

Вспышка болида на большой высоте

В 1962 г. О.В.Добровольский ввел понятие взрывной волны, образующейся при распаде паров крупных метеорных тел в атмосферу и теоретически показал, что радиус волны на несколько порядков может превышать длину свободного пробега молекул окружающего воздуха (Добровольский - Бюлл.САО, 1952, № 6, с.11). Способов измерять радиус объема расширяющихся паров (радиус волны) непосредственно по фотоснимку с фиксированием времени образования объема в то время не существовало.

Фотографирование вспышек болидов с прифокальным обтуратором методом мгновенной экспозиции (ЖМЭ) (Бабаджанов, Крамер - АИ, 1965, т.42, №3, с.660) дает возможность измерить поперечник светящегося объема при известных времени экспозиции и величине светового потока (Getman - 8 кч. Asteroids, Comets, Meteors II, 1989, p.519).

Покажем, что данные фотографического исследования вспышки с необходимостью приводят к представлению о взрывном ее характере даже на больших высотах. Причиной взрыва может быть локальный перегрев болидного тела (БГ) и частичное взрывное дробление БГ, горение магниевых включений (1989), а также взрывное горение (Гетман, Максумов - Астрол.вестн., 1978, т.12, № 3, с.183). При взрыве БГ теряет часть своей массы величиной m . Продукты взрыва испаряются, оставаясь вкрапленными в окружающую атмосферу и делают вспышку видимой.

Обратимся к многократно вспыхивавшему болиду 19 июля 1977 г., сфотографированному в Дуланбе с помощью ЖМЭ (Baabadzhanyan, Getman & Solid Particles in the Sol. Syst., 1980, p.11; Getman, 1989), а точнее, к его наиболее яркой вспышке 27 м на высоте $H \sim 70$ км (за 10 км до исчезновения болида, т.е. вспышка не концевая). Из наблюдений имеем следующие данные: скорость БГ в момент вспышки $V_0 \sim 20$ км/с; мощность излучения вспышки $1 \sim 3,5 \cdot 10^{12}$ эрг/с; определенную по "мгновенному" спектру болида массу $m \sim 10$ г;

время экспозиции вспышки при двух способах регистрации (прямом и спектральном) $t \sim 3 \cdot 10^{-4} - 10^{-3}$ с; радиус объема на момент $t \sim 3 \times 10^{-3}$ с, полученный путем измерений изображения нулевого порядка болидного спектра на снимке, $r \sim 10$ м. Плотность атмосферы на 70 км $\rho \sim 10^{-7}$ г/см³, длина свободного пробега молекул воздуха $l \sim 0.1$ см. Величина отношения $r/l \sim 10^3/10^{-1} \sim 10^4$ действительно соответствует выводу Добровольского, отмеченному выше. Оценим энергию, высветившуюся во вспышке:

$E \sim 1 \sim 3,5 \cdot 10^{12} \cdot 3 \cdot 10^{-4} - 10^{-3} \sim (10^9 - 10^{10})$ эрг. Эквивалентная такому излучению кинетическая энергия испарившейся массы согласно физической теории метеоров есть $E_k \sim E_{\text{изл}}/\tau \sim (10^9 - 10^{10})/(10^{-2} - 10^{-3}) \sim$

$(10^{11} - 10^{13})$ эрг. Однако, кинетическая энергия, потерянная БГ в результате взрыва, $E_{\text{взр}} \sim m/2 \cdot 2 \cdot 10^{13}$ эрг $> E_k$. Разность $E_{\text{взр}} - E_k$ приходится на возмущение атмосферного воздуха. Взрыв приводит в движение массу воздуха

$M \sim 4/3 \pi r^3 \rho$. Энергию возмущения атмосферы оценим по формуле Л.И.Седова (Седов. Методы подобия и размерности в механике, М., Наука, 1987, 430с.):

$E_{\text{взр}} \sim r^5 \rho^{1/2} t^{-1/2} \sim 10^{13}$ эрг. Максимальная скорость разлета многочисленных мельчайших фрагментов БГ составила $V_0 \sim 2E_{\text{взр}}/m \sim 0,5 \cdot (2 \cdot 10^{13}/10)^{0,5}$ км/сек. Скорость разлета всего возмущенного объема с вкрапленными в него фрагментами БГ можно получить, полагая, что объем расширяется по закону $r \sim at^\alpha$, как следует из формулы Седова: $V_0 = dr/dt = \alpha at^{\alpha-1}$. Тогда $r = V_0 t / \alpha$.

По Седову $\alpha \sim 2/5$. При разлете скорость расширения объема уменьшается и к моменту t падает на порядок. Тогда получаем: $r \sim 2,5 \cdot 1,4 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \sim 10$ м, что соответствует наблюдаемой величине r , найденной по прямым изображениям болида на снимке.

Таким образом, приведенные результаты подтверждают взрывную природу наиболее яркой вспышки болида 19 июля 1977 г. (Getman, 1989)

И-т астрофизики АН Тадж.ССР В.С.Гетман, М.Н.Максумов.