

POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis

číslo S2/2004
ročník 12

Planetární stezka



SLOVO ÚVODEM. Povětroň speciál „Planetární stezka“ je věnován modelu sluneční soustavy v měřítku 1 ku 1 miliardě, který jsme postavili v Hradci Králové v letech 2003 až 2005. Sluneční soustava měřící ve skutečnosti od Slunce po planetu Neptun nepředstavitelných 4,5 miliardy kilometrů je zde zmenšena na „přijatelných“ 4,5 km. Slunce (o skutečném průměru 1,4 milionu km) měří 1,4 m a naše planeta Země (s průměrem 12 800 km) pouhých 1,28 cm. Jde o první model svého druhu a velikosti v České republice.

Planetární stezka je především vynikající učební pomůckou, kterou využívají žáci škol a návštěvníci hvězdárny. Díky ní pochopí, jak malé jsou planety vůči ústřední hvězdě a jak obrovské jsou vzdálenosti mezi planetami vzhledem k jejich průměrům.

Na následujících stranách najdete nejprve obecný text o vzdálenostech ve vesmíru (nejen ve sluneční soustavě), nákres velikostí Slunce a planet a informací o extrasolárních planetách obíhajících okolo cizích hvězd. Dále je přetištěno 15 informačních tabulí, přesně takových, jako na planetární stezce. Na každé jsou uvedeny aktuální základní údaje o tělese, některé zajímavosti, mytologický původ jeho jména, astronomická značka a také mapka Nového Hradce Králové s vyznačenou stezkou a zastávkou.

Při cestě sluneční soustavou vám přejeme pěkné počasí a hlavně mnoho radosti z poznávání přírody.

Miroslav Brož, Martin Cholasta, Josef Kujal, Richard Lacko

PODĚKOVÁNÍ. Za pomoc v různých fázích stavby jsme chtěli poděkovat dalším členům Astronomické společnosti v Hradci Králové a panu Miroslavu Ledvinkovi. Stezku financovala Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové (o stavbě stezky pojednáváme v Povětroňi 2/2005).

Elektronická (plnobarevná) verze časopisu Povětroň
ve formátu PDF je k dispozici na adrese:

<http://www.astrohk.cz/ashk/povetron/>

Povětroň S2/2004; Hradec Králové, 2004.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (4. 6. 2005 na 171. setkání ASHK)

ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 24 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X

Redakce: Miroslav Brož, Martin Cholasta, Josef Kujal, Richard Lacko,

Martin Lehký a Miroslav Ouhrabka

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovného)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: ashk@ashk.cz, web: <http://www.astrohk.cz/ashk/>

Obsah

strana

<i>O vzdálenostech ve vesmíru</i>	4
<i>Extrasolární planety</i>	4
<i>13 zastávek planetární stezky</i>	5
<i>Literatura</i>	22



Obr. 1 — Merkur, umístěný 58 m od Slunce.

Titulní strana: Model Slunce na první zastávce Planetární stezky v Hradci Králové.

O vzdálenostech ve vesmíru

Planetární stezka ukazuje velikosti Slunce a planet a jejich vzdálenosti miliardkrát menší než ve skutečnosti. Na obr. 2 jsou znázorněny průměry těles sluneční soustavy „na jednom místě“, aby je bylo možné snadno porovnat.

Nyní bychom si však měli říci, jak velké, nebo jak daleko, jsou v témže měřítku jiné objekty. Například velikost člověka odpovídá přibližně rozměru molekuly. Vzdálenost z Hradce Králové do Košic lze přirovnat k vlnové délce viditelného světla.

Do sluneční soustavy patří i objekty za Neptunem: tělesa *Kuiperova pásu* se mohou nacházet mezi 5 km a 150 km od Slunce; kometární jádra v *Oortově oblaku* jsou 5 000 km až 10 000 km daleko.

K druhé nejbližší hvězdě po Slunci, *Proximě Centauri*, musíme vykonat cestu „okolo světa“, je totiž 40 500 km daleko (ve skutečnosti 4,28 světelného roku¹). Sírius ze souhvězdí Velkého psa, po Slunci druhá nejjasnější hvězda na obloze, je ještě dvakrát dál. Arkturus z Pastýře, jarní hvězda, na níž ukazuje ojí Velkého vozu, je zhruba tak daleko jako skutečný Měsíc, tj. 384 000 km. Vzdálenost Rigelu (β Orionis) je už přes 10 milionů kilometrů.

Rozměr naší *Galaxie*, soustavy zahrnující asi 200 miliard hvězd, je 1 miliarda kilometrů, tj. více než reálná vzdálenost Slunce–Jupiter. Toto číslo se zcela vymyká jakýmkoliv pozemským měřítkům, další příklady vzdáleností v měřítku stezky proto uvádíme jen ve formě tabulky:

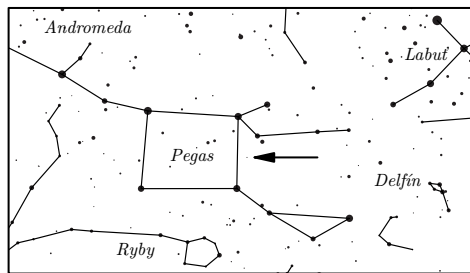
otevřená hvězdokupa Plejády (M 45) v Býkovi	3,7 milionů km
kulová hvězdokupa M 13 v Herkulovi	190 milionů km
Velké Magellanovo mračno	1,5 miliardy km
Velká galaxie v Andromedě (M 31)	30 miliard km
kupa galaxií v souhvězdí Panny	400 miliard km
hranice pozorovatelného vesmíru	130 bilionů km

Extrasolární planety

Naše sluneční soustava samořejmě není jedinou planetární soustavou ve vesmíru. V listopadu 2004 jsme u cizích hvězd znali celkem 133 extrasolárních planet (viz jejich seznamy [4], [13]). První planetu obíhající okolo vzdálené hvězdy slunečního typu objevili Michel Mayor a Didier Queloz teprve v roce 1995. Hvězda se jmenuje 51 Pegasi, od Slunce je vzdálená 50 sv. r. (tj. 470 000 km na stezce)

¹ Světelný rok (sv. r., ly) je vzdálenost, kterou uletí světlo (ve vakuu) za 1 rok. Rychlost světla ve vakuu je $c = 299\,792\,458$ km/s (přesně). Pak 1 sv. r. = 1 rok $\cdot c = 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \cdot 299\,792\,458 \text{ km/s} \doteq 9,46 \cdot 10^{12}$ km, tedy asi 9,5 bilionů kilometrů.

a je viditelná na obloze pouhým okem (můžeme ji zkusit vyhledat podle přiložené mapky). Planeta 51 Pegasi B obíhá hvězdu jednou za 4,231 dne ve vzdálenosti pouhých 0,051 AU (což odpovídá 7,6 m na stezce), má hmotnost nejméně 0,46 hmotnosti Jupitera a na jejím povrchu je teplota přes tisíc stupňů Celsia — je tedy úplně jiná než planety známé ze sluneční soustavy. Stejně jako ostatní vzdálené planety však není přímo viditelná, a to ani největšími dalekohledy na světě. Extrasolární planety však lze zjistit různými způsoby nepřímou.²

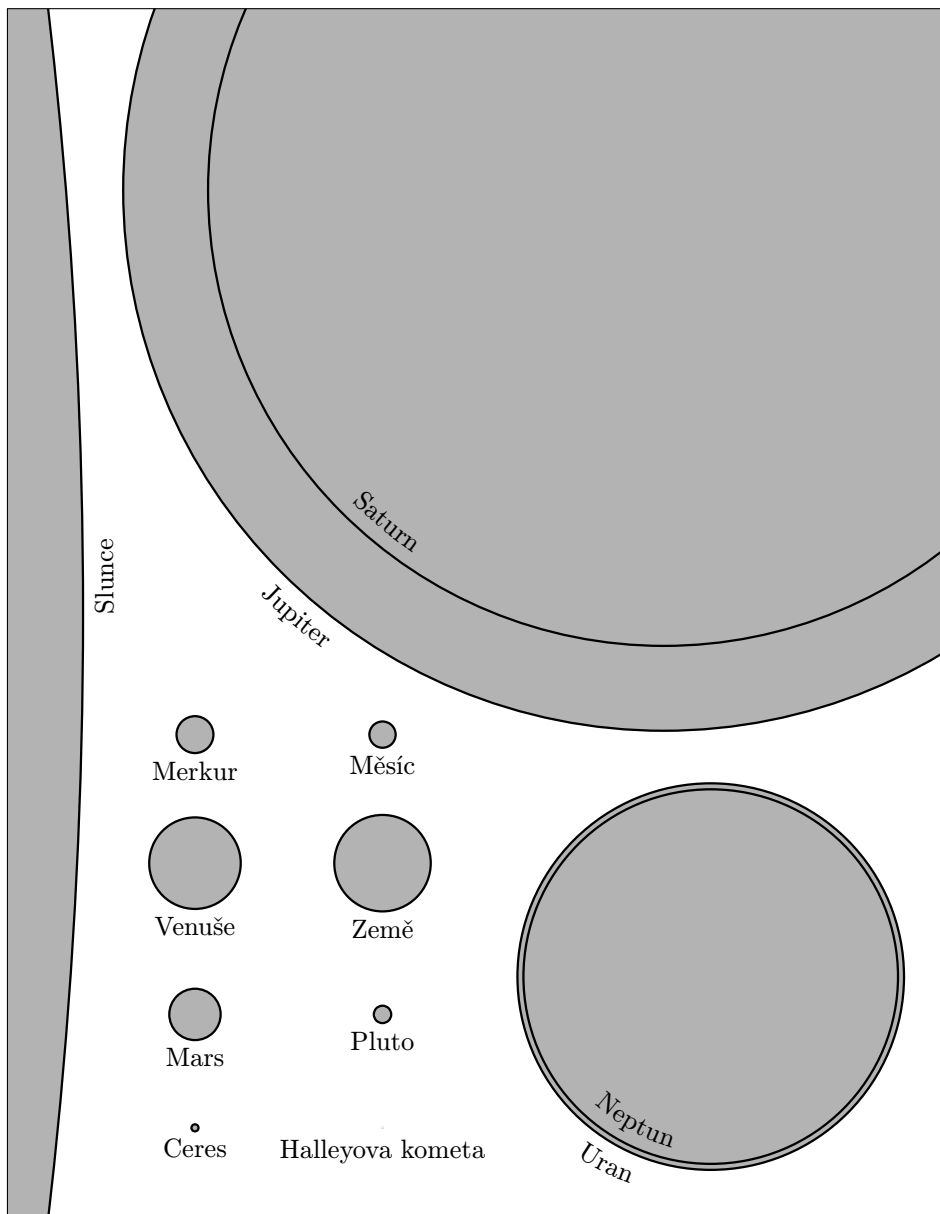


V příštích desetiletích, s nástupem kosmických projektů jako je astrometrická družice GAIA nebo obří interferometr TPF, lze očekávat objevy desetitisíců dalších planet. Některé budou tak malé jako naše Země, některé se podaří přímo zobrazit a případně získat spektra. Najdeme-li ve spektrech čáry příslušející molekulám dusíku a kyslíku, můžeme doufat, že by na vzdálených planetách mohla existovat biosféra. . .

13 zastávek planetární stezky

Na 15 tabulích planetární stezky se dozvíte informace o třinácti tělesech sluneční soustavy, která jsou znázorněna: o Slunci, devíti planetách, Měsíci, planetce Ceres a Halleyově kometě. Tabule jsou přetištěny v téže podobě, v jaké je vidíte na jednotlivých zastávkách.

² Při hledání extrasolárních planet byly zatím úspěšné čtyři metody: (1) Hvězda a planeta se navzájem gravitačně přitahují, což může způsobit měřitelné pohyby hvězdy. Podle *Dopplerova zákona* je *radiální rychlost* hvězdy v ve směru k pozorovateli úměrná posunu $\Delta\lambda$ vlnové délky λ jejího záření, který lze měřit spektrografem ($\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \doteq \frac{v}{c}$). Z průběhu rychlosti $v(t)$, hmotnosti hvězdy odhadnuté ze spektra, měřené vzdálenosti hvězdy od Země a z Newtonova gravitačního zákona pak pro planetu vypočítáme oběžnou dobu, velikost oběžné dráhy a součin $M \sin i$, kde M je hmotnost a i sklon dráhy vzhledem k pozorovateli. (i často neznáme a M tedy nelze určit jednoznačně.) (2) Když je sklon i dráhy planety blízký nule, může docházet k *přechodům* planety před diskem hvězdy. Protože je planeta chladnější, projeví se úkaz dočasným malým poklesem jasnosti hvězdy. Metoda přechodů dovoluje ve spojení s metodou radiálních rychlostí měřit hmotnost M planety (protože $i \doteq 0$), její průměr, teplotu a někdy i chemické složení atmosféry. (3) Při náhodném zákrytu dvou vzdálených hvězd může ta bližší gravitačně zesílit záření vzdálenější; tento jev nazýváme *gravitační mikročochka*. Planety obíhající bližší hvězdu se projevují jako nepravidelnosti při průběhu zjasnění. Metoda je velmi citlivá a teoreticky umožňuje zjistit i lehké planety o hmotnosti Země, i když se to zatím nepodařilo. (4) Pokud planeta obíhá okolo *pulsaru*, rychle rotující neutronové hvězdy, která vysílá velmi pravidelné pulsy záření, projeví se periodickými posuny těchto pulsů. Navzdory tomu, že pulsary vznikají při výbuchích supernov, se několik lehkých planet objevit podařilo.



Obr. 2 — Nákres velikostí Slunce, planet a dvou menších těles sluneční soustavy v měřítku planetární stezky (1 ku 1 miliardě).

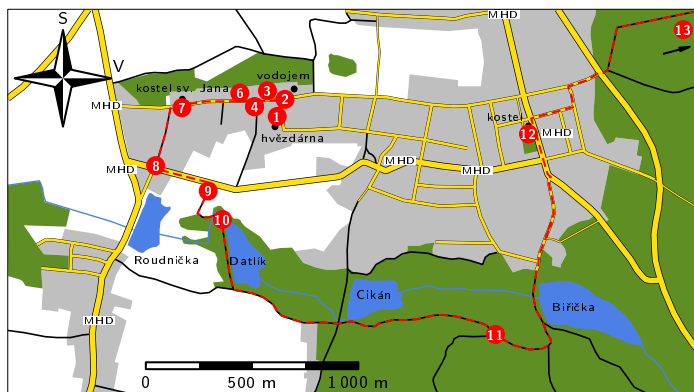
PLANETÁRNÍ STEZKA

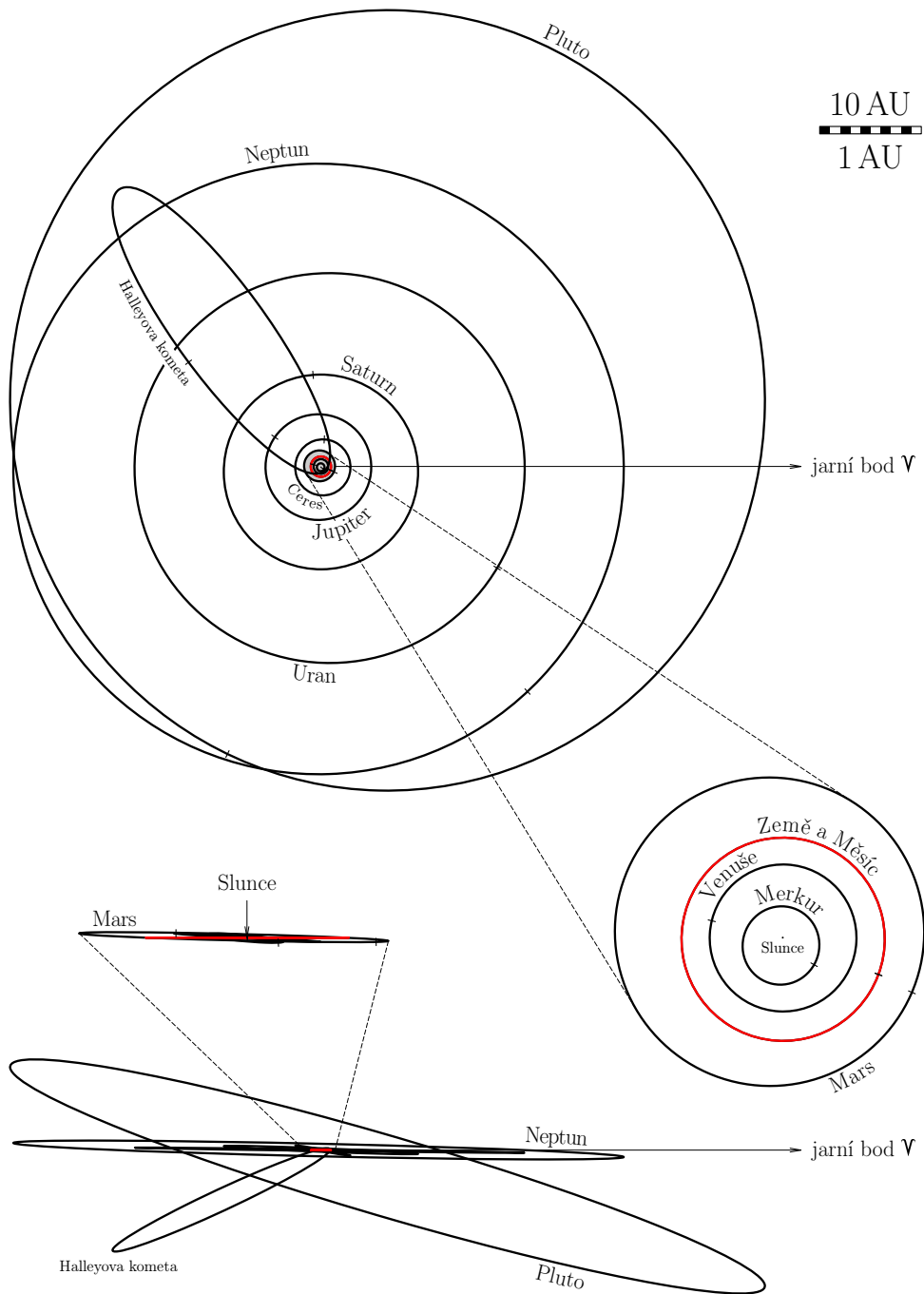
Planetární stezka je vlastně **model naší sluneční soustavy v měřítku 1 ku 1 miliardě**. Tomuto měřítku odpovídají zároveň rozměry těles (modelů Slunce a planet) i vzdálenosti, které mezi nimi musíte ujtít. Na každé zastávce najdete malou kuličku znázorňující planetu a příslušnou informační tabulku, na níž jsou uvedeny základní údaje a zajímavosti o dané planetě.

Celková délka naučné stezky je 6,5 km. Pro orientaci vám může sloužit přiložená mapa a tabulka (ty jsou i na *informačním letáku* o planetární stezce a v časopise *Povětrň Special 2/2004*):

1	Slunce	<i>začátek</i>	před hvězdárnou
2	Merkur	58 m	na rohu ulice Zámeček a K hvězdárně
3	Venuše	108 m	u Bistra u Hvězdárny
4	Země	150 m	v ulici Zámeček
5	Měsíc		blízko Země
6	Mars	228 m	v téže ulici naproti autoopravně
7	Ceres	414 m	vyhlídka od kostela sv. Jana
8	Jupiter	780 m	pod kopcem, na křížení ulic Hlavní a Viničná
9	Halley	1,1 km	na poli před Datlíkem
10	Saturn	1,4 km	hráz rybníka Datlík
11	Uran	2,9 km	v lese na půli cesty mezi Cikánem a Biřičkou
12	Neptun	4,5 km	konečná MHD na Novém Hradci Králové
13	Pluto	6,5 km	u lesního hřbitova (MHD), po žluté značce

Když se po stezce vydáte, seznámíte se nejen se vzdálenostmi, velikostmi a vlastnostmi těles sluneční soustavy, ale zároveň poznáte i malebnou krajinu Nového Hradce Králové, Zámečku, Roudničky a Kluků. Budete procházet nejprve po asfaltové cestě, potom pěšinou, přes pole, lesem, okolo rybníků Datlík, Cikán a Biřička, na konečnou MHD na Novém Hradci a případně až na lesní hřbitov.





Nárys a bokorys oběžných drah těles sluneční soustavy, která jsou znázorněna na planetární stezce. Vnitřní část sluneční soustavy je pro názornost ještě 10 krát zvětšena. Na měřících jsou uvedeny vzdálenosti v astronomických jednotkách — $1 \text{ AU} = 149\,597\,870,691 \text{ km}$. Polohy planet, planety (1) Ceres a komety 1P/Halley jsou vždy značeny malými ryskami, a to k datu 1. září 2003.

1 PLANETÁRNÍ STEZKA

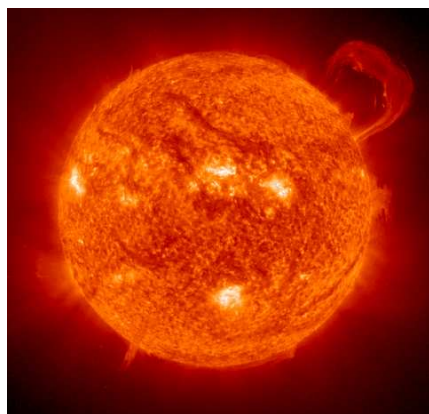
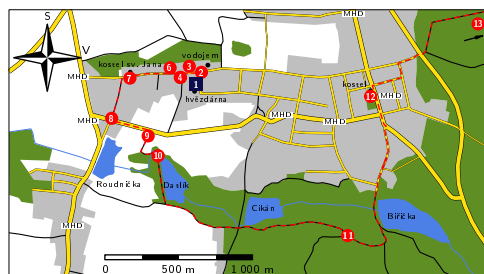
Slunce

vzdálenost od Slunce	–
rovníkový průměr	1 391 020 km
oběžná doba	–
rotační perioda	25 až 33 dní (diferenciální)
hmotnost	$1,99 \cdot 10^{30}$ kg = $332\,946 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$1\,400$ kg/m ³
teplota na povrchu	$5\,500$ °C
rozsah teplot	min. $4\,000$ °C, max. 10^6 °C
geometrické albedo	0 („absolutně černé těleso“)
chemické složení	plazma H (71 % hmotnosti), He (27 %), 2 % těžších prvků
složení atmosféry	H (71 %), He (27 %)
tlak atmosféry	100 Pa
sklon rotační osy ⁽¹⁾	$7,25^\circ$
úniková rychlost	617 km/s
tíhové zrychlení	274 m/s ²
magnetické pole	10^{-4} T až $0,3$ T (skvrny)
rok objevu	–
objevitel	–

⁽¹⁾ Úhel mezi rovinou rovníku Slunce a rovinou oběžné dráhy Země (ekliptikou).

Mytologický původ jména: Slunce si bezpochyby lidé uvědomovali od pradávna. Často s ním spojovali svá božstva — ve staroegyptské civilizaci se bůh Slunce nazýval Re, staří Řekové měli svého Apollóna.

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 57,9 milionů km; tj. 57,9 m na stezce.



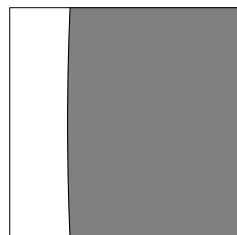
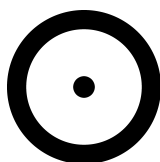
Slunce s velkou protuberancí, pozorované v ultrafialovém záření družici SOHO. © SOHO/EIT

Zajímavosti: Slunce je hvězda. V porovnání s velikostí planet je to obrovská koule plynu. V jeho středu dosahuje teplota 15 milionů °C, tlak $2,48 \cdot 10^{16}$ Pa [paskalů] (na povrchu Země je standard $101\,325$ Pa), hustota $162\,000$ kg/m³ (hustota vody je $1\,000$ kg/m³). Při těchto podmínkách probíhá slučování jader atomů vodíku na jádra atomů hélia. Tím se vytvářejí fotony a neutrina. Fotonová zářivost Slunce je $3,85 \cdot 10^{26}$ W [wattů]. Na 1 m² povrchu Země dopadá v průměru 342 W. Tato energie umožňuje život na Zemi.

Stáří Slunce je 4,6 až 4,7 miliardy let, bude zářit ještě 5 miliard let. Ke konci života projde stadiem červeného obra, jehož rozsáhlá atmosféra se rychlostí asi $1\,000$ km/s odpojí a obnaží tak nitro. To bude pozorovatelné jako chladnoucí bílý trpaslík, rozpínající se obálka vytvoří planetární mlhovinu.

Průměr (1,39 m):

Značka:



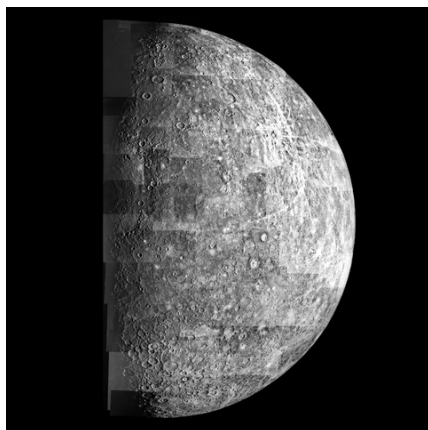
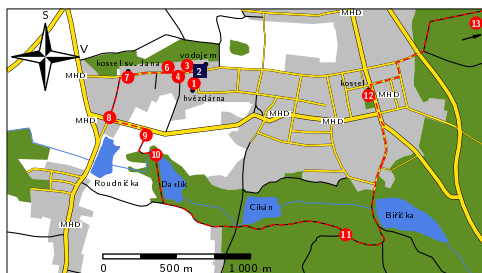
2 PLANETÁRNÍ STEZKA

Merkur

vzdálenost od Slunce	57,9 milionu km
rovníkový průměr	4 880 km
oběžná doba	88 dní
rotační perioda	58 dní
hmotnost	$3,30 \cdot 10^{23} \text{ kg} = 0,055 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$5 400 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	179 °C
rozsah teplot	min. -170 °C, max. +430 °C
geometrické albedo ⁽²⁾	0,12
chemické složení	jádro Fe (70%), plášť křemičitany (30%)
složení atmosféry	42% O ₂ , 40% Na, 15% O, ostatní (He, K) 2%
tlak atmosféry	? (velmi řídká)
velká poloosa	0,387 AU
excentricita	0,206
sklon dráhy	7,0°
sklon rotační osy	0,1°
oběžná rychlost	47,9 km/s
úniková rychlost	4,4 km/s
tíhové zrychlení	3,7 m/s ²
magnetické pole	$3,3 \cdot 10^{-7} \text{ T}$
rok objevu	?
objevitel	?

⁽²⁾ Podíl množství záření odraženého od planety a dopadajícího slunečního záření.

Měřítka stezky je 1 : 1 miliardě. vzdálenost k dalšímu tělesu je 50,3 milionů km; tj. 50,3 m na stezce.

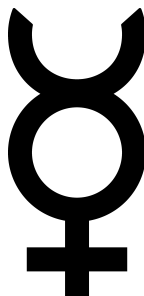


Mozaikový snímek Merkuru, družice Mariner 10. © Davies, M. E., S. E. Dwornik, D. E. Gault, R. G. Strom *Atlas of Mercury*. NASA SP-423 (1978).

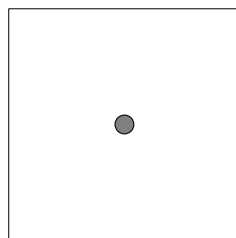
Zajímavosti: Planety, narozdíl od hvězd, nesvítlí vlastním světlem, ale odrážejí sluneční světlo. Merkur je planeta Slunci nejbližší. Astronomové se pokoušeli nalézt i hypotetickou planetu Vulkán, která by obíhala kolem Slunce ještě blíže, ale nebyli úspěšní. Ač je Merkur malý — asi jako náš Měsíc — má velké železné jádro.

Mytologický původ jména: Řecký nazývaný Hermés, ve staročestíně Dobropán, byl nemanželský syn Jupiterův a bratr Apollóna, boha Slunce. Merkur byl rozporuplný bůh: na jedné straně býval bohem moudrosti, na straně druhé byl sám lstivým zlodějem.

Značka:



Průměr (4,9 mm):



3 PLANETÁRNÍ STEZKA

Venuše

vzdálenost od Slunce	108,2 milionu km
rovníkový průměr	12 104 km
oběžná doba	225 dní
rotační perioda	243 dní
hmotnost	$4,87 \cdot 10^{24} \text{ kg} = 0,815 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$5 200 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	464 °C
rozsah teplot	min. +464 °C, max. +464 °C
geometrické albedo	0,65
chemické složení	asi podobné Zemi, ale méně husté jádro a jednotlitá kůra
složení atmosféry	96,5 % CO ₂ , 3,5 % N ₂
tlak atmosféry	$9,6 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 90 p_{\oplus}$
velká poloosa	0,723 AU
excentricita	0,007
sklon dráhy	3,4 °
sklon rotační osy	177 °
oběžná rychlost	35,0 km/s
úniková rychlost	10,4 km/s
tíhové zrychlení	$8,9 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	menší než $2 \cdot 10^{-9} \text{ T}$
rok objevu	?
objevitel	?



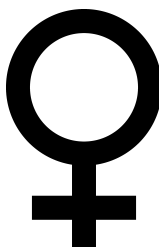
Venuše bez oblaků — radar sondy Magellan. © JPL/NASA

Zajímavosti: Venuše je stále zahalena do hustých mraků; na povrchu tak není vidět přímý sluneční svit. Vysoká povrchová teplota (dokonce vyšší než u Merkuru) je způsobena *skleníkovým efektem* — viditelné sluneční záření pronikne atmosférou, zahřeje povrch, který potom září v infračerveném záření, ale to je atmosférou účinně pohlcováno. (Obdobný proces funguje i v zemské atmosféře, ale je podstatně méně účinný.)

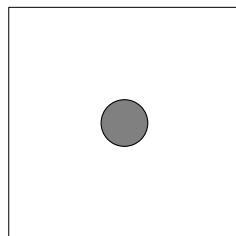
Planeta se okolo své osy otáčí velmi pomalu a opačným směrem (retrográdně), než obíhá okolo Slunce.

Mytologický původ jména: Řecky Afrodíté, staročesky Krasopaní, se zrodila z mořské pěny. Venuše byla bohyně krásy, lásky a plodnosti.

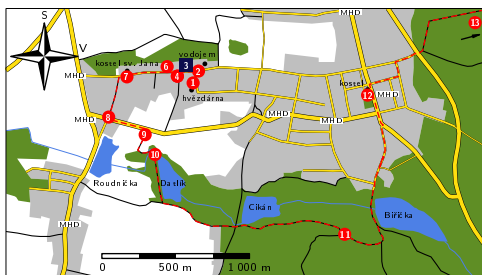
Značka:



Průměr (12,1 mm):



Měřítko stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 41,4 milionů km; tj. 41,4 m na stezce.

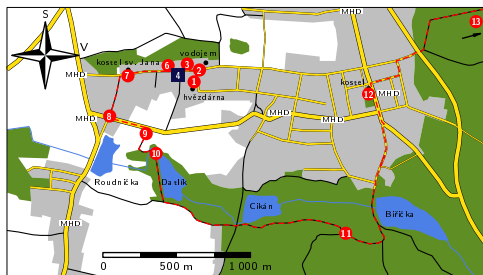


4 PLANETÁRNÍ STEZKA

Země

vzdálenost od Slunce	149,6 milionu km
rovníkový průměr	12 756 km
oběžná doba	365,25 dne
rotační perioda	23 h 56 min 4 s
hmotnost	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg} = 1 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$5 500 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	15 °C
rozsah teplot	min. -80 °C, max. +50 °C
geometrické albedo	0,367
chemické složení	jádro vnitřní Fe, Ni (30%), vnější (příměs S, O), plastický plášť, tenká kůra O, Si, Al (polyblivé litosférické desky)
složení atmosféry	78,1 % N ₂ , 20,9 % O ₂
tlak atmosféry	101 325 Pa $\equiv 1 p_{\oplus}$
velká poloosa	1 AU
excentricita	0,017
sklon dráhy	0°
sklon rotační osy	23,45°
oběžná rychlost	29,8 km/s
úniková rychlost	11,2 km/s
tíhové zrychlení	9,78 m/s ²
magnetické pole	$3,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
rok objevu	—
objevitel	—

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 0,38 milionů km; tj. 0,38 m na stezce.



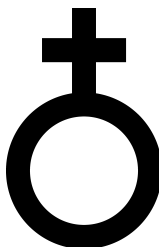
Země a Měsíc při průletu sondy Galileo. © JPL/NASA

Zajímavosti: Na Zemi (jako jediném tělese sluneční soustavy) existuje díky kapalně vodě život. Země vznikla spolu se Sluncem a ostatními tělesy před 4,56 miliardami let. Je to planeta stejného typu jako Merkur, Venuše a Mars: má kovové jádro a objemný kamenný plášť. Zemské těleso není přesně kulaté, ale zplstňelé (polární průměr činí 12 714 km). Země obíhá Slunce, otáčí se kolem své osy, ale koná i další pohyby. Nejvýraznější je *precese* — kývání zemské osy s periodou 26 500 let. V současné době směřuje osa k nepříliš nápadné hvězdě Polárce.

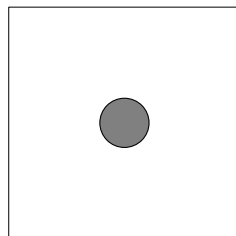
Kromě devíti planet ve sluneční soustavě je známo již přes 100 *extrasolárních planet*, jež obíhají kolem cizích hvězd.

Mytologický původ jména: Řecký se nazývá Gaia. Byla matkou nejen lidí, ale i bohů.

Značka:



Průměr (12,8 mm):



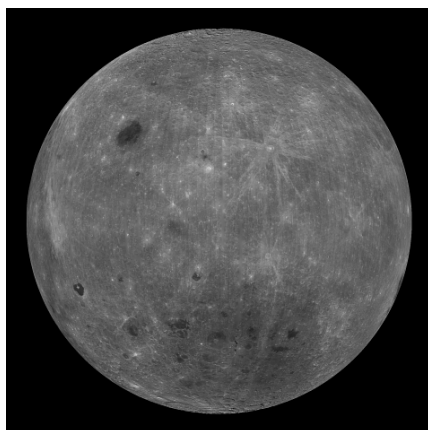
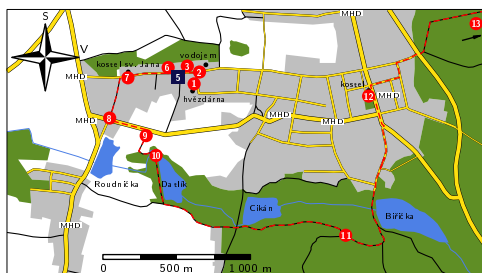
5 PLANETÁRNÍ STEZKA

Měsíc

vzdálenost od Země	384 400 km
rovníkový průměr	3 476 km
oběžná doba ⁽³⁾	27,32 dne
rotační perioda	27,32 dne
hmotnost	$7,35 \cdot 10^{22}$ kg = $0,012 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$3 340$ kg/m ³
teplota na povrchu	~0 °C
rozsah teplot	min. -180 °C, max. +110 °C
geometrické albedo	0,12
chemické složení	jádro Fe, FeS, plášť z křemičitanů (olivín, pyroxen), kůra (plagioklas)
složení atmosféry	–
tlak atmosféry	0
velká poloosa	0,0026 AU
excentricita	0,055
sklon dráhy	5,1 °
sklon rotační osy	6,7 °
oběžná rychlost	1,0 km/s
úniková rychlost	2,4 km/s
tíhové zrychlení	1,62 m/s ²
magnetické pole	menší než $2 \cdot 10^{-10}$ T
rok objevu	–
objevitel	–

⁽³⁾ Oběžná doba i parametry dráhy Měsíce jsou vztaženy k Zemi, nikoli ke Slunci.

Měřítka stezky je 1 : 1 miliardě. vzdálenost k dalšímu tělesu je 78,3 milionů km; tj. 78,3 m na stezce.



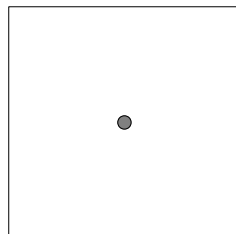
Odvrácená strana Měsíce na složeném snímku kosmické sondy Clementine 1. © USGS

Zajímavosti: Měsíc obíhá kolem Země jako přirozená družice. V porovnání s ní je asi čtyřikrát menší. Protože jeho oběžná doba kolem Země je rovna době jedné otočky kolem osy, je k Zemi stále přivrácena jen jedna polokoule. Tento jev se nazývá *vázaná rotace* a je způsoben slapovými silami Země, které v minulosti původní rychlé otáčení zabrzdily. Podle současných poznatků vznikl Měsíc tak, že se s „proto-Zemí“ srazilo těleso asi o velikosti Marsu, do okolí se uvolnilo velké množství úlomků, které buď dopadly zpět na Zem, nebo vytvořily prsteneček a posléze Měsíc.

Mytologický původ jména: Řecký se Měsíc nazývá Seléné, latinsky Luna. Starořeckou měsíční bohyní byla i Artemis, bohyně lovu, dcera Apollóna.

Průměr (3,5 mm):

Značka:

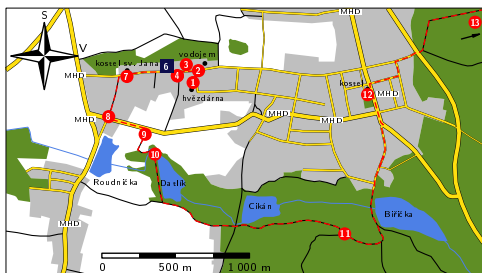


6 PLANETÁRNÍ STEZKA

Mars

vzdálenost od Slunce	227,9 milionu km
rovníkový průměr	6 792 km
oběžná doba	687 dní
rotační perioda	24,6 h
hmotnost	$6,42 \cdot 10^{23} \text{ kg} = 0,107 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$3 900 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	$-63 \text{ }^{\circ}\text{C}$
rozsah teplot	min. $-120 \text{ }^{\circ}\text{C}$, max. $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
geometrické albedo	0,15
chemické složení	jádro Fe, plášť (křemičitany), jednotlitá kůra (SiO_2 , FeO, Al_2O_3)
složení atmosféry	95,3% CO_2 , 2,7% N_2 , 1,6% Ar, 0,1% O_2
tlak atmosféry	800 Pa
velká poloosa	1,524 AU
excentricita	0,093
sklon dráhy	$1,9^{\circ}$
sklon rotační osy	25°
oběžná rychlost	24,1 km/s
úniková rychlost	5,0 km/s
tíhové zrychlení	$3,7 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	$5 \cdot 10^{-9} \text{ T}$
rok objevu	?
objevitel	?

Měřítko stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 186 milionů km; tj. 186 m na stezce.



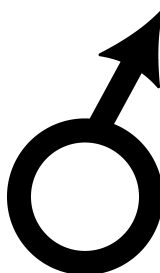
Planeta Mars vyfotografována Hubblovým kosmickým teleskopem dne 26. 6. 2001. © NASA, James Bell (Cornell Univ.), Michael Wolf (Space Science Inst.), Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Zajímavosti: Už při pohledu očima si všimnete typické červené barvy Marsu, mohou za ni oxidy železa. Bílé polární čepičky jsou tvořeny ledem CO_2 a H_2O . V současné době nemůže být na Marsu voda v kapalném stavu, protože ovzduší je příliš řídké (atmosférický tlak je 100 krát nižší než na Zemi).

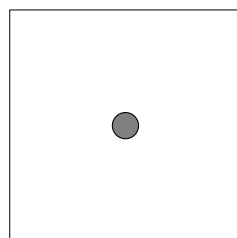
Mars má dva malé měsíce nepravidelného tvaru: Fobos ($27 \text{ km} \times 21 \text{ km} \times 19 \text{ km}$) a Deimos. Jsou to pravděpodobně zachycené planety.

Mytologický původ jména: Řecký Arés, ve staročeštině Smrtonoš, byl synem Jupitera a jeho manželky Juno. Mars byl bohem války. Bývá nazýván „rudou planetou“. Názvy jeho měsíců v češtině jsou Strach a Hrůza.

Značka:



Průměr (6,8 mm):

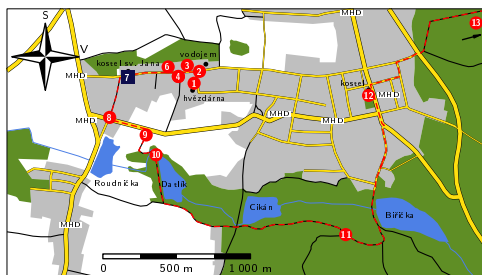


7 PLANETÁRNÍ STEZKA

Ceres

vzdálenost od Slunce	413,9 milionu km
rovníkový průměr	934 km
oběžná doba	4,6 roku
rotační perioda	9,075 h
hmotnost	$2,3 \cdot 10^{21}$ kg = $0,0004 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$2\,300$ kg/m ³
teplota na povrchu	-90 °C
rozsah teplot	min. -200 °C, max. 0 °C
geometrické albedo	0,05
chemické složení	jako meteority (uhlikaté chondrity), nediferencovaná struktura
složení atmosféry	-
tlak atmosféry	0
velká poloosa	2,766 AU
excentricita	0,077
sklon dráhy	10,6 °
sklon rotační osy	?
oběžná rychlost	17,9 km/s
úniková rychlost	0,1 km/s
tíhové zrychlení	$0,3$ m/s ²
magnetické pole	0
rok objevu	1801
objevitel	Guiseppe Piazzi, Itálie

Měřítko stezky je 1 : 1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 364 milionů km; tj. 364 m na stezce.



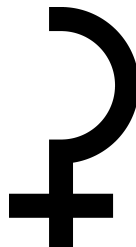
Planetka (243) Ida, jedna z mála planetek, které byly pozorované zblízka (tato ze sondy Galileo). © JPL/NASA

Zajímavosti: V pásu mezi Marsem a Jupiterem obíhá velké množství těles, která jsou menší než planety; říká se jim planetky nebo asteroidy. První objevená a zároveň největší z nich, o rozměru téměř 1000 km, je (1) Ceres. Další v pořadí byly (2) Pallas, (3) Juno a (4) Vesta. Žádná planetka není pozorovatelná prostým okem.

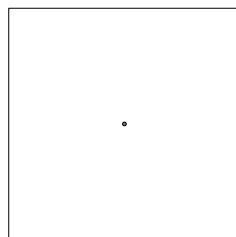
Existuje asi 100 000 planetek větších než 1 km. Jejich celková hmotnost však nedosahuje ani hmotnosti Merkuru. U většiny planetek nedošlo nikdy v minulosti k přetavení, protože uvnitř malých těles nebyla dostatečná teplota a tlak. Jsou tak pravděpodobně tvořeny nepřeměněnými horninami, z nichž kdysi vznikly i velké planety.

Mytologický původ jména: Ceres (Žižněna) je pojmenování sicilské bohyně.

Značka:



Průměr (0,9 mm):



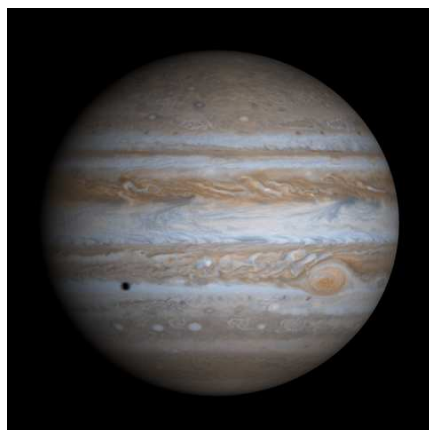
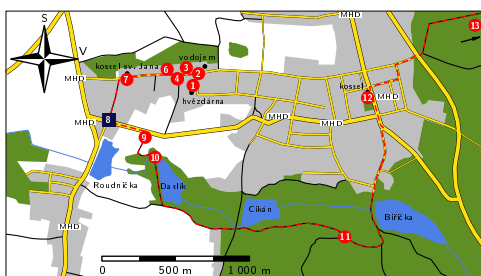
8 PLANETÁRNÍ STEZKA

Jupiter

vzdálenost od Slunce	778,3 milionu km
rovníkový průměr	142 984 km
oběžná doba	11,9 roku
rotační perioda	9,9 h
hmotnost	$1,90 \cdot 10^{27} \text{ kg} = 317,7 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$1\,300 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu ⁽⁴⁾	$-108 \text{ }^{\circ}\text{C}$
rozsah teplot	min. $-163 \text{ }^{\circ}\text{C}$
geometrické albedo	0,47
chemické složení	kamenné jádro (křemičitany), obal (kovový H), H ₂
složení atmosféry	89% H ₂ , 11% He
tlak atmosféry	větší než 10^7 Pa
velká poloosa	5,203 AU
excentricita	0,048
sklon dráhy	$1,3^{\circ}$
sklon rotační osy	3°
oběžná rychlost	13,1 km/s
úniková rychlost	60 km/s
tíhové zrychlení	$23,1 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	$4,28 \cdot 10^{-4} \text{ T}$
rok objevu	?
objevitel	?

⁽⁴⁾ U všech velkých planet jde o teplotu v tlakové hladině 10^6 Pa .

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 322 milionů km; tj. 322 m na stezce.



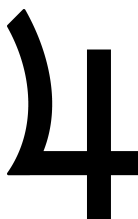
Obrázek Jupiteru z meziplanární sondy Cassini. Pod rovníkem vpravo je vidět Velká rudá skvrna, vlevo stín měsíce. © NASA/JPL/University of Arizona

Zajímavosti: Jupiter je největší planetou sluneční soustavy, ale přesto jeho hmotnost nedosahuje ani 1/1000 hmotnosti Slunce. Narozdíl od 4 vnitřních planet mají vnější planety relativně malé kamenné jádro, objemný obal z vodíku nebo ledu a rozsáhlou, postupně řidnoucí atmosféru; nenajdeme na nich pevný, ostře ohraničený povrch.

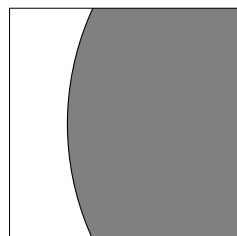
Galileo Galilei v roce 1610 objevil dalekohledem čtyři velké měsíce: *Io*, *Europa*, *Ganymed* a *Kalistu*. (Na našem modelu by byly asi 3 mm velké a obíhaly by ve vzdálenostech 42 až 189 cm.)

Mytologický původ jména: Řecký Zeus, ve staročestíně Kralomoc, byl synem Titána Krona a jeho manželky Rheie. Dědečkem byl Úranos a babičkou Gaia. Vládl všemu živému, bohům i lidem.

Značka:



Průměr (14,3 cm):

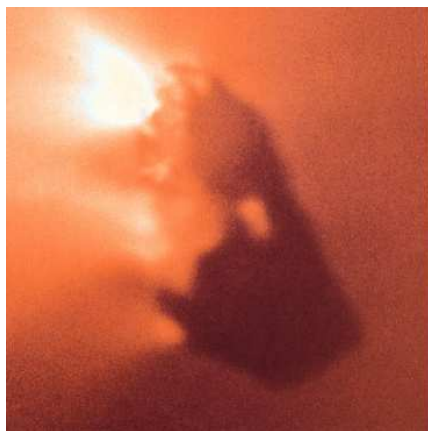
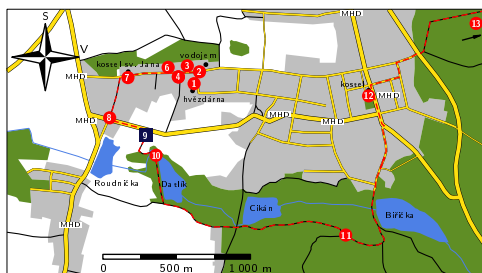


9 PLANETÁRNÍ STEZKA

Halley

vzdálenost od Slunce	87,8 až 5 234 milionů km
rovníkový průměr	16 km
oběžná doba	76 roků
rotační perioda	2,2 dne
hmotnost	$5 \cdot 10^{13} \text{ kg} = 1 \cdot 10^{-11} M_{\oplus}$
průměrná hustota	100 kg/m^3
teplota na povrchu	$\sim -100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
rozsah teplot	min. $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, max. $+100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
geometrické albedo	0,04
chemické složení	zmrzlé plyny (H_2O) a prachové částice (organické molekuly)
složení atmosféry	H_2O , OH, CN, C_2 , H_2CO , ...
tlak atmosféry	0
velká poloosa	35,0 AU
excentricita	0,967
sklon dráhy	$162,2^{\circ}$
sklon rotační osy	?
oběžná rychlost	0,9 až 55 km/s
úniková rychlost	0,001 km/s
tíhové zrychlení	$5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$
magnetické pole	0
rok objevu	-239
objevitel	?

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 329 milionů km; tj. 329 m na stezce.



Jádro komety 1P/Halley na snímku sondy Giotto. © MPAE

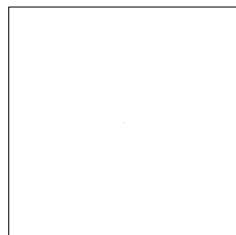
Zajímavosti: Dráhy komet bývají protáhlejší a více skloněné k rovině ekliptiky než dráhy planet. Když se jádro komety přiblíží k Slunci asi na vzdálenost Marsu, zahřeje se natolik, že začne led tát (přesněji sublimovat) a do okolí se uvolní prach a plyn — vznikne hlava komety (*koma*). Interakcí se slunečním větrem se pak vytváří *ohon*.

Na této zastávce je znázorněno pouze jádro komety, a to jako špička špendlíku. Kdybyste si chtěli představit kometu v blízkosti Slunce (třeba v místě vodojemu na severovýchodním obzoru): koma by mohla být velká řádově 10 cm nebo 1 m, ohon by mohl sahát přes celý hřeben až ke kostelu svatého Jana.

Mytologický původ jména: Komety se obvykle pojmenovávají po svých objevitelích. Edmund Halley (1656–1742) sice kometu neobjevil, ale jako první přepověděl její návrat.

Průměr (0,016 mm):

Značka:

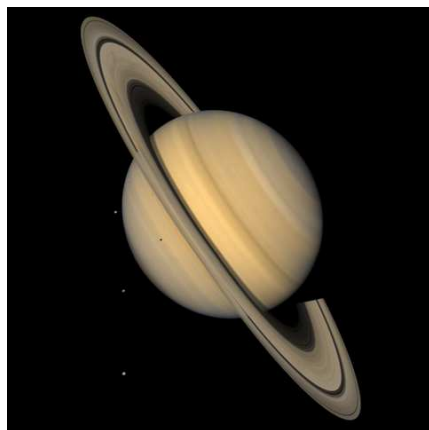
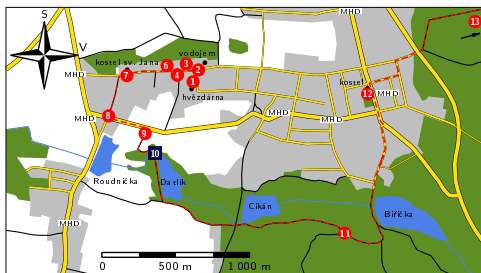


10 PLANETÁRNÍ STEZKA

Saturn

vzdálenost od Slunce	1 429 milionů km
rovníkový průměr	120 536 km
oběžná doba	29,4 roku
rotační perioda	10,6 h
hmotnost	$5,69 \cdot 10^{26} \text{ kg} = 95,16 M_{\oplus}$
průměrná hustota	700 kg/m^3
teplota na povrchu	$-139 \text{ }^{\circ}\text{C}$
rozsah teplot	min. $-191 \text{ }^{\circ}\text{C}$
geometrické albedo	0,46
chemické složení	kamenné jádro, vnitřní obal kovový H a vnější molekulární H_2
složení atmosféry	89% H_2 , 11% He
tlak atmosféry	větší než 10^7 Pa
velká poloosa	9,555 AU
excentricita	0,056
sklon dráhy	$2,5^{\circ}$
sklon rotační osy	27°
oběžná rychlost	9,7 km/s
úniková rychlost	36 km/s
tíhové zrychlení	$9,0 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	$2,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
rok objevu	?
objevitel	?

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 1 446 milionů km; tj. 1 446 m na stezce.



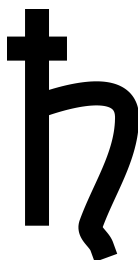
Saturn i se soustavou prstenců a měsíci „očima“ kamer Voyageru 2. © NASA/JPL

Zajímavosti: Saturn je velkou plynnou planetou s průměrnou hustotou menší než je hustota vody. Nejnápadnějším útvarem jsou jeho prstence; byly poprvé popsány až v roce 1655 Christianem Huygensem. Jsou tvořené drobnými úlomky (typicky 1 cm až 100 m velkými), které obíhají okolo Saturnu prakticky v jedné rovině.

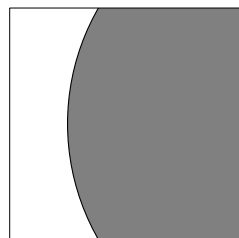
Okolo planety obíhá početná rodina měsíců. Nejzáhadnější z nich je *Titan* s metanovou atmosférou. (Měsíc o průměru 3000 km má totiž příliš malou přitažlivost, aby si takový plynný obal mohl dlouhodobě udržet.)

Mytologický původ jména: Řecký Kronos, ve staročestíně Hladolet, byl synem Ura a Země. Saturn byl bohem zemědělství.

Značka:



Průměr (12,5 cm):

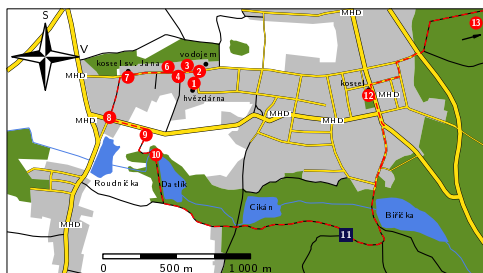


11 PLANETÁRNÍ STEZKA

Uran

vzdálenost od Slunce	2875 milionů km
rovníkový průměr	51 118 km
oběžná doba	83,7 roku
rotační perioda	17,2 h
hmotnost	$8,68 \cdot 10^{25}$ kg = $14,53 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$1\,300 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	-197 °C
rozsah teplot	min. -214 °C
geometrické albedo	0,51
chemické složení	jádro (křemičitany, Fe), ledový plášť (H ₂ O, CH ₄ , amoniak), H ₂ (jen 15%)
složení atmosféry	89% H ₂ , 11% He, CH ₄
tlak atmosféry	větší než 10^7 Pa
velká poloosa	19,22 AU
excentricita	0,046
sklon dráhy	0,8 °
sklon rotační osy	98 °
oběžná rychlost	6,8 km/s
úniková rychlost	21 km/s
tíhové zrychlení	$8,7 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	$2,3 \cdot 10^{-5}$ T
rok objevu	1781
objevitel	William Herschel, Anglie

Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 1629 milionů km; tj. 1629 m na stezce.

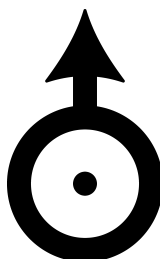


Uran navštívil Voyager 2 v roce 1986. © NASA/JPL

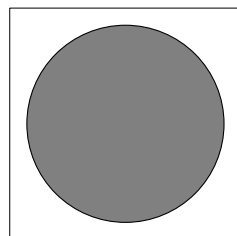
Zajímavosti: Uran je na hranici viditelnosti okem, a proto byl objeven až dalekohledem. Prstence jsou velmi tmavé (odrážejí jen 4 % slunečního záření); byly zjištěny v roce 1977 nepřímo, při zákrytu hvězdy touto planetou. Zvláštností je velký sklon rotační osy — leží téměř v rovině dráhy a na planetu se tak střídavě díváme ve směru jejího severního a jižního pólu.

Mytologický původ jména: Řecký Úranos, ve staročestíně Nebešťanka, byl společně se Zemí nejstarším bohem. Pocházel z noci. Jména měsíců Uranu jsou výjimečná, neboť nepocházejí z antické mytologie, ale z divadelních her Williama Shakespeara (např. Titania, Oberon, Miranda, Ariel, Umbriel).

Značka:



Průměr (5,1 cm):

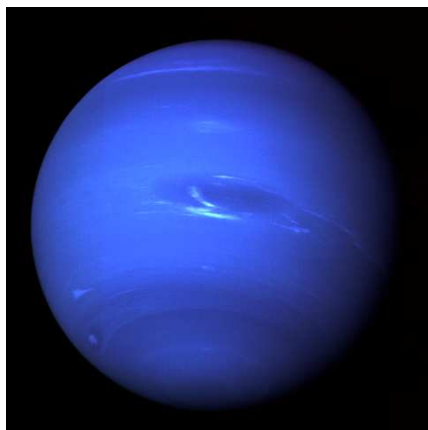
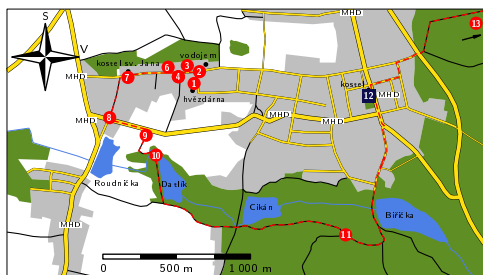


12 PLANETÁRNÍ STEZKA

Neptun

vzdálenost od Slunce	4 504 milionů km
rovníkový průměr	49 532 km
oběžná doba	163,7 roku
rotační perioda	16,1 h
hmotnost	$1,02 \cdot 10^{26}$ kg = $17,14 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$1\,600$ kg/m ³
teplota na povrchu	-201 °C
rozsah teplot	min. -223 °C
geometrické albedo	0,41
chemické složení	kamenné jádro, ledový plášť, H ₂ (15%)
složení atmosféry	80% H ₂ , 19% He, CH ₄
tlak atmosféry	větší než 10^7 Pa
velká poloosa	30,11 AU
excentricita	0,009
sklon dráhy	1,8°
sklon rotační osy	30°
oběžná rychlost	5,5 km/s
úniková rychlost	23 km/s
tíhové zrychlení	11,0 m/s ²
magnetické pole	$1,4 \cdot 10^{-5}$ T
rok objevu	1846
objevitel	Johann G. Galle, Německo

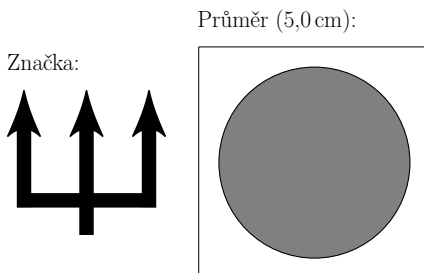
Měřítka stezky je 1:1 miliardě. Vzdálenost k dalšímu tělesu je 1411 milionů km; tj. 1 411 m na stezce.



Neptun s výrazným oblačným vírem v atmosféře. © NASA/JPL

Zajímavosti: Neptun je planeta, jež byla objevena nejprve matematickým výpočtem a až poté na obloze. J. C. Adams a nezávisle U. J. J. Leverrier v roce 1845 vypočetli její dráhu z odchylek dráhy Uranu. J. G. Galle ji našel 1° od přepovězené polohy. Ke spatření Neptuna potřebujeme nezbytně dalekohled. Donedávna byly známy jen dva Neptunovy měsíce: velký *Triton*, obíhající po kruhové dráze, a malá *Nereida*, jejíž dráha je protáhlou elipsou. (Nereida se může vzdálit až na 110 průměrů Neptunu.)

Mytologický původ jména: Řecký Poseidón, ve staročestíně Voděnka, byl synem Saturna a bratrem Jupitera. Neptun byl bohem moří. Dostal darem trojzubec, kterým dokázal rozběhnout nebo utiřit mořskou bouři.

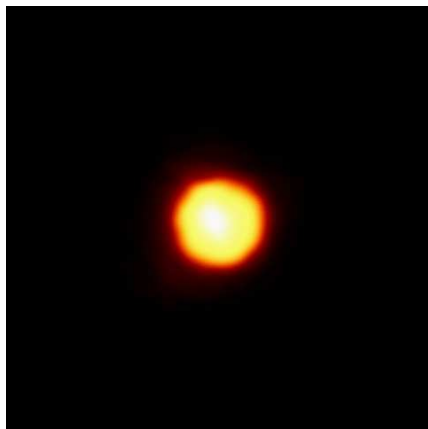
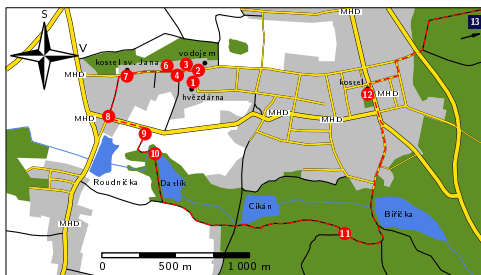


13 PLANETÁRNÍ STEZKA

Pluto

vzdálenost od Slunce	5 915 milionů km
rovníkový průměr	2 300 km
oběžná doba	248 roků
rotační perioda	6,4 dne
hmotnost	$1,5 \cdot 10^{22} \text{ kg} = 0,0024 M_{\oplus}$
průměrná hustota	$2 000 \text{ kg/m}^3$
teplota na povrchu	$-230 \text{ }^{\circ}\text{C}$
rozsah teplot	min. $-240 \text{ }^{\circ}\text{C}$, max. $-218 \text{ }^{\circ}\text{C}$
geometrické albedo	0,3
chemické složení	křemičitany (70%), ledy (30%); kamenné jádro, ledový obal (H_2O) a povrch (N, CH_4 , CO, organické látky)
složení atmosféry	CH_4 , N_2
tlak atmosféry	0,3 Pa
velká poloosa	39,54 AU
excentricita	0,249
sklon dráhy	$17,2^{\circ}$
sklon rotační osy	120°
oběžná rychlost	4,8 km/s
úniková rychlost	1 km/s
tíhové zrychlení	$0,7 \text{ m/s}^2$
magnetické pole	?
rok objevu	1930
objevitel	Clyde Tombaugh, USA

Měřítko stezky je 1 : 1 miliardě. Stezka začíná u hvězdárny, planeta Neptun je u kostela na Novém Hradci Králové.

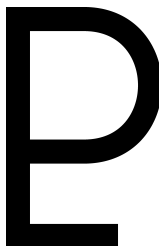


Rozmazaný snímek Pluta dalekohledem HST. © R. Albrecht, ESA/ESO; NASA

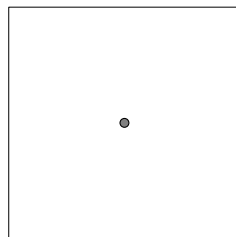
Zajímavosti: Pluto je s měsícem Charonem považován spíše za dvojitou planetku, a to proto, že je malé a vůbec se nepodobá čtyřem vnějším planetám. Navíc se v letech 1992 až 2002 objevilo několik set menších těles na podobných dráhách jako Pluto nebo dokonce ještě vzdálenějších. Potvrdila se tak existence (do té doby hypotetického) *Kuiperova pásu*. Ještě dál od Slunce, mezi 10 000 až 50 000 AU (tj. 1 500 až 7 500 km na planetární stezce), se nachází *Oortův oblak*. Nemůžeme jej sice pozorovat přímo, ale pozorujeme komety, které z něj přilétají dovnitř sluneční soustavy.

Mytologický původ jména: Řecký Hádés, byl bohem podsvětí. Přes řeku Styx pře-vážel zemřelé do podsvětí převozník Charón.

Značka:



Průměr (2,3 mm):



Literatura

- [1] BEATTY, J. K., PETERSEN, C. C., CHAIKIN, A. *The New Solar System*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [2] BERTOTTI, B., FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D. *Physics of the Solar System*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [3] BROŽ, M., CHOLASTA, M. *Stavba planetární stezky je hotova*. *Povětroň* 2/2005.
- [4] *California & Carnegie Planet Search* [online]. [cit. 2004-11-02]. (<http://exoplanets.org>).
- [5] HAJDUK, A. aj. *Encyklopédia astronómie*. Bratislava: Obzor, 1987.
- [6] *JPL Solar System Dynamics* [online]. [cit. 2004-10-28]. (<http://ssd.jpl.nasa.gov>).
- [7] KLECZEK, J. *Velká encyklopedie vesmíru*. Praha: Academia, 2002.
- [8] KOUBSKÝ, P. *Planety naší sluneční soustavy*. Praha: Albatros, 1988.
- [9] MURRAY, C. D., DERMOTT, S. F. *Solar System Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [10] DE PATER, I., LISSAUER, J. J. *Planetary Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [11] PITTIČH, E., KALMANČOK, D. *Obloha na dlani*. Bratislava: Obzor, 1981.
- [12] *Planetary Data System* [online]. [cit. 2004-10-28]. (<http://pds.jpl.nasa.gov>).
- [13] SCHNEIDER, J. *The Extrasolar Planets Encyclopaedia*. [cit. 2004-11-02]. (<http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html>).
- [14] *The Nine Planets* [online]. [cit. 2004-10-28]. (<http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/>).
- [15] *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 2004-10-28]. (<http://www.wikipedia.org>).



Obr. 3 — Model Jupiteru můžeme pozorovat z hvězdárny dalekohledem a případně jej porovnat se skutečným Jupiterem na obloze, mají totiž přibližně stejný úhlový rozměr.



Obr. 4 — Neptun na zastávce Městské hromadné dopravy na Novém Hradci Králové.

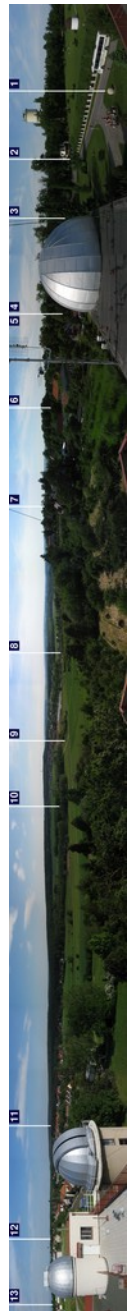


Obr. 5 — Planetka Ceres, zastávka s krásným výhledem na Roudničku. Ceres je největším zástupcem hlavního planetkového pásu mezi Marsem a Jupiterem.



Obr. 6 — Jádru Halleyovy komety o průměru 0,016 mm je nejmenším objektem planetární stezky. Kdyby se však kometa přiblížila k Slunci a led začal sublimovat, vytvořila by se řídká koma a ohon, který by na stezce zabíral několik stovek metrů.

Obr. 7 — Z terasy hvězdárny můžeme dobře ukázat polohy všech těles na stezce.





Obr. 8 — Země a Měsíc poblíž hvězdárny.



Obr. 9 — Pluto u lesního hřbitova.



Obr. 10 — Saturn na hrázi rybníka Datlík. Jasně prstence, na obloze pozorovatelné pouze pomocí dalekohledů, ve skutečnosti tvoří mnoho malých ledových úlomků obíhajících planetu.