



Нити солнечного ветра

Солнечный ветер – это порождаемый нашей звездой поток плазмы, которая движется в магнитном поле. Частицы ветра распространяются на периферию Солнечной системы далеко за пределы планетных орбит. Рядом со светилом уже десятилетия находится целая флотилия американских и европейских спутников, держащих под

контролем всю его поверхность. Их данные, в частности, позволили установить, что в короне Солнца, то есть верхнем, самом разреженном и горячем слое его атмосферы, существуют так называемые корональные дыры, темные в ультрафиолете. Они иногда рождают энергичные гейзеры солнечной плазмы, плюмы, которые дают начало потокам солнечного ветра.

Свежие данные о строении и динамике плюмов получила группа из шести американских ис-

следователей во главе с Вадимом Урицким из Центра НАСА им. Годдарда. Для анализа ученые взяли фотографии короны, сделанные несколько лет назад космическим аппаратом SDO (Солнечная динамическая обсерватория). Применяв инновационные методы обработки, они сумели повысить резкость изображений и устранили шум.

Так удалось установить, что плюмы с характерными размерами порядка ста тысяч километров состоят из нитевидных структур с

толщинами в десятки раз меньше. Эти яркие нити и сосредоточивают в себе основную массу ионов солнечного ветра. Оказалось, нити одного плюма движутся и колеблются независимо друг от друга. Ученые предполагают, что нитевидная структура может определять динамические характеристики распространяющейся плазмы солнечного ветра, а именно скорости ее сгустков, форму магнитных полей и пространственную эволюцию.

Детали строения солнечной короны остаются одной из основных загадок солнечной физики. Свойства магнитного поля вблизи поверхности светила, равно как и местные характеристики его плазмы, до сих пор окончательно не выяснены. Физика происходящих в короне Солнца явлений также во многом загадочна. Например, непонятно, что нагревает корону до миллиона градусов, хотя температура лежащей под ней фотосферы всего около шести тысяч градусов. Авторы предполагают, что с нитями плюмов могут быть связаны недавно найденные зондом Parker инверсии магнитного поля в солнечном ветре. (*The Astrophysical Journal Letters*, 907 (1), 2021)

Гиганты наклоняются

Оси вращения некоторых планет Солнечной системы отклонены на углы в десятки градусов от перпендикуляров к их орбитам. Такие отклонения определяют смену времен года при орбитальном движении планет из-за изменения пропорции солнечного света, падающего на южные и северные полушария. О причинах несовпадения экваториальных плоскостей планет с плоскостями их орбит не одно столетие идут дискуссии в научном сообществе. Общепринято, что наклоны определяются резонансами между планетами, то есть равенством или соизме-

римостью различных временных периодов, характеризующих повторяемость их орбитальных обращений или собственных вращений. Резонансы предполагают взаимодействие и обмен энергией между двумя или несколькими планетами.

Астрофизики считают, что наклон планет-гигантов Юпитера и Сатурна связан с резонансами прецессий их вращения с прецессиями орбит Урана и Нептуна соответственно. До сих пор полагали, что этот наклон определился несколько миллиардов лет назад на заре существования Солнечной системы, когда Уран и Нептун переместились на нынешние орбиты, резонансные с орбитами планет-гигантов. Однако недавно эти представления подвергла сомнению небольшая группа ученых из Франции и Италии под руководством доктора Мелен Сайнфест из Парижской обсерватории, опубликовавшая две статьи на эту тему.

Ученые установили, что наклоны осей главных планет-гигантов задаются движением их массивных спутников, галилеевыми у Юпитера и Титаном у Сатурна. Изменения углов оказались связаны с удалением этих спутников от родительских тел. К противоречию с прежней теорией привели наблюдения последнего времени, уточнившие в сторону увеличения скорости убегания спутников.

Новые сценарии, предложенные авторами, утверждают, что после попадания вращения систем Юпитера и Сатурна в резонансы с обращениями Урана и Нептуна наклоны пары крупных гигантов стали непрерывно изменяться. К примеру, убегание спутников от не имевшего наклона Сатурна миллиард лет назад привело его в резонанс с Нептуном. С тех пор наклон менялся непрерывно и достиг сегодняшних 27 градусов.

Авторы считают, что при продолжающемся удалении спутников наклоны двух массивных гигантов в ближайшие несколько миллиардов лет будут непре-

рывно возрастать примерно на градус в сотню миллионов лет. Такие величины, заметим, невозможно выявить при сегодняшнем уровне техники. Авторы предполагают применить свой подход к планетам-гигантам в далеких экзопланетных системах, однако для этого нужно уметь определять наклоны таких планет и положение их спутников.

Наши читатели, конечно, знают об удалении Луны от Земли с текущей скоростью 38 км в миллион лет, поэтому вполне могут предположить, что наклон оси вращения Земли подвержен действию аналогичного механизма и это может повлиять на климат. Однако, по-видимому, скорость таких изменений несопоставимо мала в сравнении со скоростью эволюции земной жизни. (*Astronomy and Astrophysics*, 640, A11, 2021; *Nature Astronomy*, 18 января 2021 года)

Вещество транснептунов

После того как Плутон исключили из числа планет Солнечной системы, самым удаленным от светила стал Нептун. Он расположен на расстоянии тридцати астрономических единиц (радиусов орбиты Земли) от Солнца. За Нептуном находятся орбиты Плутона, Хаумеи, Эриды и других сравнимых с ними по размерам карликовых планет.

Кроме них на периферии Солнечной системы движутся более мелкие твердые и темные тела. Их орбиты могут быть самыми разнообразными: круговыми, вытянутыми, сильно наклоненными к плоскости эклиптики. По своим орбитальным параметрам и вещественному составу поверхности все транснептуновые тела подразделяются на группы, происхождение которых в деталях неясно.

Недавно космический аппарат НАСА «Новые горизонты» (New Horizons) изучил два из них, про-

летев мимо Плутона, а затем мимо малого астероида Аррокот, находившегося на расстоянии сорок с небольшим астрономических единиц от Солнца («Химия и жизнь», 2020, 5–6). Оптические приборы зонда позволили составить карты распределения различных веществ на поверхности этих тел. Основную информацию о составе других транснептунов дают спектры, снятые в самые сильные телескопы. К ним принадлежит и орбитальный телескоп Спитцер, принимающий инфракрасное излучение. Получить на нем детальные спектры транснептуновых тел, а значит, точно определить химический состав, достаточно сложно из-за малой яркости отражаемого ими солнечного света. Оказалось, что для оценки состава темных тел можно сравнивать их изображения, полученные через два оставшихся в работе широкополосных фильтра телескопа, центрированных на длинах волн 3,6 и 4,5 микрон. Такой подход реализовала американо-европейская команда из пятнадцати исследователей под руководством доктора Эстелы Фернадес-Валенсуэлы из университета Центральной Флориды. Исследователи наложили данные Спитцера об оптических характеристиках сотни транснептуновых тел на цветовые диаграммы различных веществ и их смесей и тем самым разбили тела на группы с похожим составом.

Оказалось, что основные вещества поверхности транснептунов – это льды воды, метана, метанола, сложные органические соединения (толины), аморфные силикаты. Наиболее распространена смесь воды, аморфных силикатов и сложной органики: это три четверти объектов. Остальные содержат льды моно- и диоксида углерода, метана или метанола.

Похоже, силикаты доминируют только на самых малых телах. Водяной лед в различных долях содержат 86% тел. Новый уникальный метод позволяет анализировать слабые излучения самых разных космических тел.

Авторы надеются применить его для будущей обработки данных новейшего орбитального телескопа имени Джеймса Вебба, запуск которого НАСА постоянно откладывает. (*The Planetary Science Journal*, 25 января 2021 года)

Древо Млечного Пути

Современная астрофизика считает, что крупные галактики появляются при слиянии галактик помельче за счет гравитационного притяжения, хотя есть и другие теории. Галактики содержат звезды, пыль, газ и более сложные подсистемы, например шаровые скопления звезд, движущиеся по кеплеровским орбитам вокруг галактических центров. Эти скопления представляют собой компактные кластеры из миллионов звезд с близкими возрастами и металличностью, то есть долей элементов тяжелее гелия.

Если предположить, что при слияниях галактик шаровые скопления обобществляются и становятся спутниками ядра вновь образовавшейся галактики, то можно попытаться выделить их группы, принадлежавшие ее предшественницам. Тем самым удалось бы охарактеризовать мелкие галактики до слияния, а также выяснить, сколь давно они присоединились к Млечному Пути. Для этого, конечно, придется закладывать в модели немало гипотетических соображений, а расчет требует значительных вычислительных ресурсов.

Именно такой теоретический подход к Галактике, содержащей полторы сотни шаровых кластеров, да еще с применением искусственного интеллекта, реализовала немецко-британская команда ученых под руководством доктора Дидерика Крёйссена из Гейдельбергского университета. У исследователей уже имелась

программа E-MOSAICS, позволяющая вычислять характеристики шаровых кластеров для родительских галактик с различными параметрами. Они создали алгоритм нейронной сети и обучили его с помощью результатов работы программы E-MOSAICS. Затем этот искусственный интеллект проанализировал параметры известных скоплений Млечного Пути на предмет связи их возраста, доли тяжелых элементов и параметров орбит с предполагаемыми характеристиками их родительских галактик.

Так впервые была реконструирована генеалогия Млечного Пути, который предположительно «съел» около сотни миллиардов звезд из полутора десятков галактик-предшественниц. Исследователи уточнили времена слияния галактик и их массы, а также выявили ранее неизвестное событие: поглощение Млечным Путем крупной галактики, которую назвали Кракеном. Это произошло одиннадцать миллиардов лет назад, когда масса нашей галактики была вчетверо меньше теперешней. Другое ранее известное и подтвержденное в работе крупное слияние случилось шесть миллиардов лет назад.

Авторы работы надеются, что им удастся выявить все группировки звезд, доставшихся Млечному Пути от галактик-предшественниц. (*Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 498 (2), 2472, 2020)

Выпуск подготовил
А. Гурьянов