

прилипает к ней. Тогда ровно такое же количество молекул должно отрываться от поверхности и покидать ее за то же время (на самом деле количество покидающих поверхность молекул в несколько раз меньше, это связано с тем, что не все молекулы сразу после удара прилипают к поверхности – большинство упруго отскакивают от поверхности). Каждая испарившаяся с поверхности нашей кометы молекула уносит с собой энергию, которая потребовалась ей для отрыва от соседок, и вдобавок среднюю тепловую энергию, соответствующую данной температуре поверхности. Над поверхностью кометы нет атмосферы, поэтому пар не совершает работы по расширению в атмосфере. С единицы поверхности кометы ежесекундно уносится количество теплоты

$$W \approx N_A \frac{p}{kT} \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \frac{p\beta\sqrt{3}}{\sqrt{RTM}} \approx 1,6 \cdot 10^5 \frac{p}{\sqrt{T}} \quad (\text{в единицах СИ}),$$

где N_A – постоянная Авогадро, $\beta = 3,6 \cdot 10^4$ Дж/моль – молярная теплота парообразования воды (и льда тоже), M – ее молярная масса.

Воспользуемся экспериментальными данными о зависимости давления насыщенного пара от температуры:

$T, \text{ К}$	143	152	161	171	183	197
$\lg(p/p_{\text{атм}})$	-11	-10	-9	-8	-7	-6
$T, \text{ К}$	212	231	253	281	319	373
$\lg(p/p_{\text{атм}})$	-5	-4	-3	-2	-1	0

и проведем расчет зависимости потерь тепла, связанных с испарением воды, от температуры:

$T, \text{ К}$	143	152	161	171
$W, \text{ Вт/м}^2$	0,013	0,13	1,3	12,3
$T, \text{ К}$	183	197	212	
$W, \text{ Вт/м}^2$	120	1150	11000	

Оценки показывают, что на поверхности кометы вблизи ее экватора должна установиться температура между 183 и 197 К (интересен вопрос: как будет изменяться температура поверхности от времени «суток» на комете?). При таких темпе-

ратурах потери на излучение с 1 м^2 составляют от 70 Вт при 183 К до 92 Вт при 197 К. Поэтому необходимо признать, что главным механизмом расхода тепла с поверхности кометы будет испарение. Оно обеспечивает, как видно, около 80% всех потерь.

Оценим время жизни ледяной кометы, если потери тепла обусловлены только испарением с ее поверхности. Очевидно, что испарение в экваториальной зоне идет значительно быстрее, чем на полюсах кометы. В результате такого неравномерного испарения она приобретает вытянутую вдоль оси вращения форму. Скорость уменьшения размеров кометы на экваторе не зависит от размеров кометы, а определяется балансом энергии, полученной от Солнца и потерянной за счет испарения, и равна

$$WM/(\pi\beta\rho) \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}.$$

Это означает, что радиус экваториальной зоны кометы уменьшается (в среднем) на $2 \cdot 10^{-7}$ м за каждую секунду. Чтобы комета полностью испарилась, требуется около $2,5 \cdot 10^9$ с. Таким образом, наша комета может прожить около 80 лет! По меркам Солнечной системы это совсем немного.

Реально существующие ледяные кометы, конечно же, не попадают на круговую орбиту вокруг Солнца. Периодические кометы большую часть времени проводят на значительном удалении от нашего светила. Однако именно в то время, когда они находятся на сравнительно небольших расстояниях от Солнца, они сильно теряют в массе. Если бы комета Галлея имела ледяное ядро диаметром около 10 км и из своего 80-летнего периода находилась на расстоянии 0,5 а.е. от Солнца лишь 0,3 года, то для полного ее испарения потребовалось бы только 1300 оборотов – всего-то каких-то 100 тысяч лет, что в масштабах времени жизни Солнечной системы (5 миллиардов лет) ничтожно мало. Поэтому кометы и не появляются на небе

Астероид Гаспра. Вероятно, так выглядят ядра комет после испарения из них летучих веществ

каждую ночь (они не могут накопиться в большом количестве).

Появление кометы с периодом, сравнимым с периодами обращения больших планет вокруг Солнца, редкое событие, потому что требуется благоприятное стечение обстоятельств, при которых тело, пролетая в окрестности Солнца, должно испытать сильное воздействие одной из больших планет. Планета должна так изменить траекторию движения тела, чтобы из длиннопериодической или одноразовой кометы получилась короткопериодическая. Какова вероятность такого события? Это отдельный интересный вопрос.

Если бы сейчас на небе появлялась в среднем за десять лет одна комета, похожая по характеристикам на комету Галлея, это означало бы, что одновременно существуют около десятка тел, которые периодически появляются вблизи Солнца и видны как кометы. Поскольку время жизни одной такой кометы порядка 100 тысяч лет, отсюда следует вывод, что частота появления таких комет из облака Оорта примерно одна за десять тысяч лет и что за время существования Земли появилось и успело испариться около Солнца примерно полмиллиона комет типа кометы Галлея.

Иллюстрации к статье и подписи к ним предоставлены В.Сурдиным