

Б. Ю. ЛЕВИН

**ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ МЕТЕОРОВ ПОТОКОВ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ ПО МАССЕ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 27 III 1953)

В исследованиях по метеорной астрономии совершенно недостаточное внимание уделяется переходу от величин, характеризующих видимые свойства метеоров, к величинам, характеризующим истинные свойства метеорных тел и их роев, встреча Земли с которыми порождает наблюдаемые метеоры.

Для спорадических метеоров распределение метеорных тел по массе вычисляли В. Г. Фесенков⁽¹⁾ и Ван де Холст⁽²⁾. Различие в исходных данных привело этих авторов к различию в результатах. У спорадических метеоров, вследствие неодинаковости их скоростей, решение задачи является нестрогим. Но у метеорных роев, все члены которых обладают практически одинаковыми геоцентрическими скоростями, распределение метеорных тел по массе $f(M)$ может быть найдено по функции светимости метеоров, т. е. по их распределению по звездным величинам. Ниже дается вывод соответствующих формул и приведены результаты их приложения к наблюдательным данным.

1. Рассмотрим встречу Земли с роем, в котором плотность метеорных тел массивнее M (т. е. число их в единице объема) есть

$$D(M) = \int_M^{\infty} f(M) dM. \quad (1)$$

При геоцентрической скорости роя V_g плотность потока метеорных тел массивнее M у поверхности Земли (точнее — в слое атмосферы, в котором наблюдаются метеоры), отнесенная к площадке, перпендикулярной потоку, будет

$$\nu(M) = \left(1 + \frac{gR}{V_g^2}\right) V_g D(M) = a(V_g) V_g D(M), \quad (2)$$

где $a(V_g)$ — коэффициент изменения плотности потока метеорных тел вследствие притяжения Земли⁽³⁾; $R \approx 6470$ км — радиус слоя атмосферы, в котором наблюдаются метеоры; g — ускорение силы тяжести в этом слое. Аналогично плотность потока метеорных тел с массами от M до $M + dM$ будет

$$\alpha(M) dM = a(V_g) V_g f(M) dM, \quad (3)$$

т. е. $\nu(M) \sim D(M)$ и $\alpha(M) \sim f(M)$.

Обозначим через $N(m)$ плотность потока метеоров ярче m -й абсолютной звездной величины, появляющихся за единицу времени над

единицей площади поверхности Земли при радианте в зените. Функцией светимости обычно называют дифференциальный закон распределения $A(m) = dN(m) / dm$.

Сила света метеора в продолжение его свечения изменяется, и потому неясен фотометрический смысл визуальных оценок его блеска. Если считать, как обычно, что оцениваемая таким образом сила света пропорциональна начальной массе метеорного тела M , то

$$M(m) = M(0) 2,512^{-m}. \quad (4)$$

В таком случае

$$A(M) = \alpha(M(m)) \left| \frac{dM}{dm} \right| = 0,92 M(0) 2,512^{-m} \alpha(M(0) 2,52^{-m}), \quad (5)$$

$$\alpha(M) = A(m(M)) \left| \frac{dm}{dM} \right| = \frac{1,085}{M} A\left(2,5 \lg \frac{M(0)}{M}\right). \quad (6)$$

Для интегральных функций распределения имеем:

$$N(m) = \nu(M(m)) = \nu(M(0) 2,512^{-m}); \quad \nu(M) = N(m(M)) = N\left(2,5 \lg \frac{M(0)}{M}\right). \quad (7)$$

2. Визуальные наблюдения метеоров показывают, что логарифм $A(m)$ приблизительно линейно возрастает с увеличением m и, следовательно,

$$A(m) = A(0) x^m \quad (8)$$

или

$$\frac{A(m+1)}{A(m)} = x.$$

Если считать формулу (8) справедливой на неограниченно большем интервале m в сторону ярких метеоров, то

$$N(m) = \int_{-\infty}^m A(m) dm = \frac{A(m)}{\ln x} = N(0) x^m \quad (9)$$

или

$$\frac{N(m+1)}{N(m)} = x.$$

Переходя к закону распределения метеорных тел по массе, удобнее вместо x использовать параметр $\chi = 2,5 \lg x$.

На интервале масс, соответствующем тому интервалу m , на котором функция светимости имеет вид (8), получаются степенные законы распределения метеорных тел по массе

$$f(M) = \frac{\alpha(M)}{a(V_g)V_g} = \frac{1,085}{a(V_g)V_g} \left(\frac{M(0)}{M}\right)^x \frac{A(0)}{M} \sim \frac{1}{M^{1+\chi}} \quad (10)$$

и по радиусу (или вообще по какой-либо характерной длине при телах не сферической, но одинаковой формы)

$$F(r) \sim \frac{1}{r^{1+3\chi}}. \quad (11)$$

Пренебрегая изменениями x , происходящими достаточно далеко за пределами изучаемого интервала, получаем также

$$D(M) = \frac{\nu(M)}{a(V_g)V_g} = \frac{N(0)}{a(V_g)V_g} \left(\frac{M(0)}{M}\right)^x \sim \frac{1}{M^x}. \quad (12)$$

Формулы (10), (11), (12) справедливы, если сила света $I \sim M$. Если же $I \sim M^{1/2}$, то

$$f_1(M) \sim \frac{1}{M^{1+3/2\chi}}, \quad F_1(r) \sim \frac{1}{r^{1+9/2\chi}}, \quad D_1(M) \sim \frac{1}{M^{1/2\chi}}.$$

Суммарная масса метеорных тел, дающих метеоры в некотором интервале звездных величин Δm , определяется (при $I \sim M$) формулой:

$$A(m) M(m) \Delta m = A(0) x^m M(0) 2,512^{-m} \Delta m = A(0) M(0) \left(\frac{x}{2,512}\right)^m \Delta m. \quad (13)$$

При $x = 2,512$ эта масса оказывается не зависящей от m . При $x > 2,512$ она увеличивается с увеличением m , т. е. по мере перехода к более слабым метеорам. При $x < 2,512$ она возрастает при уменьшении m , т. е. по мере перехода к более ярким метеорам. При $x = 2,512$, т. е. при $\chi = 1$, $f(M) \sim \frac{1}{M^2}$; $F(r) \sim \frac{1}{r^4}$.

В среднем для всех потоков $x \approx 2,7$, но для отдельных потоков получаются как меньшие, так и большие значения (см. ниже).

Радиолокационные наблюдения ряда метеорных потоков привели Ловелла (4) к заключению, что распределение метеорных тел по массе имеет вид $1/M$. Ловелл утверждает, что этот закон согласуется с результатами визуальных наблюдений метеоров. Однако закон $1/M$ заведомо неверен, так как ему соответствует $x = 1$, т. е. число метеоров всех звездных величин должно быть одинаковым, чего на самом деле нет.

3. Наблюдатели метеоров не интересовались изучением функций светимости метеорных потоков, и потому имеющиеся данные крайне скудны, неточны и относятся к очень узкому интервалу m . Наблюдения невооруженным глазом охватывают интервал от 0 до 5 зв. вел. (число более ярких метеоров недостаточно для статистической обработки). Но, начиная с 3 зв. вел., наблюдатель замечает не все метеоры (даже в ограниченной области неба). Для определения индивидуальных коэффициентов замечаемости слабых метеоров нужны наблюдения по методу двойного счета. Однако они никогда не проводятся, и потому, если и вводятся соответствующие поправки, то это делается с помощью средних коэффициентов замечаемости, полученных из наблюдений Персеид 1920 и 1921 гг. группой сотрудников Ташкентской обсерватории. Принимается, что наблюдатель замечает $9/10$ метеоров 3 зв. вел., $1/2$ метеоров 4 зв. вел. и $1/12$ метеоров 5 зв. вел. (5).

Различия в x , т. е. в крутизне функции светимости, отражаются на средней звездной величине \bar{m} регистрируемых метеоров. При приведенных выше средних коэффициентах замечаемости получается следующая зависимость \bar{m} от x :

x	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
\bar{m}	1,61	2,90	3,39	3,65	3,94	4,12

(Если бы замечались все метеоры ярче некоторого m^* , то для них было бы $\bar{m} = m^* - 1,085/\chi$.) Для тех наблюдателей, у которых реальные коэффициенты замечаемости близки к средним, положенным в основу этой таблицы, определение x по \bar{m} дает удовлетворительную точность (при $x < 4$).

Статистически однородные наблюдения распределения метеоров по видимым звездным величинам опубликованы Гоффмейстером для 14 потоков (6). На узком интервале звездных величин, доступном визуальным наблюдениям, можно удовлетвориться аппроксимацией функции светимости формулой (8). Тогда распределение метеоров по видимым звездным величинам, построенное по наблюдениям любой области неба при любом зенитном расстоянии радианта, пропорционально функции светимости и дает возможность определить x (или χ).

Средние коэффициенты замечаемости слабых метеоров, приведенные выше, хорошо соответствуют наблюдениям Гоффмейстера и ле-

квидируют спад наблюдаемых кривых распределения в области слабых метеоров. На интервале от 0 до 5 зв. вел. для всех 14 потоков зависимость $\lg A(m)$ от m достаточно близка к линейной. Значения κ и χ , найденные графически, приведены в табл. 1.

У отдельных потоков κ изменяется от 1,7 до 4,4 (для обыкновенных по блеску метеоров), т. е. распределение соответствующих метеорных тел по массе $f(M)$ выражается законами от $1/M^{1,6}$ до $1/M^{2,6}$.

Для всех потоков, вместе взятых, точки прекрасно ложатся на прямую линию, которая дает $\kappa = 2,76$ ($\chi = 1,1$).

В метеорном рое, как системе многих тел, находящихся в гравитационном и лучистом взаимодействии не только с Солнцем, но и друг с другом, следует ожидать концентрации крупных тел к центральному частям роя. Спад численности метеорных тел от мелких к крупным должен происходить на периферии роя круче, чем в центральных частях. Это подтверждается данными табл. 1 для потоков Орионид и η -Акварид, которые являются результатом встреч Земли с одним и тем же метеорным роем, связанным с кометой Галлея.

Таблица 1

Поток	Число метеоров	κ	χ
Виргиниды (IV)	114	4,4	1,6
Сагиттариды (V—VII)	262	4,3	1,6
Ориониды	259	4,0	1,5
δ -Аквариды (VII)	294	3,7	1,4
Писциды (VIII—IX)	277	3,7	1,4
Геминиды	393	3,4	1,3
Цигниды (VIII)	137	3,3	1,3
Тауриды	736	3,0	1,2
Персеиды	795	2,5	1,0
Квадрантиды	43	2,5	1,0
Леониды	105	2,4	1,0
η -Аквариды	119	2,3	0,9
Корвиды (27 VI 1937)	109	1,8	0,6
Лириды*	72	1,7	0,6
Все потоки вместе	3615	2,76	1,1

* Для $m < 1$ зв. вел. значение χ существенно больше.

Во время Орионид Земля находится на расстоянии 0,157 а. е. от орбиты кометы, а во время η -Акварид — на расстоянии 0,066 а. е. Для Орионид $\kappa = 4$, т. е. $f(M) \sim 1/M^{2,5}$, а для η -Акварид $\kappa = 2,2$, т. е. $f(M) \sim 1/M^{1,9}$.

Анализ имеющихся в литературе данных о распределении по звездным величинам метеоров потоков, несмотря на их отрывочность и различия в опытности и свойствах зрения отдельных наблюдателей, подтверждает существенные различия между роями в отношении крутизны функции светимости $A(m)$, а следовательно и крутизны распределения метеорных тел по массе $f(M)$. Различие в κ для разных частей роя удается установить для Персеид, Леонид 1899 г. и Дражонид.

Серии наблюдений И. С. Астаповича и других советских наблюдателей метеоров, охватывающие десятки тысяч метеоров, содержат обширный материал для изучения функций светимости и распределения метеорных тел по массе.

Поступило
4 III 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Фесенков, Метеорная материя в межпланетном пространстве, Изд. АН СССР, 1948. ² Г. Ван де Холст, Астрофиз. сборн., 1948, стр. 68—95. ³ И. А. Клейбер, Астрономическая теория падающих звезд, СПб, 1884. ⁴ А. Ловелл, УФН, 61, 9 (1950). ⁵ E. Öpik, Publ. Obs. Astr. Tartu, 25, No. 4 (1923). ⁶ C. Hoffmeister, Meteorströme, Leipzig, 1948.