

жет удержать молекулы воды, оторвавшиеся от ее поверхности. Иными словами, атмосферы вокруг кометы не будет. Покинувшие поверхность кометы молекулы практически никогда не возвращаются обратно.

Ясно, что наибольший поток солнечной радиации будет приходиться на единицу поверхности кометы вблизи ее экватора. Так называемая солнечная постоянная, т.е. мощность солнечного излучения, падающего перпендикулярно на площадку в  $1 \text{ м}^2$  на Земле, равна  $W = 1,36 \text{ кВт}$ . Такая же мощность будет поглощаться каждым квадратным метром льда вблизи экватора кометы. Дело в том, что за счет приближения кометы к Солнцу поток излучения увеличивается в 4 раза, но 75% этого потока отражается поверхностью.

Средняя мощность, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  поверхности вблизи экватора кометы и усредненная за большое время, будет равна  $W/\pi = 433 \text{ Вт}$ . Обоснование такой оценки довольно простое: выберем полосу шириной  $h = 1 \text{ м}$ , проходящую по всему экватору. Эта полоса соби-

рает солнечный свет с площади  $h \cdot 2R$ , а полная площадь этой полосы равна  $h \cdot 2\pi R$ .

Рассмотрим следующую ситуацию. Как только комета появляется на орбите, она освещается Солнцем, и температура ее поверхности начинает повышаться. Внешние слои льда, постепенно прогреваясь, передают тепло и внутренним слоям. По мере разогрева поверхности все большую роль начинает играть рассеяние тепла в окружающее пространство. Расход тепла льдом, нагретым на поверхности кометы, происходит по нескольким причинам. Первая из них – испарение льда, вторая – тепловое излучение, третья – прогрев внутренних областей (тепло, полученное внутренними областями кометы, в конце концов будет потрачено на то, чтобы испарять лед с ее поверхности или на тепловое излучение).

Оценим среднюю температуру, которая может установиться на поверхности кометы через некоторое достаточно большое время после ее появления на орбите. Ориентироваться будем на среднюю температуру поверхности Земли, равную примерно 290 К. Земля теряет энергию в основном за счет теплового излучения. Поверхность Земли больше чем на 70% покрыта водой, и поглощает Земля на единицу площади в среднем столько же, сколько наша комета, поэтому ясно, что выше 290 К средняя температура поверхности кометы быть не может.

Лед обладает плохой теплопроводностью, поэтому поверхность кометы вблизи экватора быстро прогревается. Коэффициент теплопроводности льда равен  $2,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Для того чтобы отводить все тепло, выделяющееся на поверхности кометы вблизи экватора, нужно, чтобы скорость изменения температуры с глубиной (градиент темпера-

туры) равнялась  $200 \text{ К}/\text{м}$ . Предположим, что прогревается только слой льда толщиной  $290/200 \text{ м} \sim 1,5 \text{ м}$ . Оценим время, за которое этот слой льда может прогреться до температуры  $290/2 \text{ К}$ . При заданном градиенте температур ( $200 \text{ К}/\text{м}$ ) в куб изо льда с ребром  $A = 1,5 \text{ м}$  перпендикулярно одной из его граней поступает мощность излучения, равная приблизительно  $A^2 \cdot 430 \text{ Вт}$ . На нагрев этого куба требуется количество теплоты  $Q = c\Delta TM$ . Из справочных данных теплоемкость льда  $c = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , разность температур (средняя от 0 до 290 К)  $\Delta T \approx 150 \text{ К}$ , а масса куба  $M \approx 3000 \text{ кг}$ . Время, необходимое для прогрева такого куба, составляет около  $10^6 \text{ с}$ , что чуть больше 10 суток. За это время градиент температуры существенно уменьшится, и поток тепла внутрь кометы перестанет компенсировать поступление тепла на его поверхность. Известно, что время жизни кометы гораздо больше 10 суток, поэтому при оценке температуры ее поверхности можно не учитывать поток тепла внутрь кометы.

Мощность теплового излучения с поверхности площадью  $S$  равна  $\alpha\sigma T^4$ . Здесь

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

– постоянная Стефана–Больцмана,  $T$  – температура поверхности, а символом  $\alpha$  обозначен коэффициент, характеризующий отличие излучающего тела от абсолютно черного тела. Для нашего случая этот коэффициент оказывается порядка 1: дело в том, что комета поглощает излучение Солнца в видимом диапазоне, а излучает в диапазоне инфракрасных волн. Отсюда следует, что температура была бы как раз равна 290 К!

Однако мы совсем не учли потери тепла, связанные с испарением молекул с поверхности. Количество молекул, испаряющихся с единицы поверхности за единицу времени, можно оценить, зная давление насыщенного пара данного вещества при выбранной температуре:  $p = nkT$ . Количество молекул, покидающих поверхность тела, граничащую с насыщенным паром, по порядку величины равно числу ударов молекул пара о поверхность. Представим себе, что каждая ударившаяся о поверхность молекула

*Изображение ядра кометы Галлея, полученное 14 марта 1986 года европейским межпланетным зондом «Джотто» с расстояния 6500 км за 95 с до момента наибольшего сближения на расстоянии 596 км. Ядро кометы имеет неправильную форму, его поверхность очень темная: она отражает всего 3% падающего на нее света. Хорошо видно, что в двух местах поверхность взломана давлением испаряющегося вещества и с нее уходят мощные газовые потоки*