АСТРОНОМИЯ

УДК 521.13

ОЦЕНКА ЧИСЛА АСТЕРОИДОВ С РАДИУСАМИ БОЛЕЕ ДЕСЯТИ КИЛОМЕТРОВ

И. А. Герасимов, Е. Л. Винников

(ГАИШ)

Проведена оценка числа астероидов с радиусами не менее 10 км. Показано, что число известных астероидов составляет около 20% от общего числа. Такая же оценка дана для малых планет группы Гильды. Известное число их составляет около 40% от общего числа.

1. **Оценка массы астероида по фотометрическим данным.** Наблюдения дают фотометрическую информацию о блеске астероидов, который в месте наблюдения обратно пропорционален квадрату расстояния малой планеты от Земли (Δ), и Солнца (r):

$$E=E_1 r^{-2}\Delta^{-2}, \tag{1}$$

где E_1 — блеск, соответствующий $r=\Delta=1$.

Если звездные величины, соответствующие E и E_1, обозначить m и g (видимая и абсолютная звездные величины соответственно), то по закону Погсона

$$\lg(E/E_1)=0{,}4(g-m), \tag{2}$$

откуда с учетом (1)

$$m=g+5\lg(r\Delta). \tag{3}$$

Здесь и далее будем предполагать нулевой угол фазы планеты.

Если обозначить через m_0 видимую звездную величину астероида, находящегося в средней оппозиции, т. е. когда $r=a$, $\Delta=a-1$, то из (3) следует, что

$$m_0=g+5\lg a(a-1). \tag{4}$$

где a — большая полуось орбиты астероида. Здесь и в последующем все расстояния выражены в астрономических единицах.

При использовании системы UBV в фильтре B формулы (3) и (4) принимают вид

$$B=B(1,0)+5\lg(r\Delta), \tag{3'}$$

$$B(a,\ 0)=B(1,\ 0)+5\lg a(a-1), \tag{4'}$$

где $B(a,\ 0)$ — видимая звездная величина астероида на расстоянии a от Солнца при нулевом угле фазы планеты.

Полагая форму малой планеты сферической и используя ее геометрическое альбедо p, имеем

$$p=\frac{E}{E_\odot}\frac{r^2\Delta^2}{R^2}, \tag{5}$$

где R — радиус планеты, $E_\odot$ — блеск Солнца на расстоянии 1 а. е.

Логарифмируя (5), с учетом (2) и (3) получим $\lg p = 0{,}4(m_\odot - g) - 2\lg R$, где $m_\odot$ — видимая звездная величина Солнца, откуда

$$\lg R = 0{,}2(m_\odot - g) - (1/2)\lg p. \tag{6}$$

Представляя астероид в виде однородного шара плотности ρ, получим его массу: $M = (4/3)\pi\rho R^3$. С учетом (6) находим

$$\lg M = C_1 - 0{,}6g, \tag{7}$$

где

$$C_1 = \lg\left(\frac{4}{3}\pi\rho\right) - \frac{3}{2}\lg p + 0{,}6m_\odot.$$

В фильтре B формула (7) выглядит так:

$$\lg M = C - 0{,}6B(1,0), \tag{7'}$$

здесь C — новая константа.

2. **Распределение малых планет по массам.** Согласно Донаньи, возможная скорость взаимного столкновения астероидов составляет около 5 км/с [1]. При таких скоростях неизбежно дробление астероидов, причем сталкивающаяся масса может полностью разрушиться либо потерять некоторую часть. Математическое моделирование процесса перераспределения образуемых осколков приводит к уравнению, решение которого и описывает эволюцию совокупности сталкивающихся масс.

В работе [1] функция распределения астероидов в интервале масс от M до $M+dM$, т. е. дифференциальный закон распределения, имеет вид

$$f(M) = AM^{-\alpha}, \quad \alpha > 0, \quad A > 0. \tag{8}$$

Эксперименты по сверхскоростным столкновениям масс M_1 и M_2 [1] дают распределение осколков вида $g(M, M_1, M_2)\,dM = (1/5)M_e M_B^{1/5} \times M^{-1.8}\,dM$. Здесь $g(M, M_1, M_2)$ — число частиц, имеющих массы между M и $M+dM$, M_e — полная мера осколков, M_B — масса наибольшего, осколка. На основе этой зависимости и формулы (8) Донаньи вывел интегро-дифференциальное уравнение, в которое входят величины A и α. Оказалось, что если $dA/dt = 0$, то полученное уравнение может быть решено, причем решение является устойчивым, т. е. при небольшом отклонении от равновесного значения $\bar{\alpha} = 1{,}837$ происходит перераспределение масс, приводящее к возврату α к равновесному значению $\bar{\alpha}$.

Если мы интересуемся числом астероидов, массы которых не меньше M, т. е. интегральным законом распределения, то необходимо проинтегрировать (8) от M до ∞, что дает $N = \frac{A}{\bar{\alpha}-1}M^{-\bar{\alpha}+1}$, так что с учетом (7')

$$\lg N = \mathrm{const} + 0{,}5B(1,0). \tag{9}$$

Использование звездной величины вместо логарифма массы более удобно для сравнения теоретической модели с наблюдаемым распределением, поскольку не требует задания параметров p и ρ.

3. **Оценка числа малых планет с R⩾10 км.** Используя значения $B(1,0)$ для астероидов, данные о которых приведены в [2], можно построить интегральную гистограмму распределения астероидов пояса по абсолютным звездным величинам (рис. 1). Она показывает логарифм числа астероидов, $B(1,0)$ которых не больше данного значения.

Рассматривая астероиды с радиусами не менее 10 км, по формуле (6) можно найти, что им соответствуют абсолютные звездные величины $B(1,0) \leqslant 12^m$ (при альбедо $p=0{,}1$). Считая, что значение большой полуоси $a=3$ а. е., по формуле (4′) можно определить для астероидов с радиусом 10 км, находящихся в средней оппозиции, видимую звездную величину: $B(a, 0) \approx 16^m$.

На гистограмме просматривается прямолинейный участок, соответствующий теоретическому распределению (9). Однако вследствие влияния селективных эффектов при переходе к астероидам с меньшим блеском наблюдаемое число астероидов уменьшается. Чтобы оценить отвечающее теоретическому распределению число астероидов с радиусами не менее 10 км, следует экстраполировать прямолинейный участок гистограммы (штриховая линия) до $B(1,0)=12^m$. Это дает $N_T \approx 7500$. Число известных в настоящее время астероидов с $B(1,0) \leqslant 12^m$ $N_K \approx \approx 1500$.

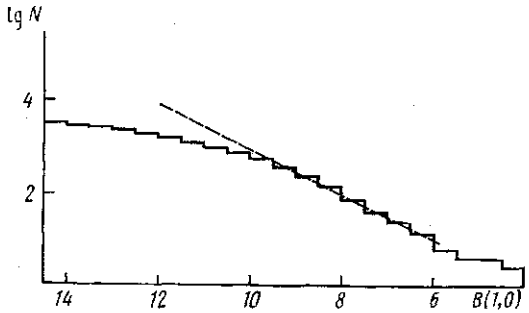

Рис. 1

Отклонение от распределения (9) становится более заметным, если воспользоваться дифференциальной гистограммой, которая показывает число астероидов, соответствующее интервалам абсолютной звездной величины, равным $0{,}5^m$ (рис. 2).

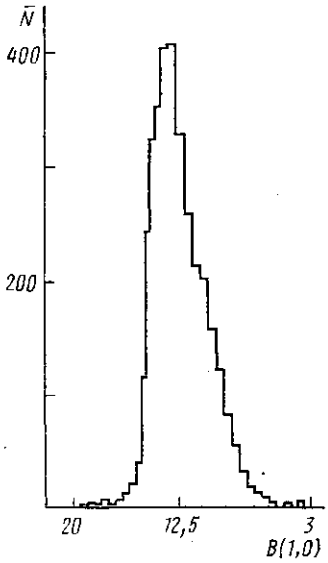

Рис. 2

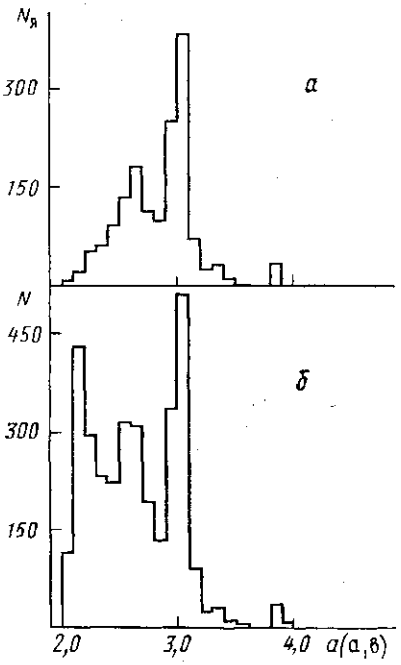

Рис. 3

На рис. 3 показано распределение ярких астероидов с $B(1,0) \leqslant 12^m,5$ (*а*) и всех малых планет, известных в настоящее время (*б*), по большим полуосям. Сравнивая гистограммы, можно заметить, что существенная разница в каждом интервале значений большой полуоси приходится на промежуток от 2 до 3,2 а. е. Это легко понять, если учесть, что разность видимых звездных величин астероидов одинаковых размеров и альбедо и имеющих большие полуоси орбит 2 и 4 а. е., согласно (4′), составляет около 4^m. Следовательно, в настоящее время возможности инструментов не позволяют обнаруживать слабые астероиды, находящиеся на внешнем крае кольца.

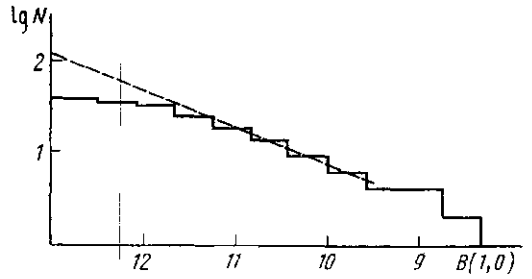

Рис. 4

Но, как известно, вблизи значения большой полуоси 4 а. е. сгруппированы астероиды семейства Гильды, которых сейчас известно 38. На рис. 4 представлено распределение астероидов группы Гильды по абсолютным звездным величинам, согласно [2]. По вертикали отложено значение логарифма числа астероидов, имеющих $B(1, 0)$ не больше данного. Как и на рис. 1, имеется прямолинейный участок (штриховая линия), который нарушается при переходе к астероидам с меньшим блеском.

Поскольку астероиды группы Гильды имеют низкое альбедо, то для них мы приняли $p=0{,}04$. Тогда формула (6) для астероидов с радиусом 10 км дает $B(1,0) \approx 13^m$. Это отвечает блеску самых слабых астероидов группы. Оценку общего числа астероидов группы Гильды с $R \geqslant 10$ км, а значит, с $B(1,0) \leqslant 13^m$ можно произвести, используя распределение (9). Экстраполируя прямолинейный участок гистограммы до значения $B(1,0)=13^m$, найдем, что общее число астероидов может составить $N_Г \approx 100$.

R, км	r, а. е.			
	2	3	4	5
100	8(9)	11(12)	12(13)	13(14)
10	13(14)	16(17)	17(18)	18(19)
1	18(19)	21(22)	22(23)	23(24)

В таблице приведен блеск астероидов, находящихся в средней оппозиции, в звездных величинах для трех значений радиусов малых планет и четырех значений их расстояний от Солнца. Первое число соответствует альбедо $p=0{,}1$, а второе (в скобках) — $p=0{,}04$. Оценка числа астероидов с $R \geqslant 10$ км сделана выше. Аналогичная оценка числа малых планет с $R \geqslant 1$ км дает $N \approx 2 \cdot 10^6$ (при $p=0{,}1$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Dohnanyi J. S.//Geophys. Res. 1969. **74**, № 10. P. 2531. [2] Эфемериды малых планет на 1987 год. Л., 1986.

Поступила в редакцию
28.07.88