

В. КРАТ

## О МАССЕ СОЛНЦА В ЭПОХУ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 12 I 1954)

В любой из трех современных теорий происхождения солнечной системы — теории О. Ю. Шмидта <sup>(6)</sup>, Л. Э. Гуревича и А. И. Лебединского <sup>(1)</sup> и автора <sup>(3)</sup> считается, что планеты произошли из облака диффузной материи, состоявшей из пыли и газа (а возможно, и более крупных частиц, входивших в состав первичной газо-пылевой туманности). Поскольку в этом основном пункте у указанных четырех авторов нет расхождений и поскольку не существует данных, опровергающих эту концепцию, мы можем, основываясь на картине возникновения планет из газо-пылевой туманности, сделать некоторые выводы, имеющие общее значение.

Как известно, основным различием больших планет и планет земного типа является различие в их химическом составе. Обилие в атмосферах больших планет легких элементов (и в первую очередь водорода), характерное согласно Н. А. Козыреву <sup>(2)</sup>, А. Г. Масевич и В. Г. Фесенкову <sup>(5)</sup> и для внутреннего строения больших планет, сближает эти планеты по своему химическому составу с Солнцем, звездами и туманностями. В то же время относительное сходство химического состава Солнца, земной коры и метеоритов по отношению к тяжелым элементам наводит на мысль, что химический состав первичного вещества, из которого образовались тела солнечной системы, был более или менее одинаковым для всех этих тел. Так как пылевая туманность была практически непрозрачна для солнечного излучения, то зона улетучивания легких элементов должна была совпадать с зоной интенсивного испарения твердых частиц пыли. Лишь при условии исчезновения пылевой завесы из туманности могли улетучиться легкие элементы. Такой границей для испарения пыли должна была быть зона туманности, в которой сформировался Юпитер, так как лишь начиная с этой зоны химический состав вещества существенно не менялся за весь период формирования планет.

По Л. Э. Гуревичу и А. И. Лебединскому время формирования Юпитера и Сатурна должно было быть порядка  $10^7$  лет. Как мы отмечали раньше <sup>(3)</sup>, эта оценка несколько занижена и скорее представляет собой нижний предел времени формирования планет. Здесь следует отметить то обстоятельство, что если считать Солнце возникшим одновременно с планетами, то в соответствии с современными представлениями время, в течение которого оно могло быть молодой звездой спектрального класса В, Ве или WR (по данным Амбарцумяна, Воронцова-Вельяминова и автора), не могло превышать  $10^7$  лет и скорее должно быть принято близким к  $10^6$  лет. Поэтому превращение Солнца в обычную звезду главной последовательности завершилось еще до того, как окончился процесс формирования планет из первичной туманности. До самого кон-

на этого процесса сохранялась пылевая составляющая туманности, так как процесс объединения первичных, а затем и вторичных сгущений туманности путем столкновений их между собой сопровождался процессом их дезинтеграции, раздробления и превращения части вещества в мелкую пыль.

То обстоятельство, что мы знаем расстояние зоны формирования Юпитера от Солнца, позволяет нам вычислить массу Солнца в начальный момент его существования, исходя при этом только из факта испарения туманности вплоть до этой зоны. За радиус  $R$  зоны испарения туманности можно принять 5,0 астр. ед. Аналогичная попытка была недавно предпринята Б. Ю. Левиным<sup>(4)</sup>, ошибочно принявшим, однако, за границу зоны испарения орбиту Меркурия.

Известно, что для участка главной последовательности от звезд спектрального класса В до звезд класса G влиянием радиуса звезды на зависимость масса — светимость можно пренебречь и принять:

$$L \sim m^4. \quad (1)$$

Так как, с другой стороны, температура  $T$ , «черной сферы» на заданном расстоянии  $r$  от Солнца должна быть пропорциональна  $\sqrt[4]{L}$ , должно удовлетворяться следующее равенство:

$$T = \frac{277^\circ}{\sqrt{r}} \sqrt[4]{\frac{L}{L_0}}, \quad (2)$$

где  $L_0$  — светимость Солнца в настоящее время. Равенство (2) при помощи (1) может быть переписано в следующем виде:

$$T = \frac{277^\circ}{\sqrt{r}} m. \quad (3)$$

Здесь  $m$  — наибольшая масса Солнца, соответствующая его наибольшей светимости, выражена в единицах современной массы Солнца.

Следуя Б. Ю. Левину, мы примем за температуру, способную обеспечить испарение туманности в течение времени порядка  $10^6$  лет, температуру  $T = 1600^\circ$  К. Относительная ошибка в принятом значении  $T$ , очевидно, будет равна относительной ошибке определяемого значения  $m$ . Величина  $r$  должна быть равна

$$r = \frac{R}{m}, \quad (4)$$

так как уменьшение массы Солнца с течением времени приводило к увеличению размеров планетных орбит в отношении  $m$ . Приняв  $T = 1600^\circ$  и  $R = 5,0$ , мы получим:

$$m = 5,5. \quad (5)$$

В эту эпоху светимость Солнца была равна

$$L = 912 L_0. \quad (6)$$

На расстояниях от Солнца меньших  $r$  до того момента, пока масса Солнца не уменьшилась до 1,5 или 2,0, формирование каких бы то ни было планет было невозможно. Итак, планеты земного типа начали формироваться лишь тогда, когда светимость Солнца лишь в несколько раз превышала  $L_0$ . Материал для формирования планет доставил прежде всего сам процесс обмена моментами количества движения у сталкивающихся сгустков, который происходил при формировании больших планет. При этом часть сгустков отдалялась от Солнца, а часть сгустков

приближалась к Солнцу на расстояния меньшие  $R/m$ . Кроме того, следует считаться с тем, что первичная туманность не была стационарным образованием и что в ней, так же как в диссипирующих звездных системах (1), должен был идти процесс сжатия, в результате которого из наружных частей туманности сгустки и отдельные частицы, потерявшие часть момента вращения по отношению к Солнцу, должны были приближаться к нему, постепенно заполняя внутреннюю зону, из которой первичная туманность была удалена излучением Солнца, мелкая пыль проникла во внутреннюю зону вследствие торможения солнечной радиацией. Кроме того, следует учесть, что выброшенная из Солнца материя (масса которой была равна  $4,5 m_{\odot}$ ), осаждавшаяся в газо-пылевой туманности, должна была в силу ее малого момента вращения способствовать приближению пылевой компоненты туманности к Солнцу.

Будем считать, что расстояние внутренней границы туманности в эпоху наибольшего истечения веществ было равно  $1,5-2,0$  астр. ед., и примем порядок толщины кольца туманности  $10^{-3}$  астр. ед. (порядок диаметра Юпитера); тогда в наиболее невыгодном для захвата материи случае истечения, когда оно является изотропным, туманностью должна быть захвачена  $10^{-3}$  часть выброшенной массы. Так как в ней сохранилось около  $10^{-3}$  тяжелых элементов, то окончательно масса захваченной пыли, из которой образовались впоследствии планеты земного типа, должна была иметь порядок  $10^{27}$  г, т. е. должна была составлять около 10% массы планет. Этот процесс не мог воссоздать в зоне испарения первичную туманность, так как из приближающихся к Солнцу сгустков в первую очередь улетучивались легкие элементы, для улетучивания же тяжелых элементов температура излучения Солнца была уже недостаточна. Процесс улетучивания легких элементов из сгустков был подобен процессу распада комет, где мы наблюдаем и в настоящее время улетучивание газовой составляющей (первоначально входящей в ядро кометы в виде сгустков метано-аммиачных льдов, содержащих в себе и обычный лед и углекислоту) из ядра кометы.

Так как процесс объединения вторичных сгущений в планете не мог закончиться на периферии солнечной системы вследствие падения плотности туманности к краю и уменьшения в силу этого числа сгущений, имеет смысл отождествить если не все кометы солнечной системы со сгустками первичного вещества, то по крайней мере ту часть комет, которые появляются из пространства за орбитой Нептуна. Представляло бы интерес также попытаться поискать в зоне эклиптики (или в более широкой зоне) следы космического поглощения света, хотя количество пыли в этой зоне из-за редкого столкновения отдельных сгустков должно быть ничтожно мало.

Число сгустков, объединившихся во внутренней зоне в планеты земного типа, должно быть меньше, чем число сгустков, объединившихся в планеты в зоне больших планет, хотя масса их могла быть больше. Следы этого, повидимому, сохранились в эксцентриситете орбит Меркурия и Марса, несмотря на то, что масса твердой пыли, из которой образовались эти планеты, имеет порядок массы тяжелых элементов, вошедших в состав больших планет. Согласно теории О. Ю. Шмидта, величина эксцентриситета орбиты планеты зависит от числа столкновений, которые испытали сгущения, объединившиеся в планеты, т. е. от числа сгустков, объединившихся в планеты.

В непосредственной близости Солнца на расстоянии от Солнца, равном радиусу орбиты Меркурия, не образовалось никаких планет, если считать, что отсутствие интрамеркуриальной планеты вызвано испарением твердых частиц и более крупных сгустков вблизи Солнца. Так как испарение легких элементов кометоподобных сгустков превращает их в облако пыли, то в данном случае мы можем также применить формулы (4) и (3), положив  $R = 0,35$ . В результате мы получим  $m = 2,2$ .

Такой могла быть масса Солнца в эпоху формирования планет земного типа. Водород в составе молекул воды сохранился только на Земле и Марсе; Венера и Меркурий его, повидимому, полностью лишены.

Поступило  
7 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Э. Гуревич, А. И. Лебединский, Изв. АН СССР, сер. физ., **14**, № 6 (1950). <sup>2</sup> Н. А. Козырев, ДАН, **79**, № 2, 217 (1951). <sup>3</sup> В. А. Крат, Изв. ГАО, **19**, № 149 (1952). <sup>4</sup> Б. Ю. Левин, ДАН, **90**, № 3, 471 (1953). <sup>5</sup> А. Г. Масевич, В. Г. Фесенков, Астр. журн., **28**, № 5, 317 (1951). <sup>6</sup> О. Ю. Шмидт, Четыре лекции по теории происхождения Земли. Изд. АН СССР, 1948.