

ПАВЕЛ ШАРОВ

Тайны межзвездных облаков

Как появилась жизнь на Земле? Этот вопрос до сих пор не имеет убедительного научного ответа. В 70-х годах прошлого века стала популярна гипотеза о том, что жизнь была занесена на Землю кометами. Все началось в 1910 году, когда Земля должна была пройти через хвост кометы Галлея, в которой спектроскопические наблюдения выявили присутствие ряда молекул — монооксида углерода, циана и водорода. Газеты немедленно подняли панику, объявив, что атмосфера будет отравлена ядовитыми угарным газом и синильной кислотой. Это было первое околонуучное упоминание о кометной органике, хотя до ее реального открытия оставалось еще более 20 лет.

Европейская межпланетная станция «Розетта», стартовавшая в феврале 2004 года, — это следующий этап исследования комет. Более чем через 10 лет полета ей предстоит высадить спускаемый аппарат на поверхность ядра кометы Чурюмова—Герасименко

Только в 1931 году американский астроном Николас Бобровников (Nicholas Bobrovnikoff) идентифицировал в spectraх кометы Галлея линии простейшей органической молекулы — СН. Еще через 10 лет бельгийский астроном Поль Свингс (Pol Swings) нашел линии ион-радикалов СН⁺ и ОН⁺, а также ионизированных молекул углекислого газа СО₂⁺. Кажется, еще немного, и будут обнаружены более сложные молекулы. Появилась надежда, что кометы могут оказаться источником земного органического вещества, если не самой жизни. Она продержалась вплоть до следующего возвращения кометы Галлея в 1986 году. На этот раз ее с близкого расстояния изучали сразу несколько космических аппаратов — советские «Вега-1 и -2», японские «Суисей» (Suisei) и «Сакигакэ» (Sakigake) и европейский «Джотто» (Giotto), который позднее, в 1992 году, сблизился с другой кометой — Григга—Шьеллерупа. Был обнаружен еще целый ряд молекул, в том числе формальдегид (СН₂О), метан (СН₄), аммиак (NH₃), но ничего хотя бы отдаленно похожего на следы жизни или сложной органики. Аналогичные результаты были получены в 2001 году, когда американский аппарат «Дип Спейс-1» (Deep Space 1) изучил ядро кометы Борелли.

Самым впечатляющим проектом по изучению комет стал полет американского зонда «Дип Импакт» (Deep Impact), который впервые достиг поверхности ядра кометы Темпеля-1. Он был запущен 12 января 2005 года и нес на борту импактор — медную болванку массой 372 килограмма, которую сбросил на ядро кометы с пролетной траектории 4 июля того же года — в День независимости США, что, конечно, не случайно. В результате удара на скорости 10 км/с образовалось облако газа и пыли, которое затем исследовалось дистанционными методами как с самого аппарата, так и с Земли. Уже через несколько минут оно распространилось более чем на 300 километров от ядра. Специалисты удивила полная непрозрачность облака, говорившая о том, что поверхность ядра кометы покрыта мельчайшими частицами наподобие талька, в то время как ученые ожидали разлета частиц размером с крупинки мелкозернистого песка. В момент удара на поверхности ядра кометы появился кратер, но из-за непрозрачности облака не удалось даже определить его размер (по оценкам, он должен составлять 50—250 метров), не то что заглянуть в него.

Однако все эти кометы — старые, они не раз уже сблизались с Солнцем, прожаривались в его лучах и потеряли

значительное количество изначально-го запаса летучих веществ. По ним трудно судить о том, каким было первичное вещество, которое кометы приносили на Землю в эпоху молодости Солнечной системы. Поэтому ценным дополнением ко всем кометам, ранее исследованным космическими аппаратами, стала комета Вильда-2, которая за всю свою жизнь сблизилась с Солнцем только 5 раз. До 1974 года орбита этой кометы вокруг Солнца была долгопериодической. Ее перигелий, то есть ближайшая к Солнцу точка орбиты, находился в районе Юпитера, в 5 астрономических единицах от Солнца (1 а. е. = 150 миллионам километров — расстояние от Земли до Солнца). В афелии комета уходила еще в пять раз дальше. Значительное удаление от Солнца обеспечивало сохранность материала ее ядра. Так было до 10 сентября 1974 года, когда комета прошла менее чем в миллионе километров от Юпитера. Мощное поле тяготения планеты-гиганта резко изменило орбиту кометы. Превысив перигелий стал афелием, а новый перигелий расположился всего в полутора астрономических единицах от Солнца. С приближением к Солнцу летучие вещества ядра стали испаряться, блеск кометы вырос, и при первом же прохождении перигелия в 1978 году она была открыта Паулем Вильдом (Paul Wild) из астрономического института Бернского университета. Таким образом, это дальняя и «свежая» комета, совсем недавно оказавшаяся во внутренней части Солнечной системы. К тому же по случайной случайности ее нынешняя орбита имеет небольшое (3 градуса) наклонение к плоскости эклиптики, то есть к земной орбите. Это сделало ее удобной целью для изучения с помощью космических аппаратов. Ведь большинство комет имеют значительное наклонение, а изменение плоскости орбиты — один из самых затратных маневров в космонавтике. Грех было упускать такой шанс изучить хорошо сохранившуюся с древних времен комету с близкого расстояния, и NASA поставило перед собой амбициозную цель — доставить на Землю образцы кометного вещества.

ПЕЙЗАЖИ ЯДРА

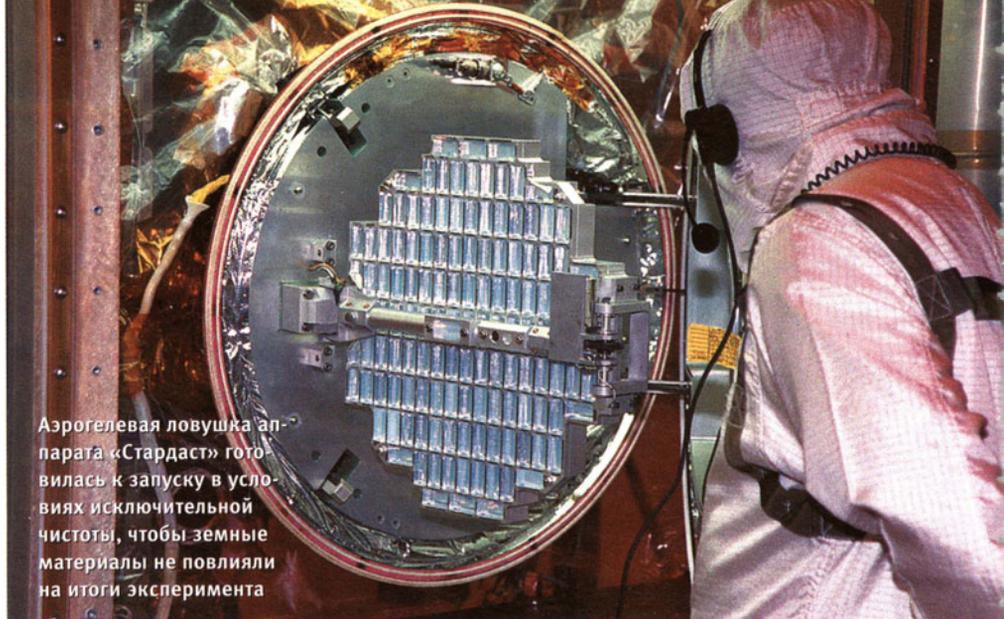
7 февраля 1999 года с мыса Канаверал к комете Вильда-2 стартовал космический аппарат «Стардаст» (Stardust — «Звездная пыль»). Его основной целью был сбор кометной пыли с последующей доставкой образцов на Землю. На некоторых участках траектории собирались также образцы межпланетной и межзвездной пыли. План доставки образцов был беспрецедентным: еще никогда в истории▶

космонавтики ни один аппарат не возвращался на Землю с такого расстояния.

В назначенный день, 2 января 2004 года, преодолев с момента старта 3,2 миллиарда километров, космический аппарат «Стардаст» вошел в газопылевое облако — кому, окружающую ядро кометы Вильда-2. До максимального сближения оставалось еще 5 часов полета, когда на аппарат обрушился настоящий шквал кометных частиц. Они летели навстречу с весьма внушительной скоростью — 6 км/с и по крайней мере в десяти местах пробивали верхний слой противометеоритной защиты, так называемых щитов Уиппла. Специалисты ожидали, что концентрация частиц будет равномерно возрастать с приближением к ядру, но данные монитора пыли свидетельствуют, что в течение получаса во время наибольшего сближения «Стардаст» в течение получаса четырежды проходил сквозь настоящие рои частиц, между которыми концентрация пыли была очень низкой. Заранее создатели станции могли теоретически оценить средний поток частиц, но никак нельзя было гарантировать, что не предусмотренный моделью тяжелый камень не врежется в станцию и не нарушит ее работу. Поэтому легко понять ликование операторов и ученых в центре управления, когда ведущий «кометолог» Дон Йоманс объявил: «Хорошие новости! Мы прошли наибольшее сближение без каких-либо повреждений».

Пока 16 двигателей «Стардаста» компенсировали «порывы метеороного урагана», стараясь сохранить ориентацию аппарата в пространстве, в заполненном аэрогелем коллекторе осело более тысячи частиц. Затем ловушка была герметично закрыта и спрятана в возвращаемую капсулу. В следующий раз ее открыли только в «чистой комнате» Космического центра имени Джонсона. До Земли оставалось более миллиарда километров и почти 2 года полета.

В момент максимального сближения «Стардаст» пролетел в 236 километрах от ядра. Пролет с солнечной стороны гарантировал хорошие условия съемки. С помощью навигационной камеры было сделано 72 фотографии ядра в период от -30 до +5 минут от момента наибольшего сближения. Как и предполагали специалисты, ядро было округлым, около 5 километров в диаметре, но вот его рельеф оказался весьма разнообразным. На поверхности обнаружены громадной величины булыжники, 100-метровые скалы, глубокие «дыры» и напоминающие кратеры круговые структуры размером до километра. Такой сложный рельеф говорит о довольно прочной структуре поверх-



Аэрогелевая ловушка аппарата «Стардаст» готовилась к запуску в условиях исключительной чистоты, чтобы земные материалы не повлияли на итоги эксперимента

Кометная пыль — невероятно дорогое вещество: доставка 1 миллиграмма образцов обошлась в 200 миллионов долларов

ностного слоя (коры) ядра кометы. Вероятно, он состоит из мелкозернистой скальной породы, скрепленной замёрзшими водой, монооксидом углерода и метанолом. Здесь вполне мог бы сесть спускаемый аппарат, а космонавт при прогулке по комете (что, впрочем, кажется почти невероятным — ведь обычный человек будет там «весить» примерно 3 грамма) мог бы не волноваться за прочность поверхности под своими ногами. Ведь даже если он попадет в кратер с торчащими из него ледяными «сосульками» гигантских размеров, то выбраться оттуда ему не составит особого труда. Достаточно слегка оттолкнуться ногами, чтобы улететь в космос, поскольку сила тяжести на поверхности кометы составляет всего 0,00003g, что меньше сотой доли процента от земной.

На некоторых снимках, сделанных «Стардастом», заметны струи газа, исходящие из активных участков поверхности, вероятно, трещин в коре кометы. Это испаряется лед, и потоки газа устремляются в космос, образуя хвост кометы. Впервые в истории запечатлены не только сами потоки частиц пыли и газа, но и места их выхода. Надо заметить, что если наблюдать эти потоки, находясь на поверхности, они окажутся почти прозрачными и будут выдавать себя лишь потоками пыли, увлекаемыми струями газа. Пылинки будут мерцать в солнечном свете наподобие трассирующих пуль, выпущенных с поверхности в небо.

23 ПЫЛИНКИ

15 января 2006 года капсула «Стардаста» с бесценными образцами совершила мягкую посадку на полигоне в штате Юта. Это была первая полностью успешная доставка внеземно-

го вещества космическим аппаратом после того, как в 1969—1976 годах американские корабли «Аполлон» и советские станции «Луна» привезли на Землю лунный грунт. Однако, прежде чем приступить к изучению кометной пыли, ее еще предстояло найти в аэрогелевой ловушке. Два десятка относительно крупных частиц оставили следы, видимые невооруженным глазом, но большинство можно заметить только в микроскоп, да и то, если сфокусироваться на нужную глубину. Поиски пылинок грозили растянуться на долгие годы, и в NASA решили призвать на помощь добровольцев. Весь объем ловушек был послойно отсканирован с высоким разрешением, а потом волонтеры, скачивая кадры по Интернету, обследовали их в поисках самих частиц или их следов. Размеры пылинок варьировались от десятков нанометров до десятых долей миллиметра. В среднем они оказались крупнее частиц кометы Галлея, но мельче, чем у кометы Григга—Шьеллерупа.

Спустя полтора года после посадки капсулы общественности были представлены первые весьма неожиданные результаты исследования кометного вещества. Всестороннему анализу подверглись 23 частицы, извлеченные из аэрогеля, и семь микрометеоритных следов в алюминиевой фольге научного контейнера. Главный вывод: традиционное представление о кометах, как об огромных «грязных снежках», теперь требует уточнения, они имеют намного более сложный состав. По элементному составу вещество кометы Вильда-2 сходно с рыхлыми углистыми хондритами — метеоритами, которые, как считается, представляют состав Солнечной системы в целом. Однако настоящие неочи-

данности принес минералогический анализ. Конечно, большая часть вещества — явно холодный материал с окраин Солнечной системы, но около 10% сформировалось в условиях высоких температур. «Если честно, мы не ожидали найти вещество из внутренней части Солнечной системы», — сообщил Дональд Браунли (Donald Brownlee), научный руководитель проекта Stardust из Университета Вашингтона. — И тем не менее оно было обнаружено уже во второй исследованной частице». В ней было выявлено редкое кальциево-алюминиевое включение, из тех, что лишь изредка попадают в метеоритах. Позднее ученые нашли микрокристаллы оливина, состоящие из железа, марганца и других элементов. И то, и другое могло сформироваться в центральных областях протосолнечной туманности на начальной стадии ее остывания. Исходным материалом, вероятно, послужила межзвездная пыль, но ее частицы обычно имеют стекловидный характер и для образования кристаллов должны быть прогреты до значительной температуры. Еще более впечатляет наличие кристаллов осборнита, состоящего из сернистого кальция и сернистого титана. Для их образования требуется температура 1700°C, которая могла достигаться только в непосредственной близости от Солнца. Но откуда взялись эти 10% вещества с «горячей» предысторией, если до встречи с Юпитером в 1974 году комета вообще не заходила во внутреннюю область Солнечной системы и, казалось бы, не могла позаниматься отсюда веществом? Просто детективная история! Как полагает Майкл Золенски (Michael Zolensky) из Космического центра имени Джонсона, нахождение оливина и сходных с ним по происхожде-

нию минералов может быть подтверждением гипотезы о сильных газовых выбросах, исходивших из внутренней окосолнечной области и выносивших сформированный там материал на окраины Солнечной системы.

Итак, совершенно неожиданный вывод из полета «Стардаста» состоит в том, что кометы могут содержать вещество, сформировавшееся при самых разных температурах и на всем пространстве от внутренней части Солнечной системы до дальних границ пояса Койпера и облака Оорта, где, как считается, и образуются кометы. Исходный материал кометы образовался частично до, а частично после формирования Солнечной системы. Безусловно, такое смешивание затрудняет исследование эволюции комет, но оно может помочь понять историю образования планет Солнечной системы.

КОНТРАБАНДНЫЙ АЗОТ

А теперь о самом интересном. Найденные в кометных частицах органические соединения стали для ученых немалым сюрпризом и заставили вновь обсуждать гипотезы, которые уже стали считаться слишком экстравагантными. Конечно, о доставке кометами живых организмов или даже сложных биологических молекул речь не идет, но все же полностью исключить их связь с возникновением жизни нельзя. Аэрогелевые ловушки «Стардаста» сыграли роль своеобразной губки: помимо частиц пыли они абсорбировали идущие из ядра кометы молекулы газов, в том числе и органические соединения. И подобно тому, как выжимают губку, все собранные вещества были «выжаты» из аэрогеля путем проваривания в воде ультравысокой степени чистоты. Полученный экстракт ученые▶



ФРЕД УИПЛ И ЕГО ЩИТЫ

При столкновении на скорости 6 км/с кинетическая энергия частицы (а она вчетверо больше энергии взрыва той же массы тротила) мгновенно переходит в тепло, вызывая направленный взрыв. Защиту от таких ударов придумал в 1946 году американский астроном Фред Уипл (1906—2004), который предложил модель кометного ядра как «грязного снежка» и обосновал ее серией статей в *Astrophysical Journal* с 1950 по 1955 год. Главный принцип уиплловского щита — многослойность. Столкнувшись с первым тонким слоем-листом, частица испаряется, и дальше летит струя газа, рассеять которую гораздо проще. Сегодня ни один серьезный космический аппарат не обходится без щитов Уипла. Именно они создают впечатление, что готовые к старту космические аппараты как будто бы завернуты в фольгу. Фред Уипл открыл шесть комет и астероид, он организовал первую службу слежения за искусственными спутниками, единственную за рубежом, которая была готова к наблюдениям в момент запуска первого советского спутника. Уипл бы удостоен золотой медали Американского астрономического общества. Он скончался 30 августа 2004 года, несколько месяцев спустя после того, как оберегаемый его щитами аппарат собрал образцы кометного вещества, в очередной раз подтвердившие (и уточнившие) его теорию строения комет, выдвинутую полувеком раньше.

Александр Сергеев

Будущее за Луной

Еще в то время, когда люди могли изучать Луну только при помощи телескопов, один из американских исследователей предложил достаточно любопытную гипотезу. Расчеты, которые провел ученый, показали, что всего лишь один гектар лунной поверхности может содержать в себе до 200 тонн чистого алюминия. Было выдвинуто предположение, что Луна представляет собой своего рода гигантский завод природного происхождения, который при помощи потока излучаемых Солнцем протонов превращает руды железа, магния и алюминия в чистые металлы.

Во второй половине 20 века ученые получили много новых ценных данных, в том числе и о составе лунной коры. Первые образцы лунного грунта были

доставлены на Землю американской лунной экспедицией «Аполлон-11» в 1969 году. Анализы этих образцов действительно обнаружили достаточно высокую концентрацию алюминия в лунных породах — до 15%. И хотя гипотеза о наличии на Луне алюминия в чистом виде пока не нашла своего фактического подтверждения, в свете периодически вспыхивающих дискуссий о стремительно истощающихся источниках полезных ископаемых на Земле эти данные представляют большой интерес.

Алюминий обладает целым рядом свойств, которые делают его незаменимым в самых различных областях. Кроме всего прочего, благодаря наличию у алюминия таких качеств, как легкость, экологичность и коррозионная стойкость была изобретена алюминиевая банка. В дальнейшем банка неоднократно мо-

дифицировалась: менялся объем, дизайн и способ ее открывания. Наконец, был выпущен, как кажется, идеальный вариант — алюминиевая банка емкостью 1 литр. В России в такую банку разливают популярный сорт пива — «Балтику № 7». Анализ потребительских предпочтений показал, что этот объем является оптимальным, при этом банка все также надежно защищает неповторимый вкус пива от воздействия внешней среды. К тому же, необходимо учитывать, что рано или поздно человечество, скорее всего, сумеет разработать технологию добычи алюминия из лунных пород, а значит, поклонникам «семерки» беспокоиться не о чем.



ЧРЕЗМЕРНОЕ УПОТРЕБЛЕНИЕ ПИВА ВРЕДИТ ВАШЕМУ ЗДОРОВЬЮ

Полет аппарата «Стардаст» к комете Вильда-2 занял 7 лет и увенчался полным успехом. В размещенной на его борту ловушке из азрогеля застряли более тысячи метеорных частиц кометного и межзвездного происхождения, а также молекулы летучих веществ кометы, в том числе ряда органических соединений. Это первый в истории космонавтики случай доставки твердых образцов из-за пределов системы Земля—Луна.

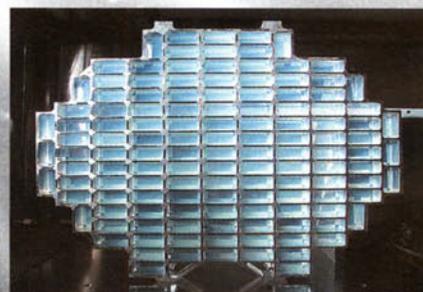


На этом композитном снимке показан рельеф ядра кометы Вильда-2 и выбросы газа, которые просматриваются только при длинной экспозиции (около 10 секунд). Съемка велась навигационной камерой аппарата «Стардаст». Поперечник ядра — около 5 километров, размер крупнейших кратеров около километра. Это самый детальный снимок ядра кометы, имеющийся в распоряжении ученых, — на оригинале различимы детали размером около 10 метров

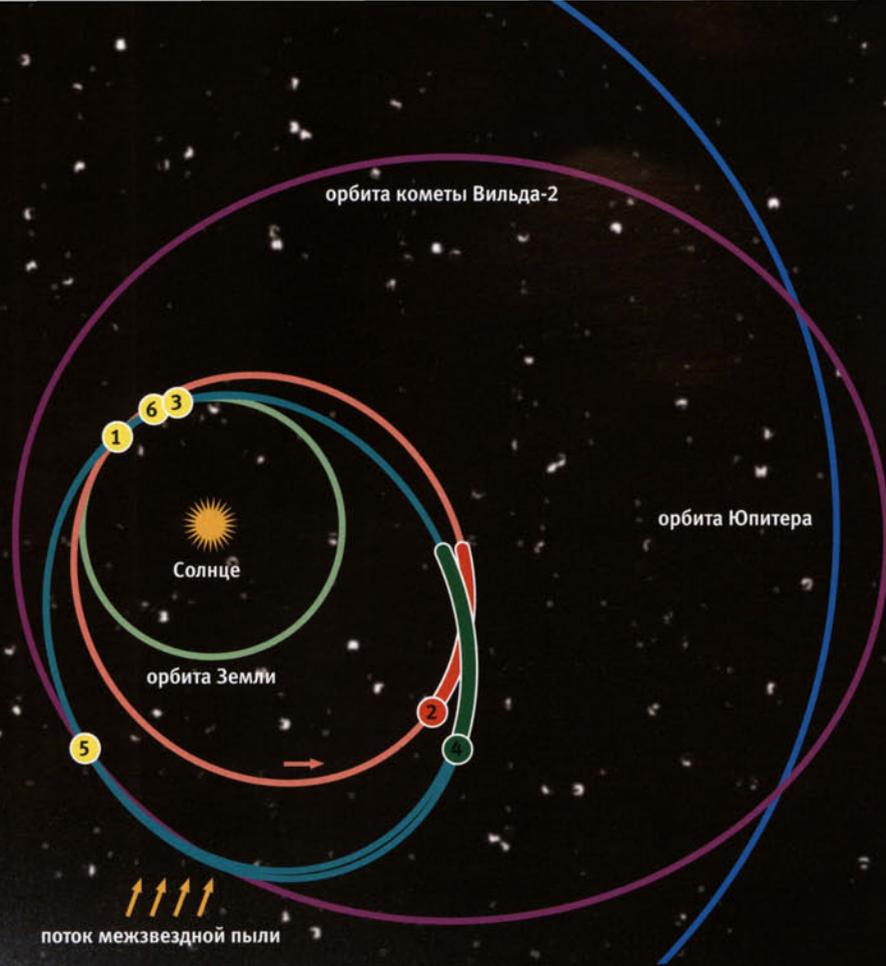


Схема компоновки космического аппарата «Стардаст». Впереди раскрытая посадочная капсула и ловушка с азрогелем, поднятая на кронштейне в рабочее положение. В центре на корпусе аппарата расположена параболическая узконаправленная антенна для связи с Землей, слева от нее — средненаправленная антенна

Возвращаемая капсула «Стардаста» осуществила парашютную посадку 15 января 2006 года на полигоне в штате Юта. Это второй в истории возврат аппарата после межпланетного полета. Первым был зонд «Генезис», собиравший образцы солнечного ветра. 8 сентября 2004 года его капсула совершила жесткую посадку: из-за ошибки в сборке не раскрылся основной парашют. До последнего момента было неизвестно, нет ли такой же ошибки в капсуле «Стардаста». Аналогичное устройство планируется использовать в будущем для доставки образцов с поверхности Марса



Ловушка для кометных частиц разделена на 130 ячеек глубиной 3 сантиметра, заполненных азрогелем. Ее рабочая площадь составляет 1 000 см². Вся работа по ее изготовлению проводилась в чистых комнатах класса 100 (не больше 100 частиц полумикронного размера на кубический фут воздуха). Это в сто раз более чистый воздух, чем в типичной операционной. При пролете кометы ловушку ставили одной стороной к потоку частиц, а для сбора межзвездной пыли — другой. Это позволило легко различать частицы разного происхождения

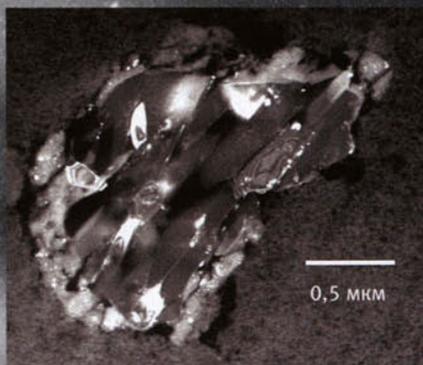


ХРОНОЛОГИЯ ПОЛЕТА

- 7 ФЕВРАЛЯ 1999** 1
Запуск ракетой Delta II
- 22 ФЕВРАЛЯ — 1 МАЯ 2000** 2
Первый период сбора межзвездной пыли
- 15 ЯНВАРЯ 2001** 3
Сближение с Землей для гравитационного маневра
- 5 МАЯ 2002 — 9 ДЕКАБРЯ 2002** 4
Второй период сбора межзвездной пыли
- 2 НОЯБРЯ 2002**
Сближение (3300 км) с астероидом Аннефранк (поперечник 6 км) и его съемка
- 24 СЕНТЯБРЯ 2003**
Начало операций по изучению кометы Вильда-2
- 2 ЯНВАРЯ 2004 (5)** 5
Пролет ядра кометы Вильда-2 на расстоянии 236 км
Расстояние от Солнца — 1,86 а. е. (279 млн км)
Расстояние от Земли — 2,60 а. е. (390 млн км)
- 21 ФЕВРАЛЯ 2004**
Завершение операций по изучению кометы
- 17 ОКТЯБРЯ 2005**
Начало операций по возврату капсулы с образцами
- 15 ЯНВАРЯ 2006** 6
Возвращение капсулы с образцами на Землю

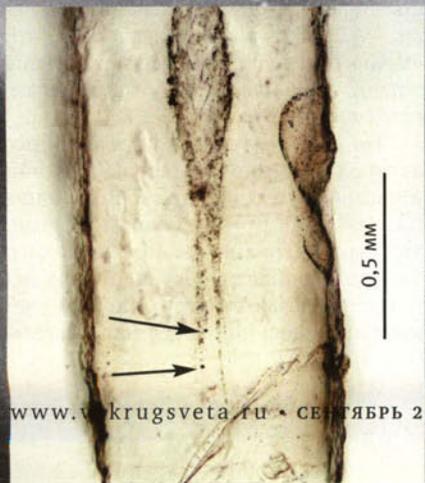
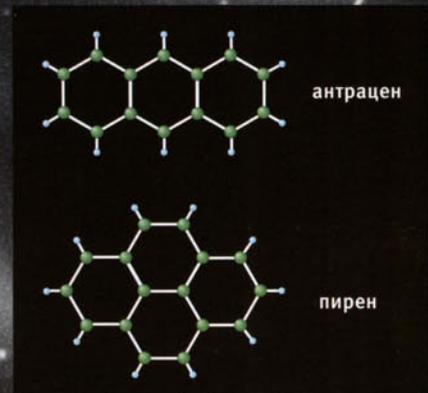
На первых двух витках вокруг Солнца до встречи с кометой аппарат дважды открывал ловушку для сбора образцов межзвездной пыли, а между витками сближался с Землей для набора скорости в гравитационном маневре. Чтобы снизить скорость столкновения с межзвездными пылинками, их сбор шел в перигеи, когда аппарат летел в сторону, противоположную движению Солнца относительно соседних звезд. Встреча с кометой произошла через пять лет полета на третьем витке вокруг Солнца. При этом комета нагоняла аппарат со скоростью 6,1 км/с

Самые крупные из пойманных кометных частиц образовали в аэрогеле треки длиной до 2 см и шириной 0,5 см, напоминающие по форме кормовую свеклу — турнепс. Широкая часть трека сформирована многочисленными слабо связанными мелкими пылинками, которые разлетаются во все стороны в момент столкновения с аэрогелем. А длинный «корень» образуют относительно крупные каменные частицы в центре пылинки (отмечены стрелками)



Одна из крупных пылинок размером около 2 микрон, состоит из тугоплавкого силикатного минерала форстерита (Mg_2SiO_4), одной из форм оливина, который образуется при высоких температурах. Выходит, что кометное вещество формировалось не только на холодной периферии Солнечной системы, но, по крайней мере, частично, в горячих областях вблизи молодого Солнца, а возможно, и других звезд

Основу полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) составляют несколько сцепленных шестиугольных колец из атомов углерода. Присутствие очень небольшого количества антрацена и пирена (на рисунке) выявлено в межзвездной среде спектральными методами. В комете Вильда-2 также найдены молекулы ПАУ. Какие процессы приводят к их образованию, пока не вполне ясно





Специальные «иглы», установленные на управляемых компьютером микроприводах, используются для высокоточного разрезания аэрогеля, содержащего образцы кометного вещества

ПОХОЖДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПЫЛЕСОСА

Для сбора кометной пыли на аппарате «Стардаст» использовались ловушки с необычным веществом — аэрогелем, в котором мельчайшие частицы, летящие со скоростью 6 км/с, не разрушаясь, тормозились и застревали, как в желе.

Аэрогель — самый фантастический твердый материал в мире. Он состоит из двуокиси кремния и обладает тонкой волокнисто-пустотной структурой. С виду кусок аэрогеля похож на синеватый застывший дым и при этом является твердым на ощупь. Правда, твердое вещество в составе аэрогеля занимает меньше 0,2% объема, остальное — воздух. Аэрогель в 40 раз превосходит фиберглас по теплоизоляционным свойствам, а его плотность составляет 2 кг/м³ — в 1 000 раз меньше, чем у стекла, и всего в полтора раза больше, чем у воздуха!

О происхождении аэрогеля рассказывают следующую историю. Пospорили как-то два доктора, Стивен Кистлер (Steven Kistler) и Чарлз Лернд (Charles Learned) из Стэнфордского университета — кто из них сможет без усадки объема заменить воду в желеобразном образце газом. Победил Кистлер, который в 1931 году опубликовал свою работу по созданию «воздушного желе» в журнале Nature. Берется водно-спиртовой коллоидный раствор диоксида кремния (кремнезема, SiO₂), а затем быстро выпаривается, так чтобы частицы SiO₂ соединялись между собой случайным образом. В результате получается тот самый «замороженный дым» — твердый материал, обладающий самой низкой плотностью из всех твердых веществ на Земле, являющийся почти идеальным тепловым, электрическим, акустическим изолятором. Долгое время большого интереса к этому материалу не было. Однако в 60–70-х годах прошлого века с развитием авиационно-космической техники срочно потребовались новые материалы — легкие и термостойкие.

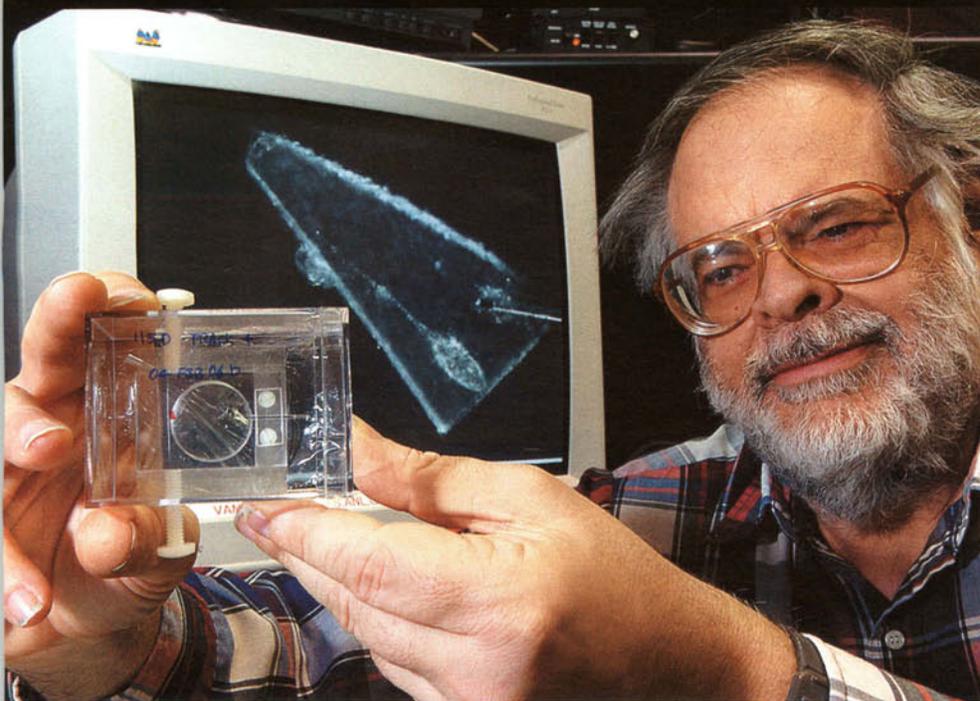
Сбор частиц космической пыли аэрогелем была смоделирована еще в 1993 году в Лаборатории реактивного движения (JPL) в Пасадене (Калифорния, США) под руководством доктора Питера Тсоу (Peter Tsou). Аэрогель обстреливали частицами размером от микрона до сантиметра на сверхзвуковых аэродинамических трубах в Космическом центре имени Джонсона и Исследовательском центре имени Эймса. Для большей реалистичности в экспериментах использовались частицы, собранные в стратосфере Земли, которые, возможно, являются частицами межпланетной пыли. 10-микронная пылинка при скорости 6 км/с проникает в аэрогель на глубину около 2 миллиметров и останавливается. При этом она разогревается до 600°C, но так как это длится очень короткое время, плавления или даже изменения структуры минеральных частиц не происходит, зато микроорганизмы (если они, как считают некоторые ученые, существуют на частицах кометной пыли) погибают. Конечно, скорее всего, их там просто нет, тем не менее в ходе миссии принимались все меры безопасности, чтобы не занести на Землю чужеродную инфекцию.

исследовали на присутствие органики с помощью хроматографа/масс-спектрометра и обнаружили два вида азотсодержащих органических соединений — метиламин (CH₃-NH₂) и этиламин (C₂H₅-NH₂). Эти соединения являются источниками связанного (фиксированного) азота, который имеет принципиальное значение для существования живых организмов. «Кометы могли доставить на Землю на ранней стадии ее развития богатые азотом органические вещества, где они стали бы доступны для зарождения жизни», — считает Скотт Сэндфорд (Scott Sandford) из Исследовательского центра имени Эймса в Калифорнии.

В земной атмосфере азот находится в свободной форме, образуя молекулы N₂. Связь между атомами в молекуле азота очень прочная, и живые организмы неспособны напрямую использовать молекулярный азот — его сначала необходимо перевести в так называемое связанное состояние. В процессе связывания молекулы азота расщепляются, давая возможность отдельным атомам азота участвовать в химических реакциях с другими атомами, например с кислородом, что препятствует их повторному объединению в молекулу азота. Связь между атомами азота и другими атомами достаточно слабая, что позволяет живым организмам использовать эти атомы. В атмосфере Земли содержится около 4·10¹⁵ тонн азота, но лишь незначительная его часть — около 100 миллиардов тонн — ежегодно связывается и включается в состав живых организмов, а после их смерти и разложения возвращается в атмосферу. Без фиксации атмосферного азота существование жизни выглядит проблематичным, поэтому энзимы, которые связывают атмосферный азот, считаются достаточно древними, но все же они не могли появиться сразу. И, быть может, именно кометное вещество на первых этапах обеспечило жизнь связанным азотом. «Нам удалось установить, что кометы по крайней мере одного вида содержат значительное количество связанного азота в форме метиламина или этиламина, — сообщил Джейсон Дворкин (Jason Dworkin) из Центра космических полетов имени Годдарда. — Это открытие показывает, что «меню» ингредиентов для зарождения жизни было намного более полным, чем считалось ранее».

Но действительно ли найденные азотсодержащие вещества входили в состав кометного ядра? Ведь наша планета «кишит» микроорганизмами, так что загрязнение космического аппарата вполне реально. Чтобы исключить возможность ошибки, ученым пришлось провести настоящее▶

Джордж Флинн, руководитель международной научной группы по исследованию доставленных «Стардастом» материалов, держит в руках капсулу, в которой кусочки аэрогеля с образцами кометного вещества пересылаются между лабораториями



В межзвездных облаках обнаружено уже несколько десятков органических соединений. Теперь они найдены и в кометах

расследование и шаг за шагом исключить все возможные пути попадания в ловушки аппарата «контрабандного» азота с Земли. Были проверены десятки не полетевших на «Стардасте» дубликатов ловушек с аэрогелем. В них тоже нашли немного метиламина и еле заметные следы этиламина, но содержание этих соединений в доставленных из космоса кусках аэрогеля оказалось в 100 раз выше. Кроме того, очень сильно различалось относительное количество $\text{CH}_3\text{-NH}_2$ и $\text{C}_2\text{H}_5\text{-NH}_2$ в «летавшем» и «нелетавшем» аэрогеле. Таким образом, на «заражение» образцов на Земле списать полученные результаты нельзя.

Было и еще одно сомнение. «Стардаст» находился в полете семь лет, и в принципе органика могла попасть в его ловушки за эти долгие годы, а не при короткой встрече с кометой. В полете конструкция и приборы космического аппарата испускают летучие вещества, которые попали в них еще на Земле. Такое явление называется дегазацией, и оно также могло нарушить чистоту эксперимента. Специалисты исследовали образец аэрогеля, спрятанный за микрометеоритным экраном «Стардаста». Он был защищен от газопылевых потоков кометы

и в то же время, как и вся конструкция аппарата, подвергался загрязнению вследствие дегазации. Однако в этом контрольном образце вообще не нашли следов метиламина и этиламина. Все это может означать лишь одно: органические соединения попали в ловушки «Стардаста» именно из комы кометы Вильда-2.

Собранная примитивная органика представляет большой интерес для астробиологов, так как играет важную роль в биохимических процессах на Земле. Она могла образоваться как в протопланетном газопылевом облаке, из которого сформировалась наша Солнечная система, так и в ходе химических процессов в туманностях — в межзвездном пространстве. Кстати, в кометных образцах были также найдены полициклические ароматические углеводороды, молекулы которых совсем недавно обнаружены и в межзвездной среде.

МЕЖЗВЕЗДНАЯ ОРГАНИКА

Межзвездная среда состоит преимущественно из атомов водорода (примерно 70% общей массы) и гелия (около 28%). Оставшиеся 2% приходятся на другие элементы, которые, несмотря на малое количество, игра-

ют важную роль в протекающих здесь физических и химических процессах.

В двадцатом веке методами радиоастрономии в межзвездной среде было обнаружено около сотни различных молекул — от простейшего молекулярного водорода H_2 до 13-атомного цианополимина (HC_{11}N), который представляет собой длинную цепочку атомов углерода, замкнутую с концов водородом и азотом. Что касается органических соединений, то первым, еще в 1969 году, в межзвездном пространстве нашли формальдегид, а самое свежее открытие, опубликованное в начале 2004 года, — молекулы антрацена ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$) и пирена ($\text{C}_{16}\text{H}_{10}$), содержащие соответственно 24 и 26 атомов. Эти вещества относятся к группе полициклических ароматических углеводородов, тех самых, что составляют большую часть жирного черного дыма, выбрасываемого плохо отрегулированным дизельным двигателем. Группа Адольфа Уитта (Adolf Witt) из Университета Толидо (штат Огайо, США) обнаружила эти молекулы, изучая ультрафиолетовые спектры планетарной туманности Красный Прямоугольник (Red Rectangle), находящейся в двух с лишним тысячах световых лет от Земли в созвездии Единорога. Туманность образована умирающей звездой, сравнимой по массе с Солнцем. Наибольшее удивление астрономов вызвал даже не размер открытых молекул, а сам факт их существования в условиях интенсивного ультрафиолетового излучения звезды, которое должно разрушать органические молекулы. Только весной этого года химиком из Эймсовского исследовательского центра NASA удалось смоделировать на компьютере особую, невоспроизводимую в земных лабораториях структуру органических молекулярных кластеров, которая, по-видимому, обеспечивает устойчивость соединений к такому излучению. Адольф Уитт убежден, что антрацен и пирен — не самые крупные органические молекулы, синтезируемые в условиях межзвездной среды. По его мнению, возможно образование молекул или частиц, содержащих миллионы атомов углерода. Позднее такие молекулярные комплексы могут, слипаясь друг с другом, послужить зародышами планетезималей в будущих протопланетных дисках. Но пока это, конечно, лишь гипотеза.

Так или иначе, кометные образцы с органикой, доставленные космическим аппаратом «Стардаст», — это, безусловно, важный этап в исследовании Солнечной системы, приближающий нас к решению вечной загадки происхождения жизни на Земле. Работа с образцами продлится еще не одно десятилетие. И нынешние первые предварительные результаты — лишь малая доля того, что ученым и нам с вами еще предстоит узнать. ●