

Академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

БЕСКОНЕЧНАЯ ВСЕЛЕННАЯ И СВЕТИМОСТЬ НОЧНОГО НЕБА

Светимость ночного неба есть весьма сложное явление, зависящее по крайней мере от 12 различных причин. Перечислим эти причины.

1) Монохроматическое свечение нижних слоев стратосферы; 2) монохроматическое свечение высоких слоев стратосферы; 3) электронные сумерки; 4) электронное продолжение короны; 5) электронные потоки в силовом поле Земли; 6) скопление метеорной материи вблизи плоскости эклиптики; 7) рассеивающая среда общая внутригалактическому пространству, но рассматриваемая в пределах солнечной системы; 8) материя, связанная с кольцом астероидов; 9) материя, связанная с точкой либрации на прямой Земля—Солнце; 10) интегральный блеск звезд нашей галактики; 11) рассеяние света внутригалактическим субстратом; 12) интегральный блеск галактик, образующих метagalактическую систему.

Первые три причины связаны с земной атмосферой и имеют в общем балансе наибольшее значение; следующие шесть — с междупланетным пространством и три последние — со всем тем, что лежит за его пределами. Мною было уже показано (ДАН, 1935, т. III, № 1), каким образом при помощи специальных наблюдений возможно выделить из общей светимости неба земную составляющую, от каких бы причин она ни зависела. Оказывается при этом, что около небесного полюса, где даже на юге светимость ночного неба составляет 3—4 звезды пятой величины на кв. градус, на долю причин, не зависящих от атмосферы, остается в тех же единицах около 0.7—0.8. Кроме того звездная статистика показывает, что интегральный блеск всех звезд в той же области составляет примерно 0.4. Далее нужно думать, что на долю всех планетных составляющих приходится по крайней мере 0.1—0.2.

Исследуем влияние внутригалактической материи на яркость ночного неба.

В настоящее время известно, что в галактической плоскости сосредоточена поглощающая и рассеивающая свет материя в виде сравнительно тонкого слоя. Производимое им поглощение света составляет по различным оценкам приблизительно 1 звездную величину на тысячу парсеков. Мы можем, поэтому, не очень отклоняясь от действительности, рассмотреть следующую схему: пространство шириной H , ограниченное двумя параллельными плоскостями, простирающимися неопре-

деленно далеко, равномерно заполнено звездами, излучающими каждая одинаковое количество энергии в единицу телесного угла, а также поглощающей и рассеивающей материей. Предположим, что ослабление света в этой среде обуславливается исключительно рассеянием, которое производится равномерно по всем направлениям. Поэтому коэффициент поглощения k и рассеяния μ связаны простым соотношением:

$$k = 4 \pi \mu.$$

Количество света, излучаемое единицей объема, занятого звездами и внутригалактическим субстратом, в единицу телесного угла представляется в виде ряда:

$$J = nL \Phi(y) = nL [1 + \Phi_1(y) + \Phi_2(y) + \Phi_3(y) + \dots],$$

где функции Φ_1, Φ_2, \dots , характеризующие рассеяние света первого, второго и высших порядков, зависят только от расстояния y от одной из граничных плоскостей. Имеем:

$$\begin{aligned} \Phi_1(y) = 1 - \frac{1}{2} e^{-k(H-y)} - \frac{1}{2} e^{-ky} - \frac{1}{2} k(H-y) Ei[-k(H-y)] - \\ - \frac{1}{2} ky Ei(-ky), \end{aligned}$$

и вообще

$$\begin{aligned} \Phi_{i+1}(y) = -\frac{k}{2} \int_{y^2}^H \Phi_i(ky') Ei[-k(y'-y)] dy' - \\ - \frac{k}{2} \int_0^y \Phi_i(y') Ei[-k(y-y')] dy'. \end{aligned}$$

Если наблюдатель находится в том же пространстве на расстоянии h_0 от граничной плоскости, то видимая яркость неба, зависящая только от интегральной яркости звезд, находящихся в поглощающей среде, будет

$$J_* = \frac{nL}{k} (1 - e^{-k(H-h_0)\sec\zeta}),$$

а видимая яркость, зависящая только от поглощающей и рассеивающей материи:

$$J = nL \int_{h_0}^H \Phi(ky) e^{-k(h-h_0)\sec\zeta} \sec\zeta dh,$$

где ζ есть угол между лучом зрения и нормалью к граничной поверхности. Возьмем для примера слой с оптической толщиной, равной единице. Вычисления показывают, что функции $\Phi_i(y)$ имеют в этом случае следующие значения:

ky	$\Phi_0(y)$	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	$\Phi(y)$
0.0	1.000	0.426	0.252	0.159	0.106	0.075	1.120
0.5	1.000	0.674	0.448	0.291	0.187	0.125	1.930

Если бы оптическая толщина равнялась бесконечности, то

$$\Phi_0 = \Phi_1 = \Phi_2 = \dots = 1 \quad \text{и} \quad \Phi(y) = \infty.$$

В последнем случае светимость неба от рассеяния звездного света внутригалактической средой будет бесконечно больше, чем от самих звезд. На первый взгляд это может показаться парадоксальным, но достаточно вспомнить, что при непосредственном наблюдении звезд воспринимается свет, испущенный ими в течение того же короткого времени, в то время как в рассеивающей среде аккумулируется свет, испускаемый всеми звездами, вообще говоря, неопределенно долгое время.

Можно заключить, что при толще поглощающего слоя, равной единице, выбранный внутри него объем пространства испускает в среднем рассеянного света в 1.7 раза больше, чем прямого звездного, между тем согласно наблюдениям рассеянный свет может составлять максимум 50% от звездного. Это соответствует предельной толще поглощающего и рассеивающего слоя в нашей галактике в 0.3, что отвечает нашим представлениям о структуре галактической системы и достаточно для полного объяснения наблюдаемой светимости неба. Можно полагать поэтому, что для наблюдателя, помещенного в пространстве далеко за пределами галактики, небо должно казаться чрезвычайно малой яркости, максимум 0.01 звезды пятой величины на кв. градус.

Оценим значение светимости неба, зависящей от совокупного света всех доступных нашему наблюдению галактик. Примем, что в сфере радиусом (R) в 43 000 000 парсеков заключается примерно 2 000 000 независимых галактик (N). Представляя согласно Хевбллю (Hubble) распределение абсолютных величин этих галактик при помощи кривой Гаусса, найдем значение светимости при условии равномерного распределения галактик внутри рассматриваемого объема:

$$j = \frac{3}{4} \frac{N}{4\pi R^2} \left(\frac{\pi}{180} \right)^2 \cdot 10^{-0.4(\bar{M}-10)},$$

где средняя абсолютная величина \bar{M} связана с модой кривой Гаусса $M_0 = -14.2$ соотношением:

$$\bar{M} = M_0 - \frac{0.4}{\log e} \frac{\sigma^2}{4}, \quad \sigma^2 = 0.73$$

(σ —среднее квадратичное отклонение) (вычисление дает $j = 0.00046$). Итак светимость неба, зависящая от этой причины, должна возрастать пропорционально радиусу сферы, занятой галактиками, т. е. радиусу метagalактики. Метagalактика должна быть поэтому ограниченной, и ее размер едва ли может превысить более чем в 20 раз доступную нам в настоящее время область пространства.

Констатируя существование ограниченных систем первого (галактика) и второго (метagalактика) порядков, можно по аналогии представить себе существование также систем третьего, четвертого и т. д. до бесконечности порядков. Отвлекаясь пока от наличия в пространстве поглощающей и рассеивающей среды, результирующая светимость ночного неба представится в этом случае в виде суммы бесконечного ряда:

$$J = \frac{3}{4} \frac{L}{\pi} \left(\frac{n_1}{R_1^2} + \frac{n_1 n_2}{R_2^2} + \frac{n_1 n_2 n_3}{R_3^2} + \dots \right),$$

где R_i —радиус системы i -го порядка, n_i —число входящих в ее состав систем $(i-1)$ -го порядка. Условие сходимости есть, очевидно,

$$\frac{n_i R_{i-1}^2}{R_i^2} \leq q < 1.$$

Предположим теперь, что каждая система заполнена равномерно поглощающей и рассеивающей средой, характеризующейся коэффициентом k_i . В этом более общем случае имеем ряд:

$$J = \frac{3}{4} \frac{L}{\pi} \left(\frac{n_1}{R_1^2} \delta_1 + \frac{n_1 n_2}{R_2^2} \delta_2 + \frac{n_1 n_2 n_3}{R_3^2} \delta_3 + \dots \right),$$

где δ_i суть функции довольно сложного вида, зависящие однако только от оптической толщи всей соответствующей системы, т. е. от $k_i R_i$, причем

$$\delta_i(0) = 1; \quad \delta_i(\infty) = \infty.$$

Предыдущий ряд остается сходящимся, если по крайней мере

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \dots = \text{const}, \text{ т. е. } k_1 R_1 = k_2 R_2 = k_3 R_3 = \dots$$

Итак для возможности построения бесконечной вселенной, не противоречащей наблюдениям, необходимо, чтобы общее поглощение света в каждой из последовательных систем оставалось по крайней мере одинаковым независимо от их порядка.

Астрономическая обсерватория
Московского государственного университета,
Кучино.

Поступило
22 III 1937.