

Quark

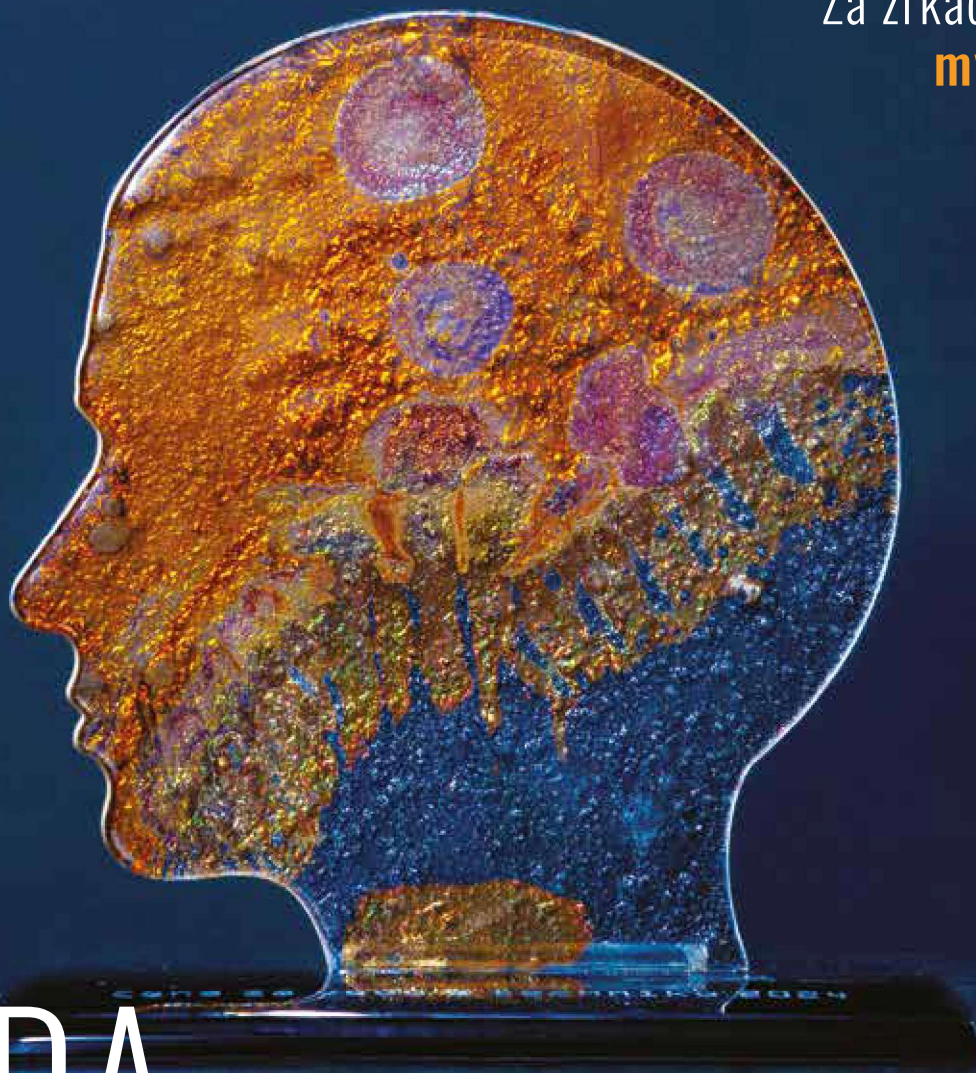
Magazín o vede a technike

12/2024

2,50 €

Za zrkadlom
mysle

Dokonalý
vzor



VEDA
UKRYTÁ
V SKLE

Za hviezdny
prachom



Za hviezdny prachom

Tento rok uplynulo 25 rokov,
čo začiatkom roku 1999
odštartovala z mysu Canaveral raketa
s robotickou vesmírnou sondou.
Jej primárnym cieľom bolo získať
vzorky kozmického prachu
z komy kométy Wild 2.



Francúzsko-talianska výskumná stanica Concordia v Antarktíde, foto ESA/IPEV/PNRA–A. Salam

Tento úspešný projekt americkej vesmírnej agentúry NASA pod názvom Stardust patrí v histórii k jej najlacnejším. To mu však na jeho výnimočnosti nič neubere. Prekvapujúce je, že vzorky získaného prachu sa skúmajú doteraz.

Dôvodov na skúmanie malých častíc vo vesmíre je viacero. Jeden z nich, súvisiaci s projektom Stardust, je snaha získať informácie o počiatočných štádiách vzniku našej Slnčnej sústavy.

KOZMICKÝ PRACH

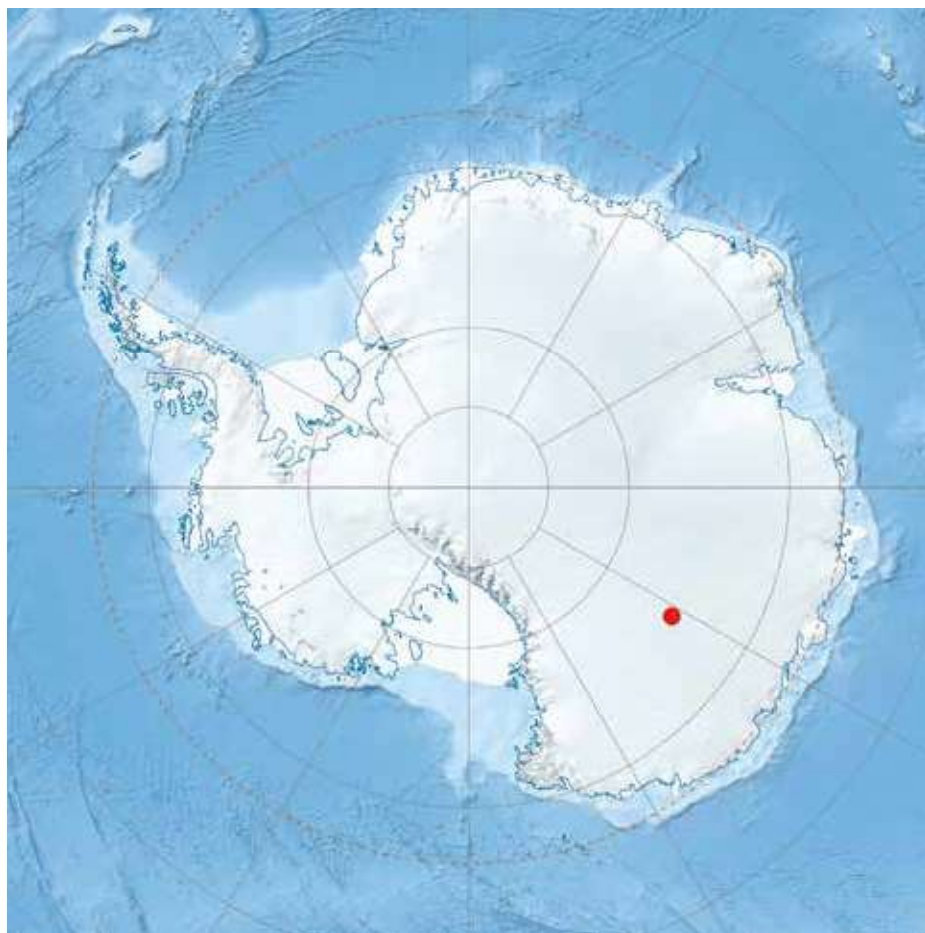
Kozmický prach je prachová zložka medziplanetárnej alebo medzihviezdnej hmoty, ktorú tvoria čiastočky s rozmermi menšími ako desatina mikrometra. Napriek takto definovanej hornej hranici sa všeobecnejšie pod kozmickým prachom chápajú aj väčšie častice, čo znamená, že experimenty zamerané na jeho skúmanie sa neobmedzujú iba na častice s rozmerom pod touto hranicou. Niekedy sa do tohto prachu zahrňujú aj mikrometeority, čo sú častice s hmotnosťou menšou ako jeden gram.

Kozmický prach je podobne ako prach v atmosfére viditeľný za predpokladu, že naň dopadá svetlo pod určitým uhlom. Medziplanetárny prach je v našej Slnčnej sústave sústredený prednostne v rovine ekliptiky. (Ekliptikou označujeme kružnicu, priesečnicu roviny dráhy Zeme s nebeskou sférou. Počas roka sa po nej zdanlivo pohybuje Slnko. Rotačná os Zeme s ňou zvierá uhol $66^{\circ}33'$ a s rovinou rovníka uhol $23^{\circ}27'$.) Tento prach je pozorovateľný v podobe slabého tzv. zodiakálneho svetla v dôsledku rozptylu slnečného svetla na jeho časticiach. Jeho zdrojom sú planéty, kométy, asteroidy a objekty Kuiperovho pásu, čo je oblasť

v našej Slnčnej sústave, ktorá sa nachádza za dráhou Neptúna vo vzdialenosti 30 až 50 astronomických jednotiek od Slnka. Pomenovanie má po holandsko-americkom astronómovi Gerardovi Kuiperovi (1905 – 1973), autorovi teórie o pôvode niektorých komét. Kozmický prach dopadá vo veľkých množstvách aj na zemský povrch.

AKO HO ZÍSKAŤ

V snahe získať vzorky kozmického prachu sme obmedzení našou Slnčnou sústavou. Ten však obsahuje aj častice, ktoré sa tam dostali z priestoru mimo nej. Zdalo by sa, že najjednoduchší spôsob, ako sa k nemu dostať, je zachytávať ho na zemskom povrchu. Má to však háčik. Množstvo kozmického prachu



Poloha stanice Concordia na mape Antarktídy, ilustrácia wikipédia/Alexrk2, úprava R, CC BY-SA 3.0



Umelecké znázornenie vesmírnej lode Stardust zbierajúcej prachové častice z kométy Wild 2

dopadajúceho na Zem sa síce odhaduje na niekoľko tisíc až desiatok tisíc ton za rok, ak je však rozptýlené na obrovskej ploche vodných plôch, v povrchových vrstvách hornín a vegetácie, ide o úplne mizivé množstvá. Takže je to hľadanie ihly v kope sena. Navyše platí, že rýchlosť fyzikálneho a chemického zvetrávania častíc sa s ich zmenšovaním výrazne zväčšuje. Zároveň ľahko prenikajú pod povrch, takže výsledkom oboch je, že z neho rýchlo miznú. Napriek tomu pokusy o záchyt tohto prachu na Zemi prebiehajú už dlho.

Malé kozmické sférické častice objavili v hlbokomorských sedimentoch už v roku 1891. Neskôr sa častice mikrometeoritov našli na mnohých miestach, napríklad na hlbokomorskom dne, v púšťach, v rôznych sedimentárnych horninách a aj v polárnom ľade. Z týchto izolovaných nálezov sa však nedali vyvodit' všeobecnejšie závery o jeho množstvách dopadajúcich na zemský povrch.

HĽADANIE V SNEHU

Na tento problém sa zamerl projekt výskumu kozmického prachu v snehu vo vnútrozemí Antarktídy na francúzsko-talianskej výskumnej stanici Concordia. Tá sa nachádza vo výške 3 200 metrov nad morom a na mape ju možno nájsť pod názvom Dome C na 75°06' južnej zemepisnej šírky a 123°20' východnej zemepisnej dĺžky. Výber lokality zohľadňoval množstvo snehu a malú kontamináciu pôvodným zemským prachom. K hlavným výsledkom výskumu publikovaného v roku 2021 patrilo zistenie, že ročný spad častíc s veľkosťou 20 až 300 mikrometrov, prepočítaný na celý povrch našej planéty, sa pohybuje v rozsahu 4 000 až 6 700 ton a že 80 % tohto prachu pochádza z komét a zvyšok z planétok (asteroidov). Elektrónovou mikroskopiou sa však analyzovali častice až do 700 mikrometrov a podľa pomeru rozptýnených a neroztavených častíc sa vyvodil záver, že pôvod kozmického prachu sa

Ďalší blízky zdroj tohto prachu je stratosféra, kde ho možno získať použitím vysoko letiacich lietadiel a stratosférických balónov. Tie druhé lietajú omnoho vyššie a môžu dosiahnuť výšku takmer 54 km.

ZAČIATKY VO VESMÍRE

Prirodzeným zdrojom kozmického prachu sú vesmírny priestor alebo kozmické telesá bez atmosféry. Prvé pokusy o charakterizáciu malých vesmírnych častíc mimo bezprostrednej blízkosti Zeme sa začali už v roku 1958 prostredníctvom družíc Explorer 1 a Sputnik 3. Ani jedna z nich však nemala za úlohu priniesť vzorky kozmického prachu na Zem. Poslednou možnosťou, ktorú využili práve pri projekte Stardust, bolo ich odchytenie z komy kométy a aj mimo nej.

Na vysvetlenie je potrebné povedať niečo o kométach. Sú to malé vesmírne telesá s veľkosťou nepresahujúcou 50 km. Na väčšine

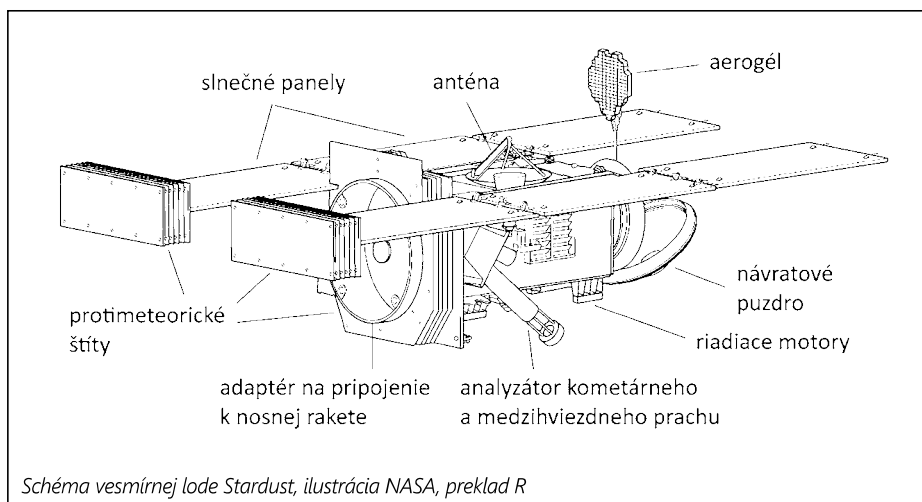
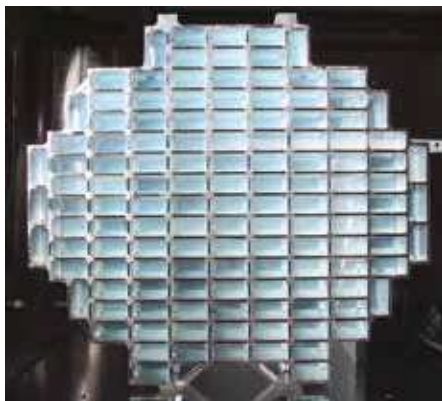


Schéma vesmírnej lode Stardust, ilustrácia NASA, preklad R



Aerogelový kolektor

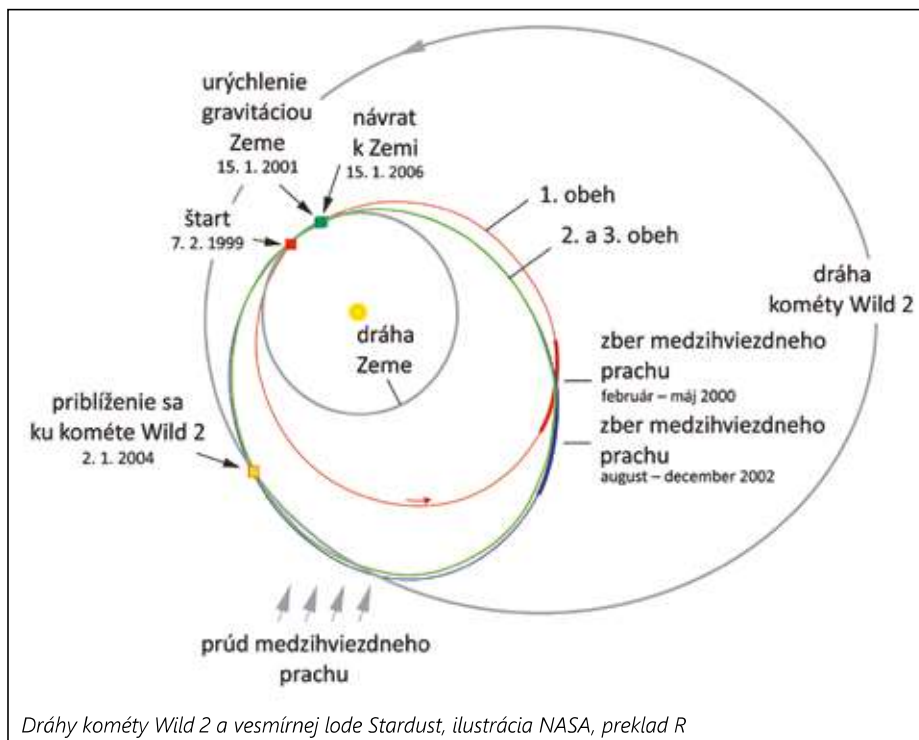
nachádza vo vzdialenosti jednej astronomickej jednotky, teda priemernej vzdialenosti medzi Zemou a Slnkom.

Podobným problémom čelí aj sledovanie tohto prachu v atmosfére. Je to predovšetkým kontaminácia atmosférickým prachom, ktorý predstavuje rádovo desiatky miliónov ton. Situáciu nemení ani skutočnosť, že množstvo mimozemského atmosférického prachu je asi trojnásobkom toho, ktorý dopadne na Zem.

svojej dráhy sú neviditeľné vďaka veľmi tmavému povrchu. Približne 80 % jadra komét tvorí ľad. Zostávajúcu časť tvoria zmrznutý oxid uhličitý, metán, amoniak a rôzny anorganický prach. Okrem toho obsahuje aj rôzne prchavé a neprchavé organické zlúčeniny. To, že ide o veľmi tmavé telesá tvorené najmä ľadom, ktorý za normálnych okolností odráža takmer celú časť svetelného žiarenia vo viditeľnej oblasti vlnových dĺžok, môže byť pre niekoho prekvapujúce. Vysvetlenie je jednoduché. Stačí si spomenúť na osud odhrnutých snehových závejov na našich horských cestách. Z bieleho objemného snehu sa odparovaním, sublimáciou (alebo oboma) z neho postupne stáva špinavý tmavý ľadový monolit, v ktorom došlo k výraznému skoncentrovaniu tmavých prachových častíc a ktoré pôvodne v snehu nebolo vidno.

VHODNÝ VÝBER

Hviezdna chvíľa komét nastáva, keď sa priblížia k Slnku a v dôsledku absorbovaného tepla začnú všetky prchavé zložky z jadra unikať a strhávať so sebou aj prachové



častice. Významnú úlohu pritom zohráva aj extrémne nízky tlak okolitého priestoru. Unikajúce plyny majú obrovskú rýchlosť 1 až 2 km/s a prachovým časticiam ju udeľujú tiež. Tie môžu dosiahnuť rýchlosť 400 m/s, čím sa kométa zároveň stáva viditeľnou. (Veľmi zaujímavým vedľajším efektom masívneho úniku hmoty z kométy je odchýlka od pôvodnej trajektórie v dôsledku reaktívneho pôsobenia plynov.)

Menšia časť viditeľného obalu kométy sa nazýva koma. Je to hmlovitá plynovo-pra-

chová obálka jadra kométy s približne sférickým tvarom a priemerom značne prevyšujúcim rozmer jadra. Môže mať stotisíc až milión kilometrov. Pokračovaním komy je chvost kométy, ktorý sa začne tvoriť pri prekročení obežnej dráhy Marsu. Jeho dĺžka môže byť až 100 miliónov kilometrov, teda niekoľko miliónkrát prekračuje veľkosť jadra. Tým sa stáva aj najvýraznejšou časťou kométy.

Predpokladá sa, že všetky kométy majú pôvod v našej Slnčnej sústave. Obiehajú

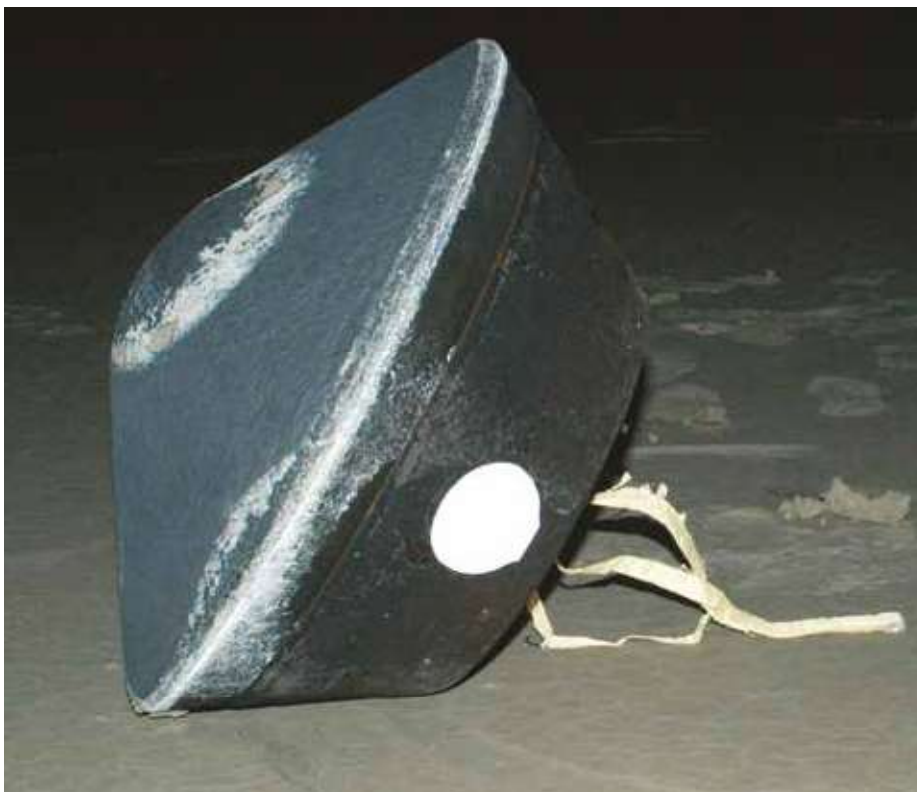
zväčša po eliptických dráhach, pričom zmena na hyperbolické znamená ich únik mimo našej sústavy.

Prečo je teda výber kométy pre odber kozmického prachu vhodný? Jednak preto, že poskytuje veľmi koncentrované častice z dávnych čias vzniku našej Slnčnej sústavy a zároveň ich vydáva *dobrovoľne*, v prúde unikajúcich plynov v blízkosti Zeme. Takže namiesto náročného pristátia, odberu vzoriek a návratu v tomto prípade máme iba prelet komou.

KOMÉTA WILD 2

Najskôr sa vyhnime nedorozumeniu, ktoré sa týka výslovnosti a s ňou spojeným názvom tejto kométy. Mali by sme odolať pokušeniu použiť anglickú výslovnosť *vajld*, ale využiť nemeckú – *vilt*. Objavil ju totiž v roku 1978 švajčiarsky astronóm Paul Wild (1925 – 2014). V angličtine aj nemčine toto slovo znamená divoký, no táto vcelku neškodná kométa je divoká iba podľa mena jej objaviteľa. Na druhej strane jej nemožno uprieť, že vo fáze masívneho uvoľňovania plynov, pár a prachu sa predsa len stáva dosť divokou, tak ako aj iné kométy.

Kométa Wild 2 s celým názvom 81P/Wild 2 patrí medzi periodické, teda tie s obežnou dráhou kratšou ako 200 rokov. Má tvar sploštenej gule s veľkosťou asi 5,5 kilometra a svoju obežnú dráhu prejde približne za 6,5 roka. Kométa sa v súčasnosti vracia k Slnku po eliptickej dráhe z priestoru medzi Marsom a Jupiterom. Zaujímavé však je, že ešte pred *okamihom*, v roku 1974, zmenila svoju pôvodnú pravdepodobne kruhovú dráhu so 43-ročnou periódou, ktorá na vzdialenejšom konci (v aféliu) prechádzala medzi Uránom a Jupiterom. O túto zmenu sa postaralo gravitačné pôsobenie Jupitera. Aj táto zmena sme-



Návratová kapsula vesmírnej lode Stardust



Dráhy prachových častíc v aerogelovom kolektore

rom dovnútra našej Slnecnej sústavy urobila z kométy Wild 2 mimoriadneho kandidáta na hľadanie informácií o jej raných štádiách.

PROJEKT STARDUST

Projekt s názvom Stardust bol prvou americkou misiou venovanou výhradne štúdiu kométy. Zároveň to bola druhá robotická misia navrhnutá s cieľom priniesť vzorky mimozemského materiálu spoza lunárnej obežnej dráhy na Zem. Prvá bola v roku 2001 sonda Genesis.

Sonda Stardust mala okrem zberu kozmického prachu z komy kométy Wild 2, ktorý sa uskutočnil vo vzdialenosti 236 km od povrchu kométy v roku 2004, viacero cieľov. K nim patrilo napríklad snímkovanie povrchu Mesiaca, jadra kométy Wild 2 a asi 6 km veľkej planétky 5535 Annefrank na ceste ku kométe. Posledný z nich sa uskutočnil koncom roku 2002 približne 3 300 km od povrchu planétky. Tá bola pomenovaná podľa nemeckého dievčatka židovského pôvodu Anny Frankovej (nar. 1929), autorky knihy *Denník Anny Frankovej*, ktorá zomrela v roku 1945 v koncentračnom tábore Bergen-Belsen.

Okrem toho táto sonda nezbierala iba prach z kométy, ale aj z iných častí svojej dráhy. Informácie o zložení látok unikajúcich z kométy poskytoval hmotnostný spektrometer, o prachových časticách zasa prietokový detektor prachových častíc tvorený detektormi osve pre skupinu menších a skupinu väčších častíc. Vesmírna loď Stardust zavŕšila svoju cestu dlhú 4,63 miliardy kilometrov 15. januára 2006 vypustením padáka s kapsulou so vzorkami prachu.

PROBLÉM...

Stručná encyklopedická správa znie, že prach zachytávali do aerogélového kolektora. Je to síce pravdivá informácia, ale bez vysvetlenia takmer bezcenná. Aby sme ocenili zvolené technické riešenie, mali by sme si položiť otázku, čo by sme navrhli sami, keby sme chceli zachytiť častice, ktorých veľkosť nepresahuje 10 mikrometrov (teda asi desatinu hrúbky priemerného vlasu) a ktoré letia

rýchlosťou približne 400 m/s. Tá je na úrovni ústovej rýchlosti projektílov ručných zbraní. Významnou podmienkou je, že častice prachu sa nesmú poškodiť, teda nesmú zmeniť tvar, ani fázové a chemické zloženie. Práve tieto charakteristiky o nich poskytujú kľúčové informácie. To by sme mali splniť za predpokladu, že brzdnú dráhu prachových častíc máme veľmi obmedzenú, čo znamená, že ich nemožno spomaliť samovoľným spomalením v plynnom médiu tak ako na Zemi. Do úvahy tak nepripadá sieťka na motýle, platinový tubus ani organická pena.

Na základe uvedených požiadaviek by mali byť látky na zachyt častíc kozmického prachu veľmi pórovité a zároveň chemicky inertné. Druhá podmienka súvisí s tým, že dopad alebo trenie medzi touto látkou a časticami s takou vysokou rýchlosťou môžu vyvolať v mieste ich kontaktu rôzne fyzikálno-chemické interakcie. Súvisí to aj s tým, že silikátové alebo kovové častice tohto prachu majú veľkú hustotu.

... A RIEŠENIE

Ako sme spomenuli, museli sme vylúčiť metódu, ktorá sa dá použiť na Zemi, teda pomalé samovoľné zabrzdzenie častíc napríklad vo vzduchu alebo v nejakom plyne. V projekte Stardust na to použili látku, ktorá sa plynu v niečom veľmi podobá a v niečom zasa nie. Je ňou zvláštna forma oxidu kremičitého (SiO_2). Oxid kremičitý sa väčšine z nás spája s predstavou kremeňa, čo je tvrdý minerál, pred ktorým sú v desiatčlennej Mohsovej stupnici tvrdosti iba topás, korund a diamant. Hustota použitej látky sa približuje plynu vďaka tomu, že je tvorená subtilným anorganickým skeletom z vlákien SiO_4 tetraédrov. Ten obsahuje rôzne veľké póry vrátane nanometrových, ktoré vcelku tvoria jeho hlavný objemový podiel. Rozdiel spočíva v tom, že ide o látku v tuhom skupenstve. Nazýva sa SiO_2 -aerogél a patrí do širšej skupiny anorganických aerogélov. Vyznačuje sa veľmi malou hustotou, výbornými termoizolačnými a mnohými inými výnimočnými fyzikálno-chemickými vlastnosťami. Na rozdiel

od kryštalického kremeňa je však amorfny (pozri *Quark* 5/1997 a 10/2005).

Sonda Stardust mala dva aerogélové kazetové zberače prachu osadené v hliníkovom ráme. Každý mal celkovú plochu 1 050 cm^2 , teda o niečo viac, ako má plocha hlavy priemernej tenisovej rakety (700 cm^2). Zberače tvorilo 132 malých blokov aerogélu s čelnou plochou 4 × 2 cm. V prvom zberači mali hrúbku 3 cm, v druhom 1 cm. To boli predpokladané hraničné brzdné dráhy kometárnych častíc (1 cm) a častíc medzihviezdneho prachu (3 cm). Použitý aerogél mal veľmi malú hustotu, ktorá bola dôsledkom toho, že 99,8 % jeho objemu pripadalo na prázdne priestory a o jeho zaradenie medzi tuhé telesá sa postaralo iba tých 0,2 %.

OBČIANSKA VEDA

Aerogélové bloky s prachom získaným misiou Stardust boli po pristátí na Zemi vyňaté z hliníkového rámu v sterilnom a bezprašnom prostredí, ktoré zabráňovalo ich kontaminácii vzdušným prachom a inými zložkami vzduchu. Urobili sa snímky všetkých dráh častíc v blokoch a aj jednotlivých čiastočiek prachu. Získané vzorky rozoslali na výskum do 150 špecializovaných svetových laboratórií. Zaujímavé bolo, že do hľadania častíc medzihviezdneho prachu v približne milión digitálnych fotografií bola zapojená aj verejnosť formou projektu Stardust@home, pričom títo amatérski objavitelia jednotlivých častíc mali právo im pridať aj mená.

Projekt Stardust mal svoje pokračovanie v ďalšej misii s názvom Stardust-NExT, ktorej cieľom bol prelet okolo kométy Tempel 1. Stalo sa tak 14. februára 2011. Táto kométa je o niečo väčšia ako kométa Wild 2 a má o trochu kratšiu dobu obehu – 5,52 roka. Stardust-NExT bola druhá návšteva tejto kométy po tom, ako do nej v lete roku 2005 cielene vrazil projektíl s hmotnosťou necelých 400 g a rýchlosťou 10 km/s vyslaný z kozmickej lode Deep Impact. Priebeh zrážky bol zaznamenaný kamerami.

prof. Ing. Karol Jesenák, CSc.

Foto NASA



SiO_2 -aerogél pripravený na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského asi tri roky pred štartom rakety Delta II s vesmírnou loďou Stardust z mysu Canaveral. S touto misiou však nemal nič spoločné, foto K. Jesenák.



Výskumné ciele vesmírnej lode Stardust, foto NASA/JPL-Caltech/University of Maryland/Cornell