Брауна, то она неплохо все объяснит при расположении не ближе 400 а. е. и не далее 600 а. е. от Солнца. Присоединившиеся к дискуссии де ла Фуэнте-Маркосы прямо указывают, что она находится сейчас вблизи своего афелия, а значит, разглядеть планету в телескоп удастся не скоро. При этом они не отказываются от своей любимой идеи — множественности подобных планет: очередное моделирование подсказало им, что одинокая девятая планета непременно бы улетела из Солнечной системы из-за приливных сил Галактики. А вот если бы подобных планет было несколько, они стабилизировали бы движение друг друга и смогли противостоять деструктивному окружению (arXiv:1604.06241v1 [astro-ph.EP] 21 Apr 2016).

Аналогичную возможность сузить область поиска дает серия работ Мэтью Холмана и Мэтью Пейна из Центра астрофизики Гарвардского университета и Смитсоновской обсерватории. В первой статье (arXiv:1604.03180v1 [astro-ph.EP] 12 Apr 2016) они продолжили дело Фиенги по изучению аномалий в расстоянии между Землей и «Кассини», придумав упрощенную процедуру, которая позволила просчитать влияние девятой планеты не на одной орбите Батыгина — Брауна, а рассмотреть множество таких орбит. Кроме того, они еще и варьировали мощность прилива — она пропорциональна массе, деленной на куб расстояния. Критерием истины был выбран минимум расхождения между расчетными и измеренными данными о расстоянии до «Кассини».

Этот подход дал интереснейший результат. Выяснилось, что девятая планета расположен в направлении, перпенди-



Пересечение областей, разрешенных расчетом Батыгина — Брауна (показано черным) и тех, что соответствуют колебаниям орбиты Сатурна, измененным "Кассини", дает достаточно узкую область, в которой надо искать девятую планету (Matthew J. Holman, Matthew J. Payne, *Observational Constraints on Planet Nine : Cassini Range Observations arXiv:1604.03180v1 [astro-ph.EP] 12 Apr 2016*)

кулярном орбите Сатурна. При этом параметры положения планеты лишь в узкой области пересекали зону, разрешенную моделированием Батыгина — Брауна. Чудесным образом это пересечение оказалось именно в той области небесной сферы, которая не охвачена известными обзорами звездного неба. Вот его координаты: около 30° долготы эклиптики и 15° южной широты, или, если мерить в привычных астрономам значениях, при склонении -15° и прямом восхождении в 3 часа (рис. 3). Интересно, что де ла Фуэнте-Маркосы дали близкие значения: склонение -20° , восхождение 2 часа. Независимо ни от каких иных данных мощность прилива оказалась 10^{-12} — 10^{-13} условных единиц (если делить массу в массах Земли к кубу расстояния в а. е.). Это прекрасный результат, поскольку планета Батыгина — Брауна массой в десять земных на расстоянии 1000—300 а. е. будет иметь попадающую в этот интервал мощность 10^{-12} — 10^{-14} тех же самых условных единиц. Другая хорошая новость: предполагаемые координаты девятой планеты находятся далеко от плоскости Млечного Пути — в этой области звезд несколько меньше, и заметить тусклое пятно, мало меняющее свое положение (0,4 угловых секунды в час), тут гораздо проще.

Однако в расчетах Холмана — Пейна был и другой результат (arXiv:1603.09008v1 [astro-ph.EP] 30 Mar 2016). В самом деле, «Кассини» дает данные за очень короткий промежуток времени. А вот наблюдения Плутона — до недавнего времени самого далекого из тяжелых объектов Солнечной системы — длятся более века. Во время подготовки экспедиции «Нью хорайзн», долетевшей до Плутона в 2016 году, астрономы обработали архивы наблюдений за этот период, включая фотопластины Пулковской и Лоуэлловской обсерваторий. Соответственно появился непрерывный ряд данных о положении Плутона с начала XX века. Несмотря на существенный их разброс, особенно в период использования фотопластинок, удалось выяснить, что измерения расходятся с теорией, а улучшить совпадение можно, если поместить в Солнечную систему источник приливных сил. Однако расчет показал, что это вовсе не планета Батыгина — Брауна — ее мощность 10^{-11} — 10^{-10} условных единиц, то есть она или тяжелее, или ближе, чем предполагаемая девятая планета. Так что получает поддержку любимая идея братьев де ла Фуэнте-Маркосов.

А есть ли другие доказательства существования девятой планеты? Есть, и их можно получить из наблюдений за пылью. Дело в том, что астрофизики придумали несколько



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

механизмов образования такой планеты. Наименее вероятный из них — захват объекта от пролетавшей мимо звезды, такое возможно, но только при строго определенной его траектории. Несколько более вероятно, что планету в процессе формирования Солнечной системы притянули звезды локального кластера, родившиеся вместе с Солнцем из одной туманности и потом разлетевшиеся в разные стороны. А наиболее вероятные сценарии — выталкивание планеты, сформировавшейся внутри Солнечной системы, на периферию за счет притяжения сохранившихся там остатков протопланетного диска либо непосредственно формирование планеты в этих остатках. Расчет для обоих механизмов сделали Скотт Кенyon из Смитсоновской астрофизической обсерватории и Бенджамин Бромли из университета Юты (arXiv:1603.08008v1, arXiv:1603.08010v1 [astro-ph.EP] 25 Mar 2016). Одним из основных параметров обеих моделей оказалась плотность вещества, оставшегося в диске: она должна быть не меньше некоего критического значения; при этом второй механизм — формирование планеты на периферии системы — дает еще и характерные изменения яркости свечения пыли.

Вот примерный ход событий в этом случае. При образовании Солнечной системы газ улетает как к Солнцу, так и прочь от него — выдуваемый солнечным ветром. Он увлекает с собой частички пыли, создавая внутреннюю полость, свободную от строительного материала. Однако на периферии системы из-за этого возникает уплотнение. Там-то и могут сформироваться зародыши планет. В плотном диске рассеяние солнечного света велико, поэтому и яркость у него большая. При выпадении пыли на более крупные тела пространство от пыли очищается: яркость свечения уменьшается очень сильно, в тысячи раз. Однако потом от столкновения образовавшихся булыжников снова появляется пыль. В зависимости от того, насколько прочны материалы булыжников и зародышей планет и каково их число, процесс дробления может занимать различное время. Результат же один — одна часть пыли улетает прочь, вытолкнутая растущими планетами, другая часть падает на них. Облако опять теряет блеск. Наблюдения за изменениями яркости свечения облаков пыли на периферии как нашей системы, так и других систем разного возраста могут в прямом смысле слова пролить свет на формирование подобных очень далеких крупных планет. Если такие наблюдения покажут, что подобное явление всегда происходит при планетообразовании, тогда астрономы получат новое яркое доказательство существования неоткрытых планет в Солнечной системе, и это облегчит переговоры с грантовым комитетом о выделении финансирования.

Вот так, действуя словно команда загонщиков, астрономы медленно, но верно сжимают кольцо доказательств вокруг неуловимой девятой планеты.

