

Академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

ЯРКОСТЬ ЗОДИАКАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ И ОБЩАЯ МАССА АСТЕРОИДАЛЬНОЙ МАТЕРИИ

1. Известно, что, зная яркость отдельного астероида, можно определить его массу, делая приемлемые предположения об его плотности и отражательной способности. Совершенно аналогично, зная яркость Зодиакальной полосы, производимой отражением солнечного света совокупностью материи в области кольца астероидов, можно сделать некоторые заключения об ее общей массе. Для этого недостаточно, однако, сделать предположение об альбедо и плотности подобной материи; необходимо еще принять определенный закон распределения частиц по их размерам. Полученные заключения, очевидно, справедливы лишь в тех пределах, в которых подобный закон распределения будет иметь место.

2. Метеорная материя, как ее можно наблюдать в земной атмосфере, отличается той особенностью, что масса ее в каждом интервале звездных величин, повидимому, есть постоянная величина. Понижение яркости метеоров вполне компенсируется увеличением их количества. Если принять эту закономерность, то можно найти распределение метеорных частиц по размерам, принимая во внимание, что яркость их пропорциональна массе. Пусть $A(m) dm$ — число метеоров в интервале звездных величин от m до $m + dm$ и M — соответствующая масса отдельного метеора. В таком случае, согласно условию, имеем

$$MA(m) = \text{const.} \quad (1)$$

Обозначим через $f(\rho)$ искомую функцию распределения метеоров по размерам, так что $f(\rho) d\rho$ означает число метеоров в интервале радиуса от ρ до $\rho + d\rho$.

Принимая во внимание, что $\rho^3 \sim M$ и, следовательно, $3 \frac{d\rho}{\rho} = \frac{dM}{M}$, а кроме того, учитывая известную связь яркости j со звездной величиной m , $M \sim j \sim 2,512^{-m}$, находим для функции $A(m)$ следующее выражение через $f(\rho)$:

$$A(m) \sim f(\rho) \rho.$$

Таким образом, условие (1) приводится к виду

$$f(\rho) \rho \cdot \rho^3 = \text{const.}$$

откуда

$$f(\rho) = C\rho^{-4} \quad (a)$$

Таково распределение по размерам метеорной материи в той области пространства, в которой обращается Земля. С некоторым правом это выражение можно распространить на всю солнечную систему.

Если, однако, принять во внимание, что метеорная материя находится в солнечной системе в некотором стационарном состоянии, непрерывно выпадая на солнце под действием радиативного торможения и непрерывно пополняясь извне, то в месте ее происхождения первоначальное распределение $f(\rho)$ должно иметь несколько другую форму. Действительно, более мелкие частицы в большей степени подвержены действию радиативного торможения и скорее отсортировываются из общего комплекса. Таким образом, в первоначальном распределении наиболее мелкие частицы должны быть относительно еще более обильны.

Принимая во внимание, что скорость выпадения частиц в каждой данной точке пространства обратно пропорциональна ρ , можно показать, что в первоначальном комплексе частиц должно быть ⁽¹⁾

$$f(\rho) = C\rho^{-5}. \quad (6)$$

Совершенно подобное же распределение было найдено Оортом ⁽²⁾ из существенно других соображений для пылевых частиц межзвездной материи.

Мы не знаем, в какой мере мелкая материя в области астероидального кольца успела уже приблизиться к стационарным условиям. Поэтому в дальнейшем будем пользоваться обоими выражениями (а) и (б).

Согласно С. В. Орлову ⁽³⁾, крупные астероиды, для которых известны орбиты и массы которых могут быть оценены, также удовлетворяют выражению (а). С. В. Орлов делает даже предположение, что это распределение удовлетворяется во всем диапазоне масс от наблюдаемых индивидуально астероидов до ничтожных частиц метеорной материи. В дальнейшем будет видно, насколько это предположение соответствует действительности.

3. Альbedo A астероидальной материи не может значительно отличаться от 0,2. В этом предположении оценим суммарную площадь отражающих частиц, необходимую для того, чтобы обеспечить видимую яркость Зодиакальной полосы, составляющую примерно одну звезду пятой величины на кв. градус.

Пусть L — освещенность от солнца на расстоянии Земли R . Как известно,

$$L = 1,3 \cdot 10^5 \text{ люксов} = 13 \text{ фотов.}$$

Освещенность от одного квадратного градуса Зодиакальной полосы будет $2,512^{-31,5} \cdot 1,3 \cdot 10^5$ люксов, а с поверхности одного стерадиана $13 \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 2,512^{-31,5}$ фотов. Наблюдаемая яркость Зодиакальной полосы равняется такому же числу стильбов, или $13 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 \frac{10^{-12}}{4} = 1,1 \cdot 10^{-8}$ стильбов. С другой стороны, яркость сплошного протяженного тела на расстоянии r есть $\frac{A}{\pi} L \frac{R^2}{r^2}$, причем в направлении, противоположном солнцу, можно принять, что $R^2/r^2 = 0,1$ для некоторого среднего расстояния астероидального пояса. Отношение этих яркостей равняется

$$\frac{\pi}{A} \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 \frac{10^{-12}}{4} = 1,3 \cdot 10^{-7}. \quad (2)$$

Отсюда следует, что сумма поверхностей астероидального вещества указанного альbedo должна составлять всего только одну десяти-миллионную долю в рассматриваемом телесном угле.

4. Для суждения об общей массе астероидальной материи исходим из распределения ее по размерам (а) и (б) и из результата (2).

Оценим теоретически долю суммарной угловой площади, приходящейся на один стерадиан неба. Имеем в предположениях (а) и (б) следующее выражение для этой площади:

$$\omega = \frac{1}{\Delta^2} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \pi \rho^2 C \rho^{-n} dr \quad (n = 4 \text{ или } 5).$$

Определим коэффициент пропорциональности C так, чтобы распределение $C \rho^{-n} d\rho$ относилось ко всей материи во всем астероидальном кольце. Принимая во внимание ширину этого кольца в соответствии с шириной Зодиакальной полосы в 10° , находим, что на один стерадиан приходится доля площади в

$$\omega' = \frac{1}{\Delta^2} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \frac{\pi \rho^2}{3600} \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 C \rho^{-n} d\rho.$$

Согласно найденному выше,

$$\omega' = 1,3 \cdot 10^{-7}.$$

Следовательно, полагая $\Delta = 3$ астр. ед. $= 4,5 \cdot 10^{13}$ см, находим

$$C = 9,1 \cdot 10^{19} \rho_1 \quad \text{в случае } n = 4,$$

$$C = 1,8 \cdot 10^{20} \rho_1^2 \quad \text{в случае } n = 5.$$

Поскольку верхний предел ρ_2 отличается от нижнего предела ρ_1 по крайней мере на несколько порядков, результат практически не зависит от ρ_2 .

Общая масса материи, для которой удовлетворяются предположения относительно распределения (а) и (б), является следующей

$$M = \int_{\rho_1}^{\rho_2} \frac{4}{3} \pi \rho^3 \delta C \rho^{-n} d\rho \quad (n = 4 \text{ или } 5).$$

В случае $n = 4$ имеем

$$M = 2gC \log \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

если плотность частицы принять равной 3. Величина $\log(\rho_2/\rho_1)$ неизвестна, но с хорошим приближением может быть принята равной 5. Действительно, если нижний предел ρ_1 равняется 10^{-3} см, а верхний предел ρ_2 принять 10^2 , а затем 10^5 см, то порядок указанного множителя останется тем же самым и величина его изменится крайне незначительно от 5 до 8. Однако 10^5 см представляет уже размеры мелких астероидов. Таким образом, в этом случае имеем

$$M = 145C = 1,3 \cdot 10^{22} \rho_1.$$

В случае $n = 5$ имеем аналогичным образом

$$M = \frac{4}{3} \pi \delta C \frac{1}{\rho_1} \quad (\delta = 3)$$

(ρ_2 не играет никакой роли), и потому

$$M = 2,2 \cdot 10^{21} \rho_1.$$

Итак, общая масса астероидальной материи, производящей явление Зодиакальной полосы яркостью в одну звезду пятой величины на кв. градус, при различных предположениях относительно распределения отражающих частиц по размерам пропорциональна минимальному размеру частицы. Если наименьшие отражающие частицы представляют пыль размером в доли сантиметра или даже сравнительно крупные камни размером в десятки сантиметров, то общая масса их оказывается ничтожно малой, значительно меньшей, чем масса известных нам астероидов. С другой стороны, приписывая общей массе астероидов, другими словами, массе родоначальной планеты величину в 10 или 100 раз меньшую массы Земли, т. е. порядка 10^{27} — 20^{26} г, находим для минимального размера ρ_1 около 1 км. В том и другом случае очевидно, что закон распределения не может быть справедливым для всего диапазона размеров частиц от астероидов до метеорной пыли. Поскольку этот закон был выведен именно для метеорной материи, он не может быть распространен и на астероиды, по крайней мере, с тем же коэффициентом пропорциональности. Итак, рассмотрение Зодиакальной полосы приводит к неизбежному заключению, что астероиды не переходят непрерывно в мелкие осколки материи. Они остаются достаточно крупными телами размером в километры, которые не прибавляют ничего к яркости Зодиакальной полосы. Эта полоса обусловлена очень небольшой массой в распыленном состоянии, эквивалентной в общей сложности одному небольшому астероиду диаметром около 10 км. Эта материя, повидимому, вторичного характера и явилась в результате непрерывного дробления в области астероидального кольца.

Поступило
14 IX 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Фесенков, Метеорная материя в междупланетном пространстве, изд. АН СССР, 1947. ² Oort and Van de Hulst, Bull. Astr. Inst. Netherlands, 10, No. 376 (1946). ³ С. В. Орлов, Метеоритика, в. 5, 1949.