Доклады Академии Наук СССР
1938. Том XIX, № 9

АСТРОНОМИЯ

Академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗОДИАКАЛЬНОГО СВЕТА

Зодиакальный свет, сосредоточенный преимущественно около эклиптики и около Солнца, обычно приписывается скоплению материи в пределах солнечной системы. Эта материя может состоять из совокупности метеоров, проникающих в солнечную систему из галактических областей с гиперболической скоростью по отношению к Солнцу; из совокупности метеоров, движущихся по эллиптическим орбитам; из вещества, выбрасываемого Солнцем.

Определим, каково должно быть распределение пространственной плотности в каждом из этих случаев.

Как было показано ранее ([1]), в совокупности гиперболических метеоров, образующих первоначально однородный поток, проходящий через солнечную систему, поверхности одинаковой плотности в областях, не слишком близких к Солнцу, следуют приблизительно радиальным направлениям. Зодиакальный свет, произведенный гиперболическими метеорами, должен быть поэтому для некоторых положений Земли на орбите весьма различной абсолютной яркости к востоку и к западу от Солнца. Однако относительное распределение яркости в его обеих ветвях должно примерно соответствовать случаю плотности, независящей от расстояния.

Рассмотрим теперь случай эллиптических метеоров. В совокупности эллиптических орбит в плоскости эклиптики, равномерно окружающих Солнце и характеризующихся определенными значениями параметров a и p, пространственная плотность пропорциональна

$$D \sim \frac{\sin\alpha}{r\sin 2\alpha}\cdot\frac{1}{r}\cdot\frac{r\sin\alpha}{\sqrt{p}}\cdot\frac{1}{a^{\frac{3}{2}}}.$$

Первый фактор есть величина, обратно пропорциональная расстоянию между смежными орбитами (α — угол между касательной и радиус-вектором r); второй фактор выражает факт прохождения всех орбитальных плоскостей через Солнце; третий учитывает отсутствие периодических колебаний плотности; последний выражает независимость элементов орбиты метеорного потока от его массы. Имеем

$$D \sim \frac{1}{ar\sqrt{2ar - r^2 - ap}}.$$

Эллиптические элементы a и e будем рассматривать как функции некоторых параметров $c_1, c_2, \ldots, c_n$, определяемых условиями происхождения рассматриваемых орбит. Обозначая через $P_1, P_2, \ldots P_n$ вероятности этих параметров, найдем для результирующей плотности метеорной материи следующее общее выражение:

$$\Delta = \int\int \ldots \int D(r, c_1, c_2, \ldots c_n) P_1 P_2, \ldots P_n dc_1 dc_2 \ldots dc_n. \tag{1}$$

Для числовой оценки этого интеграла необходимо исходить из определенной гипотезы происхождения эллиптических метеоров. Рассмотрим два случая: 1) эллиптические метеоры получаются в результате разложения параболических комет, захваченных планетами; 2) эллиптические метеоры образуются путем выброса материи планетой.

Предположим, что комета, движущаяся с параболической скоростью, входит в пределы сферы действия Солнца и притом в плоскости орбиты Юпитера, причем вектор скорости кометы может быть ориентирован как угодно с одинаковой вероятностью. Большие возмущения от Юпитера, преобразующие первоначальную параболу в эллипс, зависят от обстоятельств прохождения кометы вблизи Юпитера, именно от угла ω между касательными к орбитам обоих тел в точке их пересечения и от расстояния h между Юпитером и кометой в момент пересечения последней орбиты планеты. Все значения h равновероятны, т. е. $P_h = \text{const}$. Можно также доказать, что

$$P_\omega \sim \cos^2 \omega.$$

Основываясь на известном критерии Тиссерана и на формулах Г. Ньютона (H. A. Newton), можно показать, что a и p выражаются через ω и h следующим образом:

$$4a = \frac{1 + \left(\frac{h}{m}\right)^2 2s^2 \sin^2 \omega}{\sqrt{2} \cos \omega - 1 + \frac{h}{m} 2s \sin^2 \omega}; \quad \sqrt{p} = \sqrt{2} \cos \omega - \frac{1}{2a}, \tag{2}$$

если $R = 1$, $s^2 = 3 - 2\sqrt{2} \cos \omega$ (m — масса возмущающей планеты).

Выражение (1) сводится к двойному интегралу, который приходится вычислять числовым образом. В результате оказывается, что плотность материи в пространстве до орбиты Марса меняется несколько медленнее, чем это следует по закону r^{-1}, причем материя оказывается сосредоточенной весьма близко к плоскости орбиты планеты, образуя род сплюснутого диска.

Рассмотрим другой вариант возникновения эллиптических орбит. Пусть материя равномерно выбрасывается со скоростью v_0 из планеты, движущейся по круговой орбите со скоростью u. Ограничиваясь лишь эллиптическими орбитами, которые при заданном v_0 будут получаться лишь при определенных значениях ω, найдем для элементов этих орбит следующие выражения:

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{R} - u \cos \omega + \sqrt{v_0^2 - u^2 \sin^2 \omega};$$

$$p = R^2 \left[u \cos \omega + \sqrt{v_0^2 - u^2 \sin^2 \omega}\right]^2 \cos^2 \omega, \tag{3}$$

где R — радиус орбиты планеты; постоянная Гаусса принята за единицу. Легко показать, что при указанных выше условиях вероятность выброса будет

$$P_\omega \sim \frac{u \cos \omega + \sqrt{v_0^2 - u^2 \sin^2 \omega}}{v_0 \sqrt{v_0^2 - u^2 \sin^2 \omega}}.$$

Кратный интеграл, выражающий результирующую плотность, сведется к ординарному, а именно,

$$\Delta = \int D(r, \omega) P_\omega d\omega. \tag{4}$$

Если $u = v_0$, то

$$P_\omega \sim \cos \omega. \tag{5}$$

Согласно (3) и (4) при условии (5) распределение плотности Δ происходит в плоскости орбиты Юпитера несколько быстрее, чем это следует по формуле r^{-1}, как видно из следующей таблички:

r	0.2	0.4	0.8	1.6	
rD	1.00	0.91	0.73	0.61	($R = 5.2$ в радиусах земной орбиты).

Предположим наконец, что материя выбрасывается из самого Солнца. Если истечение материи происходит равномерно по всем направлениям и в образовавшейся совокупности частиц плотность не зависит от времени, то

$$\Delta = \frac{1}{r^2} \int \frac{p_{v_0} dv_0}{v},$$

где v — скорость частицы на расстоянии r от Солнца, а ρ_{v0} — вероятность выброса с начальной скоростью v_0. При разных равновероятных значениях p_{v_0} распределение Δ мало отличается от квадратичного закона.

Итак, если аппроксимировать действительное распределение плотности материи в плоскости эклиптики простой формулой $\Delta \sim r^{-k}$, то в случае гиперболических метеоров $k \approx 0$, в случае эллиптических, возникших из параболических комет, $k \lesssim 1$, эллиптических, выброшенных планетами, $k \gtrsim 1$ и наконец в случае материи, выброшенной из Солнца, $k \approx 2$. Наблюдаемое распределение плотности в Зодиакальном свете соответствует предпоследнему случаю, т. е. зарождению метеорной материи внутри самой солнечной системы.

Поступило
8 V 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] ДАН, XIX, № 6 (1938).