

УДК 523.6

Гранулометрический состав пылевых включений и вековое падение блеска периодических комет

О. В. Добровольский

Дано объяснение наличия двух ветвей у зависимости векового падения блеска периодических комет от перигелийного расстояния как проявления разделения комет на две группы с разным гранулометрическим составом.

SIZE DISTRIBUTION OF DUST INCLUSIONS AND THE SECULAR BRIGHTNESS DECREASE OF PERIODIC COMETS, by Dobrovolskij O. V. The known bifurcated shape of the secular brightness decrease — perihelion distance relation is interpreted as due to a division of comets into two separate groups with different size distribution of dust inclusions.

Ранее [1] была найдена двузначная зависимость векового падения блеска периодических комет ΔH_{10} в звездных величинах за оборот от перигелийного расстояния q и от энергии W , получаемой единицей поверхности ядра от Солнца за один оборот. Обнаружены две ветви зависимости

$$\Delta H_{10} \sim q^k \quad (1)$$

с показателями степени k равными $3/2$ и $6/2$, а также соответствующие им две ветви зависимости

$$\Delta H_{10} \sim W^{-k_1} \quad (1')$$

с показателями степени k_1 равными 3.2 ± 0.4 и 6.4 ± 0.7 .

Смысл соотношений (1) и (1') сводится к тому, что основной причиной векового падения блеска является постепенное зарастание легкоплавкой ледяной поверхности ядер тугоплавкой минеральной коркой, которое у комет с малыми q происходит медленнее, чем у комет с большими q .

Теория такого зарастания минеральной «шубой» разработана Л. М. Шульманом [2]. При этом из принятой Шульманом формулы для векового падения блеска следовало только одно значение k , равное $3/2$, и соответствующее ему значение k_1 , равное 3 для обеих ветвей (различаться должны были лишь коэффициенты при q^k или W^{-k_1}).

Ниже дается объяснение происхождения ветвей с различными показателями k (или k_1) на основе [2], но с более точным учетом гранулометрического состава минеральных включений.

Примем степенное распределение пылевых частиц по радиусу a с параметром S в виде

$$F(a) = N_S a^{-(S+1)} \quad (2)$$

и обрежем его как со стороны больших (a_M), так и со стороны малых (a_m) радиусов. Нормирующий множитель в (2)

$$N_S = n_n S [a_M^S a_m^S / (a_M^S - a_m^S)], \quad (3)$$

где n_n — число пылевых частиц в единице ненарушенного объема ядра кометы.

При сублимации поверхностного слоя ядра мелкие частицы будут уходить в атмосферу кометы, а крупные — оставаться на поверхности, образуя постепенно минеральную матрицу. Предельный радиус еще не уносимых в атмосферу пылинок a_k определится из условия равенства подпирющей частицу тяги газа и веса частицы:

$$K\pi a_k^2 m n_0 v_0 = (G/R^2) \cdot (4\pi R^3 \rho / 3) \cdot (4\pi a_k^3 \delta / 3).$$

Здесь m , n_0 и v_0 — масса, численность в единице объема и скорость молекул газа у поверхности ядра, R и ρ — радиус и плотность ядра, δ — плотность частицы, K — коэффициент лобового сопротивления, G — постоянная тяготения.

Полагая $n_0 = n_{00} r^{-n}$, где r — гелиоцентрическое расстояние, n_{00} и n — постоянные, получаем:

$$a_k = (9K m n_{00} v_0 / 16\pi G R \rho \delta) r^{-n} = A r^{-n}. \quad (4)$$

Максимальным a_k будет в перигелии:

$$a_{k0} = A q^{-n}. \quad (5)$$

В дальнейшем будем принимать во внимание именно это максимальное значение, так как при приближении кометы к перигелию все накопленные после предыдущего перигелийного прохождения частицы с $a < a_{k0}$, как полагают, будут унесены в атмосферу. Процесс выноса в атмосферу может быть и ступенчатым, так как мелкие частицы могут сначала ассоциировать в конгломераты, возрастающее газовое давление под которыми будет способствовать их сбросу. Однако это детали процесса, нас же в данном случае интересует потенциальная кроющая поверхность Σ в единице объема ядра, при определении которой理所当然но принять, что заведомо навсегда на поверхности оседают только частицы с $a \geq a_{k0}$.

Таким образом, кроющая поверхность

$$\Sigma = \pi \int_{a_{k0}}^{a_M} a^2 F(a) da = \frac{\pi}{S-2} N_S (a_{k0}^{2-S} - a_M^{2-S})$$

или, полагая $a_M \gg a_{k0}$ и учитывая, что $(2 - \Sigma) < 0$,

$$\Sigma = \frac{\pi}{S-2} N_S a_{k0}^{2-S}. \quad (6)$$

С учетом (5) выражение (6) запишется в виде

$$\Sigma = B q^{(S-2)n}, \text{ где } B = A^{2-S} N_S [\pi / (S-2)]. \quad (7)$$

Теперь легко оценить скорость изменения степени экранирования ξ ледяной поверхности минеральными включениями:

$$\frac{d\xi}{dt} = S \frac{4\pi R^2 dR/dt}{4\pi R^2}. \quad (8)$$

При этом скорость убывания радиуса ядра R будет $\frac{dR}{dt} = \frac{m n_{00} v_0}{\rho r^n} \cdot \frac{1 - \xi}{1 - f}$.

Здесь f — объемная доля пыли в ненарушенном объеме ядра.

Полагая $C = B m n_{00} v_0 / \rho (1 - f)$, переписываем (8) в виде $\frac{d \ln(1 - \xi)}{dt} = C q^{(S-2)n} r^{-n}$.

Это выражение интегрируем за один оборот кометы около Солнца, применяя подстановку $dt = r^2 d\varphi / \sqrt{\rho G M_\odot}$, где M_\odot — масса Солнца, ρ — параметр орбиты кометы, равный $q(1 + e)$.

Получаем

$$\Delta \ln(1 - \xi) = D \frac{q^\beta}{1 + e^{n-3/2}} \int_0^{2\pi} (1 + e \cos \varphi)^\alpha d\varphi = D \frac{q^\beta}{(1 + e)^{n-3/2}} I_{\alpha e}.$$

Здесь $D = C/(GM_\odot)^{1/2}$; $\alpha = n - 2$; $\beta = (S - 3)n + 3/2$; $I_{\alpha e}$ — известный интеграл, равный при $\alpha = 0, 1, 2, 3$ соответственно 2π , 2π , $(2 + e^2)\pi$, $(2 + 3e^2)\pi$ и вычисляемый по рекуррентной формуле [3]:

$$I_{\alpha e} = I_{\alpha-1, e} [(2\alpha - 1)/\alpha] - I_{\alpha-2, e} (1 - e^2) [(\alpha - 1)/\alpha].$$

Приращение $\Delta \ln(1 - \xi)$ непосредственно связано с ΔH_{10} , так как $0.4 \ln 10 \Delta H_{10} = \ln I_2 / I_1 = \ln(1 - \xi_2) / (1 - \xi_1) = \ln(1 - \xi_2) - \ln(1 - \xi_1) = \Delta \ln(1 - \xi)$. Индексы 1 и 2 относятся к двум последовательным прохождением кометы.

Итак,

$$\Delta H_{10} = 2.5 \lg e \Delta \ln(1 - \xi) = 2.5 \lg e D I_{\alpha e} [q^\beta / (1 + e)^{n-3/2}], \quad (9)$$

причем

$$D = \frac{\pi}{\sqrt{GM_\odot}} \frac{mn_0 v_0}{\rho(1-f)} \frac{S}{S-2} n_n \frac{a_M^S a_m^S}{a_M^S - a_m^S} \left(\frac{9}{16\pi} \frac{K}{G} \frac{mn_0 v_0}{R\rho\delta} \right)^{2-S}. \quad (10)$$

Переходим к обсуждению полученного выражения для ΔH_{10} . Зависимость ΔH_{10} от q и e является обобщением зависимости, ранее найденной в [2], на случай произвольного показателя гранулометрического состава S . Автор [2] с самого начала расчетов пользовался только значением $S_1 = 3$. Соответственно для ΔH из (10) при любом n вытекает зависимость от q , полученная в [2] в виде $q^{3/2}$, соответствующая первой ветви. Для получения второй ветви учтем, что в нашем случае $n = 4$, ибо именно это n применяется при нахождении H_{10} и ΔH_{10} (как указывает нижний индекс 10, обозначающий 2.5 n). Поэтому в рассматриваемом случае (см. (1)) показатель $k = \beta = 4S - 10.5$.

Отсюда второе искомое значение k , равное трем или трем с половиной, соответствующее значению показателя k_1 , лежащему между 6 и 7, будет получено при

$$S_2 = 3.375 \div 3.500. \quad (11)$$

Вид зависимости ΔH_{10} от эксцентриситета e у нас и в [2] одинаков, причем для $I_{\alpha e}$ следует принимать выражение $(2 + e^2)\pi$. Однако при любом S зависимость ΔH_{10} от e выражена гораздо слабее, чем зависимость от q , так как диапазоны изменения сумм, в которые входит e или e^2 , значительно меньше интервала изменения q . Видимо поэтому зависимость ΔH_{10} от e не выявлена из наблюдений, хотя ее влияние, вероятно, сказывается на величине разброса точек на графиках обеих ветвей.

Что касается величины D , численное значение которой может быть получено из наблюдений, то пока использовать ее для оценок каких-либо физических параметров не представляется возможным из-за слишком большого числа этих параметров.

Таким образом, наличие двух ветвей у зависимости ΔH_{10} от q или от W и форма этих ветвей могут быть объяснены существованием двух групп периодических комет с разным распределением пылевых включений по размерам. Различия эти значительны. Так, например, если у двух комет из разных групп число сантиметровых частиц одинаково, то числа частиц микронных размеров при $S_2 = 3.375$ будут различаться на полтора порядка, а при $S_2 = 3.5$ — даже на 2 порядка. Следовательно, если до сих пор можно было говорить о делении комет на богатые и бедные пылью, то теперь позволительно говорить об их разделении

и по гранулометрическому составу. Это разделение может служить на-
меком на возможный различный генезис пылевой компоненты в двух
группах комет, а, может быть, и свидетельством о различном происхо-
ждении самих групп, например, образовании в различных областях
протосолнечной туманности.

1. Добровольский О. В., Ибадинов Х. И., Герасименко С. И. Вековое падение блеска и строение ядер периодических комет. // Докл. АН ТаджССР.—1984.—27, № 4.— С. 198—200.
2. Шульман Л. М. Динамика кометных атмосфер: Нейтр. газ.— Киев: Наук. думка, 1972.—244 с.
3. Dobrovolsky O. V. New estimates of cometary disintegration times and the implications for diffusion theory // The motion, evolution of orbits and origin of comets / Ed. G. A. Chebotarev et al.—Dordrecht, Holland: Reidel Publ. co, 1972.— P. 352—355.

Ин-т астрофизики АН ТаджССР,
г. Душанбе

Поступила в редакцию 25.06.85,
после доработки 26.08.85

РЕФЕРАТЫ ДЕПОНИРОВАННЫХ РУКОПИСЕЙ

УДК 523.4—681

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ МЕТЕОРИТОВ. II. АХОНДРИТЫ / Голубева Л. Ф., Шестопапов Д. И., Вохменцев А. Я., Коломенский В. Д., Титов В. В.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 5296 — 85 Деп.)

На регистрирующем спектрофотометре СФ-18, снабженном интегрирующей сферой, измерены спектры диффузного отражения в диапазоне длин волн 0.4—0.75 мкм нераздробленных образцов ахондритов из метеоритной коллекции Ленинградского горного института. Разрешение спектральных кривых, записанных на регистрограмму, составляет 1 нм/мм. Отличительной особенностью спектров эвкритов, говардитов и диогенитов является пара полос поглощения на $\lambda \approx 0.51$ мкм и $\lambda \sim 0.55$ мкм. Эти полосы приписаны запрещенным по спину переходам d -электронов в катионе Fe^{2+} (кристаллографическая позиция M2 в пироксене). Имея в виду также, что аналогичная пара полос поглощения обнаружена нами в спектре астероида 4 Веста, мы предложили наблюдательный критерий для поиска в кольце астероидов источников дифференцированных метеоритов. Предложена предварительная спектральная классификация некоторых типов ахондритов.

УДК 523.4—681

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ МЕТЕОРИТОВ. III. ОБЫКНОВЕННЫЕ ХОНДРИТЫ / Голубева Л. Ф., Шестопапов Д. И., Вохменцев А. Я., Коломенский В. Д., Титов В. В.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 5295 — 85 Деп.)

Двухлучевой спектрофотометр СФ-18 с интегрирующей сферой был использован для измерения спектров диффузного отражения H -, L -, LL -хондритов из коллекции Ленинградского горного института. Спектры нераздробленных образцов метеоритов измерены в области 0.4—0.75 мкм. В коротковолновом участке спектров любых типов хондритов хорошо наблюдаются полосы поглощения, которые приписаны запрещенным по спину переходам d -электронов в ионе Fe^{2+} (двухвалентное железо в оливине и пироксене). Спектры некоторых хондритов содержат только слабые следы полосы поглощения на $\lambda \approx 0.51$ мкм. Вторая полоса из пары полос поглощения на $\lambda \approx 0.51$ и $\lambda \approx 0.55$ мкм, которые типичны для некоторых типов ахондритов, в спектрах обычных хондритов не наблюдается вовсе. Обсуждаются некоторые астрофизические приложения полученных результатов.