

## РЕГИСТРАЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В КОМЕ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА "ФОТОН"

*С.И.Анисимов, В.П.Карягин, В.А.Кудряшов, Ю.А.Осипьян,  
Ю.А.Рыжов, С.Б.Свищевский, А.З.Струков,  
А.В.Тертерашвили, В.Е.Фортов,  
И.М.Халатников, А.Е.Шейндлин*

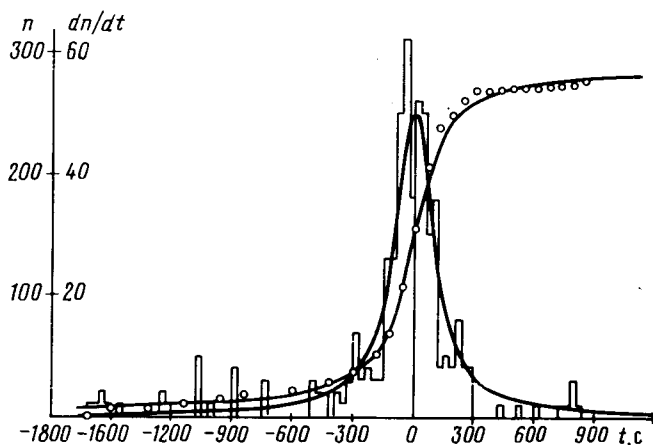
Сообщается о первых результатах прямых измерений характеристик пылевых частиц с массой  $m > 10^{-9}$  г прибором "Фотон", установленным на космических аппаратах "Вега-1" и "Вега-2". Приведен характер изменения пылевого потока по траектории аппарата и вид функции распределения пылевых частиц по массам.

Исследование пылевой атмосферы кометы Галлея являлось одной из основных задач в проекте "Вега". Оно осуществлялось с помощью комплекса научных приборов, позволивших вести измерения в широком диапазоне масс пылевых частиц<sup>1</sup>. Прибором "Фотон" проводилась регистрация сравнительно крупных частиц пыли (с массой более  $\sim 10^{-9}$  г) и изучение их взаимодействия с элементами противопылевой защиты космического аппарата. Прибор представлял собой приемную камеру с тонким никелевым экраном, содержащую оптический и акустический датчики, и электронный блок для обработки и передачи сигналов в

телеметрию аппарата <sup>1, 2</sup>. Частицы пыли падали на экран под углом 60° к его поверхности.

Диагностирование пылевых частиц было основано на оптическом методе измерения площади отверстий, пробиваемых частицами в экране. Для этого регистрировался поток солнечного излучения, попадавший через эти отверстия на фотометрическую систему прибора. Для более полной и надежной информации о свойствах частиц пыли и процессах разрушения защитных экранов при высокоскоростном ударе прибором измерялись также амплитуда и длительность световой вспышки, возникающей в момент пробивания мишени толщиной 0,1 мм, а также механический импульс, передаваемый экрану. Калибровка прибора производилась на основе как прямых измерений, так и с использованием результатов лазерного моделирования высокоскоростного удара и численных расчетов взаимодействия пылевых частиц с экранами.

Минимальная масса пылевой частицы, пробивающей экран, составляла  $6 \cdot 10^{-10}$  г. Частицы этого класса из-за особенностей ориентации экрана по отношению к потоку солнечного излучения регистрировались прибором лишь по каналам вспышки и акустики. Ниже обсуждаются результаты только по той группе частиц, для которой были измерены все три характеристики их взаимодействия с экраном: энергия вспышки, передаваемый импульс и размер отверстия. В эксперименте "Вега-1" зарегистрировано  $n_0 = 275$  таких частиц. Минимальную площадь отверстия, равную  $2,2 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>, пробивали частицы массой  $6 \cdot 10^{-9}$  г. Суммарная площадь пробитых отверстий составила 0,25% от рабочей площади экрана, равной 137 см<sup>2</sup>.



На рис. 1 показано измерение во времени величины потока пылевых частиц, падавших на экран (суммирование велось по интервалам времени в 30 с.). Значение  $t = 0$  определяет отсчет времени от точки максимального сближения аппарата с ядром кометы. Заметны значительные флуктуации потока частиц. Однако суммарное количество частиц  $N(t)$ , зарегистрированных к моменту времени  $t$ , хорошо аппроксимируется формулой

$$N(t) = \frac{n_0}{2} \left[ 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \left( \frac{Vt}{R_m} \right) \right], \quad (1)$$

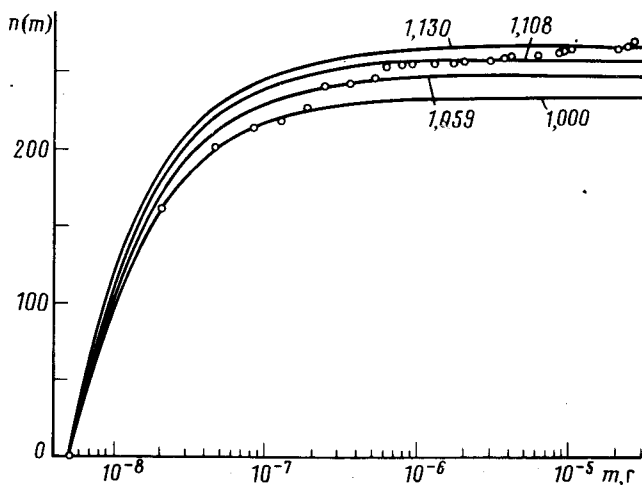
где  $V$  — скорость аппарата относительно пылевого облака (79,27 км/с для "Вега-1");  $R_m$  — минимальное расстояние от ядра (8879 км для "Вега-1"). Согласно (1) с экспериментом (точки на рисунке) указывает на то, что средняя концентрация частиц в пылевой атмосфере убывает с расстоянием от ядра кометы как  $R^{-2}$ . Сравнение среднего потока пыли на экран (полученного дифференцированием (1) и показанного на графике) с измеренным показывает, что в окрестности точки максимального сближения с ядром наблюдалась область повышенной плотности числа частиц. Такой характер, вероятно, обусловлен интенсивными локальными выбросами пыли и газа с поверхности ядра ("джетами"), зарегистрированными и другими приборами <sup>3, 4</sup>.

Во время пролета аппарата "Вега-2" меньшим было как общее количество пыли, так и флуктуации плотности потока частиц. Результаты обработки показывают, что средняя концентрация пыли по его траектории была примерно в 1,5 ... 2 раза ниже, чем для "Веги-1".

Из проведенных измерений можно найти распределение пылевых частиц по массам. С учетом <sup>5</sup> можно написать:

$$n(m_1, m_2) = C(m_1^{-\alpha} - m_2^{-\alpha}), \quad (2)$$

где  $n(m_1, m_2)$  — число частиц в интервале масс  $m_1 < m < m_2$ , попавших на экран прибора. Непосредственная обработка экспериментальных данных дает значение  $\alpha \approx 0,58$ , которое заметно отличается от следующего из астрономических наблюдений значения  $\alpha \approx 1$  (см. <sup>5</sup>). Причину расхождения можно понять, если иметь в виду, что промежуток времени между испусканием пылевой частицы и ее регистрацией соизмерим в эксперименте "Вега" с характерным временем изменения активности кометы. После прохождения кометой перигелия ее активность падает со временем. Поскольку тяжелые частицы движутся медленнее и больше запаздывают, наблюдаемое в эксперименте распределение должно обнаруживать избыток тяжелых частиц, что и проявляется в уменьшении значения эффективного показателя  $\alpha$ . Чтобы найти распределение частиц, испускаемых ядром, проще всего использовать данные, относящиеся к группе самых легких частиц, для которых эффект запаздывания минимален. Для интервала масс  $m < 10^{-7}$  г получается тогда значение показателя  $\alpha \approx 0,86$ , близкое к результату <sup>5</sup>. Соответствующее распределение показано на рис. 2. Приведенные кривые соответствуют различным значениям константы  $C$  (см. (2)), причем, в соответствии со сказанным выше, данные для частиц большей массы попадают на кривые с большими значениями  $C$ . Заметим, что по данным "Джотто" <sup>6</sup> вблизи ядра кометы  $\alpha \approx 0,83$ , тогда как на расстоянии 2200 км  $\alpha \approx 0,66$ .



Дифференциальная функция распределения пылевых частиц по массам в интервале  $10^{-9} < m < 10^{-5}$  г может быть представлена в виде

$$dn = A m^{-1,86} dm, \quad (3)$$

где  $A = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-2} \cdot \text{г}^{0,86}$ .

Скорость производства пыли, с учетом (3), можно оценить следующим образом

$$\dot{M} = 4R_m \int_{m_1}^{m_2} m v(m) dn \approx 1,5 \cdot 10^7 (m_1^{-0,027} - m_2^{-0,027}), \text{ г/с}$$

где  $v(m) = 10^3 \rho^{-1/3} m^{-1/6}$  см/с — скорость движения пыли. Для интервала масс, в котором справедливо распределение (3),  $\dot{M} \approx 5$  т/с. Поскольку  $\dot{M}$  очень слабо зависит от пределов интегрирования, а при  $m < 10^{-9}$  г число частиц сравнительно медленно возрастает с

уменьшением массы <sup>7</sup>. ( $\alpha \sim 0,5 \dots 0,6$ ), то полная масса пыли, производимой ядром кометы в секунду, вероятно, не превышает 10 т.

Авторы выражают искреннюю благодарность Р.З.Сагдееву за постоянное внимание к работе и многочисленные стимулирующие дискуссии.

### Литература

1. Venus-Halley mission Experiment description and scientific objectives of the international project VEGA (1984-1986), Louis - Jean, Gap, Paris, 1985, p. 210.
2. Анисимов С.И., Ковтуненко В.М., Карягин В.П. и др. Служебно-научный эксперимент "Фотон" для изучения микрометеоритной атмосферы кометы Галлея и характеристик ее взаимодействия с космическим аппаратом "Вега". Препринт № 2-176, ИВТАН СССР, М., 1985, с. 28.
3. Sekanina Z., Larson S.M. Nature, 1986, 321, 357.
4. Simpson J.A., Sagdeev R.Z., Tuzzolino A.J., et al. Nature, 1986, 321, 278.
5. Divine N. In: The Comet Halley dust and gas environment, ESA-SP-174, 1981, p. 25.
6. McDonnell J.A.M., Alexander W.M., Burton W.M., et al. Nature, 1986, 321, 338.
7. Mazets E.P., Aptekar R.L., et al. Nature, 1986, 321, 276.

Московский авиационный институт им. С.Орджоникидзе

Институт теоретической физики им. Л.Д.Ландау

Академии наук СССР

Институт физики твердого тела Академии наук СССР

Институт космических исследований Академии наук СССР

Институт физики высоких температур

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

17 октября 1986 г.