

Ivo Míček

Sonda NEAR u planety Eros

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 47 (2002), No. 1, 49--55

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141112>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2002

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

RACHEL W. HALL je docentkou matematiky na St. Joseph's University ve Filadelfii. Obdržela B. A. v klasické řečtině a Ph.D. v matematice na Pensylvánské státní univerzitě v r. 1999. Zabývá se operátorovými algebrami. Věnuje se také aktivně lidové hudbě a hraje na anglickou koncertinu a klavír s triem Simple Gifts. Jejich v r. 1999 komisi oceněné album *Time and Again* získalo mezinárodní ohlas. V r. 1991 obdržela Watsonovo stipendium pro studium tradiční taneční hudby v Norsku; tam se poprvé setkala s flétničkou.

KREŠIMIR JOSIĆ je hostující docent matematiky na Bostonské univerzitě. Obdržel B.Sc. z fyziky a matematiky na University of Texas v Austinu v r. 1994 a Ph.D. z matematiky na Pensylvánské státní univerzitě v r. 1999. Zabývá se zejména aplikacemi teorie dynamických systémů. Hraje také na jazzovou basu.

Sonda NEAR u planety Eros

Ivo Míček

Do dějin kosmonautiky bylo díky sondě NEAR/Shoemaker provedeno několik dalších významných zápisů — Laboratoř aplikované fyziky John Hopkins University a NASA realizovaly poprvé v historii sondu, která se úspěšně dostala do těsné blízkosti planetek 253 Mathilde a 433 Eros. Vyvrcholením mise bylo úspěšné přistání na planetce Eros (raději bychom měli říkat dosednutí — s tímto projekt sondy původně vůbec nepočítal).

Zrekapitulujme si základní údaje — planetka 433 Eros ($33 \times 13 \times 13$ km) spadá do kategorie blízkozemních, která neprotíná dráhu Země. Objevena byla 13. 8. 1898 Gustavem Witttem (Urania Berlín) a Augustem H. P. Charloisem z Nice nezávisle na sobě. Doba oběhu představuje 1,76 roku, sklon k ekliptice činí 10,8 stupně, vzdálenosti v periheliu 1,13 AU a v afeliu 1,78 AU, střední vzdálenost od Slunce 1,46 AU (218 mil. km), tíhové zrychlení představuje přibližně 1/1000 pozemského. Stáří planety se odhaduje na 4 miliardy let.

Vědecké cíle mise spočívaly v upřesnění dalších možných vzájemných vazeb mezi planetkami, kometami a meteority a na to navazujícím pochopení procesu formování a vývoje planet. Hlavní cíle lze shrnout do následujících bodů:

IVO MÍČEK (1964), absolvent gymnázia ve Strážnici, školení v oblasti IT v České republice a v zahraničí, dnes konzultant ve firmě Gradua-CEGOS, s. r. o., člen SMPH a ČAS, e-mail: imicek@gradna.cz

Podle materiálů a se svolením J. Hopkins University, <http://near.jhuapl.edu>

- Kompletní měření — fyzikální, geologické a chemické vlastnosti povrchu, rozložení hmotnosti, stanovení rotace, momentu setrvačnosti, mineralogického složení, pro měření využito i střídání sezón během oběhu kolem Slunce a porovnávání údajů z různě osvětlených oblastí, přelety i nad polárními oblastmi
- Upřesňování parametrů dráhy planety i sondy — orientace sondy vůči planetce, Zemi a Slunci
- Sledování magnetického pole, interakce se slunečním větrem
- Detekce plynu a prachu a jejich možných aktivit

Svoji pouť sonda zahájila 17. 2. 1996 na mysu Canareval, poprvé v historii kosmických letů byla úspěšně použita nosná raketa Delta 2 k urychlení sondy k letu mimo vnitřní planety sluneční soustavy. Další prvenství představuje i použití panelů slunečních baterií jako zdroje energie při letu za dráhou Marsu — úspěšně fungovaly i v rekordní vzdálenosti 327 mil. km od Slunce (18. 2. 1997). V tab. 1 je souhrn významných kalendářních dat mise NEAR/Shoemaker.

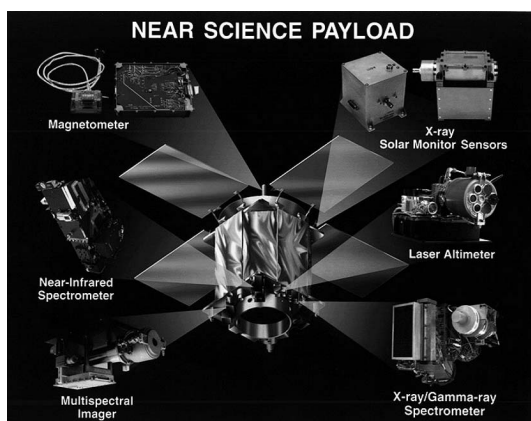
TAB. 1. NEAR/Shoemaker — nejdůležitější kalendářní údaje:

Datum	Událost
17. 2. 1996	Start z mysu Canaveral — nosná raketa Delta 2
18. 2. 1997	Panely slunečních baterií úspěšně fungují i za dráhou Marsu (327 mil. km od Slunce)
27. 6. 1997	Průlet kolem planety 253 Mathilde — (1212 km)
23. 1. 1998	Těsný průlet kolem Země (540 km) — gravitační manévr
1. 4. 1998	Optické sledování sondy ve vzdálenosti 33,65 mil. km
20. 12. 1998	První brzdicí manévr u planety Eros — chyba v programu, ztráta orientace
23. 12. 1998	Spojení opět navázáno — úspěšná korekce dráhy, průlet ve vzdálenosti 3827 km od planety
1999	Korekce dráhy a rychlosti (z 932 m/s na 9 m/s)
8. – 13. 2. 2000	Průzkum okolí planety
13. 2. 2000	Orbitální fáze — poprvé v historii se začalo umělé těleso pohybovat nad nepravidelným asteroidem ve vzdálenosti 200 až 336 km (vzdálenost Země v té době činila 222 mil. km). Sonda přejmenována na NEAR/Shoemaker
2000	Snižování výšky dráhy nad povrchem — až na 3,5 km — intenzivní snímkování a mapování
14. 2. 2001	Měkké přistání v oblasti Himeros — měření v místě dosednutí
1. 3. 2001	Konec vysílání z povrchu

Výbavu sondy dále představovala následující zařízení:

- Multispektrální kamera (rozlišení 3 m) — stanovení barevnosti a morfologie planety
- Near-IR spektrometr (rozlišení 300 m) — mineralogické složení
- X-ray spektrometr — měření obsahu základních prvků
- Gama-ray spektrometr — měření obsahu základních prvků
- Magnetometr — výzkum magnetického pole
- Laserový výškoměr — topografická měření s výškovým rozlišením 5 m
- Radiový vysílač — využit dále pro stanovení vnitřní struktury a hmotnosti planety

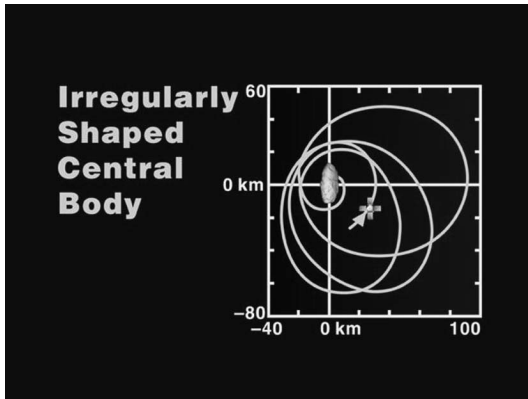
Cena projektu dosáhla celkem 224,1 mil. USD, z toho vývoj a výroba sondy 124,9 mil. USD, raketový nosič a jeho vypuštění 44,6 mil. USD, řízení mise a analýza dat 54,6 mil. USD. Na projektu a realizaci se podílela NASA-JPL a JHU/APL, data přenášela síť DSN (Deep Space Network — Canberra, Madrid a Goldstone), zpoždění signálu v jednom směru představovalo přibližně 17,5 minuty.



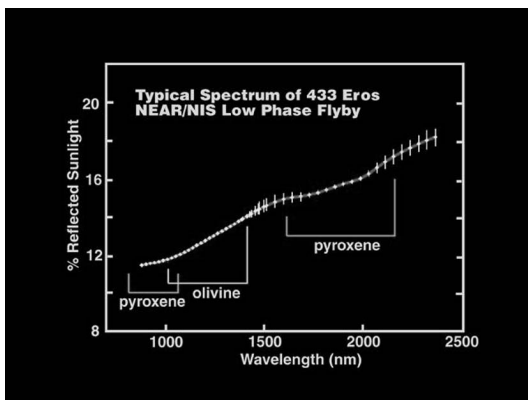
Obr. 1. Sonda a její hlavní přístroje.

Planetku 253 Mathilde sonda minula 27. 6. 1997 ve vzdálenosti 1212 km — během přiblížení probíhala kompletní měření a snímkování, díky kterým byla získána data o chemickém složení, rozložení hmotnosti a tvaru povrchu. Výsledky napovídají, že Mathilde lze přiřadit mezi asteroidy typu C. Následoval orbitální manévr 3. 7. 1997, který vrátil sondu zpět k Zemi, kde provedla během gravitačního urychlení 23. 1. 1998 snímkování Asie a Afriky — největší přiblížení nastalo 540 km nad JZ Íránem. Jiný rekord padl 1. 4. 1998, to se podařilo sondu opticky sledovat ve vzdálenosti 33,65 mil. km od Země (předchozí rekord utvořilo pozorování sondy Galileo v r. 1992 ve vzdálenosti 8,06 mil. km).

První brzdicí manévr v blízkosti planety Eros byl připraven na 20. 12. 1998, ovšem vinou chyby v programu nebyl proveden brzdicí zážeh, navíc byla ztracena orientace, a tím i spojení se Zemí. Spojení bylo navázáno až 23. 12. 1998, kdy už se nedalo navázat na původní letový program, a tak sonda prolétla kolem planety ve vzdálenosti 3827 km. Nejlepší rozlišení snímků představovalo 470 m/pixel a díky 5 hodinám snímkování po celou dobu rotace planety se podařilo stanovit její model, který byl později použit k navádění na oběžnou dráhu sondy kolem planety.



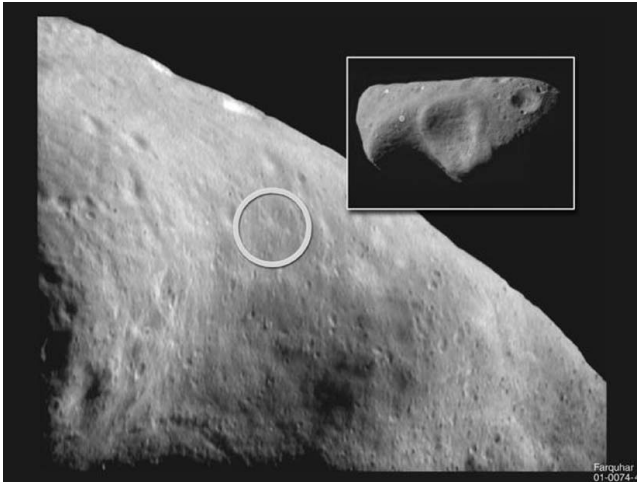
Obr. 2. Sestupná dráha při pohledu směrem k jižnímu pólu planetky.



Obr. 3. Spektrum povrchu získávané při nízkých průletech.

Sonda pokračovala v letu a postupně snižovala rychlost — z původních 932 m/s až na 9 m/s. Korekce dráhy a rychlosti proběhly 3. 1. 1999, 12. 8. 1999, 2. 2. 2000 a 8. 2. 2000, ztráta paliva vinou nadbytečných korekcí představovala 29 kg. Ve dnech 8. – 13. 2. 2000 se sonda intenzivně zabývala hledáním satelitů a většího „smetí“ v blízkosti planetky; tato činnost souvisela s přípravou přechodu na oběžnou dráhu kolem planetky. Prokazatelně se v okolí nevyskytovala tělesa větší než 5 m. Orbitální fáze sondy byla zahájena 13. 2. 2000 — poprvé se tak umělé těleso začalo pohybovat nad nepravidelným asteroidem ve vzdálenosti 200–336 km od jeho centra. Země byla v té době ve vzdálenosti 222 mil. km a Slunce se nacházelo ještě dál — 336 mil. km. Na počest v r. 1997 zesnulého odborníka na meziplanetární hmotu dr. Eugena M. Shoemakera byla sonda během prvního oběhu kolem planetky přejmenována na NEAR/Shoemaker.

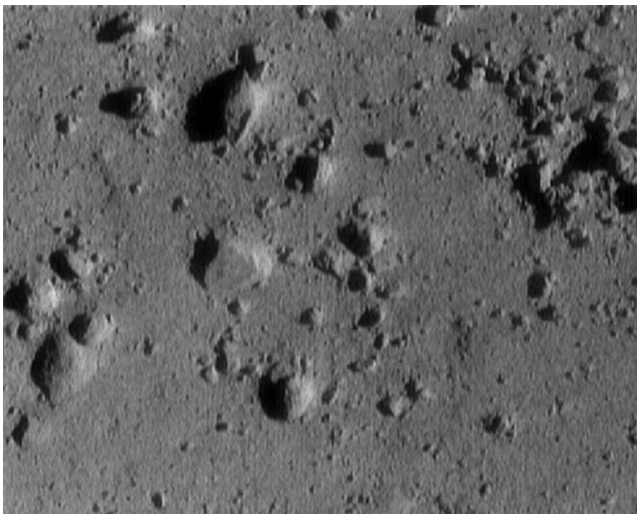
Další měsíce byly věnovány postupnému snižování dráhy na vzdálenost 100 km od centra (10. 4. 2000), do prosince 2000 byla dráha dále snížena na pouhých 35 km. Dne 20. 12. 2000 se sonda pohybovala po dráze ve výšce 3,5–36 km nad povrchem. Během celé orbitální fáze probíhalo snímkování a měření — první ucelenější výsledky lze očekávat na konci roku 2001. Sonda vyslala více než 11 mil. laserových impulsů, díky kterým se povedlo sestavit třírozměrný model tělesa. Tato pomůcka pak umožnila vysoce přesné navádění nad povrchem jak při změnách orbitální dráhy, tak i během



Obr. 4. Místo přistání se nachází v oblasti sedla Himeros (kroužek, resp. tečka na vloženém snímku) a bylo vybráno díky předchozím snímkům, které ukázaly velkou geologickou rozmanitost.

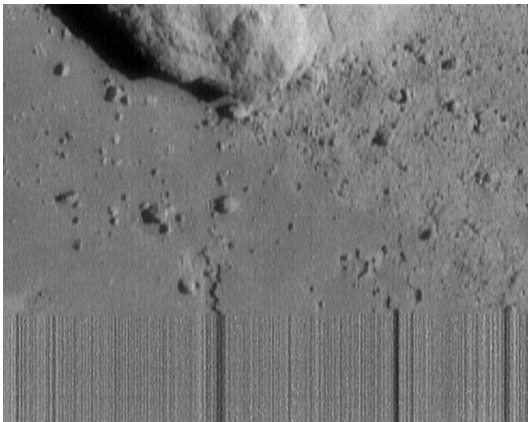
samotného přistání. Celkově sonda předala na Zemi 10krát více dat, než se plánovalo, např. kamery pořídily 160 000 snímků povrchu. Tencící se zásoby paliva a rovněž překonaná očekávání z objemu získaných dat dala zelenou návrhu na měkký dopad sondy na povrch planetky.

Historické přistání se povedlo 14. 2. 2001 v oblasti sedla Himeros (tak se jmenoval bůh vášnivě touhy a náruživé lásky, pomocník a syn bohyně lásky); přestože sonda pro podobné přistání nebyla uzpůsobena, dokázala ještě z povrchu vysílat do 1. 3. 2001, kdy v místě přistání nastala „polární noc“. Přistávací rychlost byla menší než 8 km/h a sledování sestupu prostřednictvím internetu bylo napínavé jako dobrá detektivka.



Obr. 5. Předposlední snímek byl pořízen z výšky 250 m a zachycuje oblast 12×12 m, hromada kamení vpravo má průměr asi 1,4 m.

Další oživení sondy se jeví jen jako technický pokus (zima 2001/jaro 2002), část panelů slunečních baterií je nakloněna do nevýhodné polohy anebo zaprášena (či jinak poškozena), podmínkou je funkce nejméně dvou panelů ze čtyř, z přístrojů byly funkční



Obr. 6. Poslední snímek (14. 2. 2001 v 19:46 UT) z přistávání sondy byl pořízen ve výšce 120 m a zachycuje oblast 6×6 m. Spodní část snímku chybí, protože ji už nebylo možno zpracovat a odvysílat. Kámen v horní části má rozměr asi 4 m, nejmenší detaily představují 5 cm. (Podobné snímkování bylo prováděno na Měsíci začátkem 60. let americkými sondami Ranger, které rovněž snímkovaly až do okamžiku dopadu.)

pouze magnetometr a gama a X spektrometry, které dokázaly změřit poměry prvků zastoupených v povrchových materiálech v místě dopadu. Kamera se nedala použít s ohledem na optické vlastnosti (zaostřila od 150 m dále) a umístění na „přistávací“ spodní části sondy. Jako perličku nelze opomenout ani úvahy o restartu sondy a jejím přeletu na jiné místo — v tak dobré kondici zůstala přístrojová a motorická sekce. S ohledem na možný zisk informací nakonec z tohoto pokusu sešlo, riziko poškození sondy bylo velmi vysoké.

Velká překvapení zažívají geologové, kteří musí analyzovat povrchové struktury — velké impaktní krátery s průměry 500–1000 m, absence malých kráterů, zlomy, velký počet kamenných balvanů (odhady hovoří asi o 1 milionu balvanů větších než 8 m, balvanů s rozměrem od 3 m do 4 m se zde nachází asi 100krát více) a jejich kupy, neznámá eroze (setřásání regolitu či „tekoucí“ regolit po úbočích kráterů) — v podmínkách tak nízké gravitace a s ohledem na složení jde o nanejvýš zajímavé procesy, které vedly k dnešnímu stavu. Hovoří se o srážkách s velkými tělesy a následných seismických vlnách, případně akustických vlnách, které by mohly malé krátery zasypávat, ale hledají se i další možné mechanismy (sezónní ohřev a ochlazení, mikroimpakty). Tloušťka regolitové vrstvy se v některých oblastech odhaduje na 30–40 m, v podmínkách nízké gravitace se její chování dá přirovnat k chování kapaliny. Dne 26. 9. 2001 byla uveřejněna první rozsáhlejší studie v časopise *Nature* věnovaná kráteru Shoemaker a kamenům na povrchu asteroidu.

Kolektiv autorů ze snímků zjistil, že se na ploše 1125 km^2 nachází 6760 kamenů s průměrem větším než 15 metrů. Z tohoto počtu se přibližně polovina (44 %) nachází uvnitř kráteru Shoemaker, který má průměr 7,6 km a vznikl při srážce s planetkou či kometou před asi 1 miliardou let. Z pozice kamenů a z rotace planetky vyplývá, že převážná většina velkých kamenů pochází z tohoto velkého impaktu! Zatím se nepodařilo podobné procesy najít na jiných planetkách, které už byly navštíveny kosmickými sondami — ani Phobos, ani Gaspra či Ida podobné efekty nenabízejí.

Výzkum nejstarších částí sluneční soustavy tak začíná přinášet první konkrétní výsledky a zároveň před nás staví mnoho nových otázek. Předchozí satelitní výzkumy planetek byly spíše „mimochodem“ a představovaly je průlety sond Galileo — průlet

TAB. 2. Přehled současných a připravovaných výzkumů meziplanetární hmoty (změny nejsou vyloučeny):

Název mise	Cíl
Deep Space 1 (start 24. 10. 1998)	9969 Braille (28. 7. 1999) kometa Borrelly (23. 9. 2001)
Stardust (start 7. 2. 1999)	Kometa Wild 2 — průlet těsným okolím jádra a doprava vzorků zpět na Zemi
Genesis (start 8. 8. 2001)	Sběr částic slunečního větru v bodě L1 a návrat vzorků na Zemi
NEAP (start 2002)	4660 Nereus
CONTOUR (start 2002)	Výzkum 3 komet — Encke, Schwassmann- -Wachmann 3, předpokládaná další nově obje- vená kometa
MUSES-C — ISAS (start 2002)	Japonská sonda s úkolem přivést vzorek z plan- etky 1998 SF36
Rosetta (start 2003)	Kometa Wirtanen
Deep Impact (start 2004)	Sonda vystřelí projektil do jádra komety Tem- pel 1
Dawn (start 2005)	Vesta a Ceres — výzkum největších planetek hlavního pásu
Pluto-Kuiper Express (start 2004–6)	Pluto-Charon a další tělesa Kuiperova pásu
POSSE (start 2004–6)	Pluto-Charon a další tělesa Kuiperova pásu — jiná varianta
Champollion — Deep Space 4 (start 2003)	Přistání sondy na kometě Tempel 1 — zrušeno — viz Deep Impact

kolem planety 951 Gaspra (ve vzdál. 1600 km — 10. 1991) a 243 Ida (2400 km — 8. 1993) — zde byl objeven satelit Dactyl ($2,2 \times 1$ km) a dále Deep Space 1 — průlet kolem planety 9969 Braille (vzdálenost 26 km — 28. 7. 1999) — velmi podobný Vestě (snad její úlomek), případně výzkum marťanských měsíců Phobos a Deimos sondami, které zkoumaly především Mars. Do budoucna se připravuje flotila sond ke kometám a k tělesům Kuiperova pásu — tab. 2. Zajímavou možností se i pro nás mohou jevit nevládní projekty, které vycházejí z aktivit soukromých univerzit, kde se lze rovněž spolupodílet na přípravě misí (např. NEAP) — je to pobídka i cíl zároveň.