

В. В. РАДЗИЕВСКИЙ

## К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ОБЛАКА В КОСМОГОНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ О. Ю. ШМИДТА

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 24 III 1953)

Концепция конденсации планет из остатков пылевой материи, образовавшей Солнце, наталкивается на ту же трудность, связанную с аномальным распределением удельного момента количества движения в солнечной системе, что и гипотеза отделения планет от Солнца. В настоящее время нам неизвестен механизм, который смог бы вызвать необходимое перераспределение момента в солнечной системе и создать наблюдаемый разрыв функции распределения. Излучение момента Солнцем приводит, как было показано автором (1), к еще более быстрой потере удельного момента обращающейся вокруг него материей. Механизм, предложенный К. П. Станюковичем (2), требует реализации специальных очень жестких условий, при которых материя, получившая прямой импульс, не упала бы, а обратный — упала бы на Солнце. Таким образом, мы должны либо допустить, что функция распределения момента в первородном облаке с самого начала имела резко выраженный разрыв (т. е. признать ничем не обоснованную идею Уиппла о существовании потока внутри облака), либо отказаться от упомянутой выше концепции.

Вместе с тем совершенно ясно, что выдвинутая О. Ю. Шмидтом (3) гипотеза захвата, возможность которого была доказана как самим О. Ю. Шмидтом, так и рядом других авторов, полностью снимает проблему распределения момента в солнечной системе.

В настоящей работе мы рассмотрим в более общем виде, чем это было сделано нами ранее (4), механизм захвата космической пыли Солнцем, основанный на увеличении эффективной (редуцированной) массы  $M'$  последнего.

Под захватом ( $dH/dt < 0$ ) или выбросом ( $dH/dt > 0$ ) в задаче двух тел мы будем понимать явление изменения знака удельной энергии  $H$  одного тела по отношению к другому. Как известно, в задаче двух тел постоянной массы захват невозможен, так как

$$H = \frac{v^2}{2} - \frac{GM'}{R} = \text{const.} \quad (1)$$

Если же эффективная масса первого тела зависит от времени  $t$

$$M' = M'_0 + \frac{dM'_0}{dt} t + \dots, \quad (2)$$

то, учитывая теорему живой силы, будем иметь

$$\frac{dH}{dt} = - \frac{G}{R} \frac{dM'}{dt}, \quad (3)$$

где  $G$  — гравитационная постоянная, а  $R$  — расстояние между телами. Как видно из (3), увеличение  $M'$  благоприятствует захвату, а уменьшение — выбросу второго тела.

Увеличение эффективной массы Солнца (как и любой другой звезды) может быть вызвано тремя причинами: 1) распадом частиц до размеров,

меньших длины волны; 2) нарастающим экранированием солнечного излучения частицами, захватываемыми любым способом, при условии, что переизлучаемая ими длинноволновая радиация, вследствие диффракции, давления уже не оказывает; 3) остыванием Солнца.

Очевидно, первая причина приводит к увеличению  $M'$  только по отношению к распадающимся частицам, в то время как вторая и третья причины увеличивают  $M'$  по отношению ко всей материи, находящейся под лучами Солнца.

В предыдущей работе (4) нами был рассмотрен механизм захвата, основанный на учете первой причины увеличения  $M'$ . Эффективность этого механизма была поставлена под сомнение И. С. Шкловским (5), который считает, что захват всего лишь одной миллионной доли массы планет в распыленном виде привел бы к полной «блокировке» солнечного излучения и к прекращению работы механизма. Нетрудно, однако, опровергнуть это возражение И. С. Шкловского. Прежде всего, как уже было сказано выше, не всякое экранирование ослабляет репульсивное действие радиации. Если же такое ослабление имеет место, то оно приводит к увеличению эффективной массы Солнца по отношению ко всем частицам в его окрестностях и может сопровождаться массовым захватом материи, которая отталкивалась лучами Солнца до того, как оно было «заблокировано».

Перейдем теперь к детальному рассмотрению механизма захвата, основанного на увеличении  $M'$  вследствие постепенно нарастающего экранирования Солнца или вследствие его охлаждения. Так как в результате этих процессов эффективная масса Солнца возрастает сравнительно медленно, то на протяжении достаточного коротких промежутков времени она может быть представлена двумя первыми членами ряда (2).

Подставляя (2) в (3) и принимая крайне невыгодное для нашего результата условие, что при  $M'_0 \geq 0$   $R < R_0 + v_0 t$ , находим после интегрирования (3) от  $H_0$  до 0 и от 0 до  $t$  условие захвата в следующем виде:

$$H_0 = \frac{v_0^2}{2} - \frac{GM'_0}{R_0} \leq \frac{G}{v_0} \frac{dM'_0}{dt} \ln \left( 1 + \frac{v_0 t}{R_0} \right). \quad (4)$$

В частности, из (4) следует, что при

$$\frac{dM'_0}{dt} = 10^{20} \text{ г/сек} \quad (5)$$

в течение одного миллиона лет после того, как эффективная масса Солнца проходит для частиц данного размера через нулевое значение, все эти частицы должны быть захвачены Солнцем, если в начальный момент они находились внутри сферы радиуса  $R_0 \leq 10^{18}$  см и имели скорость  $v_0 \leq 2 \cdot 10^4$  см/сек.

Для того чтобы за указанное время было захвачено необходимое для образования планет количество материи, достаточно, чтобы пространственная плотность таких частиц составляла  $10^{-24}$  г/см<sup>3</sup>.

К сказанному следует добавить, что скорости  $v_0 = 2 \cdot 10^4$  при  $M'_0 = 0$  соответствует значительно большая скорость на бесконечности, так как до момента  $t = 0$  эффективная масса Солнца в нашем примере была отрицательна.

Для определения точной орбиты второго тела в период захвата необходимо проинтегрировать систему уравнений

$$\frac{d^2 R}{dt^2} - \frac{C^2}{R^3} = \frac{GM'}{R^3}, \quad R^2 \frac{d\varphi}{dt} = C. \quad (6)$$

На рис. 1 изображена орбита, полученная путем графического интегрирования (6) при такой же скорости роста  $M'$ , как и в предыдущем примере, и при следующих начальных условиях в точке  $A$ :  $t = -1,7 \cdot 10^{13}$  сек.,  $M' = -1,7 \cdot 10^{33}$  г,  $R = 6 \cdot 10^{17}$  см,  $v = 3,2 \cdot 10^4$  см/сек,  $C = 2,4 \cdot 10^{21}$  см<sup>2</sup>/сек (удесятеренный удельный момент Плутона).

В точку  $B$  ( $M' = +1,45 \cdot 10^{33}$ ,  $R = 6 \cdot 10^{16}$ ) второе тело попадает через  $10^6$  лет, имея уже круговую скорость\*. Заметим, что этим вторым телом может быть либо отдельная сферическая частица с необходимыми радиусом  $a$  и плотностью  $\delta$ , либо прозрачное облако, состоящее из таких частиц, либо, наконец, непрозрачное облако любого состава, если оно движется как целое и характеризуется таким же значением произведения  $a\delta$ .

Изменение эффективной массы Солнца со скоростью (5) также могло происходить при самых различных комбинациях физических условий. Так например, если в то время, когда гравитационная масса Солнца  $M$  и его светимость  $L$  составляли, соответственно,  $1,5 M_{\odot}$  и  $5 L_{\odot}$ , величина  $L$  уменьшалась вследствие экранирования на 1% в  $10^4$  лет, то по отношению к частицам с  $a\delta = 2 \cdot 10^{-4}$  его эффективная масса в среднем росла со скоростью (5).

С такой же примерно скоростью происходит увеличение  $M'$  вследствие охлаждения звезд ранних спектральных классов, эволюционирующих вдоль главной последовательности. В самом деле,

$$M' = M \left( 1 - \frac{F_p}{F_g} \right) = M \left[ 1 - \frac{3L}{16\pi c G M a \delta} \right], \quad (7)$$

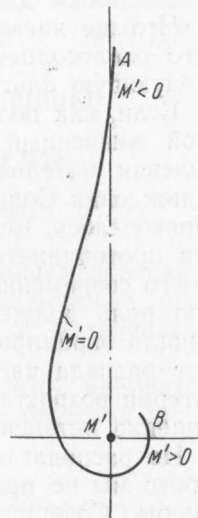


Рис. 1

где  $F_p = L\pi a^2/4\pi R^2 c$  и  $F_g = GMm/R^2$  — силы светового отталкивания и гравитационного притяжения, а  $c$  — скорость света. Подставляя в (7)  $L = \alpha M^n$ , где  $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-97}$  CGS при  $n = 3,9$ , и учитывая, что  $dM/dt = -kL = -k\alpha M^n$ , находим скорость роста эффективной массы звезды по отношению к частицам, для которых  $M' = 0$ :

$$\frac{dM'_0}{dt} = -(n-1) \frac{dM}{dt} = + (n-1) k\alpha M^n. \quad (8)$$

Как следует из теоремы А. Г. Масевич (6), при  $n = 3,9$  и  $M = 14,2 M_{\odot}$  коэффициент  $k = 0,87 \cdot 10^{-18}$  CGS. Подставляя эти данные в (8), находим, что для частиц с  $a\delta = 10^{-1}$  г/см<sup>2</sup>  $dM'_0/dt = 3 \cdot 10^{20}$  г/сек.

Таким образом, мы приходим к выводу, что захват пылевой материи звездами за счет их естественного охлаждения, в отличие от всех остальных механизмов захвата, не является гипотезой, а представляет собою закономерное свойство каждой звезды на определенном этапе ее жизни.

С другой стороны, нетрудно видеть, что быстрому увеличению эффективной массы любой звезды должно предшествовать в период ее формирования уменьшение  $M'$  вплоть до огромных по модулю отрицательных значений. Последнее должно приводить к безусловному выбросу остатков собственной пылевой материи, для которой начинает выполняться

\* Мы выбрали для иллюстрации захвата орбиту столь больших размеров для того, чтобы при соответствующей ей малой скорости движения можно было не учитывать эффектов торможения, которые, хотя и благоприятствуют захвату, но чрезвычайно осложняют математические расчеты.

неравенство  $M' < 0$ , являющееся, как видно из (1), не необходимым, но достаточным условием выброса ( $H > 0$ ).

Все это вместе взятое позволяет нам сделать заключение, что одним из элементов эволюции каждой звезды является своеобразный «обмен веществ» с окружающей межзвездной средой, происходящий путем выброса остатков собственной пылевой материи, которая, как уже говорилось выше, не может обладать существенным моментом, и захвата из межзвездного пространства пылевой материи, которая может обладать необходимым для построения планет моментом количества движения.

Что же касается конкретной проблемы происхождения протопланетного околосолнечного роя, то по этому вопросу мы можем высказать следующую альтернативу.

Если, как полагают В. Г. Фесенков и А. Г. Масевич, Солнце начало свой жизненный путь в качестве звезды класса В, то (при  $k = 10^{-18}$ ) пылевая материя в нужном количестве могла быть захвачена за счет охлаждения Солнца в самом начале его эволюции в том месте, где оно образовалось. Если же, как полагает Б. Ю. Левин, в эпоху возникновения протопланетного облака Солнце практически уже не отличалось от своего современного состояния, то в эффективном захвате материи главную роль должен был, по видимому, сыграть фактор экранирования. Начало экранированию мог положить захват по Т. А. Агекяну или за счет распада частиц. По мере увеличения количества захватываемой материи возрастал и фактор экранирования, обеспечивая тем самым повышение интенсивности захвата.

Не располагая данными о скорости движения корпускул, в нашей работе мы не приняли во внимание давления корпускулярной радиации Солнца. Совершенно ясно, что учет этого фактора смог бы усилить полученные нами результаты.

В заключение мы выражаем благодарность акад. О. Ю. Шмидту и Б. Ю. Левину за критическое обсуждение настоящей работы.

Ярославский государственный педагогический институт  
им. К. Д. Ушинского

Поступило  
23 III 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. В. Радзиевский, ДАН, 81, № 2 (1951). <sup>2</sup> К. П. Станюкович, Астр. журн., 29, № 3 (1952). <sup>3</sup> О. Ю. Шмидт, Четыре лекции о теории происхождения Земли, изд. АН СССР, 1949, 1950. <sup>4</sup> В. В. Радзиевский, ДАН, 72, № 5 (1950). <sup>5</sup> Тр. 1-го совещания по вопросам космогонии (выступление И. С. Шкловского), изд. АН СССР, 1951. <sup>6</sup> А. Г. Масевич, Астр. журн., 28, № 1 (1951).