

Planetologie pro geology

Obsah

1.	Věda, měření a jednotky	2
2.	Fyzikální základy	4
a)	Planety, souhvězdí, asterismy; nebeská koule a její souřadnice	4
b)	Jasnost (intenzita) a magnituda	5
c)	Ekliptika; hemisférická a globální roční období	5
d)	Přímost (prográdnost) a nepřímost (retrográdnost) otáčení (rotace) a oběhu (orbitu)	6
e)	Slapové jevy (gravitační deformace sousedních kosmických těles – příliv, odliv)	6
f)	Siderický a synodický oběh Měsíce; zatmění Slunce a Měsíce, planetární transity	7
g)	Keplerovy oběhové zákony; meziplanetární lety	9
h)	Newtonův gravitační zákon	11
i)	Atom, elektromagnetické (elmag) záření	11
j)	Dalekohledy (teleskopy), spektrální analýza (analýza vlnové délky)	13
3.	Sluneční soustava — přehled	15
a)	Rozdělení těles okolo Slunce:	15
b)	Oběhové a fyzické vlastnosti hlavních těles sluneční soustavy:	17
c)	Mezioběhové interakce planet a podobných těles	18
4.	Planety typu Země včetně satelitů („měsíců“)	19
a)	Merkur — rychlý posel a obchodník	19
b)	Venuše — nadlidský lásky žár?	19
c)	Země — naše učebnice a kosmická loď — 1 měsíc (Měsíc)	20
d)	Mars — rudý oxidací železa volným kyslíkem — 2 měsíce	22
5.	Planety typu Jupiter včetně satelitů („měsíců“) a prstenců	24
a)	Jupiter — král sluneční soustavy, kandidát druhého Slunce; 66 měsíců	24
b)	Saturn — „Král prstenců“ — 61 měsíců	35
c)	Uran — 27 malých měsíců	44
d)	Neptun — 14 měsíců	47
6.	Asteroidy (menší planety)	51
7.	Meteoroidy a meziplanetární prach	59
8.	Trans-Neptunovy Objekty – TNOs:	62
a)	Kuiperův pás (KBOs) + Pluto	62
b)	Van Oortův oblak a KOMETY	69
9.	Vznik sluneční soustavy	71
10.	Exoplanety	73
11.	Slunce — naše rodná hvězda	76
12.	Hvězdy — vznik, vývoj a zánik	77
13.	Mléčná dráha — naše galaxie a naše místo v ní	81
14.	Literatura	83
15.	Rejstřík	85

1. Věda, měření a jednotky

VĚDA (latinsky: *scientia* = znalost), The New Columbia Encyclopedia (NCE), 4th edition of The Columbia Encyclopedia, Columbia University Press, New York + London, 1975, 3052 stran: *Pro mnohé znamená věda organizované těleso znalostí, ale opravdová definice má zahrnovat i metody, jimiž je získáváno toto těleso znalostí, a postoje.*

Vědecká metoda se vyvíjela po staletí a dnes ji popisujeme v rámci dobře organizovaných několika **kroků**. Co však s postoji? Vytváří věda pravdu? Vědec usiluje dospět k pravdě, ale cesta k ní nemusí být přímá. Ani dobře organizované vědecké metody nezaručují úspěch; mnohé ověřené výsledky mohou být později vyvrácené a odmítnuté. Cesta k pravdě je jediné možná, je-li zajištěn **nestranný postoj**. Věda musí být nestranná, protože i pravda je nestranná.

Věda je lidská (Jacob Bronowski: *The Common Sense of Science*; Random House, New York 1953, 152 pages, especially p. 102-3, 126-35). „Požadavek nestranného postoje však nemůže být absolutně splněn, protože člověk podléhá politickým, hospodářským, sociálním a kulturním vlivům, dodatečně ke svým zkušenostem, předsudkům atd.“ (Jacob Bronowski: *Science and Human Values*; 1956, rev. ed. 1965). Ospravedlňuje neoddělitelnost lidských vlivů od vědy její přehánění? Jinými slovy, zdůvodňuje lidský atribut vědy její úmyslnou stranickost? Kladnou odpověď užívá komunismus (marxismus-leninismus) jako argument pro stranickost vědy zvláště **v zemích řízených komunistickými stranami: prohlašuje, že věda musí být stranická**, je povinná sloužit vládnoucí straně, která určuje pravdu a je kritériem pravdy.

Požadavek stranickosti nutí vědce lhát a takovou „vědu“ diskvalifikuje. Např., ve 2. vydání *Velké sovětské encyklopedie, VSE* (*“Bolshaia Sovetskaia Entsiklopedia”*, 1. vydání 1927-1947, 65 dílů, 2. vydání, 1950-1958, 51 dílů; 3. vydání, 1970-1979, 30+1 dílů; anglický překlad 3. vydání: MacMillan + Colliers, 1973 - dodnes) bylo nezbytné provést úpravy podle rozhodnutí strany z roku 1949. Problém sovětského historika a encyklopedisty, který pracuje podle **flexibilního standardu pravdy**, můžeme zviditelnit a graficky předvést rozporom vzniklým likvidací Lavrentia P. Beria v roce 1953, jemuž byla věnována rozsáhlá biografická studie v 5. Svazku (str. 22-3) nového vydání *Velké sovětské encyklopedie, VSE*, údajně vyhledem k reakci na ohromující poptávku svých 250.000 předplatitelů, vytvořila zvláštní část rozšiřující sousední články o F. W. Bergholzu (dvořanu z osmnáctého století), Beringově moři, a biskupovi Berkeleyho a poskytl instrukce jak vystříhnout studii o Beriovi a nahradit ji novou sekcí. Tak byl problematický zrádce a jeho životopis spláchnut do **“orwellské paměťové díry”**. {Ze „Sovětského pohledu na dějiny Ameriky minulosti“, podle The State Historical Society of Wisconsin (Komentovaný Překlad sekce o americké historii ve VSE, díl 39/1956, str. 557-654), 1960, Scott, Foresman & Co, Glenview, Illinois, 1964, 64 stran, citovaných z Úvodu, str. 7}.

Prosím, pomozte, aby se vize George ORWELLA, ‘1984’ (prvně uveřejněná u Secker & Warburg 1949, pak mnohokrát v Penguin Books, Great Britain; New American Library, New York; etc.) včetně **Myšlenkové policie** a propagační agentury **Ministerstvo Pravdy** nikdy neuskutečnily na této planetě.

Doporučená literatura: Sidney BLOCH + Peter REDDAWAY, *Russia's Political Hospitals*; Futura Publications Ltd, London, Great Britain, 1977, 510 stran; v USA publikovaném pod názvem *Psychiatric Terror*; Basic Books Inc., New York, 1977.

Stojí za povšimnutí, že hlavní sovětské noviny se nazývají *Pravda*. Sovětskou ideologickou indoktrinaci uskutečňovalo **KGB**; Brian FREEMANTLE charakterizuje KGB takto (KGB by Brian Freemantle, publ. Michael Joseph Ltd., London, & The Rainbird Publ. Group Ltd., London, GB 1982, 192 stran):

The KGB is the biggest spy machine for the gathering of secret information that the world has ever seen. Without its omnipresent supervision of every aspect of Russian life, the totalitarian Union of Soviet Socialist Republics would cease to exist. It is the KGB militia which guards the 41,595 miles of the country's sea and land frontiers; it is the KGB which monitors the education in Soviet schools, academies and universities and all the permitted arts. The KGB also controls all printed material through its 70,000 censors. It directs, frequently obscenely, the sciences and medicine. It controls the police and the military. Through its informers and emplaced officials, it has power over the prisons and labor camps and in every city, town, village and hamlet, the KGB has established informant networks to learn of the behavior and attitudes held by every one of the 268,000,000 inhabitants of the USSR. In addition to the tyranny exercised by the KGB within the USSR, there are over 250,000 secret agents working overseas carrying out the aims of the KGB, 'to conduct active measures which will exacerbate the differences between individual countries on the one hand and Western nations on the other hand.' To carry out these aims, the KGB spent no less than £1452,344,000 in 1980 alone.

KGB http://teaching.grano.de/KGB_Refr.html a její předchůdci vždy sloužili velkoruskému panovníkovi. Tím byl zakladatel této organizace, car Ivan Hrozný: z tehdejšího Ruska sehnal 60 tisíc vrahů, tehdy zvané *Opričníki* — zachránili neuvěřitelným terorem carismus a s podobnou brutalitou i Sovětský svaz (Aleksandr I. Solženicyn, 1974: *Archipel Gulag*).

VELIČINY (kvantity), ROZMĚRY (DIMENSE) a JEDNOTKY. Svět okolo nás sestává z objektů, které mohou být popsány svou kvalitou a kvantitou, vyjadřující množství. Všechny neelektrické fyzikální veličiny můžeme definovat hmotou, délkou a časem, které jsou třemi základními mechanickými veličinami; elektrické a magnetické veličiny obecně vyžadují čtyři základní veličiny, z nichž tři jsou hmotnost, délka a čas, a čtvrtá může být nějaká elektrická nebo magnetická veličina, jako je proud, permeabilita (propustnost) nebo permitivita. Někdy je výhodné zavést teplotu jako nezávislou veličinu na úrovni délky, času a hmotnosti, ale protože teplo je stejné povahy jako energie, může být teplota definována třemi základními mechanickými veličinami. Abstraktní vztah (jeden nebo více) základních veličin, který vymezuje danou veličinu, je znám jako ROZMĚR, DIMENSE. Standardní množství veličiny je JEDNOTKA. Například: množství rychlosti má rozměr délka/čas, jeho jednotka může být m/s.

Metrické SI předpony

http://www.granometry.com/data/metric_si_prefixes.pdf

Mezinárodní standard jednotek, známý jako **SI jednotky** (The International System of Units), zahrnuje úplnou **metrickou soustavu**. Hlavní předností je snadnost konverze díky kompatibilitě s dekadickou číselnou soustavou. Násobná čísla, exponenty, velká a malá písmena rozlišující předpony a zkratky spolu s příklady jsou uvedeny dole (Metric Prefixes, http://en.wikipedia.org/wiki/Metric_prefix):

exp	násobitel	=	10exponent	předpona	zkr.	příklad	zkr.
24	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{24}	yotta-	Y-	Yottapascal	YPa
21	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{21}	Zetta-	Z-	Zettagram	Zg
18	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{18}	Exa-	E-	Exahertz	EHZ
15	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{15}	Peta-	P-	Petameter	Pm
12	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{12}	Tera-	T-	Terawatt	TW
9	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^9	Giga-	G-	Gigagram	Gg
6	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^6	Mega-	M-	Megawatt	MW
3	1,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^3	kilo-	k-	kilogram	kg
2	100,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^2	hecto-	h-	hectopascal	hPa
1	10,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^1	deka-	da-	dekalumen	dalm
0	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^0	one		gram	g
-1	0.1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-1}	deci-	d-	decibel	dB
-2	0.01,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-2}	centi-	c-	centimeter	cm
-3	0.001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-3}	milli-	m-	millimeter	mm
-6	0.000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-6}	micro-	μ	micrometer	μm
-9	0.000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-9}	nano-	n-	nanometer	nm
-12	0.000 000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-12}	pico-	p-	picofarad	pF
-15	0.000 000 000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-15}	femto-	f-	femtosecond	fs
-18	0.000 000 000 000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-18}	atto-	a-	attocoulomb	aC
-21	0.000 000 000 000 000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-21}	zepto-	z-	zeptoampere	zA
-24	0.000 000 000 000 000 000 000 001,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	=	10^{-24}	yocto-	y-	yoctofarad	yF

2. Fyzikální základy

a) Planety, souhvězdí, asterismy; nebeská koule a její souřadnice

Planety

<http://www.universetoday.com/115016/a-recipe-for-returning-pluto-to-full-planethood/>

Souhvězdí

Původně je definoval řecko-římský astronom Claudius Ptolemaius Alexandrijský (90 – 168 před Kristem). Dnešní souhvězdí definovala Mezinárodní Astronomická Unie (IAU) v roce 1930: 88 pravoúhelníkově ohraničených ploch okolo výrazných seskupení hvězd. Beze zbytku vyplňují celou nebeskou kouli.

Asterismy

Asterismy jsou výrazná seskupení hvězd. Většinou část souhvězdí, ale může přesahovat do sousedního souhvězdí. Jejich definice není závazná, jsou často vázaná na určité kultury.

Příklad souhvězdí: *Ursa major* = *Velká medvědice*, jedno z nejvýraznějších souhvězdí na severní polokouli;

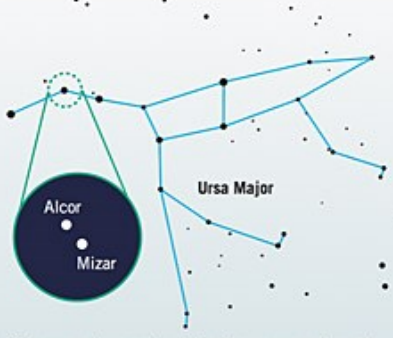
příklad asterismu: *Velký vůz* – část Velké medvědice připomínající vůz s vojí.

Seeing Double

Seen through a set of binoculars most stars will look like bright points of light, but some will have you think that you're seeing double. No, there's nothing wrong with your optics! It turns out that many of the stars that appear to be single points of light to our naked eyes are really two stars orbiting each other.

Probably the easiest double star to pick out is the pairing of Alcor and Mizar. To find them, look for the second star in the handle of the Big Dipper. First look with your naked eyes. If the conditions are good, you may be able to see two already. Now try the binoculars. You'll see the two stars with no problem.

Now try some other double stars like Regulus in Leo the Lion and Albireo in Cygnus the Swan.



You know you have good eyesight when you can see Alcor and Mizar with your eyes alone. Binoculars will split the two stars easily.

44

Plochu souhvězdí užíváme k jednoduchému určení **polohy objektu** na nebeské kouli. České přísloví:

Alkoru (malou hvězdu) viděl, Mizar (velkou hvězdu) přehlédl

Nebeske souřadnice jsou úhlové vzdálenosti na nebeské kouli vycházející ze středu Země podobně jako **zeměpisné** souřadnice, zeměpisná šířka (angl. *longitude*), tj. úhel na sever/jih od rovníku, a zeměpisná délka (angl. *latitude*) rotační úhel okolo zemské osy. Zatímco zeměpisnou délku definujeme jako rotační úhel od meridiánu Greenwichské hvězdárny na západ a na východ (maximum 180°), na nebeské kouli definujeme obdobný rotační úhel od jarního bodu na východ (maximum 360° nebo 24 úhlových hodin) a nazýváme **rektascensí** (angl. *right ascension*). Zeměpisná šířka promítnutá na nebeskou kouli

vychází od nebeského rovníku, zachovává si pozemské vlastnosti v projekci a nazýváme ji **deklinací** (zkr. DEC nebo δ). Souřadnice nebeské koule užíváme k přesnému určení **polohy objektu** na nebeské kouli.

b) Jasnost (intenzita) a magnituda

Množství světla přicházející z objektů na nebeské kouli měříme jako jeho **jasnost**. Naše sítnice ale vnímá tuto veličinu úměrně jejím logaritmům; tak tomu je s vnímáním většiny počitků, jako je sluch, hmat apod. (Weber-Fechnerův zákon, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Psychologie>, senzorní procesy a vnímání). Starořecký astronom *Hipparchos* pod vlivem tohoto fyziologického jevu uspořádal viditelné hvězdy do 6ti tříd hvězdných velikostí. *Norman Pogson* (1856) toto uspořádání vyjádřil matematicky: **magnituda** = $-\log_n \text{jasnost} = -n \times \log \text{BRI}$. Tento vztah čteme jako "magnituda se rovná negativnímu logaritmu (o basi n) jasnosti", kde n je základ tohoto logaritmu a rovná se jasnostnímu (intensitovému) poměru rozdílu magnitud: $1:n = 100^{0.2} = 100^{1/5} = \sqrt[5]{100} = 2.511886432$. Naopak jasnost = $n^{\text{magnituda}} = 100^{\text{MAG}/5}$. Proto: magnitudový rozdíl 5 odpovídá poměru jasností 100; a magnitudový rozdíl 1 odpovídá poměru jasností $n = 100^{0.2} = 100^{(1/5)} = \sqrt[5]{100} = 2.511886432$.

Srovnání stupnic jasnost (BRI) — magnituda (MAG)							
jasnost:	1 000 000	10 000	100	1	0,01	0,000 1	0,000 001
magnituda:	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15

c) Ekliptika; hemisférická a globální roční období

Ekliptika je oběžná rovina **Země** okolo **Slunce**. Denní úhlový pohyb Země je 360° za 365,2564 dní = cca $1^\circ/\text{den}$ ($\approx$ dvojnásobek Slunečního úhlového průměru). Průměrná oběhová rychlost Země je 29,79 km/sec. Nebeský rovník je skloněn $23,45^\circ$ k ekliptice. Tyto dvě roviny se protínají v přímce, kde je Země v *rovnodennosti* (angl. *equinox*), tedy je na ní stejně dlouhý den jako noc: v bodě jarní rovnodennosti se Slunce zdánlivě pohybuje k severu (okolo 21. března), značí počátek jara, a podzimní rovnodennost je protilehlé místo průsečíku ekliptiky s nebeským rovníkem, kde se Slunce zdánlivě pohybuje k jihu (cca 21. září), značí počátek podzimu. Slunce zdánlivě dosáhne nejsevernější bod zvaný letní slunovrat okolo 21. června (nejdelší den na severní polokouli, zahajující léto), slunce zdánlivě dosáhne nejjižnější bod zvaný zimní slunovrat, okolo 21. prosince (nejkratší den na severní polokouli, zahajující zimu).

Protože se tato roční období střídají na severní a jižní polokouli, nazýváme je **hemisférická roční období**. Příkladem dominantních hemisférických ročních období je Země a vzhledem k podobnému sklonu rovníku k oběžné dráze jsou tato roční období účinná i na Marsu, kde ale dominují globální **roční období** (viz dále). Mění se vzdálenost planety od Slunce vlivem excentricity eliptického planetárního oběhu mění teplotu na celé planetě: tak způsobená roční období proto nazýváme **globální**. Nejsilnější globální roční období jsou na Plutu (excentricita 0,2484), který byl 21. 1. 1979 – 14. března 1999 Slunci blíže než Neptun. Vlivem blízkosti ke Slunci byla v té době zjištěna výrazná atmosféra této trpasličí planety. Takové údaje o atmosféře Pluta a podobných objektů zjišťujeme absorpční spektrální analýzou při jejich přechodu před hvězdou v pozadí (transitem, okultací):

<http://iopscience.iop.org/1538-3881/129/3/1718/fulltext/204203.text.html>. 23. června 2011 k tomu NASA+DLR, projekt *SOFIA* (*Stratospheric Observatory for IR Astronomy*) užil IR teleskopu v letadle, které pro stratosférické pozorování ve výšce ca 12 km otevře speciální velké okno a vletí „do stínu“ Pluta http://www.nasa.gov/mission_pages/SOFIA/11-21.html,

http://en.wikipedia.org/wiki/Stratospheric_Observatory_for_Infrared_Astronomy. Doba transitu trvá obvykle jen několik (cca 5) minut. Posice byla upřesněna o 192km spoluprací tří institucí (mj. i MIT) dvě hodiny před cílem v Tichém oceánu.

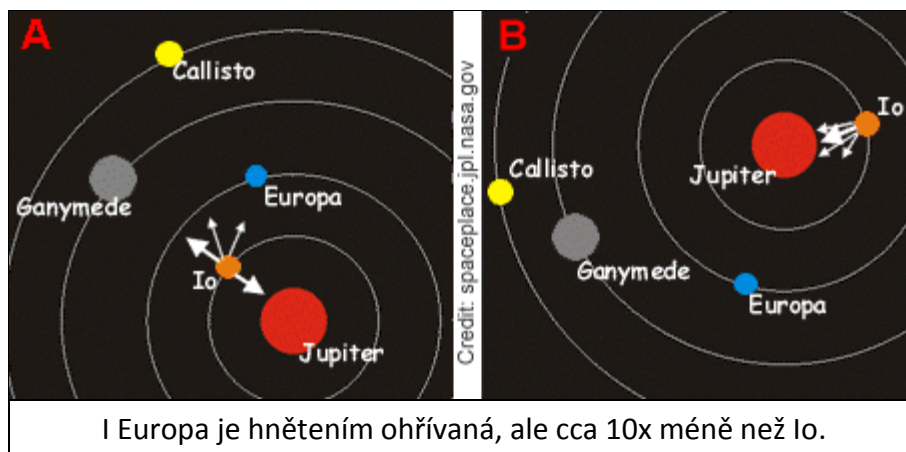
d) **Přímost (prográdnost) a nepřímost (retrográdnost) otáčení (rotace) a oběhu (orbitu)**

Při pohledu „dolů“ od severu na zemský severní pól jsou jak zemská rotace okolo osy tak i zemský oběh okolo **Slunce** proti směru hodinových ručiček (angl. „counterclockwise“, ccw). Pokud jsou takové kruhové pohyby souhlasné se zemskými, nazýváme je u těles sluneční soustavy přímé neboli prográdní, opačné nazýváme nepřímé (retrográdní). Zatím co oběhy všech slunečních planet jsou prográdní, oběhy některých planetárních satelitů jsou retrográdní: z největších obíhá retrográdně **Triton** okolo Neptunu. Planetární rotace jsou prográdní jen u šesti planet, zatím co dvě planety (Venuše a Uran) a Pluto rotují retrográdně. Pokud sklon rotačních os takových planet popíšeme úhlem k rovině jejich drah do 180° , znamená sklon větší než 90° retrográdní rotaci.

e) **Slapové jevy (gravitační deformace sousedních kosmických těles – příliv, odliv)**

Na Zemi jsou slapové jevy působeny gravitací hlavně Měsíce a Slunce. Gravitační síla sousedních kosmických těles nedeformuje jen vodní obal Země (hydrosféru: příliv a odliv), nýbrž především atmosféru, která má na Zemi zhruba 1000x menší viskozitu a hustotu – způsobuje až nadzvukové stratosférické větry, a litosféru, kde se deformace soustřeďuje na diskontinuity. Deformace (hnětení), které na určitých místech objektu opakovaně mění intenzitu a/nebo směr, vyvolávají třením ohřev.

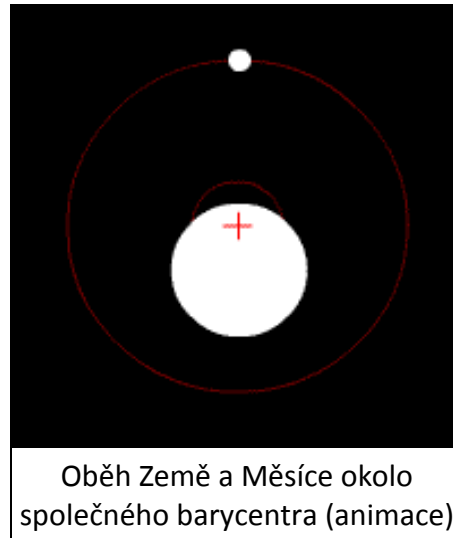
Ve sluneční soustavě je **slapový ohřev** nejsilnější na Jupiterově satelitu Io, který objevila členka teamu Voyager 1, Linda A. Mirabito (Science 204/1979) – objev století. Plynový obr Jupiter je největší sluneční planetou: průměr 11 Zemí, objem 1321 Zemí, hmotnost 318 Zemí, úniková rychlost skoro 60 km/sec. Ganymede je největším měsícem sluneční soustavy, průměr je 77,6% Marsu; Europa je jen o málo menší než náš Měsíc, Io je trochu větší než náš Měsíc. První tři Jupiterovy měsíce, Ganymede, Europa a Io, obíhají v rezonanci 4 : 2 : 1 http://en.wikipedia.org/wiki/Galilean_moons. Na dvou diagramech dole jsou schematicky ukázány dva typy polohy Io vzhledem k měsícům Europa a Ganymede okolo Jupiteru.



Kinetická energie spotřebovaná na hnětení zpomaluje kruhové pohyby objektů, nejdříve jejich rotaci (představuje nejnižší kinetickou energii), a sice tak dlouho, až se doba rotace (otáčení) objektu dostane do resonance s jeho oběhem.

Nejlepší příklad tohoto procesu je soustava **Měsíc – Země**. Zatímco co po vzniku této soustavy rotace (otáčení) Měsíce byla rychlejší, zpomalila se před cca 3,2 miliardami (patrně až před 1 miliardou) let na resonanci 1 : 1 (synchronizace), což se udrželo dodnes – doba Měsíční rotace se rovná jeho oběhu,

takže Měsíc k Zemi natáčí stále jednu stranu, což svědčí o anisotropii hustoty Měsíce. Tato strana má větší hustotu – na straně přikloněné k Zemi je kůra Měsíce o 20 km tenčí než na opačné [http://en.wikipedia.org/wiki/Crust_\(geology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Crust_(geology)). Na dobu výše zmíněného zpomalování rotace Měsíce usuzujeme ze stáří měsíčního vulkanismu.



Měsíc neobíhá okolo středu Země, nýbrž **obě tělesa obíhají okolo bodu**, který je **od středu Země vzdálen téměř 5000 km směrem k Měsíci (barycentrum Země — Měsíc)**.

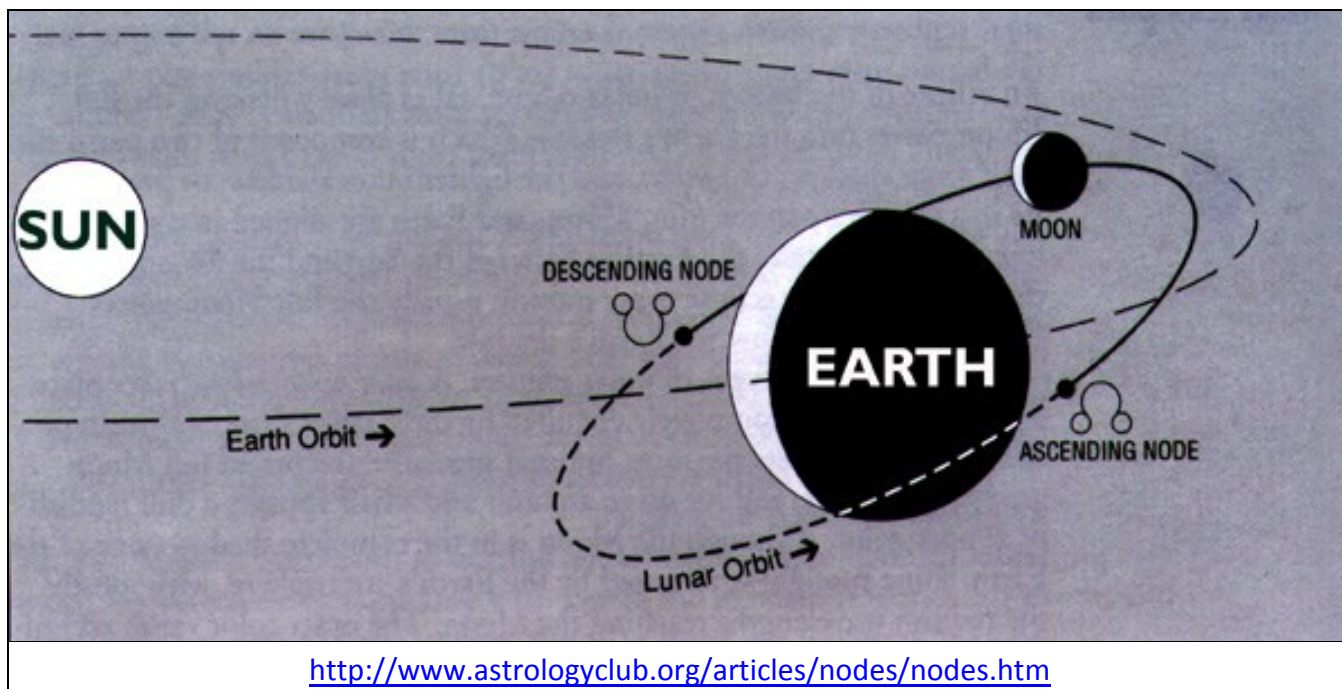
f) Siderický a synodický oběh Měsíce; zatmění Slunce a Měsíce, planetární transity

Při pohledu ze Země je Měsíc proměnlivě osvětlen v opakujících se cyklech nazývaných **fáze**: nový měsíc čili nov, rostoucí srpek, první (rostoucí) čtvrt, první (rostoucí) vypouklá čtvrt, úplňk, třetí (ubývající) vypouklá čtvrt, třetí (ubývající) čtvrt, třetí (ubývající) srpek. Nový měsíc (nov) se na obloze vyskytuje blízko Slunce, úplňk na opačné straně od Slunce.

Siderický měsíční oběh je oběh vzhledem ke hvězdám – 27,321661 dní.

Země obíhá Slunce týmž směrem (ccw, na východ) za 365,2564 dní. Během měsíčního siderického oběhu i Slunce postoupí právě uvedenou úhlovou rychlostí, tedy cca 1°/den, což je kruh/rok $= 360^\circ / 365,2564 \text{ dní} = \text{cca } 27^\circ (26,928474^\circ)$ na východ; proto Měsíc potřebuje trochu víc než dodatečné dva dni, aby „dohonil“ Slunce, tj. dosáhl výchozí fáze, tedy 29,53 dní, což je **synodický měsíční oběh** (řecky synodos - Σύνοδος „shromáždění“; synodia Σύνοδια, „cestovní společenství, karavana, rodina“).

Protože oběhová rovina Měsíce okolo Země není přesně v ekliptice, tj. svírá s ní úhel (5,145°), Měsíc se při každém úplňku nedostane do zemského stínu, takže nedochází k jeho zatmění. A stejně při každém novu nezakrývá Slunce, tedy nedochází ke slunečnímu zatmění. K tomu, aby tato tři tělesa byla v jedné přímce, dochází dvakrát v roce – když průsečík obou rovin, tedy **uzlová přímka** (angl. *line of nodes*), **prochází Sluncem** (viz obrázek níže). Další zajímavé obrázky:



<http://www.astrologyclub.org/articles/nodes/nodes.htm>

Výskyt tří kosmických těles v přímce se anglicky nazývá *syzygy*

http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_transit. U Slunce, Země a Měsíce mluvíme o zatměních, u planet o transitech a okultacích. Při pohledu ze Země, přechody před Sluncem jiných těles než Měsíce, čili **transity**, mohou nastat pouze u vnitřních planet, tj. u Merkuru a Venuše, protože vnější planety počínaje Marsem jsou vždy v prostoru od Slunce „za Zemí“. A i u těchto planet je transit možný jen dvakrát v roce, kdy se Země na svém oběhu dostane do jednoho ze dvou uzlových bodů dané planety.

U Venuše k tomu dochází na začátku prosince a června. V těchto dvou místech se ovšem musí vyskytnout i Venuše, k čemuž dochází vzácně – celkem 7x od vynálezu dalekohledu, naposledy roku 2004. Transity Venuše se vyskytují po dvojicích, mezi nimiž je odstup cca 8 let. Po transitu 6. června 2012 (mezi těsně před půlnocí a 7:00h ráno) nastanou další dva transity Venuše v letech 2117 a 2125, trochu pozdě pro dnes žijící. Ještě nedávno se transity Venuše užívaly pro přesné měření vzdálenosti Slunce – Země. Pěkně líčí historii transitů Venuše pan Jaroslav Soumar tady:

http://www.astro.cz/clanek/5197?utm_source=news&utm_medium=mail&utm_campaign=clanky.

Transit Venuše (5.-) 6. června 2012 se použil pro srovnání atmosféry Venuše, tj. planety, kde je život vyloučen, s atmosférami exoplanet, které lze určit při jejich transitech metodou *microlensing*. Pro standard atmosféry prozrazující život se použije spektrum vrchní atmosféry Země. Předpokládáme, že unikátním znakem života je výskyt kyslíku v jedno-, dvou- i tří-atomových molekulách, tedy hlavně ozonu ve vrchní atmosféře. Pan David Ehrenreich z Ústavu planetologie a astrofysiky v Grenoblu, Francie, chce spektroskopicky naší vrchní atmosféru zjistit Hubble-ovým vesmírným teleskopem ze slunečního světla rozptýleného naší vrchní atmosférou s ozonem při úplném zatmění Měsíce z odrazu na měsíčním kráteru Hipparchus. <http://arxiv.org/pdf/1112.0572.pdf>.

Transit Venuše (5.-) 6. června 2012 poskytuje ještě další úkaz: záhadný **prstenec** resp. **oblouk** prvně pozorovaný při transitu Venuše 2004, zejména při jeho ingressi a egressi:

http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2012/04jun_arcofvenus/.

Od roku 1700 do roku 2200 je možných 18 vzájemných planetárních transitů a okultací pozorovaných ze Země:

- 19. září 1702 – Jupiter okultoval Neptun
- 20. července 1705 – Merkur byl v transitu před Jupiterem

- 14. července 1708 – Merkur okultoval Uran
- 4. října 1708 – Merkur byl v transitu před Jupiterem
- 28. května 1737 – Venuše okultovala Merkur
- 29. října 1771 – Venuše byla v transitu před Saturnem
- 21. července 1793 – Merkur okultoval Uran
- 9. prosince 1808 – Merkur byl v transitu před Saturnem
- 3. ledna 1818 – Venuše byla v transitu před Jupiterem
- 22. listopadu 2065 – Venuše bude v transitu před Jupiterem
- 15. července 2067 – Merkur bude okultovat Neptun
- 11. října 2079 – Merkur bude okultovat Mars
- 27. října 2088 – Merkur bude v transitu před Jupiterem
- 7. dubna 2094 – Merkur bude v transitu před Jupiterem
- 21. října 2104 – Venuše bude okultovat Neptun
- 14. září 2123 – Venuše bude v transitu před Jupiterem
- 29. července 2126 – Merkur bude okultovat Mars
- 3. prosince 2133 – Venuše bude okultovat Merkur

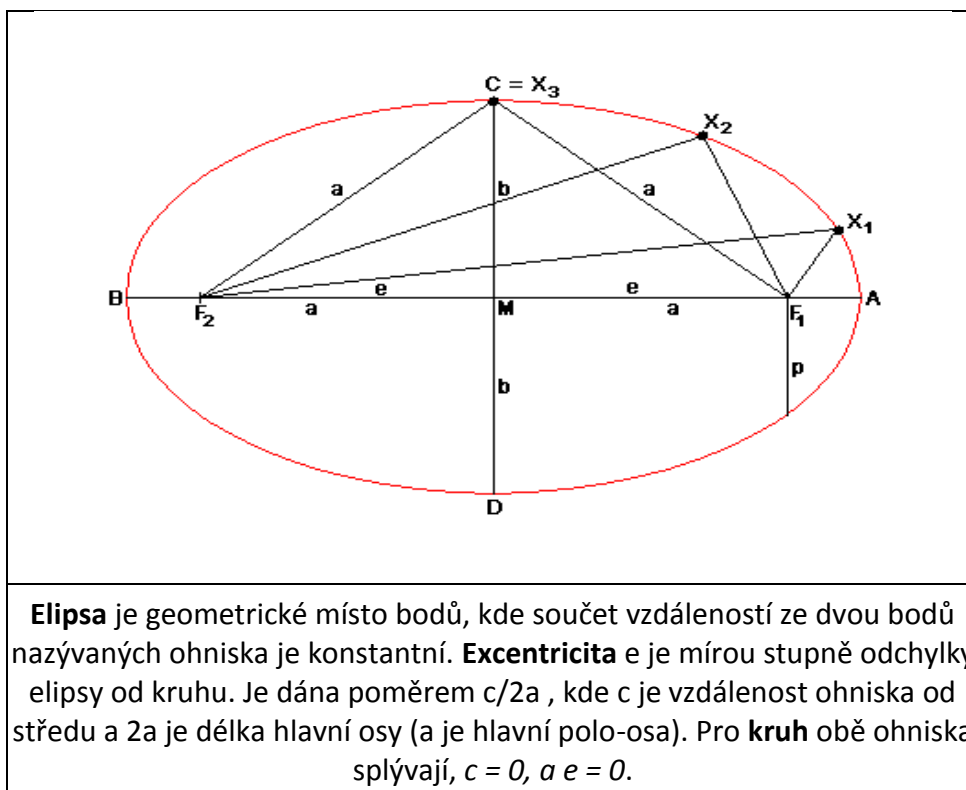
V posledních letech se **transity exoplanet** před hvězdami Mléčné dráhy užívá k jejich objevování. První takovou planetou je HD 209458 b, nazývaná neoficiálně Osiris

http://en.wikipedia.org/wiki/HD_209458b. Více o exoplanetách je v kapitole 10 str. 73.

g) Keplerovy oběhové zákony; meziplanetární lety

Hlavní objevy Johannese Keplera (narozen 27. 12. 1571 Magstadt [18km JZ od Stuttgartu, JZ Německo], zemřel 15. 11. 1630 Regensburg, JV Německo) o oběhu planet sluneční soustavy lze shrnout do tří zákonů:

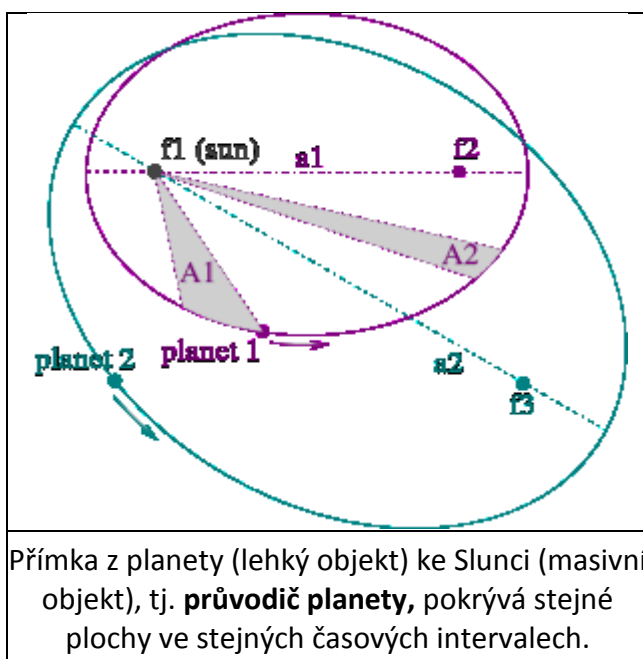
1) Oběhy planet (lehkých objektů) jsou elipsy se Sluncem (masivním objektem) v jednom ohnisku.



Oběhy většiny planet mají malou excentricitu, tj. jsou skoro kruhy, jako Venuše 0,0068, Neptun 0,00858, Země 0,0167, Uran 0,0461, Jupiter 0,0484, Saturn 0,05565; větší excentricity mají: Mars 0,093377, Merkur 0,205628 a největší má trpasličí planeta **Pluto** 0,249.

Vzájemný gravitační vliv těles obíhajících okolo společného masivního tělesa (Slunce) postupně snižuje excentricitu tím, že jí činí dlouhodobě proměnlivou; např. zemská excentricita kolísá mezi 0,005 až 0,06 za cca 100 tisíc let. To bylo pozorováno u prstenců planet Jupiterova typu a patrně i při galaktickém oběhu hvězd.

- 2) Přímkou z planety (lehký objekt) ke Slunci (masivní objekt), tj. **průvodič planety**, pokrývá stejné plochy ve stejných časových intervalech. Oběh planety tedy není rovnoměrný: zrychluje se nepřímo úměrně vzdálenosti od Slunce (ohniska). Jen na kružnici je oběh rovnoměrný, tj. jeho rychlost je konstantní, protože i vzdálenost je konstantní.



- 3) Čtverec oběhového cyklu planety je úměrný třetí mocnině její průměrné vzdálenosti od Slunce:

$$P^2 = a^3 \quad , \text{ takže } P = a^{3/2} = a^{1,5} .$$

Jednotky obou veličin musí být konsistentní, což je nejjednodušší pro oběh Země: jeho doba je jeden rok a vzdálenost je 1 AU; tyto jednotky platí pro celou sluneční soustavu. Protože průměrná vzdálenost se rovná hlavní polo-ose elipsy, je oběhová doba *nezávislá na krátké polo-ose*. Tak je např. trvání kruhového oběhu stejně dlouhé jako eliptického se stejnou dlouhou polo-osou jako kruh.

Keplerův zákon 3: vztah mezi oběhovou dobou a průměrnou vzdáleností planety od Slunce.

(Hohmannův) transferový oběh (kosmické lodi). Viz: <http://www2.jpl.nasa.gov/basics/bsf4-1.php> a http://genesission.jpl.nasa.gov/educate/scimodule/DestinationL1/DL1_PDFs/4_math/SA-METO.pdf. Jako nejhospodárnější trajektorii volíme oběh (kosmické lodi), který je elipsa (červená) se Sluncem v jednom ohnisku, při čemž oběh Země (modrá) je v perihéliu a oběh planety (žlutá) je v apheliu. Příležitost k vypuštění transferového oběhu k Marsu je každých cca 25 měsíců. Rychlosti; komunikace se Zemí; návrat. Viz: http://www.granometry.com/data/meziplanetarni_lety.doc

h) **Newtonův gravitační zákon**

Sir Isaac NEWTON (1642 - 1727), anglický matematik a přírodní filosof (fyzik), patrně největší vědec, který kdy žil. Své nejdůležitější objevy učinil během dvou let 1664 – 66, kdy byla universita zavřena (Cambridge) a uchýlil se do svého domovského města Woolsthorpe. V té době objevil universální gravitační zákon, začal vyvíjet infinitesimální počet, a zjistil, že bílé světlo se skládá ze spektra všech barev. Tyto objevy mu umožnily učinit fundamentální příspěvek k matematice, astronomii a teoretické a experimentální fyzice. Své objevy v pozemské a nebeské mechanice shrnul ve svém pětidílném latinsky psaném díle *Philosophiae naturalis principia mathematica* [1687].

Newtonův gravitační zákon: $F = -G \times M \times m / r^2$

kde F je gravitační síla mezi dvěma hmotami (M a m) ve vzdálenosti r;

G je gravitační konstanta $6,67384 \times 10^{-11} \text{ N} \times \text{m}^2 / \text{kg}^2$.

Tento vztah reciprokých čtverců ukazuje, že intenzita polí (magnetického, elektrického a gravitačního) a energie, rozptylujících se homogenně ve všech směrech (radiální energie, např. světlo) je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti, protože rozptyl polí a energie jsou přímo úměrné čtverci vzdálenosti.

i) **Atom, elektromagnetické (elmag) záření**

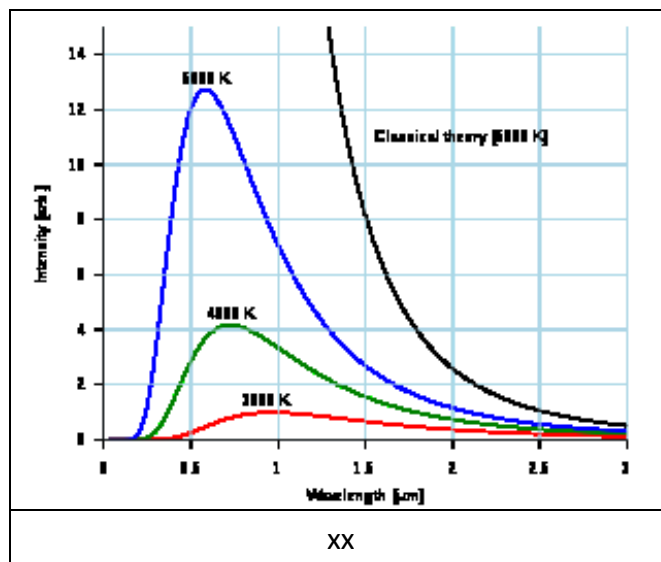
ATOM (z řečtiny *a-*, ne + *tomos*, část, díl [*temnein* = dělit]: “nedělitelný”; definoval Demokritos Δημόκριτος, "zvolený lidem", ca. 460 – ca. 370 př. nl.) je nejmenší část hmoty dále nedělitelná slabými fyzikálními (mechanickými) prostředky. Atomy téhož druhu tvoří jednoduché látky, **prvky**. Existuje cca 100 prvků („cca“ proto, že se syntetizují transurany [$Z > 92$] i [$Z > 110$]), každý definovaný specifickými atomy. Přibližný průměr atomů je řádově 10^{-8} centimetrů.

Každý atom se skládá z jádra a okolní(ch) slupky(ek), oddělenými extrémně velkým prázdným prostorem. Jádro představuje většinu hmoty atomu; sestává ze specifického počtu +nabitých protonů a podobného nebo většího počtu neutronů (pouze vodík, definovaný jediným protonem v jádře, většinou nemá neutron v jádře). Helium 3 je jediným isotopem, který má více protonů než neutronů. Počet protonů v jádře definuje prvek = atomové číslo [Z].

Počet protonů v jádře umožňuje atomům nést stejný celkový počet elektronů ve slupce(kách). Každý elektron nese stejné množství elektrického náboje jako každý proton ale s opačným (negativním) znaménkem. Proto atomy, v nichž se počet (záporně nabitých) elektronů rovná počtu (kladně nabitých) protonů jsou z vnějšku elektricky neutrální. Každý elektron má specifickou polohu (energetickou hladinu, slupku/podslupku, orbit okolo jádra), která určuje chemické vlastnosti a aktivitu prvku.

Teplota odpovídá kinetické energii vibrace atomů nebo molekul na atom nebo molekulu. Při nulové absolutní teplotě ($-273,15^\circ\text{C} = 0 \text{ K}$ [K znamená kelvin] = $-459,67^\circ\text{F}$) by vibrace hmotných částic ustala a hmota by neexistovala: proto ani absolutní nulová teplota nemůže existovat, můžeme se jí jen přiblížit (1999 byla dosažena rekordně nízká teplota 100 picokelvinů (pK), čili 0,000 000 000 1 kelvin na kousku rhodia redukcí jeho jaderného spinu).

Když elektrony získají energii, skočí z nižší do vyšší energetické hladiny (orbitu); hned ale skočí zpět do původní hladiny, a vypustí rozdílnou energii jako **radiační, foton**, která se pokládá za **elektromagnetickou** (dále zkráceně elmag) **radiační jednotku**. Energie fotonu je přímo úměrná frekvenci (nepřímo vlnové délce elmag) záření. Úměrně teplotě nad absolutní nulou, každý objekt vysílá elmag záření — **vlnová délka maximální intenzity záření** je diagnostická pro **teplotu** objektu: **záření černého tělesa**; teploměr Balmerovy serie.



Vlnová délka (a jí nepřímo úměrný kmitočet [frekvence]) e jsou fundamentální vlastností elmag záření. Můžeme rozeznávat dvanáct druhů elmag vln:

Max. vlnová délka, minim. frekvence:		
1	dlouhé radiové vlny	(AM)
2	střední radiové vlny	
3	krátké radiové vlny	
4	velmi krátké radiové vlny	(FM)

5	ultra krátké radiové vlny (TV)
6	mikrovlny (radar)
7	milimetrové vlny (MW)
8	infračervené (IR) světlo

9	viditelné světlo
10	ultrafialové (UV) světlo
11	Roentgenovo záření (paprsky)
12	gama záření (paprsky)
Minim. vlnová d., maxim. frekvence:	

Terminologie elmag vln není konsistentní. Některé výrazy, např. FM & AM (frekvenční a amplitudová modulace), se netýkají vlnové délky, nýbrž metody kódování informace; jiné výrazy popisují kmitočet [frekvenci], jako UHF [ultra high frequency] a VHF [very high frequency].

V oblasti viditelného světla rozlišujeme šest hlavních barev:

(nejdelší vlnová délka) — červená	oranžová	žlutá	zelená	modrá	(nejkratší vlnová délka) — fialová
--------------------------------------	----------	-------	--------	-------	---------------------------------------

Elmag záření vzniká zrychlením elektrického náboje. Přirozenou frekvencí zářících objektů: dlouhé elmag (**radiové**) vlny se generují střídavým (vysokofrekvenčním) elektrickým polem relativně velkých objektů, **antén**; mnohem kratší elmag vlny, viditelné & neviditelné **světlo**, vzniká zrychlením elektricky nabitých částic atomové a subatomové velikosti; ještě kratší elmag záření (**Roentgenovy a gama paprsky**) vznikají nejsilnějším zrychlením subatomových částic (**atomových jader**).

Tři hlavní typy objektů generující elmag záření o různé vlnové délce/frekvenci:

	objekty	vzniklé elmag záření
a	Antény	radiové vlny až nejkratší mikrovlny
b	Elektrony, atomy, molekuly a ionty	mikrovlny, infračervené (IR) + – ultrafialové (UV) světlo
c	Atomová jádra, vysokoenergetické elektrony	Roentgenovy – gamma paprsky

Podobně, elmag vlny mívají *menší* objekty než je jejich vlnová délka:

Atmosféra propouští k zemskému povrchu elmag záření jen ve dvou úzkých pásmech vlnových délek (dvě “**atmosférická okna**”):

a	Viditelné světlo (390 — 700nm)	b	nejkratší radiové vlny (centimetr až cca 1 meter vlnová délka)
---	-----------------------------------	---	---

Elmag záření je téměř jediným informačním zdrojem o objektech mimo sluneční soustavu a stále hlavním pozorovacím zdrojem ve sluneční soustavě. Dalekohledy (teleskopy) jsou nejpobulárnějšími a nejdůležitějšími astronomickými pomůckami.

j) Dalekohledy (teleskopy), spektrální analiza (analýsa vlnové délky)

Pro pozorování v elmag záření. Ve viditelném, ale i IR a UV světle, používáme dva typy dalekohledů (teleskopů):

- a) **Reflektory** (užívají jedno nebo více zrcadel jako objektiv): jsou kratší, i větší průměr je snadněji vyrobitebný, netrpí chromatickou aberací (vyjma okuláru, který sestává většinou z čoček);
- b) **Refraktory** (užívají jednu nebo více čoček jako objektiv): jsou delší, objektiv je vyrobitebný v omezeném průměru, trpí chromatickou aberací.

Pro pozorování v **mikrovlnách** (radarovém, resp. radiovém záření) používáme speciální (radio) reflektorové objektivy, dosahujících na Zemi velkých průměrů (jedním z největších je Arecibo u Puerto Rica, o průměru 305 metrů).

Pro pozorování v **Roentgenových** a v **gamma paprscích** používáme speciálně konstruované teleskopy umístěné mimo zemskou atmosféru.

Rtg teleskopy (XRT) — např. **Chandra** (zkratka US-Amerického astrofysika indického původu Subrahmanyan Chandrasekhar, nositele Nobelovy ceny).

Gamma teleskopy (GRT) je např. **Fermiho Vesmírný GR Teleskop**, který obsahuje dva vědecké přístroje: VelkoPlošný Teleskop (LAT), zachycující fotony o velmi vysokých energiích 30 MeV až 300 GeV, a Gamma-Zábleskový Monitor (GBM), který je v podstatě pokračováním EGRETového přístroje na Comptonově gamma observatoři. GBM sestává z 12 detektorů (12 krystalů jodidu sodného pro citlivost 8 keV až 1 MeV a 2 krystalů germanátu bismutu pro citlivost 150 keV až 30 MeV). Nízký oběh s krátkou oběhovou dobou 95 minut zajišťuje pozorování nestíněné Zemí (16-krát denně).

Spektrální analýza poskytuje nejméně **tři hlavní výsledky**:
(další výsledky viz strana 17-18)

- a. **chemické složení**: z diagnostických vlnových délek (emisního a absorpčního spektra), každá je specifická pro určitý elektron atomu, definuje prvky; jejich intensity jsou úměrné obsahům oněch prvků;
- b. **teplota**: z maximální intensity vlnové délky (UV až IR světla) – záření černého tělesa: červené jsou “studené”, modré jsou “horké”) a z intensity vlnových délek Balmerovy série; (UV až IR spektra);
- c. **radiální rychlost** podle Dopplerova principu zkracováním nebo prodlužováním vlnové délky spektra prvků (“modrý” nebo “červený” posun znamená změnu polohy vlnové délky k modrému nebo červenému okraji spektra barev, tj. směrem ke kratší nebo delší vlnové délce). Průměrná oběhová rychlost Země je 30 km/sec (29.865 km/sec); proto se spektrální posuny po 6 měsících odchylují o rozdíl ± 30 km/sec = 60 km/sec radiální rychlosti.

3. Sluneční soustava — přehled

Sluneční soustava sestává z různých objektů, které vyrovnávají silnou **gravitaci** Slunce **odstředivou** (centrifugální) silou svých oběhů okolo něho. Sluneční soustava se nachází v Mléčné dráze, „naší“ galaxii – druhé největší v blízkém vesmíru, obsahující >sto miliard hvězd. Skoro každý objekt na obloze viditelný pouhým okem je součástí Mléčné dráhy, vyjma galaxie Andromeda M31 a dvou Magellanových oblaků, satelitů Mléčné dráhy, viditelných na jižní polokouli. Sluneční soustava obíhá ve vzdálenosti (na kružnici o poloměru) cca 10 kpc (kpc je kilo-parsec; 1 parsec je zhruba 3,26156 světelných let, takže 10 kpc = 32615,6 svět. Let = $3,08567758 \times 10^{16}$ m) okolo středu Mléčné dráhy rychlostí cca 220 km/sekundu ve směru souhvězdí Labuť (Cygnus) s oběhovou periodou 230 milionů let (galaktický rok).

Zatím co Slunce představuje ze sluneční soustavy většinu její **hmoty**, obíhající součásti sluneční soustavy (planety, jejich satelity, asteroidy, meteoroidy, komety atd.) představují většinu jejího **úhlového momentu**. Samotné Slunce, protože je hvězdou, bude stručně popsáno v kapitole 11a.

a) Rozdělení těles okolo Slunce:

- a. **8 Planet** (s minimálně 141 satelity) – obíhají v disku v rovině ekliptiky 0,4 - 30 AU od Slunce. Planety jsou největší tělesa sluneční soustavy (po Slunci) – nejmenší je nejvnitřnější Merkur, průměr 0,4 Země, objem 0,055 Země, hmota 0,055 Země, složený ze silikátů, největší je plynový obr Jupiter složený převážně z vodíku, a čtvrtiny helia, průměr 11,2 Zemí, objem 1321 Zemí a hmoty 318 Zemí. Závazná definice planety byla dohodnuta na 26. sjezdu *International Astronomical Union (IAU)* v Praze 14.–25. 8. 2006: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Solar_System_objects_in_hydrostatic_equilibrium#Manual_calculations_.28unless_otherwise_cited.29 (s konečným rozhodnutím o pojmu Plutoid 11. 6. 2008).
- b. Několik milionů **asteroidů** čili **planetek** – obíhají ve velmi širokém prstenci okolo ekliptiky průměrně 2,77 AU od Slunce; největší byl Ceres, průměr 975/909 km, hmota 0,012 Měsíce, který byl na 26. sjezdu IAU v srpnu 2006 přerazen na „trpasličí planetu“.
- c. **Meteoroidy** – obíhají všemi směry v celé sluneční soustavě (v kulovém prostoru), patrně až k van Oortovu oblaku; protože se k nim počítají i mikrometeoroidy, jejich počet přesahuje trilion. Těleso samé mimo zemskou atmosféru nazýváme **meteoroid**, **meteorit** pokud dopadne na pevný povrch (Země, Měsíce, Marsu), **meteor** jeho zazáření v atmosféře (na Zemi ve výšce cca 80 km).
- d. **Tělesa (Edgeworth-) – Kuiperova pásu (KBOs)** – obíhají v širokém pásu 40 – 50 AU od Slunce, do roku 2014 známe 473 KBOs, vyloučeny jsou tělesa, jejichž orbit je v resonanci s Neptunovým. Jsou součástí Trans-Neptunových Objektů (TNOs), k nimž se počítá i zatím hypotetický van Oortův oblak. Klasickými KBOs je pětinasobná soustava Pluto – Charon a tři trpasličí planety, Orcus, Ixion a Varuna se stejnou oběžnou dobou, zvané **Plutinos** nebo **Plutoids** na počest Pluta.
- e. **Komety a van Oortův oblak** – kulová oblast s tělesy ze zmrzlých plynů a trochou silikátového prachu, tedy „špinavých sněhových koulí“. Ta, která se silně excentrickým oběhem dostávají blíže ke Slunci než cca 40 AU, sublimací a vypařováním vytváří zářící ohon (koma), označujeme jako **komety**. Ostatní tělesa předpokládáme, jsou zatím hypotetická. Oblast uzavírá gravitační dominanci Slunce a sahá od něho zhruba do 50.000 AU, tedy světelného roku (cca čtvrtina vzdálenosti k Proxima Centauri, nejbližší hvězdy). Tělesa vnitřní části této oblasti obíhají spíše v diskovém prostoru, který někdy označujeme jako **Hillův oblak**.

Společné vlastnosti těles sluneční soustavy:

- a. Oběh planet a jejich satelitů je téměř **v jedné rovině** (max. $\pm 3,4^\circ$ od ekliptiky, **disk**) a **kruhový**
- b. **Směr oběhu a rotace** planet a většiny jejich satelitů je při pohledu ze severu **ccw** (proti směru hodinových ručiček), tedy souhlasný se zemským (prográdní);
- c. Odhadovaný věk cca 5 Ga (Giga Annum = miliard let) – změřen 4,56 Ga na Zemi a na Měsíci.

Výjimky:

- a. Přílišný *sklon oběhu k ekliptice*: Pluto ($17,2^\circ$), Merkur (7°);
Přílišná *excentricita oběhu*: Pluto (0,25), Merkur (0,21), Mars (0,09);
- b. Retrográdní *oběh*: Triton (satelit Neptunu), Charon (satelit Pluta),
4 vnější satelity Jupiteru 1 vnější satelit Saturnu;
Retrográdní *rotace*: Venuše, Uran, Pluto.

Vzdálenosti planetárních oběžných drah nevykazují přesný matematický vztah, jsou zhruba *dvojnásobné směrem od Slunce* (zákon **Titius-Body**: C. D. MURRAY & S. F. DERMOTT [CUP, 1999], *Solar System Dynamics*, p. 5 – 9, Tab. 1.1, p. 6).

b) Oběhové a fyzické vlastnosti hlavních těles sluneční soustavy:

Těleso		delší polo-osa	oběžná doba		prům. rychl.	excentricita	sklon oběhu k ekl./rov.	průměr rovník	hmota	hustota	tíže	úniková rychlost	teplota
		AU	roků	dní	km/sek	-	°	Z=1	Z=1	g/cm ³	Z=1	km/sek	K
Merkur	Me	0,387	0,2408	87,969	47,87	,206	7,005	0,3829	0,055	5,427	0,38	4,25	340
Venuše	V	0,723	0,6152	224,700	35,02	,007	3,395	0,950	0,815	5,204	0,904	10,46	735
Země	Z	1,000	1	365,256	29,78	,017	0	12742	1	5,515	1	11,186	287
Mars	Ma	1,524	1,88	686,971	24,08	,093	1,858	0,533	0,107	3,935	0,376	5,027	210
Jupiter	J	5,203	11,862	4332,6	13,07	,049	1,305	11,209	317,8	1,326	2,528	59,5	165
Saturn	S	9,582	29,457	10.759	9,69	,056	2,485	9,449	95,152	0,687	1,065	35,5	134
Uran	U	19,229	84,323	30.799	6,81	,044	0,770	4,007	14,536	1,27	0,886	21,3	49
Neptun	N	30,104	164,79	60.190	5,43	,011	1,769	3,883	17,147	1,638	1,14	23,5	55
Pluto	P	39,264	248,09	90.613	4,67	,249	17,142	0,18	,0022	2,03	0,063	1,229	44
Ceres		2,7663	4,60	1.680,5	17,88	,0793	10,585	0,0765	,00015	2,077	1,27	0,51	168
Quaoar		43,405	285,97	104.451	4,52	,0394	7,996	1170	,000268	~3,2	~0,33	~0,62	43
Eris		67,67	557	203.600	3,44	,4418	44,187	0,182	,0028	2,52	0,827	1,384	42
Sedna		532,3	11.400	4.163.850	1,04	,8570	11,9286	~995	,000167	2,07	~0,42	0,518	~12
Ganymed	J	,00716		7,1546	10,88	,0013	0,20	5276	,025	1,936	1,428	2,741	110
Titan	S	,00817		15,945	5,58	,0288	0,3485	5152	,0225	1,880	1,352	2,639	94
Calisto	J	,01259		16,689	8,20	,0074	0,192	4820	,018	1,834	1,235	2,440	134
Io	J	,00283		1,769	17,334	,0041	2,21	3643	,015	3,528	1,796	2.558	110
Měsíc	Z	,00257		27,3216	1,02	,0549	5,145	3474	,0123	3,346	1,622	2,38	220
Europa	J	0,245		3,55118	13,74	,009	0,470	3130	,008	3,01	1,314	2,025	110
Triton	N	,0024		-5,877	-4,39	,000016	156,88	2707	,00359	2,061	0,779	1,455	38
Rhea	S	,00352		4,5182	5,58	,0013	0,345	1526	,00039	1,236	0,265	0,635	76
Iapetus	S	,02380		79,3215	3,27	,02862	15,47	1469		1,088	0,224	0,573	115
Dione	S	,00252		2,7369	10,03	,0022	0,019	1123		1,478	0,233	0,51	87
Charon	P	17536		6,387	4,74	,0022	119,59	603,5		1,65	0,278	0,580	53
Miranda	U	129390		1,41348	6,68	,0013	4,232	471,6		1,20	0,079	0,193	60
Enceladus	S	,0016		1,370	12,64	,0047	0,019	504,2		1,609	0,114	0,239	75
Titania	U	,0029		8,7062	3,65	,0011	0,340	0,1235		1,711	0,38	0,773	70

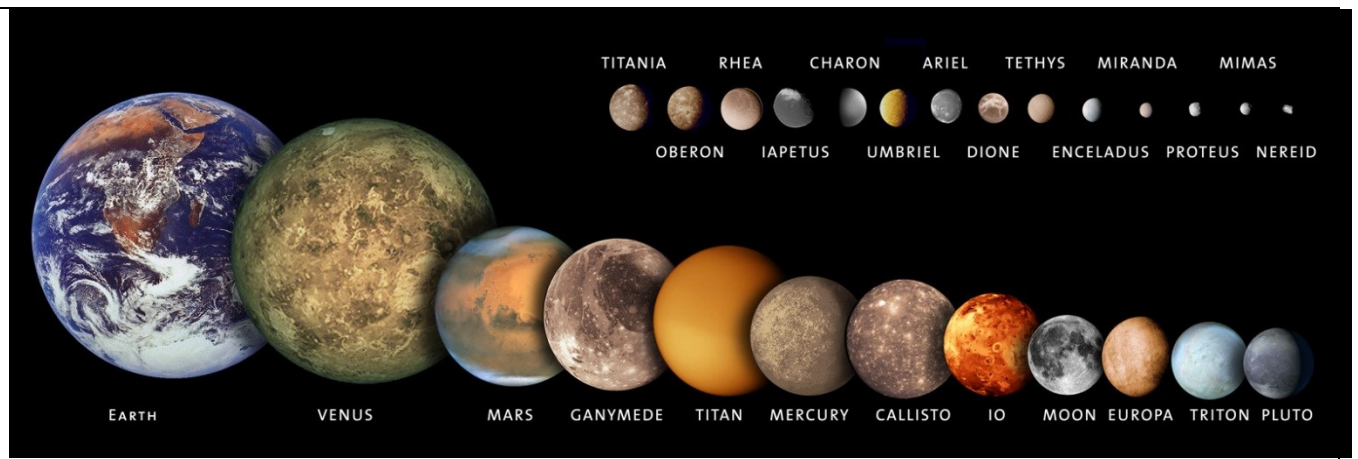
Vysvětlivky: zdroj SEEDS, M. + D. BACKMAN (2012), část en.Wiki (de. a cz.Wiki někdy zastaralé).

Ve **žlutém** sloupci jsou **červeně** symboly planet, v **bílém** sloupci ukazují příslušnost satelitu k planetě.

Z=1 vlastnost sloupce je v násobcích této vlastnosti Země; sklon oběhu je k rovníku jejich planety
Rovníkový průměr tělesa, *RZP*, je v násobcích rovníkového průměru Země; *kursivou* v km.

sloupce (vlastnosti) vlevo od silné čáry *oběhové*, vpravo *fyzikální*;

řádky planety: 4 typu Země, 4 typu Jupiter, 5 trpasličích (Pluto, Ceres, Quaoar, Eris, Sedna); měsíce.
 Alláhu akbar



Velikosti terestrických planet, Pluta a největších satelitů

c) Mezioběhové interakce planet a podobných těles

Zde se zmíním o výtečné diskusi na interakci plynných (vnějších) planet a podobných těles v nedávné aktualizaci anglické Wikipedie o planetě Pluto zde

https://en.wikipedia.org/wiki/Pluto#Relationship_with_Neptune .

4. Planety typu Země včetně satelitů („měsíců“)

Vnitřní, malé (nejvýš jako Země), složené z kovů a silikátů, velká hustota; otáčejí se pomalu na ose; nemají primární satelity (Měsíc vznikl nárazem objektu na Zemi, 2 několika-kilometrové satelity Marsu jsou zachycené asteroidy).

a) *Merkur — rychlý posel a obchodník*

Nejmenší planeta; velké kovové jádro (železo + nikl) způsobuje největší hustotu planety patrně díky meteorickému bombardování během první miliardy let, kdy silně ohřálo M. a roztáhlo okolo 10%. M. se brzo ochladil a smrštil, což někteří autoři dokládají „laločnatými“ zlomy („lobate scarps“; latinsky *lobus* = lalok, např. ve slovu Trilobit = trojlaločnatec) až 3 km vysokými a 500 km dlouhými. Slabé magnetické pole ukazuje, že jádro je částečně tekuté (příměs síry by mohla snížit teplotu tání). Slapové vzájemné působení se Sluncem způsobilo rezonanční synchronizaci 2 oběhů (každý 87,969 dní) rovnajících se 3 osovým rotacím (každá 58,646 dní): rotačně-oběhová vazba. Podobný Měsíci (černý: albedo 0,067%), mnoho nárazových kráterů. 0 atmosféra, velmi horké dny (300°C, max. 430°C, 700K), velmi studené noci (-183°C, 90K); výstřední a nakloněný oběh. 0 satelit; fáze.

<http://www.seds.org/nineplanets/nineplanets/Merkur.html>

b) *Venuše — nadlidský lásky žár?*

David H. Grinspoon: *Venus revealed*; Addison Wesley Longman Inc., 1997

Peter CATTERMOLÉ & Patrick MOORE, *Atlas of Venus*, Cambridge Univ. Press (<http://www.cup.org>), 1997, 160 pages; \$29.95

Její průměr (12.104 km) a vnitřní struktura (jádro, plášť a kůra) jsou podobné zemským, takže lze mluvit o zemské sestře nebo dvojčeti, jiné vlastnosti se však značně liší. V.-ina atmosféra, nejmnocnější ve sluneční soustavě (93 bar), nejen vyrovnává teplotní kolísání v čase a horizontálně, nýbrž enormně zvyšuje odpor proudění vůči překážkám na povrchu, a tím unášecí schopnost pevného materiálu a erosi. Ačkoliv ve srovnání s Merkurem je od Slunce skoro 2x dále, takže proti M. dostává V. jen ¼ slunečního záření na jednotku plochy, přes to skleníkový účinek 96,5% kyslíčnicku uhličitého (zbytek, cca 3,5%, je dusík) a silné mraky z kyslíčnicku sírového + kapiček koncentrované kyseliny sírové ohřívají V.-inu atmosféru a povrch do temně rudého žáru (>460°C). Životní prostředí povrchu V. (obrovský tlak, teplota, déšť koncentrované kyseliny sírové a odpor atmosféry proti pohybu) se dá charakterizovat jako peklo.

Adjektivum slova Venuše v češtině i angličtině naráželo na zajímavý problém: příslušný tvar v obou jazycích vyvolává asociace s venerickými chorobami. Možnost přejít na bohyni řeckou, Aphroditu, připomínalo afrodisiaka. Proto se občas užívá pro Venuši adjektivum cyterejský nebo kytterejský, které je odvozeno z názvu ostrova Cythera nebo Cyterea (Kytera nebo Kytorea), malý ostrov jv. od Peloponézského poloostrova, na nějž mytologie klade zrození obou bohyň z mořské lastury – viz např. obrazy Sandro Botticelliho [http://en.wikipedia.org/wiki/The_Birth_of_Venus_\(Botticelli\)](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Birth_of_Venus_(Botticelli)) a William-Adolphe Bouguereau http://en.wikipedia.org/wiki/William-Adolphe_Bouguereau.

Před několika miliardami let mohla být atmosféra V. mnohem podobnější zemské než dnes a na povrchu mohlo být i velké množství tekuté vody. Ta se však vypařila a podpořila skleníkový účinek. Minulým odpařováním vysvětlujeme na V.-i nejen dnešní nedostatek vody (0,01 – 0,1%), nýbrž i anomálně vysoký obsah deuteria (těžkého vodíku). Bílé mraky (nažloutlý nádech je vlivem dispergované síry) ve výšce 45 km až 60 km zcela zakrývají povrch pro pozorování ve viditelném světle (většinu informací máme z radarového snímání z umělých družic) a odrážejí většinu slunečního světla (největší planetární albedo 76). Rychlost větrů na povrchu V. je malá (cca 1 m/sec), ale se zvyšující se

výškou rychle vzrůstá až na 70 – 130 m/sek: tím oběhnou planetu za 4 dny, tedy 60x rychleji než vlastní rotace. Paradoxně, ve výšce 50-65km je atmosféra V. z celé sluneční soustavy svým tlakem (cca 1 bar) nejpodobnější zemské.

V. postrádá sice magnetické pole, ale její ionosféra, oddělující atmosféru od meziplanetárního prostoru, svým indukovaným magnetickým polem vylučuje působení slunečního magnetického pole.

Retrográdní (clockwise) pomalá rotace (243,01 dní) slapově vázaná na konjunktci se Zemí (oběh: 0,61515 let = 224,68 dní); aktivní vulkanismus a omezený vodorovný pohyb kůry (vrásnění) podobný deskové tektonice; fáze; 0 satelit.

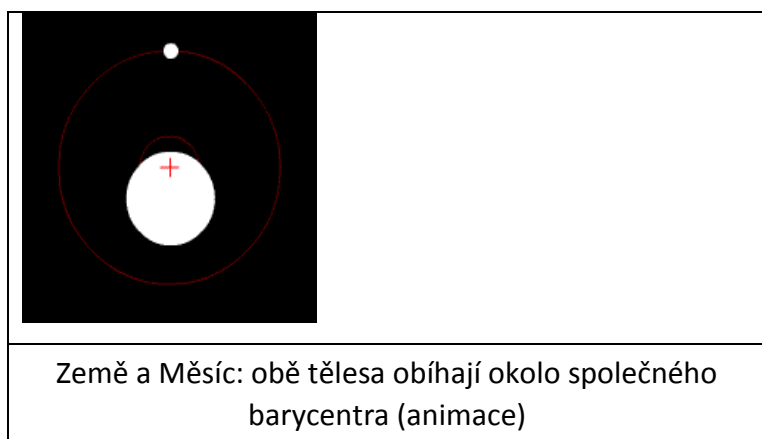
Kosmická loď Magellan vypuštěná 4. 5. 89 zkoumala Venuši během tří 243-dní (8 měsíců) dlouhých cyklů radarem s vysokým rozlišením (každý z 1000 polárních velmi eliptických oběhů srpen 90 – 25. 5. 93): obrázky *Sci. Am.*, říjen 90, No. 11; *The Planetary Report*, 11/91, No. 3/May, Jun 8-13. Od 25. května 93, 3 měsíce byly užity pro jeho aero-breaking k dosažení nízké (200-600km) dráhy, což umožnilo pátý cyklus, vysoce rozlišující gravitační mapování. V. se periodicky stává nejjasnějším objektem po Měsíci na obloze. Podle své oběhové polohy okolo Slunce může být večernicí nebo jitřenkou.

c) Země – naše učebnice a kosmická loď – 1 měsíc (Měsíc)

Největší planeta typu Země (12.756 km průměr). Částečně tekuté jádro (železo + nikl); středně silné magnetické pole; měkký plášť; měsíční a sluneční slapové vlivy na vodu, vzduch a pevné těleso; tření podél hlavních diskontinuit litosféry patrně ohřívá podpovrchovou kůru a plášť, což přispívá k magmatismu a vulkanismu; aktivní desková tektonika; jediná planeta s kapalnou vodou (je jednou z nejdůležitějších podmínek života): v oceánech, ledovcích, jezerech, řekách a v mracích. Původní atmosféra neobsahovala volný kyslík; posledních 400 milionů let: atmosféra z dusíku, kyslíku a argonu (v poslední době jen 0,035% CO₂, což umožňuje, že polární oblasti a vysoké hory jsou zaledněné téměř jako za posledních dob ledových); tlak 1 bar. Střední roční teplota 14°C = 57,2°F; hemisférická roční období sklonem rovníku k oběhu (ekliptice) – 23,5°; silné zvětrávání, eroze a horotvorné procesy téměř úplně vymazaly meteorické krátery (zachovaly se jen nejmladší 20 milionů let, výjimečně do 100 milionů let); dobře vyvinutý rostlinný a živočišný život; 1 satelit.

Zemská atmosféra se vyznačuje gravitační diferenciací (zvrstvením).

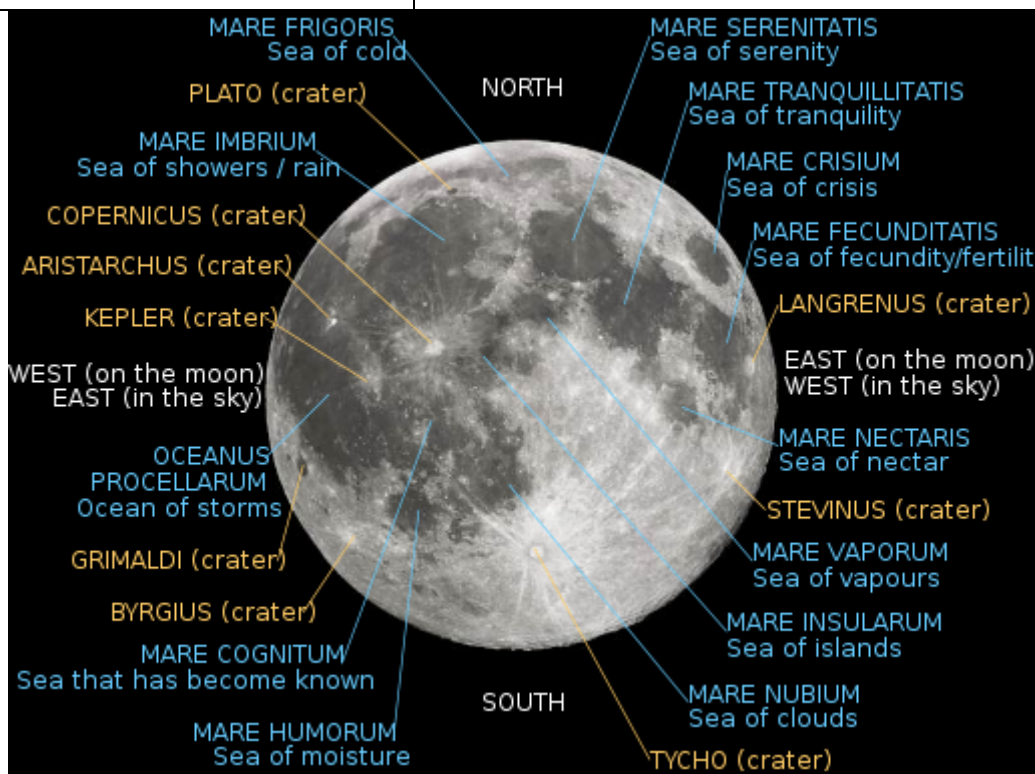
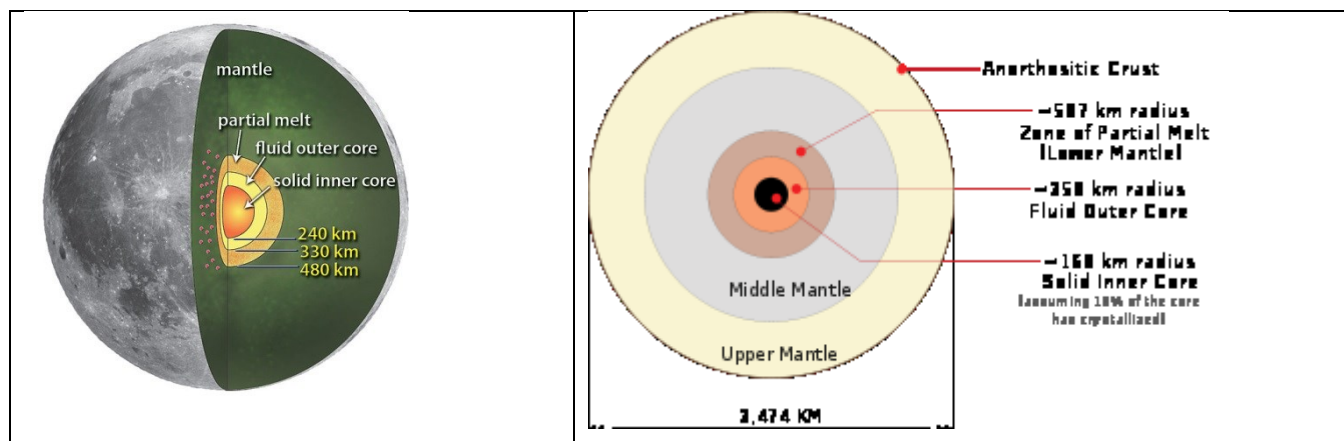
Vzájemné slapové působení Země – Měsíc (Slunce) zpomalují zemskou rotaci cca 2 milisekundy za století, Měsíc se vzdaluje 3,8 cm/rok. Před 900 miliony let měl rok 481 dní 18 hodin dlouhých.



MĚSÍC <http://mesic.astronomie.cz/> :
nejbližší kosmické těleso – střední vzdálenost od Země: 384.402 km (slapovými vlivy se vzdaluje o 3,8 cm/rok), pátý největší satelit sluneční soustavy (průměr 3.476 km), po lo druhý nejhustší satelit. Ačkoliv M. vypadá jako „stříbřité“ těleso, je tmavošedý (albedo Měsíce se mění podle fáze a úhlu dopadu a odrazu světla, a vzdálenosti Měsíce; průměrné albedo úplňku je ca 7%; viz

<http://www.asterism.org/tutorials/tut26-1.htm>). Těleso je diferencované podle hustoty do pevného vnitřního jádra bohatého na železo (poloměr 240km), tekutého vnějšího jádra (330km), okolní polotekuté vrstvy (480km), mafického pláště z olivínu, klino- a ortopyroxenu, bohatšího na železo než

zemský, a poměrně silné kůry (průměrně cca 50km) chudé na železo z vápenatého plagioklasu (anorthositu). Z minoritních prvků na povrchu jsou význačné titan, uran, thorium, draslík a vodík.



Měsíční kůra je na přivrácené straně a hlavně pod Aitkenovým kráterem (na jižním pólu; největší kráter sluneční soustavy: průměr 2500 km) o 15-20 km tenčí, čímž dochází k nesouměrnému rozdělení hmoty, které způsobuje gravitační „připoutání“ těžší části Měsíce k Zemi a tím udržuje jeho rotační synchronizaci s oběhem (gravitační vazbu, angl. tidal locking). Na přivrácené straně se slabší kůrou se mohly na povrch vylít velké hmoty lávy a vytvořily tmavá vulkanická maria mezi světlejší starší pahorkatinou.

Měsíc je jediným mimozemským tělesem, které bylo navštíveno lidmi: US-NASA Apollo program 1968 vyslal jako první lidskou posádku na oběh Měsíce, 1969-1972 6x posádku na povrch Měsíce, kde prováděla měření, odběr vzorků hornin, instalaci seismografu atd.. Lunární program Sovětského Svazu dopravil na Měsíc první kosmickou loď bez posádky v roce 1959.

Podle poslední uznávané hypotézy o vzniku Měsíce, která nejvíce odpovídá pozorováním, předpokládáme, že náraz planetesimálu, velkého aspoň jako je dnešní Mars (velký planetesimál měl hmotu ca 10% systému Země-planetesimál), na proto-Zemi, vymrštil velký kus zemského pláště s kůrou, který vytvořil okolo Země disk. Tento disk velmi rychle vytvořil Měsíc.

Tuto hypotézu podporují zvláště tato pozorování:

- Země se otáčí poměrně rychle okolo své osy (podobně jako Mars, který byl také urychlen), což odpovídá nárazu směřujícímu v rovině rovníku pod kosým úhlem mimo zemský střed.
- Náraz téměř zachoval úhlové momenty jak otáčení Země tak i oběhu Měsíce po dobu 4,5 miliardy let.
- Složení Měsíce odpovídá nárazu, který vytvořil Měsíc ze železem ochuzeného materiálu pocházejícího z už diferencovaného zemského pláště a kůry.
- Měsíc obíhal podle matematického modelu ve vzdálenosti cca 1,2 Roche-ova limitu od Země.

Záření Země na Sluncem neosvětlenou část Měsíce, např. při jeho fázi nov, se nazývá *zemský svit* "Earthshine", informuje o zemském klimatu: <http://spaceflightnow.com/news/n0104/18earthshine/>.

d) Mars — rudý oxidací železa volným kyslíkem — 2 měsíce

Mars, The Story of the Red Planet, by Peter Cattermole, Chapman & Hall 1993, 224 pp.;

<http://mpfwww.jpl.nasa.gov/mpf/marswatch.html>
<http://mgs-www.jpl.nasa.gov/> Nat. Geogr., Feb. 2001
http://en.wikipedia.org/wiki/Mars_Science_Laboratory.

Mars je čtvrtá planeta od Slunce, druhá nejmenší a nejčervenější sluneční soustavy (dalším červeným objektem je trpasličí planeta Sedna). Díky červené barvě byl Mars pojmenován podle římského boha války a často označován jako *Červená planeta*. Tuto barvu působí silně oxidované (trojmocné) železo rozptýleného hematitu, Fe_2O_3 (*haemos* je řecky krvavě červený), který může vznikat jen volným kyslíkem chybějícím v dnešní atmosféře Marsu: 95,32 % kysličník uhličitý, 2,7% dusík, 1,6% argon, 0,13% kyslík, 0,08 kysličník uhelnatý. Z vnitřních planet má Mars nejmenší hustotu. Průměr Marsu 6.796km je 53 % zemského. Mars je hmotnější než Merkur, ale nízkou hustotou ($3,935 \text{ g/cm}^3$) dosahuje gravitace Marsu téměř hodnoty gravitace Merkuru. Řídká atmosféra (7,4 mbar; na Zemi je tento tlak ve výšce 30 km; při tomto tlaku se zvuk šíří rychlostí cca 110 m/sek) nemůže vyrovnat teplotní kolísání způsobené jak excentrickým oběhem, tak i sklonem rovníku k oběhu ($23^\circ 59'$; hemisférická roční období). Když je M. ke Slunci nejbližší, ohřev povrchu vede až k nadzvukovým větrům ($>110 \text{ m/sek}$), vyvolávajícím bouře jemného písku až siltu, které několik měsíců zakrývají povrch Marsu: cca $\frac{1}{3}$ slunečního záření je absorbována mraky, povrch se ochladí, až se větry utiší a atmosféra vyčistí. Teplota: roční průměr -63°C , zimní minimum -143°C (kysličník uhličitý na zimním pólu krystalizuje jako sníh), letní maximum $+35^\circ\text{C}$. M. se otáčí jako Země: je jen o 37 minut pomalejší (den na Marsu, sol, trvá 24h37m23s). Podobný jako Země je i sklon rovníku k oběhu – $25,19^\circ$. *Hemisférická* roční období jsou však silněji než na Zemi kombinována s *globálními* následkem mnohem větší oběhové excentricity.



Olympus Mons — štítová sopka s několika se

překrývajícími kalderami a bočním zářezem s bílou aureolou okolo base



Phobos - barevně zesílený snímek získaný *Mars Reconnaissance Orbiterem* 23. března 2008. Z nárazových kráterů největší *Stickney* je nahoře.

V minulosti silná vulkanická aktivita. *Olympus Mons* je nejvyšším vulkánem ve sluneční soustavě; nejvyšší horou je středový kopec nárazového kráteru Rhea Silvia na asteroidu 4 Vesta [zjistila sonda Dawn v roce 2011], vodní eroze & sedimentace (včetně sádrovce a jílových minerálů); množící se důkazy práce tekuté vody (strouhy, angl. *gullies*, etc.). Velká území byla dříve pokryta mělkou vodou. Dva několika–km **satelity** (*Phobos*, 22,2 km a *Deimos*, 12,4 km; patrně zachycené asteroidy uhlíkatého typu C). *Phobos* obíhá M. 3,96x rychleji než *Deimos*, tedy i než Marsovo otáčení, takže se slapově zpomalí, přiblíží Marsu a při překročení Roche-ho hranice se rozpadne na prstenec, jehož částice budou padat na Mars.

O **návštěvy Marsu** se lidstvo pokouší od 60-tých let: zhruba 2/3 projektů bylo neúspěšných, protože vzdálenost 14 až 15 světelných minut vyžaduje řízení spolehlivým autonomním programem computeru sondy. První průlet v blízkosti Marsu provedl NASA Mariner 4 14. - 15. 7. 1965. Mariner 9 se od 14. 11. 1971 stal prvním satelitem Marsu a tím jiné planety vůbec. První přistání se podařilo dvěma sovětským sondám Mars 2 27. 11. 1971 a Mars 3 2. 12. 1971. Mars 2 však nepřežil sestup a Mars 3 přestal fungovat několik vteřin po přistání. Mars 6 v roce 1974 také, ale odeslal údaje o atmosféře Marsu. V roce 1975 NASA zahájila program Viking: dva satelity, každý vybavený přistávacím modulem, landerem. Vozítko (rover) Spirit našlo v březnu 2007 sloučeniny s vodními molekulami a že větrem transportovaný prach a silt je zřejmě všude na Marsu magnetický (nejen v kráteru Gusev). Magnetismus je způsoben magnetitem, který má na M. vysoký obsah titanu. V současné době operuje na Marsu sedm kosmických sond: pět obíhajících (*Odyssey*, *Express*, *Mars Reconnaissance Orbiter*, *MAVEN*, a od 24. 9. 2014 první indická mise *MOM - Mars Orbiter Mission*) a dvě pohyblivé na povrchu – vozítka *Opportunity* http://en.wikipedia.org/wiki/Mars#Exploration_timeline , a *Curiosity*: <http://www.360cities.net/image/mars-panorama-curiosity-solar-day-177#13.70,23.50,85.0>

Mars je dobře viditelný pouhým okem, jeho zdánlivá magnituda může dosáhnout jasnosti až –3,0, tedy hodnoty, která může být převýšena pouze Jupiterem, Venuší, Měsícem a Sluncem.

5. Planety typu Jupiter včetně satelitů („měsíců“) a prstenců

Obři z plynů (cca 90% vodík, 10% helium) v hloubce stlačených do kapalného příp. tuhého stavu; malá hustota, otáčí se rychle na ose, >138 měsíců, různé typy prstenců.

a) *Jupiter — král sluneční soustavy, kandidát druhého Slunce; 66 měsíců*

David Morrison & Jane Samz: *Voyage to Jupiter*; NASA SP-439, 199 pages, 1980;

<http://www.jpl.nasa.gov/galileo/Jovian.html>

<http://sed.s.lpl.arizona.edu/nineplanets/jupiter.html>

http://www.esa.int/esaCP/SEM9I4QWJ1H_index_0.html

Největší planeta (11 průměrů, 1321 objemů, 318 hmot Země) dominuje sluneční soustavě. Malá hustota ($1,33 \text{ g/cm}^3$); průměrná vzdálenost od Slunce je 5,202561 AU. Se Saturnem se nejrychleji otáčí na ose (otočka 10 hodin). Jeho atmosféra je v neustálém pohybu poháněném únikem tepla ze žhoucího nitra a slunečním světlem. Energetické atomové částice proudí okolo něho, řízené silným magnetickým polem, které sahá skoro 10.000.000 km do okolního prostoru zahrnujícího 7 vnitřních měsíců. Z hlubokého nitra skrze vroucí mraky ven do své pulsující magnetosféry, Jupiter je místem neuvěřitelné energie.

Po Venuši může být Jupiter **druhou jitřenkou** nebo jindy večernicí.

Vznik Jupiteru

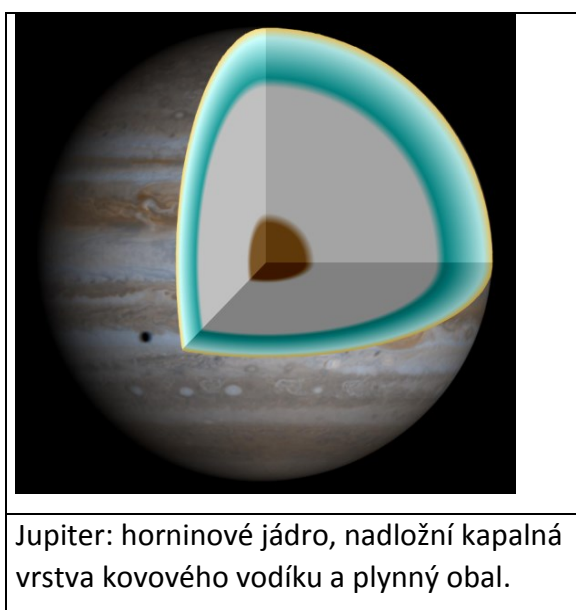
Při svém vzniku J. zářil jako hvězda. Energie z dopadů materiálu sluneční mlhoviny zahřála jeho nitro. Čím dále rostl, tím byl teplejší. Když byla většina materiálu mlhoviny spotřebována, J. měl pravděpodobně průměr 10x větší než dnes, ve svém středu teplotu cca 50 000 K a luminozitu cca 1% dnešního Slunce. V tomto raném stadiu J. konkuroval Slunci. Kdyby se stal 70x hmotnější než byl, mohl by se dále komprimovat a zvýšit teplotu do zažehnutí soběstačné nukleární fúze ve svém středu. Pak by se Slunce stalo **dvojhvězdou**, a Země a ostatní planety by se nemusely vytvořit. Avšak J. se nestal hvězdou: po krátkém zazáření začal chladnout. Nejdříve pokračoval ve **smršťování**. V prvních deseti milionech let se zredukoval téměř na svou dnešní velikost, během posledních 4,5 miliardy let se smršťil jen o několik procent. S konvekčním tokem tepla k povrchu a jeho vyzářením do prostoru klesala i luminozita. Za milion let J. vyzařoval jen stotisícinu slunečního záření a dnes je to pouhá miliardtina vnitřní energie, která, i když je na hvězdné poměry malá, významně ovlivňuje planetu. Zhruba 108 Gigawattů přichází na povrch ze **stále vyzařujícího nitra**: vyzařuje 1,67x víc než přijme ze Slunce.

Dopady komet na Jupiter

Známý italský astronom Giovanni Cassini zaznamenal náraz komety na Jupiter a následnou skvrnu pozoroval již 5. - 23. prosince 1690 (*Astronomy*, May 97, p. 34+36). 15 až 22. července 1994, Jupiter prodělal serii nárazů 20 fragmentů komety **Shoemaker-Levy 9** (*Astronomy*, říjen 94, 40-45; viz zprávu o sondě Galileo v *Astronomy*, říjen 95, p. 34-41, April 96, p. 42-5). Tato kometa byla zřejmě krátkodobou s oběhem mezi Jupiterem a asteroidy. Mezi polovinou 60-ých a počátkem 70-tých let byla patrně zachycena J.-ovou gravitací a stala se jeho satelitem s dvouletým oběhem a velkou excentricitou (0,9986). 7. července 1992 se J.-ovi přiblížila více než na Roche-ův limit, což ji rozdrobilo na 20 úlomků A až W http://en.wikipedia.org/wiki/Comet_Shoemaker%E2%80%9393Levy_9, které za dva roky postupně dopadaly na jižní část Jupiteru http://en.wikipedia.org/wiki/Roche_limit. Stopy po dopadu na J. byly viditelné několik měsíců, část dokonce výrazněji než GRS, 14 měsíců byly v J.-ově stratosféře pozorovány zvýšené obsahy amoniaku a sírouhlíku. Zvýšené teploty nárazů poklesly mnohem rychleji (velké černé stopy během týdne, malé černé stopy během 2 týdnů). Globální stratosférické teploty stouply okamžitě, po 2 týdnech poklesly na teplotu nižší než normálně, která se po 2-3 týdnech normalizovala.

Smrštění plynného obra zrychlilo jeho rotaci

Hmota J.-u je 2,5x větší než všech planet dohromady. Barycentrum soustavy J. – Slunce je nad povrchem Slunce – 1,068 poloměru Slunce. Průměr J.-u je cca 1/10 slunečního a jeho hmota 0,001 sluneční hmoty; hustoty J. i Slunce jsou velmi podobné. Zvětšením hmoty by se objem J.-u začal zmenšovat až od 1,6 hmot J.-u (500 hmot Země). Proto se vývojem objem J.-u asi nebude dále smršťovat. Jaderná fúze by se zažehla až od 50-ti hmot J.-u. (*masivní hnědí trpaslíci*).



Jupiter: horninové jádro, nadložní kapalná vrstva kovového vodíku a plynný obal.

Předpokládáme, že J. má husté jádro ze směsi prvků, obklopené kapalným kovovým vodíkem s trochou helia a že vnější vrstva se skládá hlavně z molekulárního vodíku. Další vlastnosti jsou velice nejisté. Jádro o hmotě 12 – 45 Zemí (3% - 15% hmoty J.-u) se může skládat z hornin. 5-letá mise *Juno* (5. 8. 2011 – 4. 7. 2016) by mohla zpřesnit naše představy (33 11ti-denních polárních oběhů). Na povrchu jádra J.-u je teplota cca 36,000 K, dostatečná, aby ho udržovala v roztaveném stavu (J. je patrně celý tekutou planetou, bez pevného jádra).

Pro svou velkou hmotu, J. nedosáhl diferencované **složení**. Svou mocnou gravitací J. vtáhl a udržel plyny i pevné látky sluneční mlhoviny. Proto má téměř *stejné základní složení jako Slunce*, takže obě

tělesa jsou zachované vzorky původního kosmického materiálu, z něhož se sluneční soustava vytvářela: 90% vodíku, 10% helia (poměr 0,11 blízky Slunci, 0,12), stopy metanu (CH_4), amoniaku (NH_3), vody (H_2O), etanu (C_2H_6), germanu (GeH_4), acetylenu (C_2H_2), fosfanu (PH_3), kysličníku uhelnatého (CO), kyanovodíku (HCN) a kysličníku uhličitého (CO_2).

Nejvyšší mraky jsou patrně *amoniakové ciry*, vrstvy dispergovaného hydrosulfidu amonného (NH_4SH , známý jako „smrdutá bomba“) a vody existují pravděpodobně v hlubších hladinách. Všechny tyto mraky se tvoří v **troposféře**, vrstvě s konvekci. V 70 km nad amonným mrakem je tlak 1 bar a teplota cca -113°C . Nejnižší teplota -173°C je na tlakové hladině 0,1 bar. Nad ní je **stratosféra**, kde plyn resp. aerosolové částice podobné smogu absorbují sluneční záření, a teplota s výškou stoupá. Amonný cirus je bílý. I když mraky vykazují neobyčejnou řadu barev, jako jsou oranžové a žluté, zřejmě vlivem stop nečistot z organických polymerů, vzniklých ze složek atmosféry jako je metan a amonium, které reagovaly vlivem blesků, a síry z erupcí satelitu Io.

Velká červená skvrna (GRS) je gigantická stacionární anticyklona, hurikán (zóna vysokého tlaku), známá od 17. století. Její velikost je cca 2,5 Země. Její **barva** může být způsobena červeným fosforem (P_4). Podle této teorie, fosfan (PH_3) by se dostával nahoru stoupavými proudy GRS z hloubky atmosféry. Sluneční UV-záření pronikající horní částí GRS, rozbíjí fosfanové molekuly a řadou reakcí převádí fosfan na čistý fosfor. Tato teorie bohužel selhává při vysvětlení menších červených skvrn, jež nedosahují takových výšek jako GRS (nejvyšší a nejchladnější J.-ovy viditelné mraky), takže je nepravděpodobné, že UV světlo by mohlo reagovat s fosfanem a produkovat červený fosfor. Různé formy elementární síry by mohly působit paletu barev pozorovaných na J.-u. **Sírové polymery** (S_3 , S_4 , S_5 , S_8), které jsou žluté, červené a hnědé, zřejmě pochází ze silných vulkanických erupcí tekuté síry z blízkého měsíce **Io**, kde způsobují pestrobarevnost Io.



Voyagerovy obrázky odkryly planetu se složitými atmosférickými pohyby. Svrny stíhají jedna druhou, setkávají se, víří, proplétají a pak zase rozdělují; vláknité struktury se svíjejí do spirál, pak otvírají; péřové mrakové soustavy zasahují do sousedních oblastí, kumulové mraky vypadající jako pštrosí péra se mohou náhle prosvětlit a vznášet se na východ; svrny proudí okolo GRS nebo jsou zachyceny do víru – vše za neuvěřitelné hry barev, textur a východních proudění. Takové změny můžeme zaznamenat pouze z vesmíru během několika dní. Jednotlivé jevy se sunou podél svých zeměpisných šířek, i velké

bílé ovály a GRS. Malé struktury vznikají a končí. Největší skvrny se mohou pomalu smršťovat a sama GRS mění velikost a barvu.

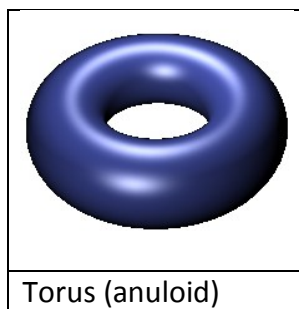
J. dob Pioneerů 10 a 11 (1973 a 1974) byl zcela jiný než za návštěv Voyagera 1 a nedávno družice *Galileo* a sondy *New Horizons*. V době Pioneerů, GRS, uložená v obrovské bílé zóně, byla stejnoměrněji zbarvená a na severní polokouli kolovaly bledě hnědé pásy. V uplynulých letech, jižní mírné zeměpisné šířky se změnily úplně, rozvíjely složité turbulentní mraky okolo GRS z dob Voyagera 1. Zdá se, že J. procházel dynamickým „faceliftem“ i mezi oběma Voyagery. Na první pohled fotografie z Voyagera 2 ukazují tvář známou od počátku 1979, ale bližší prohlídka ukáže rozdíly. Bílé pásy pod GRS, dosti široké během prvního průletu, dostaly tenkou bílou pásku na jižním okraji GRS. Západně od ní se turbulence protáhla a zjemnila víc než dřív. Malé točící se mraky v této oblasti se zdají tvořit vně. Východně od GRS se mraky rozšířily, pokryly severní rozhraní a zabránily malým mrakům obíhat velký červený ovál. Sama GRS se rovněž změnila. Její severní hranice se zdá – aspoň vizuálně – více vynikat z mraků, které ji obklopují, a zdá se barevně stejnoměrnější, podobně jako vypadala v době Pioneerů. Po pruhovaných pásách a zónách jsou nejzřejmějšími vlastnostmi GRS a tři bílé ovály, často nazývané „bouřemi“ J.-ovy atmosféry. Velikost oválů je blízká Měsíci, GRS 2,5-násobku Země. Voyager ukázal, že bílé ovály vzniklé roku 1939, následují svou starou červenou příbuznou.

Všechny čtyři skvrny jsou anticyklonické jevy jižní atmosféry, vykazující ccw rotaci, takže jsou meteorologicky podobné. I menší světlé eliptické a kruhové skvrny jsou anticyklonní: rotují cw na severní a ccw na jižní polokouli. Všeobecně jsou tyto jevy obklopeny vláknitými prstenci tmavšími než skvrny uvnitř. Některé z nich naznačují spirální strukturu. Všechny eliptické skvrny na jižní polokouli leží jižně od silného západního tryskového proudění. Směrem k pólům se skvrny stávají kruhovější. Podél severní hrany rovníku je mnoho mrakových „bublin“, které se zdají být pravidelně vzdálené okolo planety. Některé z nich se rychle rozsvěťovaly, což může být příznakem konvekční aktivity; některé se podobají konvekčním tropickým bouřím na Zemi. Bubliny putují k východu rychlostmi 100 – 150 m/sek, ale nepohybují se jako jednotka. Nejviditelnější vzájemné působení mraků se odehrává v oblasti GRS. Materiál uvnitř GRS rotuje jednou za 6 dní. GRS je oblastí atmosférického stoupání, které zasahuje do velkých výšek, avšak zmíněný rozbíhavý proud se zdá být velmi malý – jeden světlý jev byl pozorován, že obíhá GRS 60 dní aniž by podstatně měnil vzdálenost od středu skvrny. Během Voyagerova průletu byly vidět skvrny pohybující se od východu ke GRS, proudí podél jejího severního okraje a pak proudí buď na západ, nebo do vnějších oblastí jeho víru.

Nehledě na turbulenci J.-ovy atmosféry – tato věčně se měnící chaotická směsice cyklonních a anticyklonních proudů, oválů a vláken, červení, hnědí a bělob – jakési vysvětlující schéma /pořádek ve zdánlivě náhodném míchání se může vynořit v J.-ově atmosféře. Předně, změny jsou v jistém smyslu cyklické. Další pořádek je ve střídajících se pásách a zónách: mračny pokryté zóny jsou patrně oblasti stoupajícího vzduchu a pásy klesajícího vzduchu (s malou vertikální cirkulací); navíc, okolo rovníku jsou vodorovné nebo zonální proudy – pravidelné rozdělení východních a západních tryskajících proudů (rychlost -80 — +100 m/sek). Dlouhodobé trvání zůstává záhadou. Nedávná řada cca 20 nárazů rozdrobené komety Shoemaker-Levy 9 v červenci '94 byla zaznamenána jak ze Země a Hubble-ova vesmírného teleskopu tak i přímo ze sondy *Galileo*.

Voyagery zaznamenaly několik meteorických stop na temné straně J.-ovy atmosféry. Při dopadové rychlosti zhruba 60 km/sek, tyto ohnivé koule krátce zazařovaly na drahách dlouhých okolo 1000 km. V polárních oblastech byly často pozorovány obrovské polární záře (jak v UV tak ve viditelném světle).

UV polární záře vznikají, když vysoce energetické částice z plasmového toru (anuloidu) ve spirále dopadají na linie J.-ova magnetického pole.

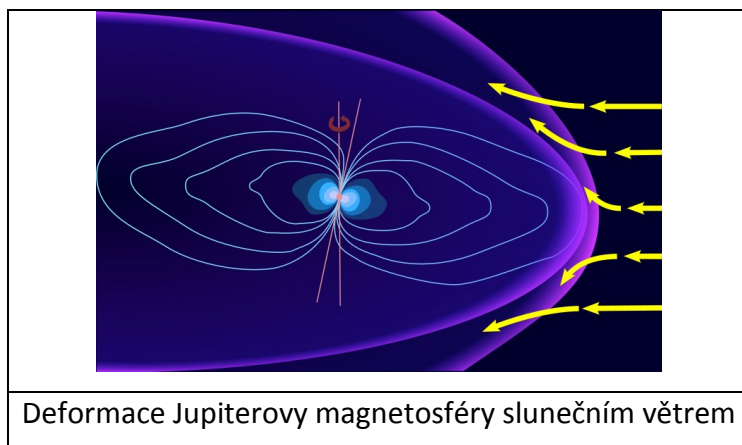


Torus (anuloid)

Také **shluky blesků** – ukazující na elektrické bouře – byly objeveny na J.-ově noční straně, nezávisle na zeměpisné šířce. Voyager 1 zachytil 19 super-shluků blesků zároveň, Voyager 2 jich zachytil 8. Bleskové výboje doprovázejí radiové emise (pískání).

Hluboko uvnitř J.-u je tlak tak veliký, že se tekutý **vodík** stává **elektricky vodivý jako kov**. V tomto kovovém jádře předpokládáme proudy poháněné rychlou rotací planety. Výsledkem je **magnetické pole**, které proniká prostorem okolo J.-u; jeho síla je 4000-krát větší než zemského. Osa dipólu neprochází středem J.-u, nýbrž je posunutá o cca 10.000 km a skloněná 11° od rotační osy. Při každé otočce se pole kolébá nahoru a dolů, a nese s sebou zachycenou plasmu a radiační pásy.

Nejgigantičtější J.-ovou vlastností je jeho **magnetosféra**, která obklopuje satelity a neustále mění velikost, čímž pumpuje sluneční vítr dovnitř i ven. Její hranice proti slunečnímu větru leží 50 – 100 J.-ových poloměrů. Po slunečním větru (od Slunce), magnetosféra zasahuje mnohem dál, snad až za dráhu Saturnu. Právě v místě dopadu slunečního větru na magnetosféru je „**horká skvrna**“ **sluneční soustavy**: 300 – 400 milionů stupňů plasmu. I sluneční jádro se odhaduje na teplotu méně než 20 milionů stupňů – teplota J.-ovy plasmu na onom místě je nejvyšší změřená ve sluneční soustavě. Na štěstí pro Voyager, je toto místo i vysokým vakuem. Kosmická loď byla jen v malém nebezpečí: J.-ova magnetosféra drží většinu částic blíže k planetě.



Deformace Jupiterovy magnetosféry slunečním větrem

3 Pásky tmavých prachových prstenců okolo Jupiteru

Sahají od nejvyšší atmosféry do vzdálenosti 53 000 km nad vrcholy mraků, 1,8 J.-ova poloměru od jeho středu; hlavní prstence jsou však mnohem užší, od 47 000 km do 53 000 km nad Jupiterem. J. má dva hlavní prstence, jeden prstenec jasnější 5000 km široký a vnější 800 km. Tloušťka je pod 30 km, patrně pod 1 km. Zřejmě jsou částice silně dispergované (Pioneer 11 překročil prstenec v roce 1974 bez viditelných následků); jsou tak jemné jako cigaretový kouř. Částice prstence se okolo J.-u pohybují po individuálních oběžích za 5 – 7 hodin.

Vlastnosti prstenců Jupiteru:

Název	Poloměr (km)	Šířka (km)	Tloušťka (km)	Prachová frakce τ	Hmota, kg	Poznámky
Halo prstenec	92 000–122 500	30 500	12 500	100%	—	
Hlavní prstenec	122 500–129 000	6 500	30–300	~25%	107– 109 (dust) 1011– 1016 (large particles)	Vázaný na Adrasteu
Amalthea tenký	129 000–182 000	53 000	2 000	100%	107– 109	Vázaný na Amaltheu
Thebe tenký	129 000–226 000	97 000	8 400	100%	107– 109	Vázaný na Thebe. Pokračuje za Thebe.

63 satelitů Jupiteru

Satellites of Jupiter by David MORRISON (Inst. of Astron, Univ. Hawaii, Honolulu, HI; Editor),
Univ. of Arizona Press, Space Science Series, Tucson, AZ 1982, 974 pages
nedávné podrobné výsledky z kosmické lodi Galileo a z Hubblova vesmírného teleskopu (HST):

Galileo turns geology upside down on Jupiter's icy moons;

Science (AAAS), vol. 274, 18. 10. 96, p. 341; také p. 377 - 412;

<http://www.jpl.nasa.gov/galileo/>

<http://www.planetary.org/explore/topics/jupiter/>

Jupiterův systém dominují **4 Galileovy satelity**, jejichž velikost sahá od trochu menších než Měsíc (**Europa**: 3130 km; hustota 3,04 g/cm³) až skoro k tak velkému jako je Mars (**Ganymede**: 5276 km; hustota 1,93 g/cm³); zbývající dva jsou **Io** (3640 km; vyniká maximální hustotou satelitu sluneční soustavy: 3,55 g/cm³) a **Callisto** (4840 km; hustota 1,83 g/cm³). Oběhy: skoro kruhové v rovině J.-ova rovníku, uvnitř vnitřní J.-ovy magnetosféry, kde na sebe silně působí energetické částice a plasma. *Io je vulkanicky nejaktivnější těleso sluneční soustavy.*

Laplacova (Marquis de L., titul Pierre Simona, 1749 – 1827, francouzský matematik a astronom) rezonance oběhů Io, Evropy a Ganymeda vyvolává oběhové změny a **slapový ohřev** (zvláště na Io) vznikající z nekruhového pohybu v obrovském tíhovém poli J.-u.. Energie (Io: 107 - 108 MW, Europa 105 - 106 MW) závisí na rezonanční vazbě; s vývojem rezonance se ohřev také vyvíjel. Slapová deformace do protáhlého sféroidu způsobila, že Galileovy satelity *se otáčejí synchronně se svými oběhy* (jako náš Měsíc). Kdyby tyto satelity byly na přesně kruhových oběžích, slapová boule by byla nepohyblivá a nebylo by ani slapové hnětení ani ohřev. Boule by byla 8 km vysoká.

Io – satelit připomínající pizzu

Nehledě k tomu, že díky fokusujícímu účinku J.-ova gravitačního pole Io by měla být mnohem více meteoricky bombardovaná než kterýkoli jiný satelit, nebyl nalezen jediný nárazový kráter, protože povrch je velmi mladý a geologicky aktivní. Vulkanické výtrysky stoupají do 70 až 280 km nad povrch, rovněž byly objeveny rozsáhlé lávové proudy. Láva sestává z roztavené síry; vulkanismus je poháněn kyslíkem siřičitým. Polymery síry způsobují nápadnou červenou a oranžovou barvu; rozsáhlé bílé plochy se skládají ze sněhu kyslíku siřičitého. Malé těleso jako Io, které je jen o málo větší než Měsíc, mělo již dávno ztratit teplo z akrece a zanedbatelné teplo z radioaktivního rozpadu. Ostatní Galileovy satelity však způsobují odchylky Io oběhů tak, že se její vzdálenost od J.-a trochu mění (422.000 km; oběžná doba 1,769 dní; nepatrná oběhová excentricita a oběhový sklon). Jupiterovo gravitační pole je tak silné, že i tak malé změny způsobují velké slapové deformace Io a tím vyvolávají dostatečný vnitřní ohřev pro všechnu sopečnou činnost. Io má patrně roztavené silikátové nitro, zřejmě s pevným jádrem, převrstveným kapalnou sírou několik kilometrů hlubokou. Nad ní je vrstva ze směsi pevné síry a tekutého kyslíku siřičitého (SO₂) pokrytá pevnou kůrou ze síry a kyslíku siřičitého. Bylo nalezeno mnoho teplých oblastí, nejvýraznější jižně od sopky Loki: podivný černý útvar ve tvaru písmene U o teplotě 17°C, kontrastující s okolním povrchem o teplotě -146°C. Útvar mohl být lávové jezero z roztavené horniny nebo síry. Síra taje při 112°C. Na povrchu jezera patrně tuhlá škraloup síry.

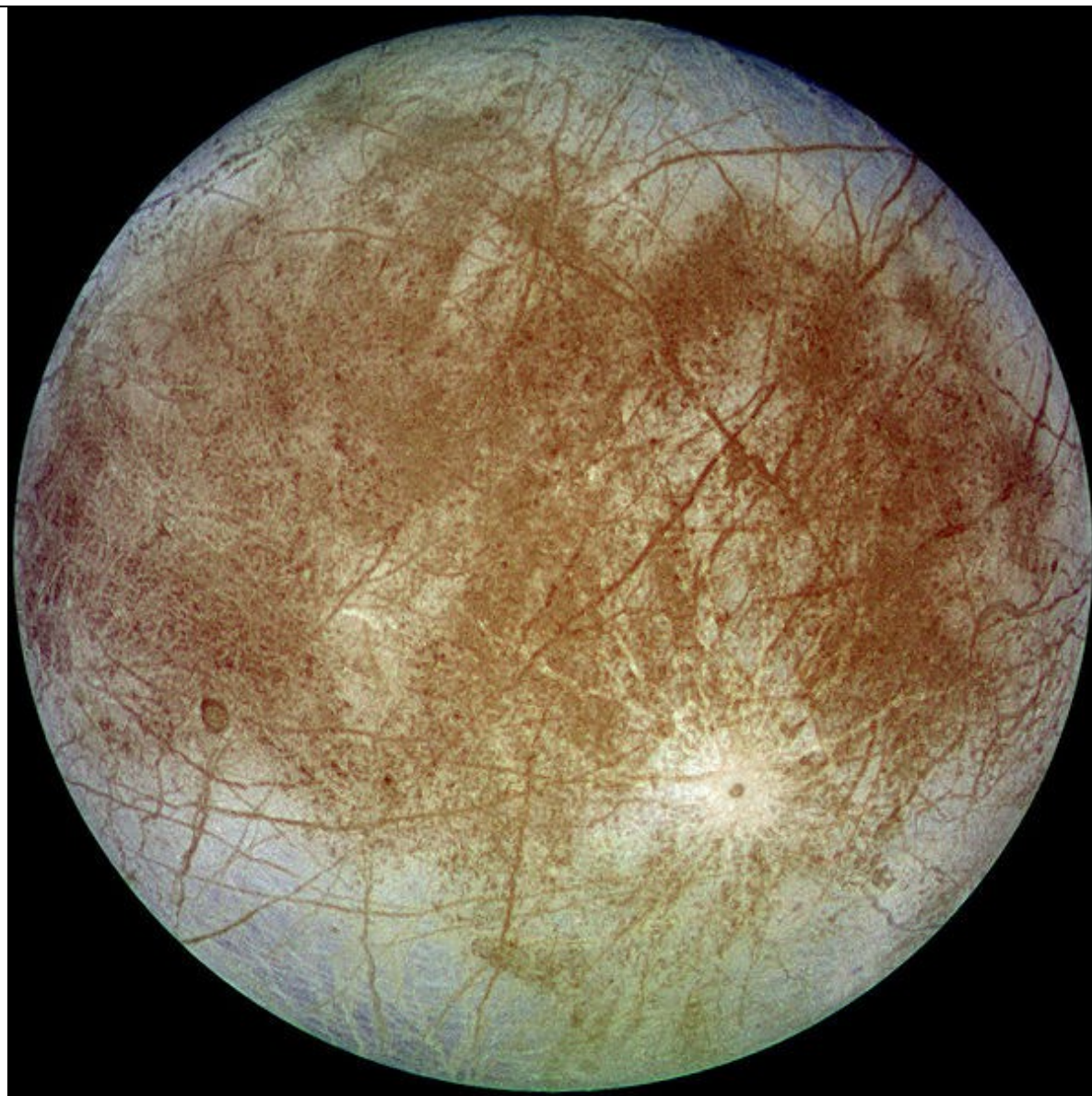


Io —snímek z kosmické lodi *Galileo*. Tmavá skvrna vlevo od středu je soptící vulkán *Prometheus*. Bělavé plochy po jejích obou stranách jsou pokryté námrazou vulkanického kysličníku siřičitého, zatím co žlutější oblasti jsou pokryté kůrou s vyšším obsahem síry.

Viz též: <http://vzdalenesvety.cz/index.php/slunecni-soustava/66-io>

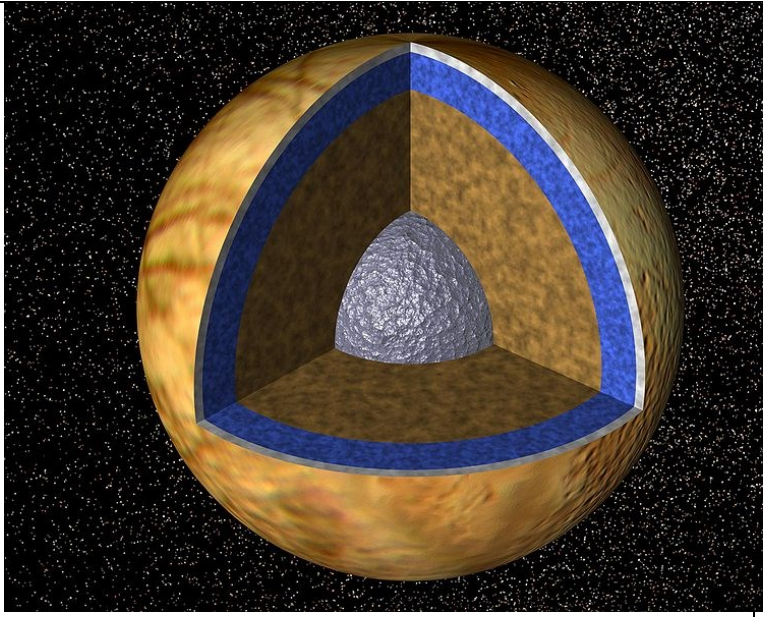
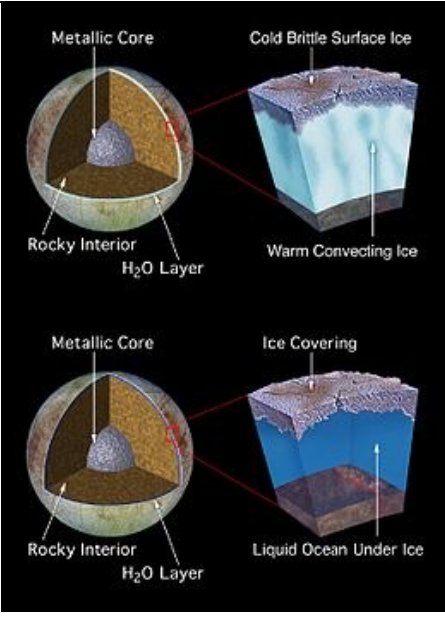
Europa — satelit pokrytý mořem, nadějný na mikroskopický život

Europa je dalším satelitem směrem od J.-u. Velikostí a hustotou je velmi podobná Io (a Měsíci), má slabší slapový ohřev (105– 106 MW, <http://solarsystem.nasa.gov/europa/tidemovie.cfm>) než Io, jinak je ale ve sluneční soustavě jedinečná: našli jsme na ní jen málo malých nárazových kráterů; zbytek povrchu je neuvěřitelně hladký. Síť přímých, zakřivených a nepravidelných čar pokrývá celý povrch, a čáry jsou široké od méně než 10 km až 70 km. Jsou tam i nahodile rozmístěné tmavé skvrny, ale všechny tyto značky se zdají být nepatrně vysoké, takže satelit dostal přezdívku „*kulečnicková koule počmáraná filcovým markerem*“. Ještě podivnější je další síť značek, tentokrát slabých a světle zbarvených, zcela nezávislá na tmavých, a pokrývající celý satelit. Tyto jsou jen cca 10 km široké a ukazují jistý vertikální relief i když nižší než několik set metrů. Avšak nejpřekvapivější na těchto hřbetech je, že nejsou přímkové: probíhají napříč povrchem v pravidelných řadách křivek a zoubků, cca 100 km až 300-400 km napříč. Části povrchu jsou pokryty *zjevně čerstvou vodní jinovatkou*, jakož i stopami síry (téměř jistě z Io). Avšak síry je tam méně než by se mohlo očekávat, což může znamenat, že některé byly překryty uloženinami čerstvé jinovatky. Tyto úvahy, spolu s nedostatkem nárazových kráterů, ukazují, že na Europě ***dosud probíhají procesy uhlazující povrch***. Europa, jako Io, podléhá ***slapovým silám***, které by mohly udržovat vnitřní ohřev.



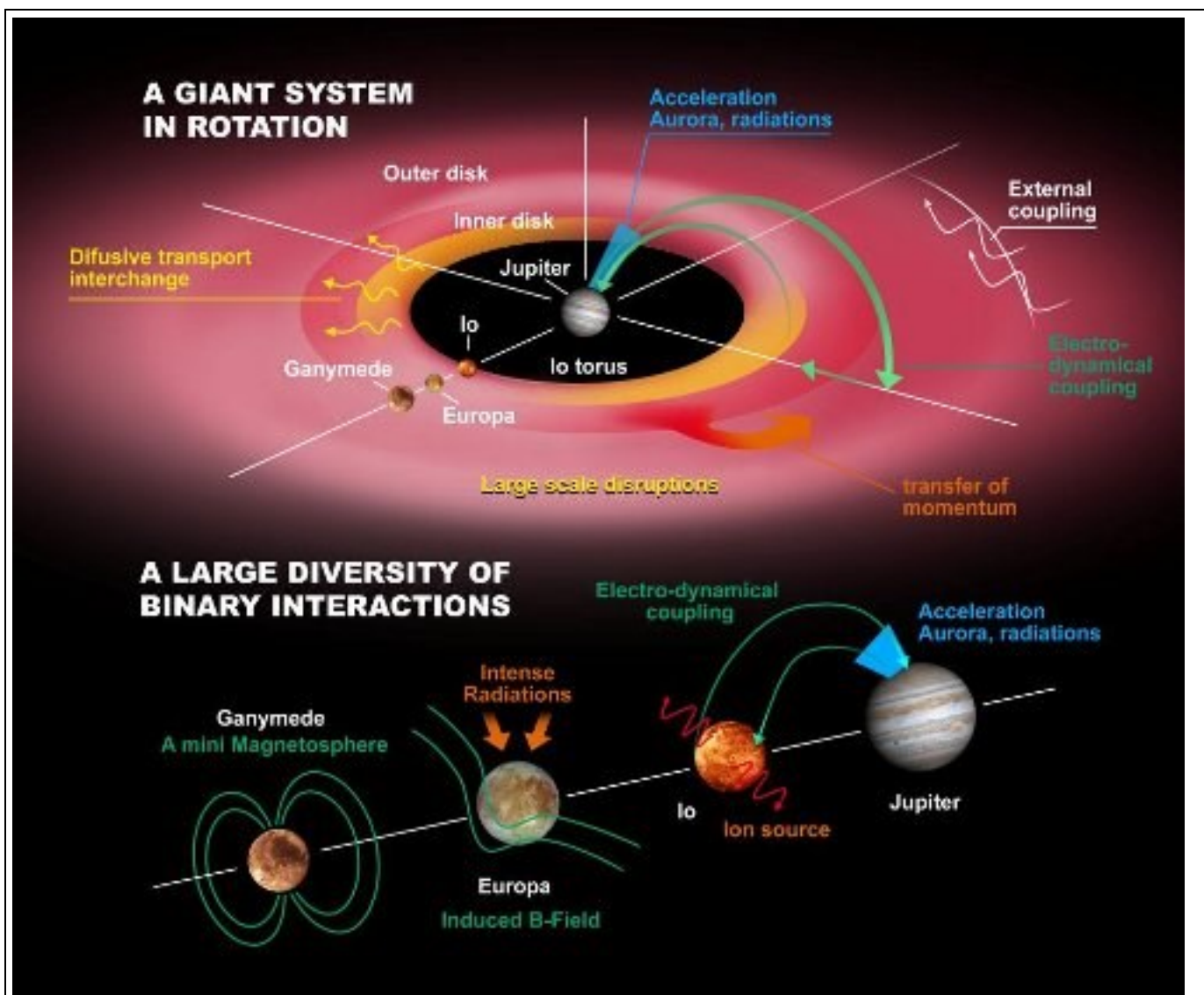
Europa: vlečená strana (*trailing side*), foto ze sondy *Galileo* 7. 9. 1996:
svět plný vody – s uhlíkem chemický základ života

Pravděpodobně silná vrstva vody a ledu (možná 100 km hluboká) pokrývá pevné horninové jádro. *Tekutá voda by mohla unikat k povrchu skrze pukliny a vytvářet námrazové uloženiny než pukliny znovu zmrznou, zhruba za několik let.* Nízká tuhost ledové kůry může být příčinou nedostatku nárazových kráterů. Tmavší značky by mohly vznikat z podložní vody obsahující směs jiných látek z dřívějšího vývoje tohoto měsíce. Modely deskové tektoniky na Europě jsou zde http://solarsystem.nasa.gov/europa/newsdisplay.cfm?Subsite_News_ID=36712&SiteID=4 .

	
Nitro Europy může být z pevné ledové kůry na vrstvě tekuté vody nebo měkkého ledu; silikátový plášť a kovové jádro http://en.wikipedia.org/wiki/File:PIA01130_Interior_of_Europa.jpg	Dva modely nitra Europy na základě údajů z NASA projektu Galileo http://en.wikipedia.org/wiki/File:EuropaInterior1.jpg

Ganyméd

Ganyméd, největší satelit sluneční soustavy (průměr 5,276 km), a Callisto – oba mají hustoty nižší než Io a Europa – cca 1.93 g/cm³. To naznačuje, že oba se skládají zhruba z poloviny horniny a z poloviny ledu: očekáváme horninové jádro obklopené vodou nebo ledovými vrstvami s ledovou kůrou. Sonda Galileo při svých několika průletech okolo Ganyméda objevil jeho silné magnetické pole, které činí tento satelit unikátní mezi měsíci sluneční soustavy. Prozatímní vysvětlení Ganymédova pole jeho malým kovovým jádrem působícím jako dynamo je neúplné (M. T. Bland, A. P. Showman + G. Tobie, 2009): <http://meetings.copernicus.org/epsc2009/abstracts/EPSC2009-556.pdf>. Vztahy tohoto magnetického pole ke gigantickému Jupiterovu jsou námětem důležitých budoucích studií, např. ESA projektu JUICE http://www.esa.int/esaCP/SEM9I4QWJ1H_index_0.html. Povrch Ganymédu je velmi proměnlivý. Nejstarší oblasti jsou tmavé pláně, z nichž jednou je Regio Galileo, 4.000 km průměr, zachovávající si znaky velkého nárazu sérií nízkých hřbetů (cca 100 m vysokých), po 50 km od sebe. Tento starý terén se zdá být rozlámán do bloků, z nichž některé byly zčásti nebo úplně nahrazeny mladším světlejším materiálem sestávajícím z dlouhých rovnoběžných údolí a hřbetů, cca 15 km širokých a 1 km vysokých. Tento zbrzděný terén vypadá velmi složitě, nejen zářezy do starých plání, ale i přetínáním těchto oblastí stejného typu, což ukazuje na mnoho horotvorných episod. Ještě jiné oblasti ukazují členitý hornatý terén. Povrch Ganyméda se zdá být místem sluneční soustavy, které prošlo geologickými změnami jako Země deskovou tektonikou. Některé krátery vypadají čerstvé, se světlými aureolami (kruhy), především z ledu nebo vody vyvržených nárazem, ale většina povrchu je velmi stará. Četnosti kráterů ukazují, že tmavé pláně jsou staré okolo 4 miliard let, a i nejmladší zbrzděný terén se zdá být cca 3,5 miliard let starý – zhruba jako podobná měsíční hornatina. Nízký reliéf vznikl asi v době, kdy nitro bylo teplejší a kůra plastičtější. Nedávné snímky z vesmírné lodi Galileo svědčí o známkách možného vulkanismu.



Projekt JUICE (*Jupiter Icy Moon Explorer*) je plánován European Space Agency (ESA) k návštěvě Jupiterovy soustavy v roce 2022. Obrázek ukazuje hlavní vztahy, které má projekt objasnit (Callisto není na obrázku zahrnut).

Callisto

Callisto (hustota $1,83 \text{ g/cm}^3$) se zdá, že má ještě silnější ledovou kůru než Ganymed, a má velmi mnoho kráterů. Avšak, všechny krátery jsou mělčí než stejně veliké krátery terestrických planet. Jsou to pozůstatky velkých nárazů, všechny ale mají *nepatrný vertikální reliéf*. Jeden z nich, **Valhalla**, má světlou střední oblast cca 600 km průměr, patrně představující původní nárazový kráter, a je obklopen nesmírnou řadou „čeřin“, které jeho průměr rozšiřují na skoro 3000 km — mnohem více než jakýkoli útvar jako *Mare Orientale* na Měsíci nebo *Caloris Basin* na Merkuru. Zdá se jisté, že proud na ledovém povrchu zakryl mnohé velmi staré stopy nárazů a snížil výšku zbytku. Nehledě k tomu však byla na Callistu **velmi malá opravdová geologická aktivita**.

Další skupina J.-ových satelitů jsou malé, těžko pozorovatelné objekty (**Lysithea, Elara, Himalia a Leda**). Mají podobné oběhy ve vzdálenosti 11 až 12 milionů km (cca 160 J.-ových poloměrů). Jako okrajová skupina, mají jejich oběhy velký sklon, ale, na rozdíl od takových okrajových těles, obíhají

prográdním směrem okolo J.-u. Největší z nich, Himalia (průměr 170 km) a Elara (průměr 80 km) jsou velmi tmavé horninové objekty a zdá se pravděpodobné, že ostatní jsou podobné.

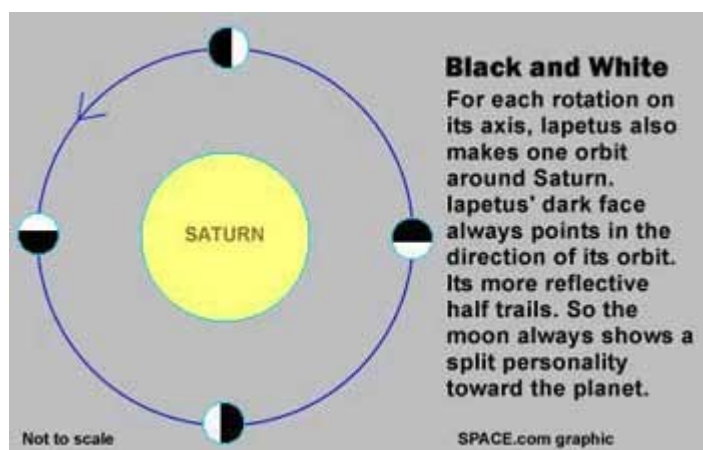
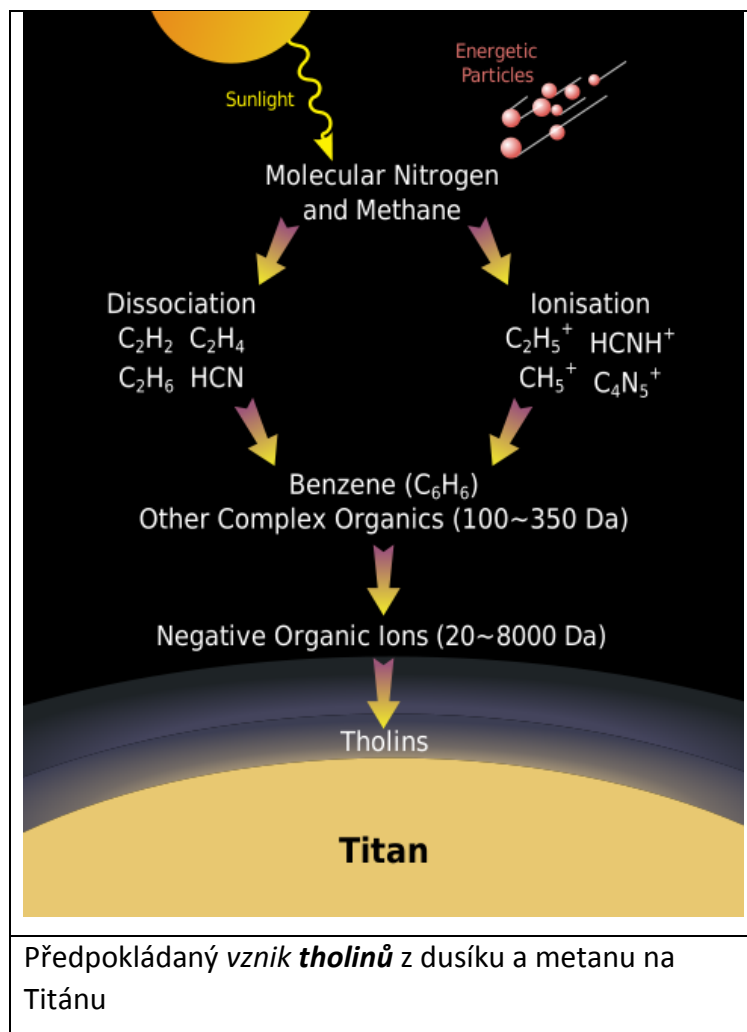
Čtyři nejokrajější satelity (Sinope, Pasiphae, Carme a Ananke), obíhají po *velmi nakloněných retrográdních drahách* ve vzdálenosti 20 — 24 milionů km (290 - 333 J.-ových poloměrů). Z těchto malých těles průměr žádného nepřesahuje 30 km; potřebují skoro dva roky na své oběhy. Pravděpodobně jde o zachycené asteroidy, ale jejich povrch nám není znám.

b) Saturn – „Král prstenů“ – 61 měsíců

Druhá největší planeta (9,45 zemských průměrů, 95 zemských hmot); nejmenší hustota z planet sluneční soustavy ($0,70 \text{ g/cm}^3$) ukazuje, že značná část S.-u je v plynném stavu; průměrná vzdálenost od Slunce je 9,551747 AU; s Jupiterem má nejrychlejší otáčení na ose (10h 39m); desetitisíce prstenců; 17 větších a 16 menších měsíců.

c. Titan (414-6)

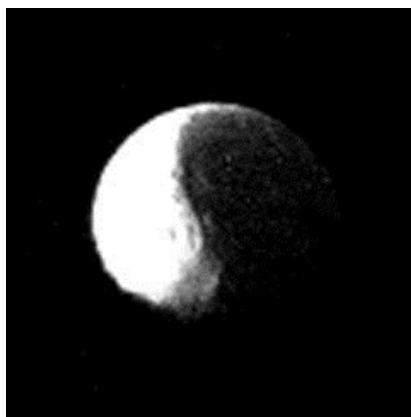
Titan je opravdu výjimečný: veliký (průměr 5150 km) mezi Merkurem a Marsem, je jediným satelitem s hustou atmosférou (1,45x hustší než zemská), která se skládá převážně z dusíku (95%), zbytek je metan (do 8 km nad povrchem: 4,9%; jeho obsah klesá směrem nahoru do stratosféry (nad 32 km), kde je ho jen 1,4%). V troposféře byly nalezeny stopy jiných uhlovodíků, jako je etan, diacetylén, methylacetylén, acetylén, propan aj. jako kyanoacetylén, HCN, CO_2 , CO, $(\text{CN})_2$, argon, a helium. Oranžová barva asi vzniká ve svrchní atmosféře fotochemickou reakcí slunečního UV-světla, produkujícího malá množství složitých sloučenin jako jsou **tholiny**, dehtu podobné heteropolymery (smog), které mohou být předstupni života. Zatímco na Titanu a Tritonu jsou bezvodé, na plutinos (Ixion), kometách a centaurových planetoidách jsou kombinované s *vodními klatráty*. Na Zemi nebyly tholiny zatím zjištěny, patrně oxidačním vlivem kyslíku. Na Titanu hustá oranžová vrstva mraků zakrývá povrch a sahá do výšky 200 – 300 km. Poměrně vysoká teplota (-178°C) je téměř s jistotou způsobena skleníkovým efektem. Při ní může být metan jak tuhý tak i kapalný, takže na povrch měsíce může kapalný metan pršet a vytvářet tam metanové „bláto“, což zažila kamera přistávacího modulu mise Cassini – Huygens (2004). Radarová echa ukazují, že povrch sestává jak z kontinentů (tvořených vodním ledem, kyslíčným uhličitým a horninami) a oceánem metanu a etanu až 1 km hlubokého.



d. Iapetus

Iapetus, Saturnův třetí největší nejvnějšnější (17-tý) měsíc, je slapově vázaný k Saturnu a vykazuje **dvě tváře**: vedoucí černou (jako „spálený toast“ podle Arthura C. Clarke ve slavné „2001 Space Odyssey“), a vlečenou bílou: proto „mizí“ na cca 40 dní – skoro polovinu svého oběhu, jak správně interpretoval jeho objevitel Jean-Dominique Cassini už 1671, i když pozoroval jen dvoupalcovým refraktorem. Tehdy ho spolu s dalšími Saturnovými měsíci pojmenoval jako jednu z „Ludvíkových hvězd“

na počest francouzského krále Ludvíka XIV, který ho povolal jako hlavního francouzského astrologa. Jako Iapetus (syna Urana) jednoho z Titánů, ho pojmenoval až Sir John Herschel 1847. Po 310 letech tuto dvojtvářnost potvrdily sondy Voyager 1 a Cassini – viz obrázek.



Iapetus – NASA Voyager 1,
14. 11. 1980: první jasný
snímek z blízka, team ho
přezdíval na „Yin/Yang měsíc“



Iapetus – snímek sondy
Cassini



Iapetus – snímek sondy
Cassini



Iapetus - 12 km vysoký **rovníkový hřbet** (snímek sondy Cassini)



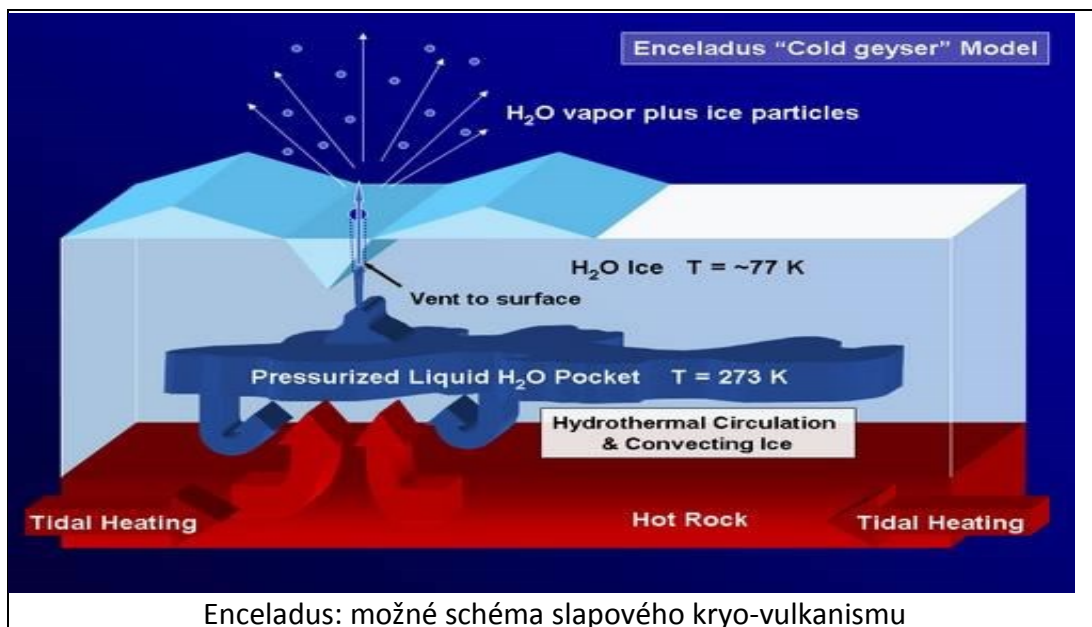
Iapetus (snímek sondy *Cassini*) - záhadné „architektury“

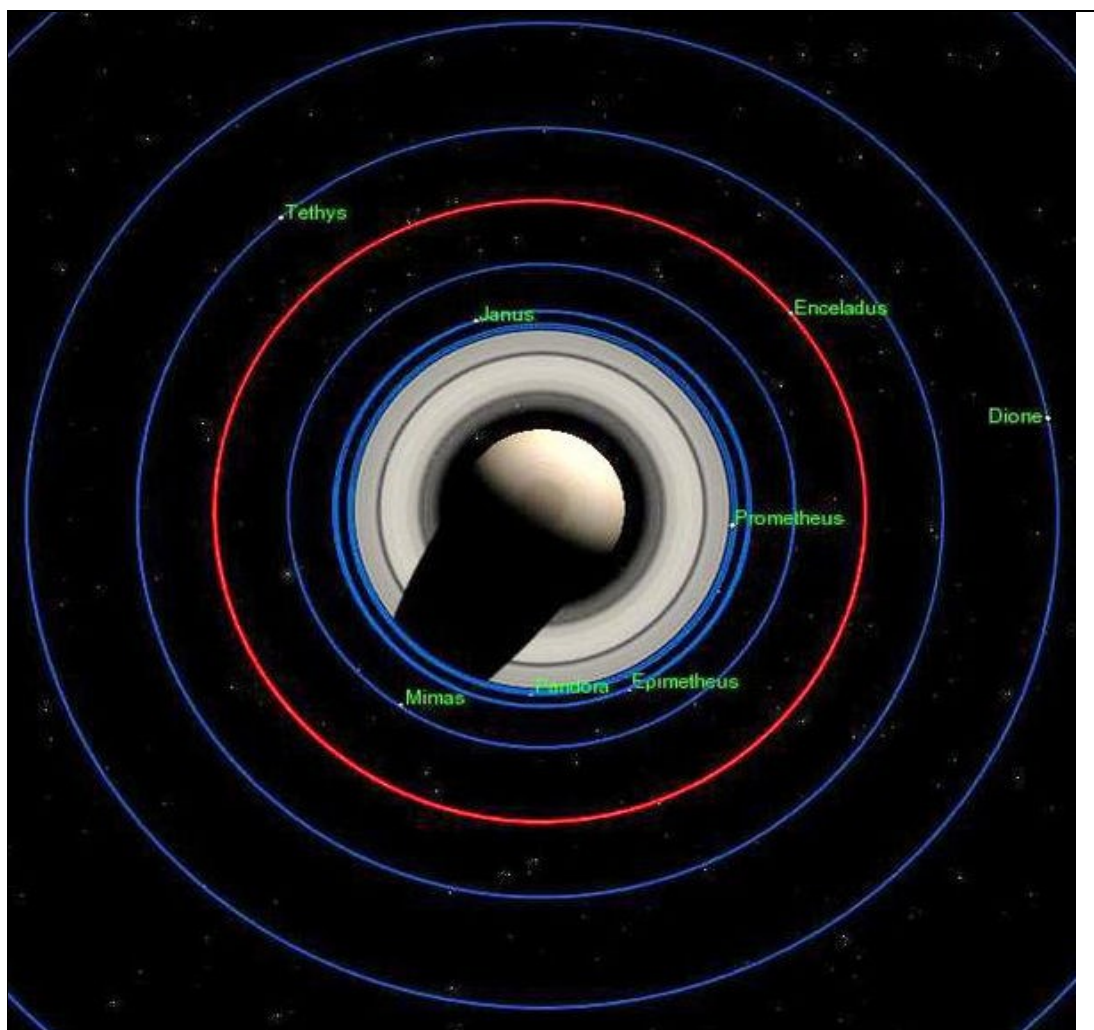
Interpretace Saturnových (a Jupiterových) plynů: *The Planetary Report*, vol. 10/1990, No. 6/November-December, p. 4-11.

http://www.planetary.org/explore/topics/compare_the_planets/moon_numbers.html .

e. Enceladus

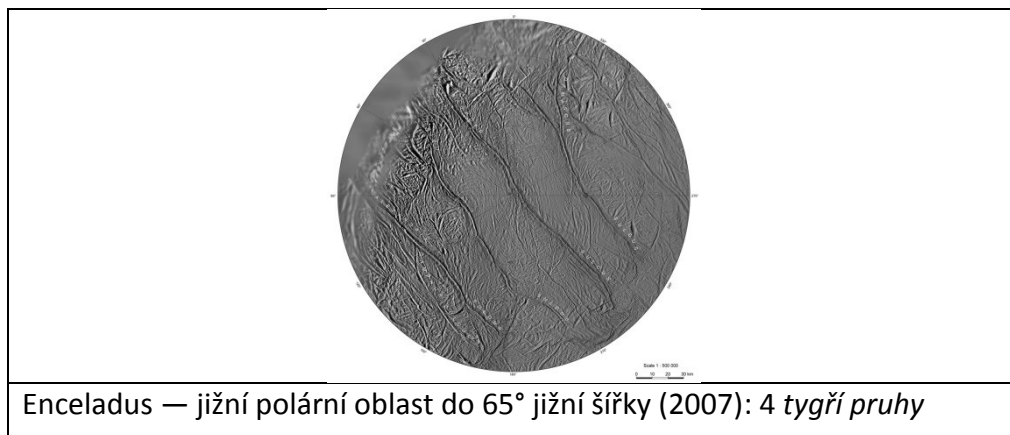
Enceladus je šestý největší Saturnův měsíc, o němž máme podrobné informace teprve od průletů sond *Voyagerů* v srpnu a září 1977 a hlavně několika sondy *Cassini* v roce 2005. Je jedním ze tří objektů vnější sluneční soustavy (s Jupiterovým Io a Neptunovým Tritonem), kde pozorujeme silné vulkanické erupce: Enceladus má zřejmě podpovrchovou kapalnou vodu, jejíž erupce jsou zdrojem Saturnova prstence E. V květnu 2011 přednesla NASA vědecká skupina „*Enceladus Focus Group*“, že je tento měsíc nejobyvatelnějším místem sluneční soustavy mimo Zemi.





Enceladus - Pohled na jeho oběh ze severu (červený kruh)

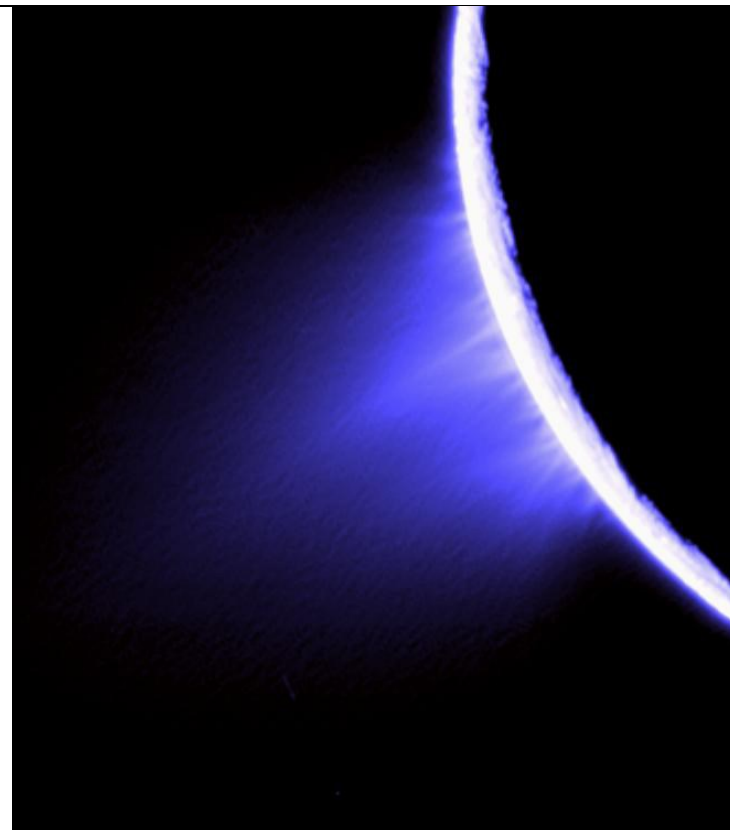
Jeho nejdůležitější geologická aktivita se soustřeďuje na jižní polokouli, zejména polární oblasti. Tam sonda *Cassini* (při sedmi velmi nízkých průletech až 50 km nad povrchem) zjistila silné geysírové výrony vodního ledu a páry s jednoduchými (propan, etan, acetylen) i složitými uhlovodíky a amoniakem, který silně snižuje bod tání vodního ledu. Společný projekt *ESA* (*European Space Agency*) a *NASA* pro výzkum některých Saturnových měsíců, *TSSM* (Titan Saturn System Mission), který zahrnuje i Enceladus, se prozatím odložil ve prospěch projektu *EJSM* (Europa Jupiter System Mission).



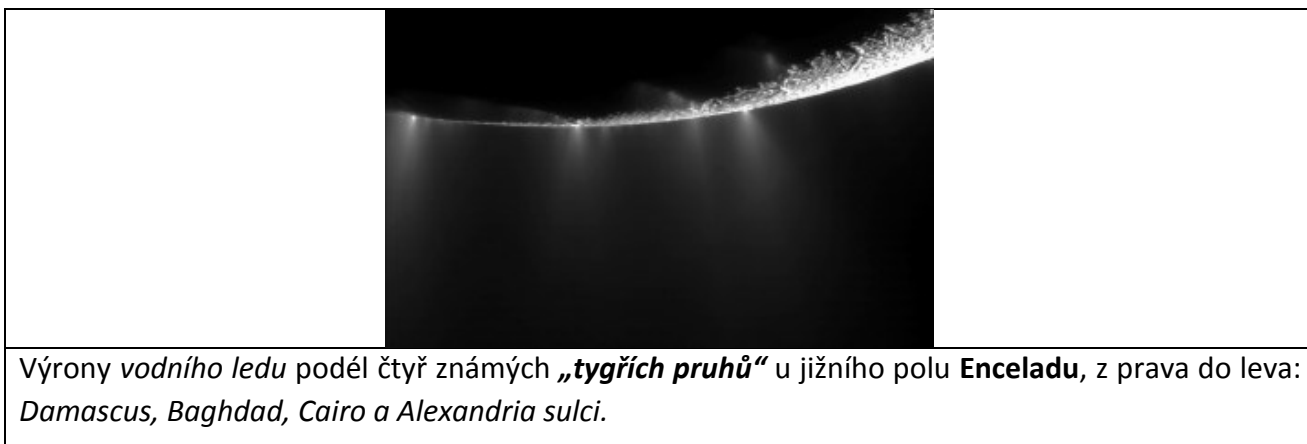
Enceladus — jižní polární oblast do 65° jižní šířky (2007): 4 tygří pruhy

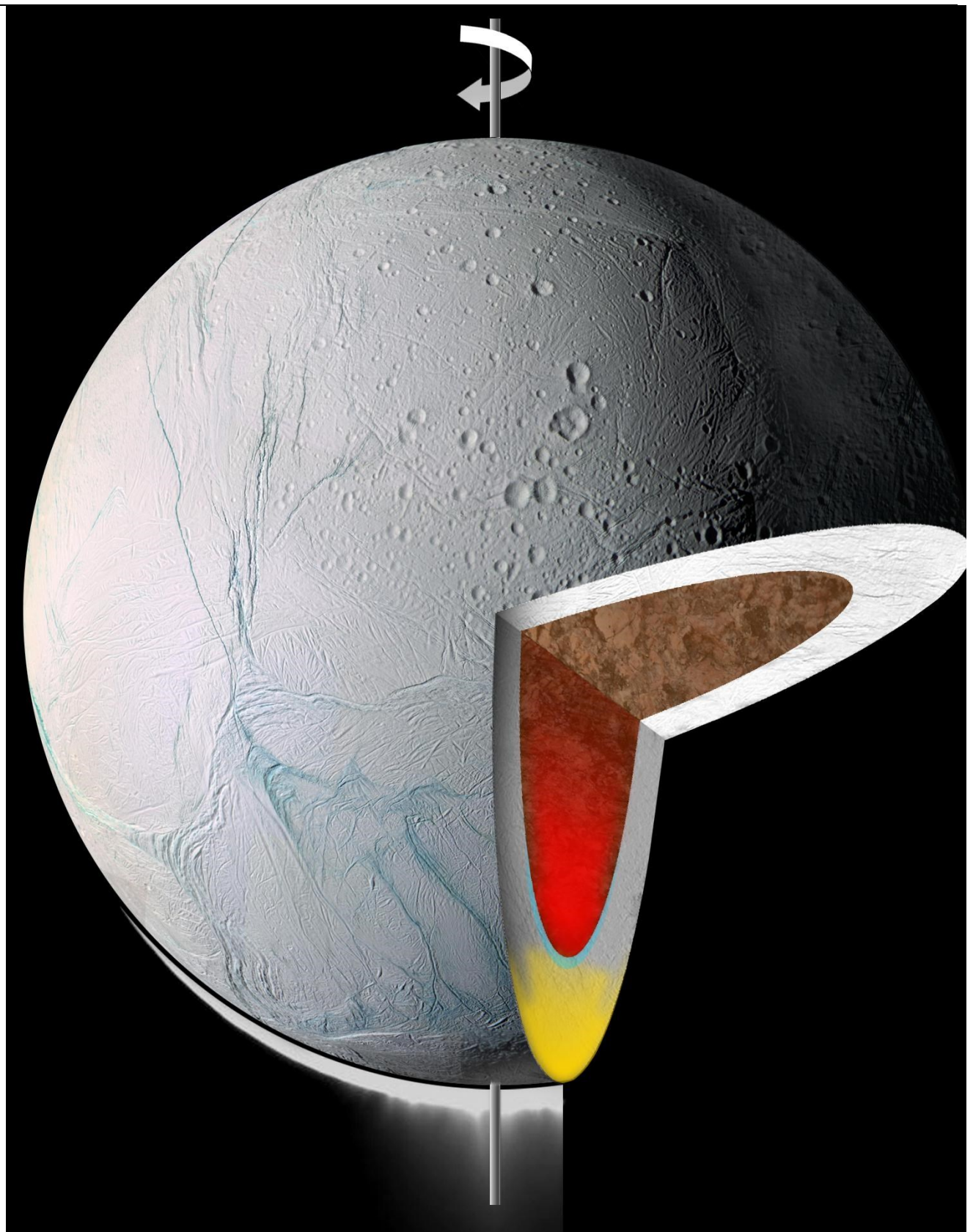


Enceladus: snímek z *Voyager 2* (26-Aug-1981) polokoule otočená k Saturnu. Rýhy *Samarkand Sulci* probíhají svisle vpravo od středu; *Ali Baba* (dole) a *Aladdin* krátery jsou vpravo nahoře.



Enceladus, jižní polokoule: výtrysky slané vody a vodního ledu (snímek sondy *Cassini* ve zvýrazněných barvách)
<http://www.youtube.com/watch?v=daACL1oagJ8> .



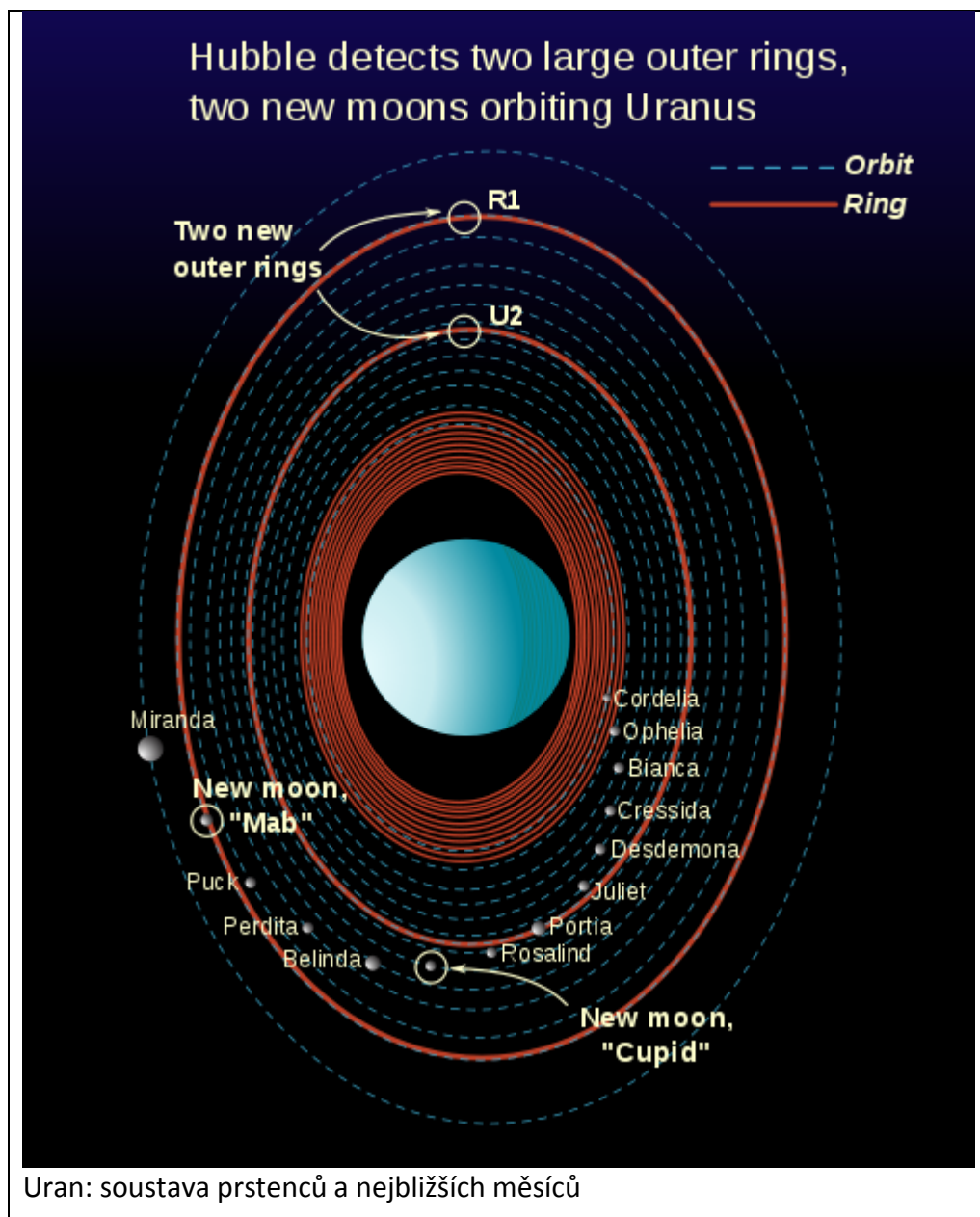


Enceladus: Model nitra založený na nedávných objevech sondy *Cassini*. Vnitřní, silikátové jádro je znázorněno hnědě, vnější, vodním ledem-bohatý plášť je znázorněn bíle. Barvy žlutá a červená v plášti a jádře představují **diapiru** předpokládanou pod jižním pólem.[39]

c) **Uran — 27 malých měsíců**

Ellis D. MINER: Uranus, The Planet, Rings and Satellites; (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena), Ellis Horwood Ltd, Chichester, England, 1990, 334 pages

Třetí největší planeta (4 zemské průměry, 14,6 zemských hmot); hustota ($1,27 \text{ g/cm}^3$) je podobná jako Jupiterova; 19,21814 AU průměrně vzdálen od Slunce; otáčí se na ose trochu pomaleji než Jupiter ($16.8\text{h} \pm 0.3\text{h}$); osa je skloněna o víc než 8° pod rovinu oběhu, který je tedy **retrográdní**; osa magnetického pole je skloněna 55° k rotační ose; celková energie Uranova magnetického pole je asi desetinou magnetického pole Saturnu, 1/400 Jupiteru a 50-krát silnější než zemského (tak silné a neobvyklé magnetické pole ukazuje, že U. obsahuje cirkulující vodivý materiál, „dynamo“); celková hustota U.-u je mnohem větší než Saturnu, což např. naznačuje, že planeta má roztavené silikátové („horninové“) jádro zhruba veliké jako Země (13.000 km) obklopené 8.000 km hlubokým „oceánem“ především z vody, a zabaleným do 11.000 km silné vodíko-heliové atmosféry. Proudění ve vodním obalu, poháněné teplem roztaveného horninového jádra, by mohly působit jako dynamo pro magnetické pole. Atmosféra má teplotu 64 K. 10 tenkých prstenců černých jako dřevěné uhlí, stovky úzkých téměř neviditelných kroužků; 27 satelitů.

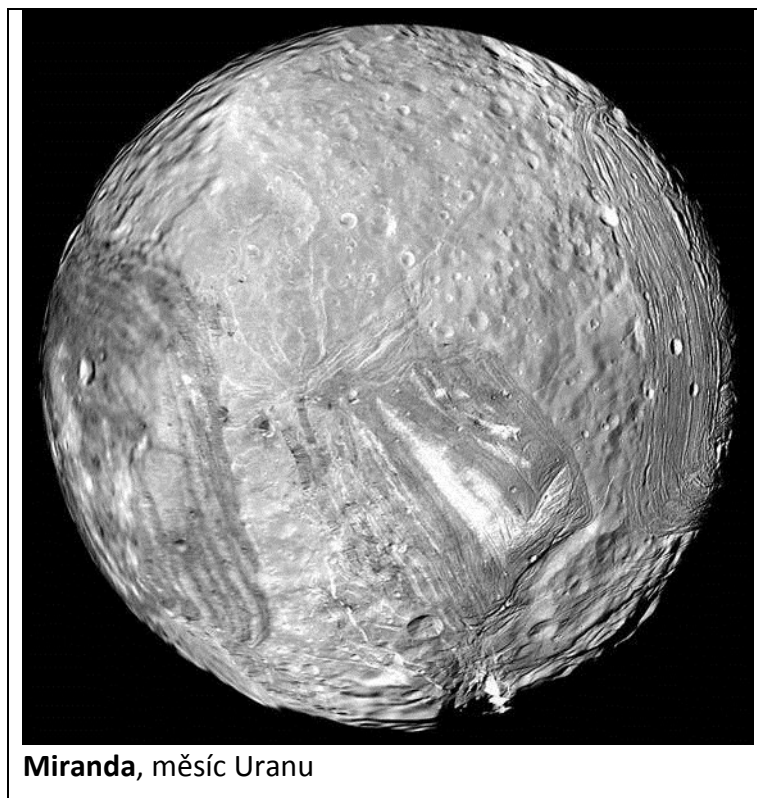




Uran, šest největších měsíců, z leva do prava: *Puck, Miranda, Ariel, Umbriel, Titania a Oberon*

f. **Miranda**

Miranda - nejvnitřnější měsíc: veškeré naše znalosti Mirandy pocházejí z krátkodobého průletu NASA sondy *Voyager 2*, který tam v lednu 1986 mj. objevil několik **ovoidů** (kosočtverců), jejichž vznik je geologická záhada. Její povrch je mosaika rozlámaného terénu prokřídžovaného až 20 km hlubokými kaňony. To ukazuje na silnou geologickou aktivitu v minulosti, poháněnou nejspíše slapovými vlivy sousedního měsíce *Umbriel*, s nímž byla původně v 3:1 oběhové resonanci, z níž se posléze vymanila, ale se zvýšenou oběhovou excentricitou. Slapové hnětení v silném gravitačním poli Uranu způsobilo *slapový ohřev*. Oběhový sklon $4,34^\circ$ je neobvykle vysoký pro tak blízký měsíc k planetě. Dříve mohla Miranda být s Arielem v 5:3 oběhové resonanci, což mohlo způsobit 3x silnější slapový ohřev.



Miranda, měsíc Uranu

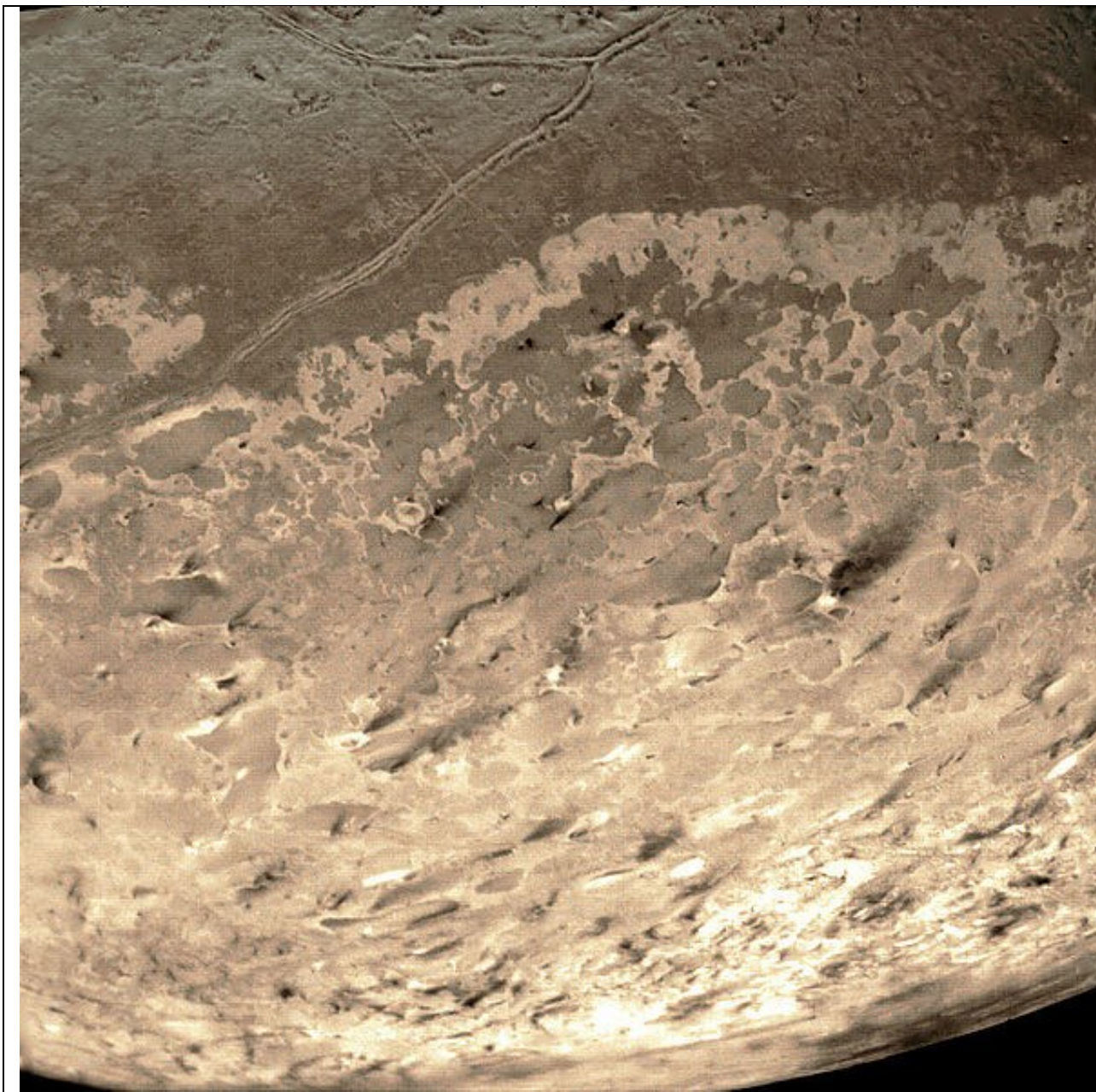
d) *Neptun — 14 měsíců*

Čtvrtá největší planeta: rovníkový průměr 49.520 km je skoro 4 Zemí, objem 57,7 Zemí, hmota 17 Zemí; hustota ($1,70 \text{ g/cm}^3$) je nejvyšší z hustot planet Jupiterova typu. Průměrná vzdálenost od Slunce 4,5 miliard km. N. oběhne Slunce jednou za 165 let; rychle se otáčí na ose (N.-ův den je trochu delší než 16h). N.-ova magnetická osa je silně skloněná k rotační ose (50° , podobně jako Uranova 59°) a excentrická o 0,4 N.-ova poloměru (podobně i Uranova magnetická osa o 0,3 Uranova poloměru), takže magnetický sever je na jižní polokouli. Jeho atmosféra je primárně z vodíku, helia a metanu, který ji dodává nádhernou modrou barvu. Zřejmě díky energetickému vnitřnímu zdroji vykazují svrchní mraky N.-u překvapující proměnlivost. Na povrchu atmosféry byla naměřena jedna z nejnižších teplot 55K. Zatím co velký tmavý ovál (o velikosti Země), prvně viděný na jaře 1989, zůstal na skoro stejném místě, bylo vidět, že se světlý mrak na sever a východ odděluje od tmavé skvrny. Silné větry (nejrychlejší ve sluneční soustavě: $2100 \text{ km/h} = 583 \text{ m/s}$) na Neptunu mají různé rychlosti v různých zeměpisných šířkách jako je tomu u Jupiteru (také u Saturnu a trochu na Uranu). Dříve předpokládané cca **3 přerušované prstence** (Astronomy, September 1987, p. 6-17) byly potvrzeny s objevem **dvou souvislých prstenců** při přeletu *Voyagera 2* (největší přiblížení 4850 km od vrcholu mraků 25. srpna 1989, 4:00h); k dosud známým dvěma větším satelitům (**Triton a Nereid**) *Voyager 2* objevil **6 malých měsíců** patrně vzájemně působících s prstenci jako pastýřské měsíce v Saturnových prstencích; průměry těchto měsíců jsou menší než 600 km; obíhají blízko Neptunu: 52,000 km, 62,000 km, 73,000 km, & 117,650 km od jeho středu.

Triton

Oběhová doba je 5,8768 dní. Je jediným větším satelitem sluneční soustavy, který obíhá **retrográdně**, tj. ve směru hodinových ručiček při pohledu ze severu. Obíhá téměř v kruhu skloněném 23° k Neptunovu rovníku ve vzdálenosti 355.200 km od Neptunu. Hmota T.u ($2,14 \times 10^{22} \text{ tun}$) je cca dvě

desetitisíciny Neptunovy ($2,08923 \times 10^{-4}$), průměr 2707 km je 21,22% průměru Země; teplota 38 K odpovídá vzdálenosti od Slunce. Veškeré naše detailní znalosti T.u pocházejí z krátkodobého průletu NASA sondy *Voyager 2*, který tam mj. objevil i neočekávané **černé stíny z mraků** v poměrně stálých polohách vysvětlené **kryovulkanizmem** – viz obrázek níže. T. je geologicky velice aktivní, jeho povrch je mladý (50 až 6 milionů let) s poměrně vzácnými nárazovými krátery, nízký reliéf (nepřevyšující 1 km). Zatím co jeho endogenní procesy jsou podobné těm, které na Zemi způsobily sopky a příkopové propadliny, skládají se z jeho lávy z vody a amoniaku. *Voyager 2* pozoroval řadu **geysírovitých erupcí** až 8 km vysokých z dusíku zviditelněného prachem. Protože byl tento vulkanismus pozorovaný mezi 50° a 57° jižní šířky blízké subsolárnímu bodu, předpokládáme, že **teplo slunečního záření**, i když nepatrné ve vzdálenosti 30 AU, má klíčovou roli. Povrch T.-u je patrně pokryt *průsvitnou vrstvou zmrzlého dusíku na tmavém podkladu*, což vyvolává **skleníkový efekt v pevném stavu**. Sluneční záření proniká povrchovým ledem, pomalu zahřívá a vypařuje pevný dusík natolik, že stlačený plyn nahromadí a prorazí kůrou. Vzestup teploty z 37 K o 4 K stačí na výtrysky do pozorovaných výšek. Svým externím zdrojem tepla je tento kryovulkanismus odlišný od jiných těles sluneční soustavy, kde je endogenní. Nejpodobnější exogenní kryovulkanismus je znám na jižní polární čepičce Marsu, kde každé jaro tryská plynný CO₂. Geysírové erupce T.-u, poháněné sublimací okolo 100 milionů krychlových metrů dusíkového ledu mohou trvat až rok. Stržený prach může ve směru větru ukládat až 150 km dlouhé tmavé pruhy a difuznější uložení i dále. Mezi rokem 1977 a Voyagerovým přeletem v roce 1989 T. z načervenalé barvy zblednul podobně jako Pluto: světlejší dusíková námraza pokryla starší načervenalý materiál. Erupce těkavých látek na T.-ově rovníku a jejich ukládání na pólech může přemístit dost hmoty za 10 tisíc let, že póly mohou putovat.



Triton (*Voyager 2*, složený snímek): jižní polární oblast. Cca 50 tmavých **kryovulkanických výronů**.

Západní polokoule T.-u vykazuje řadu zvláštních puklin a depresí označovaných jako „**melounový**“ **terén** (angl. **cantaloupe terrain**), protože připomíná slupku ananasového melounu. I když má málo nárazových kráterů, pokládáme ho za nejstarší na Tritonu a pravděpodobně pokrývá i značnou část západní poloviny měsíce. Melounový terén, patrně ze špinavého vodního ledu, je znám jedině z T.-u. Obsahuje zakulacené deprese (cavi) o průměru 30 – 40 km. Přebíhá teorie, že jsou *diapirického původu*, kdy vystupující masy lehčího materiálu pronikly vrstvou hustšího.

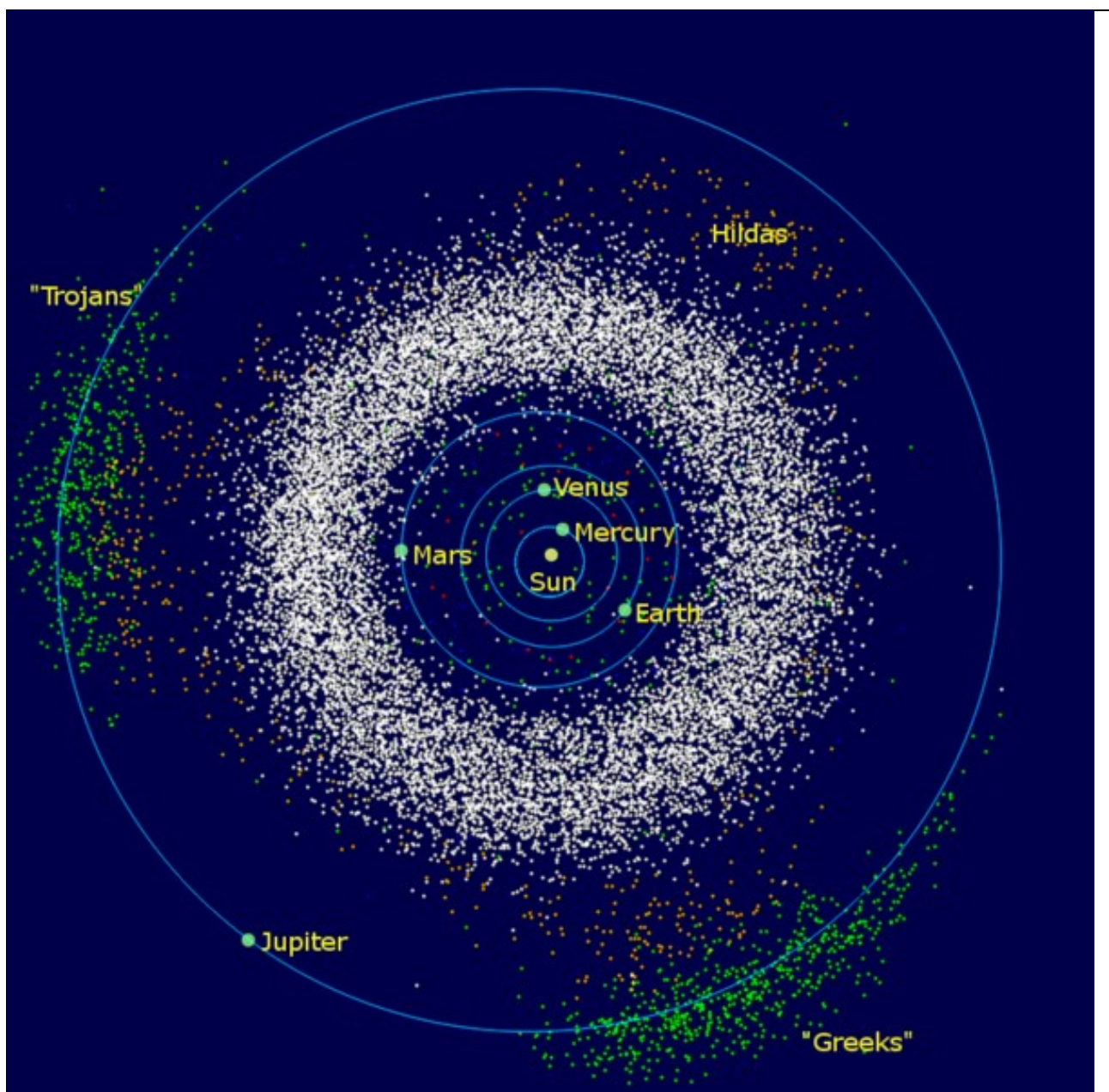


Nereida

Třetí největší měsíc Neptunu (průměr 940 km); doba oběhu 359,4 dní, sklon k rovníku Neptunu 27,7°, extrémní excentricita 0,7545 svědčí, že Nereida je buď zachycený asteroid, objekt Kuiperova pásu (KBO), nebo že byl vnitřním měsícem, který byl vychýlen při zachycení Tritonu. Nemáme o tomto měsíci spolehlivé údaje – jediným jejich zdrojem jsou snímky *Voyagera 2* na vzdálenost 4.700.000 km

6. Asteroidy (menší planety)

V prostoru hlavně mezi Marsem a Jupiterem, okolo průměrné vzdálenosti 2,7 AU od Slunce, obíhají okolo Slunce miliony těles menších než planety, zvané **asteroidy**, **menší planety**, nebo, zvláště ty větší, též **planetoidy**. Předpokládáme, že vývoj Sluneční soustavy z mlhoviny se zde extrémně silnou gravitací Jupiteru zastavil na velikosti *planetesimálů*. Asteroidy větší než 120 km vznikly akrecí v ranní éře, zatím co menší tělesa vznikla pozdější srážkovou fragmentací asteroidů. Později se do této oblasti mohla přestěhovat tělesa původně vzniklá ve větších vzdálenostech gravitací např. Neptunu. Některé asteroidy obíhají na stejné dráze jako Jupiter – **Jupiterovy trojáni** –



Vnitřní sluneční soustava, od Slunce k Jupiteru. Obsahuje **hlavní asteroidy** (bílý oblak tvaru koblihy), **Hildy** (oranžový "trojúhelník" pod Jupiterovým oběhem) a **Jupiterovy Trojáni** (zelené). Vedoucí skupinu nazýváme **"Řekové (Greeks)"** a vlečenou "Trojáni" (Murray & Dermott, Solar System Dynamics, str. 107). Obraz je shora (ze severu) na ekliptiku, jak byl viděn 14. 8. 2006.

malá tělesa 60° před a 60° za hlavním tělesem (Jupiterem), tedy v Lagrangeových bodech L4 a L5. Jupiterovy Trojáni jsou tmavá tělesa s načervenalým nevýrazným spektrem, bez důkazů přítomnosti vody, organických látek a jiných sloučenin. Hustoty Jupiterových Trojánů se pohybují od 0,8 do 2,5 g.cm⁻³. Pokládají se za gravitační přistěhovalce zachycené do svých oběhů v raném období vzniku sluneční soustavy nebo brzo potom, ještě v době migrace plynných planet. Počet Jupiterových Trojánů větších než 1 km odhadujeme na víc než milion, podobně jako asteroidů nad 1 km hlavního pásma. Významnou skupinou těles jsou NEOs (Near Earth Objects, tělesa, která mají aspoň jednu polo-osu oběhu 0,983 až 1,3 AU). Asteroidů je z nich několik tisíc, hodně NEOs jsou komety a meteoroidy. Objekty, které se mohou Zemi přiblížit na menší vzdálenost než 0,05 AU a jsou větší, než 150 metrů nazýváme PHOs (Potentially Hazardous Objects). Ty NEOs, které mají nižší rychlost než náš Měsíc, mohou být užitečné jako zdroje materiálů.

Clark R. Chapman, David Morrison a Ben Zellner navrhli v roce 1975 rozlišovat 3 hlavní spektrální typy asteroidů:

C – tmavé uhlíkaté (carbonaceous),

S – tmavé kamenné (stony) silikátové, a

U – ostatní.

Vlivem různých kritérií vznikla řada dalších klasifikací asteroidů. Nejvíce používané jsou:

Klasifikace David J. Tholen-a, nejdříve z roku 1984. Založená na širokopásmových spektrech vlnové délky λ 0,31 μ m – 1,06 μ m získaných průzkumem ECAS (Eight-Color Asteroid Survey) v letech 1980-tých, v kombinaci s měřením albeda, původně na 978 asteroidech. Schéma zahrnuje 14 typů, při čemž většina asteroidů spadá do jedné ze tří širokých kategorií a několika menších. Jsou to hlavně tyto:

C – tmavé uhlíkaté (carbonaceous),

B – typ – 2 Pallas;

F – typ – 704 Interamnia;

G – typ – 1 Ceres;

C – typ – 10 Hygea a většina standardního (viz výše) typu C;

S – tmavé kamenné (stony) silikátové– 15 Eunomia, 3 Juno; tato třída představuje cca 17% asteroidů;

X – skupina,

M – typ – 16 Psyche; kovové (metallic), třetí nejpočetnější skupina;

E – typ – 44 Nysa, 55 Pandora; od M– typu se liší většinou velkým albedem;

P – typ – 259 Alethea, 190 Ismene; CP – 324 Bamberga; od M – typu se liší většinou malým albedem;

Malé třídy, jako:

A – typ – 446 Asternitas;

D – typ – 624 Hektor;

T – typ – 96 Aegle;

Q – typ – 1862 Apollo;

R – typ – 349 Dembowska;

V – typ – 4 Vesta;

V některých případech se vlastnosti prolínají, takže se pak užívá kombinovaného symbolu, např. CG a CP.

Klasifikace SMASS (Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey)- Shelte J. Bus a Richard P. Binzel navrhli v roce 2002 na základě projektu SMASS (průzkum 1447 asteroidů) rozlišovat spektra s mnohem větším rozlišením než ECAS, ale v užším oboru vlnových délek, tj. jen λ 0,44 μm – 0,92 μm a bez přihlédnutí k albedu. Pokoušeli se přidržovat Tholenovy taxonomie i při různých údajích dospěli k 24 typům uvedeným níže. Většina asteroidů spadá opět do tří širokých kategorií C, S a X s několika neobvyklými tělesy zařazenými do různých malých typů.

C – uhlíkaté (carbonaceous) objekty obsahující:

B – typ většinou se překrývající s Tholenovými typy B a F

C – typ nejstandardnější z B neuhlíkatých objektů

Cg Ch Cgh trochu spřízněné s Tholenovými typy G

Cb přechodné objekty mezi prostými typy C a B

S – křemičité (siliceous; kamenné) objekty zahrnující:

A – typ

Q – typ

R – typ

K – typ nová kategorie, např. 181 Eucharis, 221 Eos

L – typ nová kategorie, např. 83 Beatrix

S – typ nejstandardnější ze skupiny S

Sa, Sq, Sr, Sk a Sl přechodné objekty mezi prostými S a jinými typy skupiny;

X – skupina většinou kovových objektů zahrnujících:

X – typ nejstandardnější ze skupiny X zahrnující objekty Tholenových M, E a P typů;

Xe, Xc a Xk přechodné typy mezi prostými X a příslušně písmeny označenými typy;

T – typ

D – typ

Ld – typ: nový typ s extrémnějšími spektrálními vlastnostmi než L – typ

O – typ – malá

V – typ

Byl nalezen významný počet malých asteroidů spadajících mezi typy Q, R a V, které byly representovány jen jediným tělesem Tholenova schematu. V této Bus a Binzelově SMASS klasifikaci jen jediný typ byl přiřazen kterémukoliv zvláštnímu asteroidu.

Několik NEO (Near Earth Objects) mají spektra velmi odlišná od SMASS klasifikace. Důvodem může být, že tato tělesa jsou mnohem menší než asteroidy hlavního pásma a jako takové mají mladší méně změněný povrch nebo se skládají z méně proměnlivé směsi minerálů.

Původně byl největším asteroidem Ceres (942 km), ale byl na schůzi IAS v Praze 24. 8. 2006 přeřazen mezi trpasličí planety jako původní planeta Pluto. Největší tělesa – Ceres, Pallas (544 km) , Vesta (538km) a Herculina (240km: má satelit o velikosti 50 km ve vzdálenosti cca 975km) – vzrostla do takové velikosti, že se roztavila a diferencovala do jádra z těžkých kovových prvků a kůry ze silikátových hornin. https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/22jan_ceres



Srovnání velikostí 12 těles navržených pro IAU 2006 na **trpasličí planety**.

Pallas je v dolní řadě druhé těleso zprava.

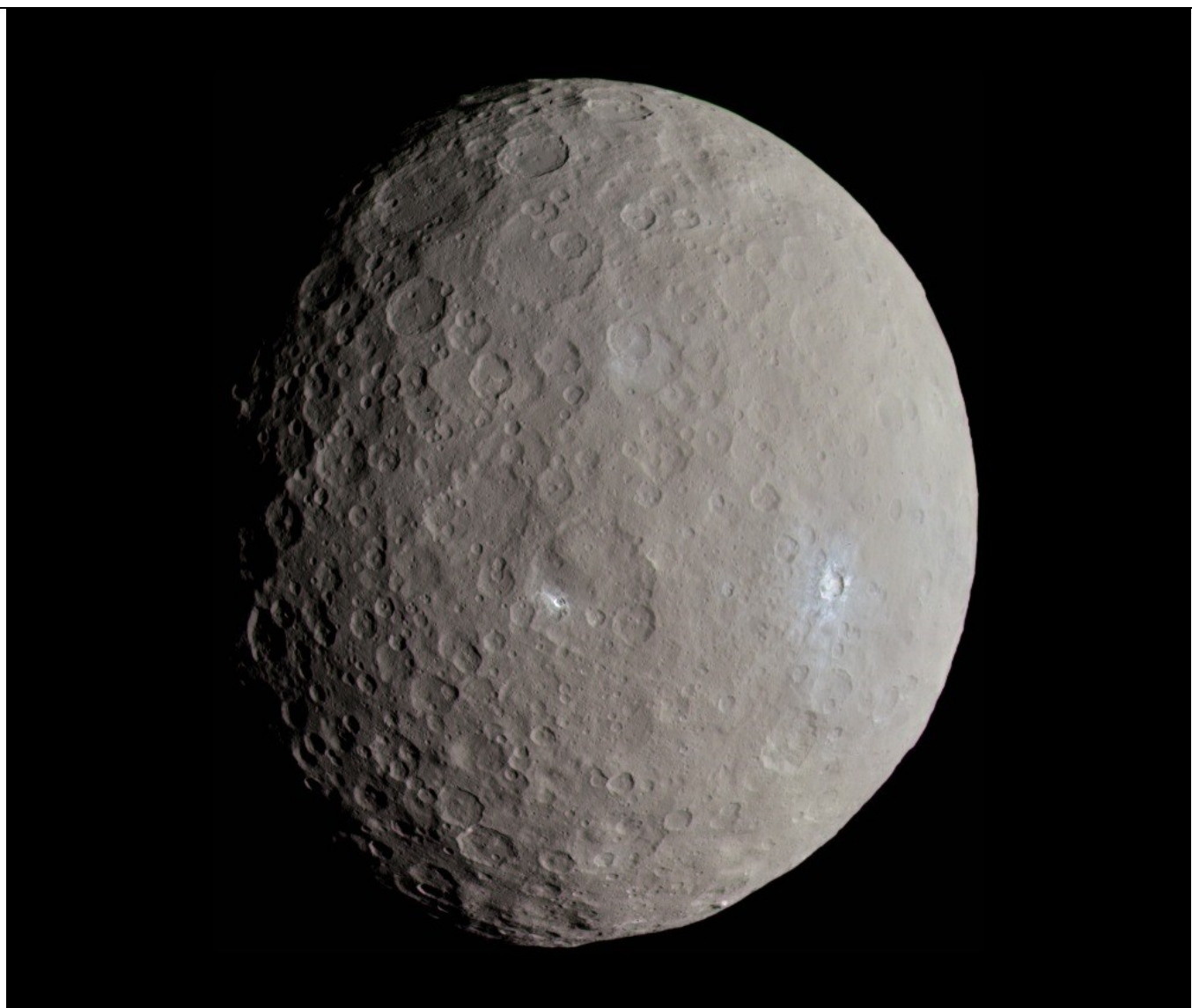
Jupiterův Troján **588 Achilles** (135,5 km); **433 Eros** je Near Earth asteroid (NEA) velmi nepravidelného tvaru (17 km).

Asteroid **944 Hidalgo** (39 km) má hlavní oběžnou poloosu 9,539 AU (oběžnou dobu 13,77 let), tedy za Jupiterem, takže patří mezi tzv. **centaury** – tělesa s nestálými oběhy, protože kříží oběhy velkých planet Jupiterova typu a s charakteristikou mezi asteroidy a kometami.

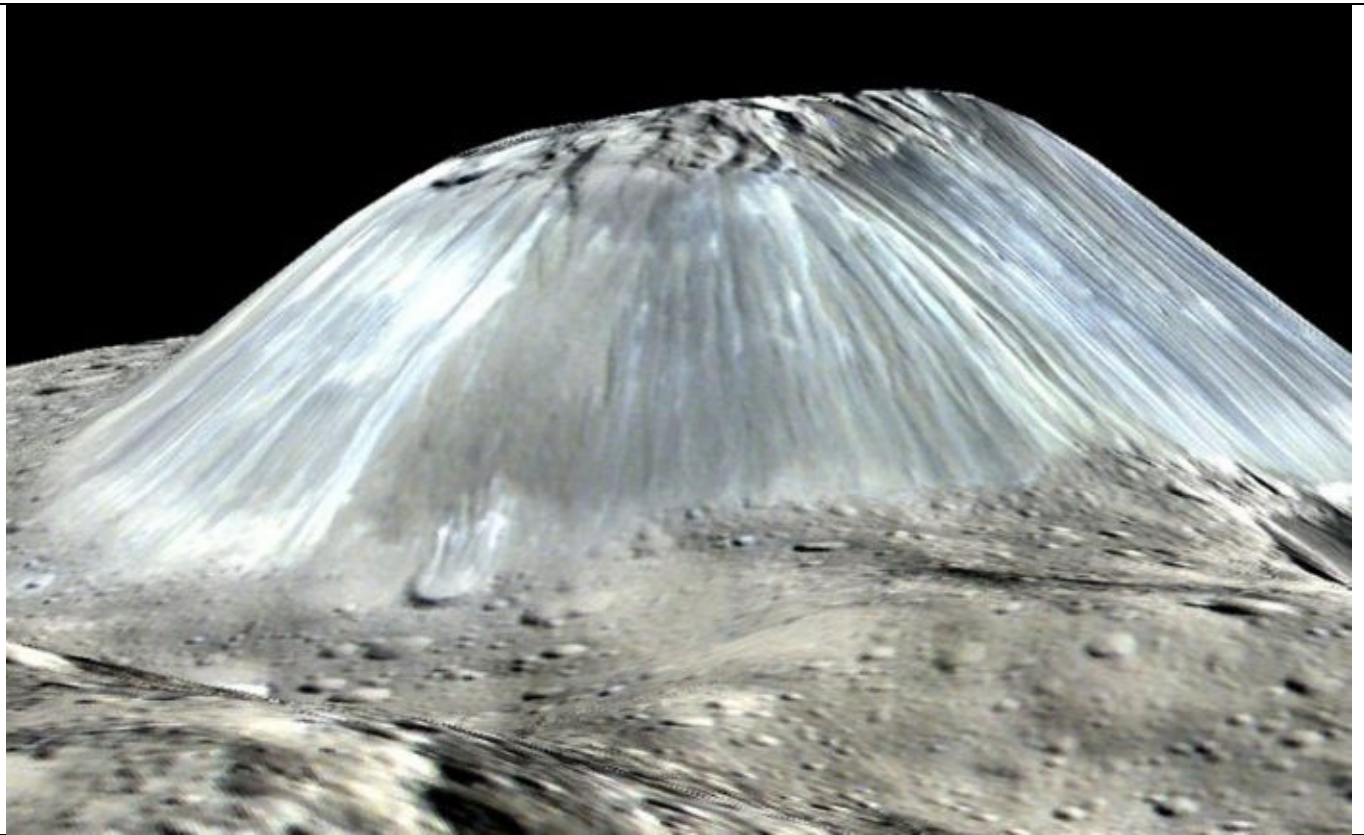
Ceres

Ceres, formálně 1 Ceres, je největším asteroidem obíhajícím mezi Marsem a Jupiterem (průměr 945 km), čímž je i největší trpasličí planetou níže než orbit Neptuna a také jedinou. Jeho hmota tvoří třetinu hmoty všech asteroidů. C. je jediným asteroidem, který vlastní gravitací získal kulový tvar. Byl prvním objeveným asteroidem (Giuseppe Piazzi, Palermo, 1. ledna 1801).

C. se zdá diferencovaný do horninového jádra a ledového pláště, a pod ledem může mít zbytkovou vrstvu tekuté vody. Povrch je zřejmě tvořen směsí z vodního ledu a různých hydratovaných minerálů (karbonáty a jíly). V lednu 2014 byly pozorovány na několika místech emise vodních par - typické pro komety, ale nikoliv pro velká tělesa jako C.. 6. března 2015 začala C. obíhat NASA sonda DAWN a dodávat snímky o dosud nedosaženém rozlišení. Počáteční popírání možného kryovulkanismu bylo vyvráceno článkem v časopise Science 2. 9. 2016 spolu se šesti dalšími studiemi. Ledový vulkán Ahuna Mons byl nejsilnějším důkazem. IR-spektra bělavých oblastí ukázala, že jde o velká množství uhličitanu sodného (Na_2CO_3 , sody), což ukazuje na současnou geologickou aktivitu, spočívající v tvorbě světlých skvrn. 9. 12. 2015, pracovníci NASA uvedli, že jasné skvrny ba Ceresu mohou být ve spojitosti se solí, zejména formou solného roztoku obsahujícímu síran hořečnatý hexahydrát (minerál epsomit, zvaný také hořká sůl, je kosočtverečný se 7 molekulami vody a ne 6ti, takže tento vývod moc nechápu).

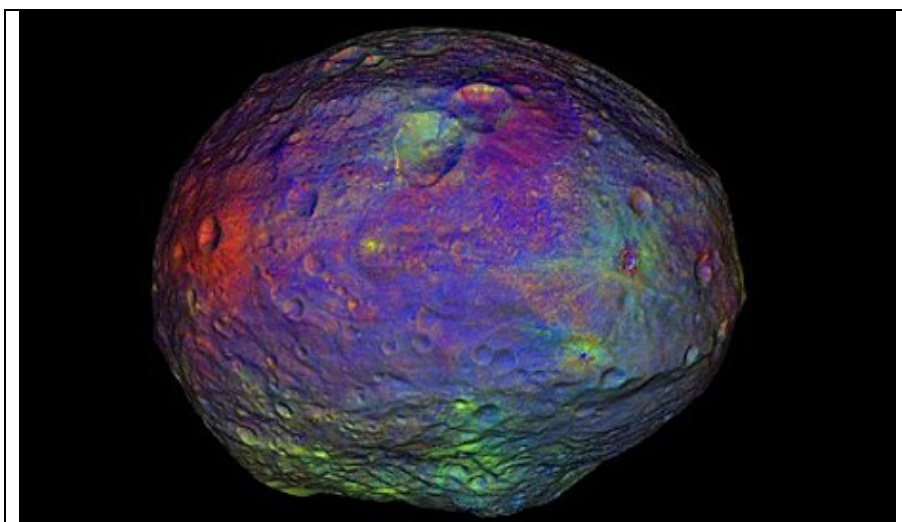


Ceres, největší asteroid.



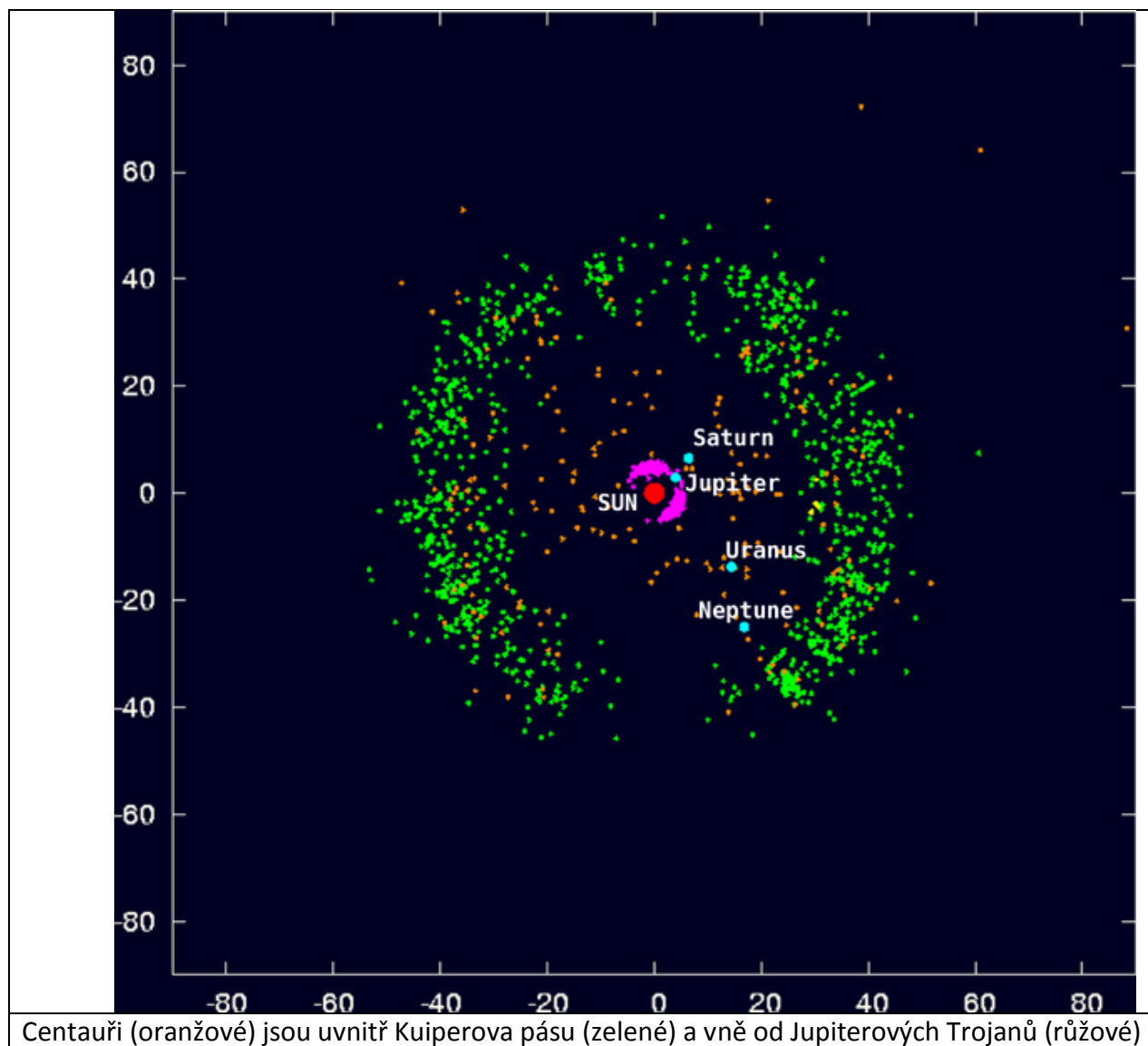
Ceres, Ahuna Mons. Snímek pořídila sonda DAWN, 2. 5. 2015 ze vzdálenosti 13642 km.

Vesta



Asteroid **Vesta** — multispektrální snímek ze sondy DAWN je plastickou mapou minerálů <http://dawn.jpl.nasa.gov/>

Vnější sluneční soustava



243 Ida ($53,6 \times 24,0 \times 15,2$ km) je druhým asteroidem navštíveným sondou (Galileo roku 1993) a prvním, u kterého byl objeven malý měsíc — Dactyl ($1,6 \times 1,4 \times 1,2$ km) ve vzdálenosti cca 90km (oběh cca 20 hodin).



Ida, vpravo měsíc Dactyl

Barevný snímek ze sondy *Galileo* 28. 8. 1993, 14 minut před největším přiblížením na 10.500 km, složený ze snímků o vlnových délkách λ : 4100 Ångstrom (fialová), 7560 Å (infračervená) a 9680 Å (infračervená). V přírodních barvách by byl snímek téměř šedý. Odstíny barev a šedi ukazují nejen různé úhly osvětlení na svazích, ale i různá složení půdy (regolitu). Světlejší namodralá místa okolo kráterů Idy vlevo nahoře, malý světlý kráter uprostřed a na okraji napravo, kde lze usuzovat na různé množství a složení minerálů železa, což umožní rozlišení tepelně diferencovaných hornin od obvyklých nediferencovaných primitivních chondritů.

Ostatní asteroidy jsou menší než 1 km; 88% jich jsou velmi tmavé (odrážejí 5% až 0,02% světla) – odpovídají meteoritům uhlíkatých chondritů. Asi 1% malých asteroidů odrážejí více světla (10-20% albedo) a odpovídají meteoritům kamenných želez. Většina malých asteroidů má nepravidelný tvar jako jsou měsíce Marsu: Phobos a Deimos).

Near Earth Objects (NEOs):

<http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Sizes.html> jejich velikosti

<http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Dangerous.html> seznam nebezpečných asteroidů

<http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/MPLists.html> seznam asteroidů podle kategorií.

7. Meteoroidy a meziplanetární prach

Meteoroid je těleso sluneční soustavy o velikosti hrubého pískového zrna (několik mm) až balvanu (několika desítek metrů). Jeho oběh může být autonomní okolo Slunce, ale i okolo Země, teoreticky i okolo jiných těles sluneční soustavy. Název je odvozen pro těleso, než se zažehne v horní vrstvě atmosféry, tedy než se stane meteorem čili létavicí (angl. shooting star). Odhadujeme, že ročně spadne na Zemi okolo 15.000 tun meteoritů, tj. meteoroidů na Zemi (velká část nejjemnějšího sedimentu na dně oceánů), na Měsíci a na Marsu, odkud známe zatím 18 meteoritů. Velmi malé meteoroidy označujeme jako mikrometeoroidy resp. meziplanetární prach. Výraz meteoroid nepřijalo Minor Planet Center, oficiálně pověřený orgán IAU pro sběr údajů o asteroidech a kometách.

Názvoslovná poznámka: „meteor“ – světelná čára způsobená žhnutím většinou malého tělesa, které se třením vysokou rychlostí (6-72 km/sek) rozžhaví ve výšce 110 km – 90 km nad povrchem Země. Světlo pochází hlavně ze vzduchu ionizovaného žářem, těleso (většinou jen několika-centimetrové; větší, někdy až 10.000 – 100.000 tun, může při vhodném úhlu dopadnout na povrch Země) se většinou vypaří a rozptýlí. Název zavedl zakladatel meteorologie *Aristoteles* ve svém spise „*Meteorologie*“ (350 BCE) z řečtiny μετέωρος metéōros "vznášející se, vysoko (na obloze)" (z μετα- meta- "nad" a -εωρ -eōr "vyzvednout"). Aristoteles pokládal meteory za atmosférické jevy.

Složení meteoroidů poznáváme hlavně ze studia meteoritů a ze spektrální analýsy meteorů. Pozorování meteorů za denního světla je ztíženo slunečním jasnem. Část meteorů se sdružuje do skupin, tzv. **meteorických rojů** (angl. meteor showers), jejichž rovnoběžné dráhy se vlivem perspektivy zdají vycházet z určitého bodu, *radiantu*. Většina z nich je pískové velikosti, takže se při zažehnutí v horní vrstvě atmosféry rozptýlí a nedopadnou na povrch Země. Radianty se každý rok vyskytují na stejném místě oblohy, podle kterého se označují. Většina těchto meteorů pochází z komet: přiblíží-li se kometa na své excentrické dráze ke Slunci blíže než je Saturn, začnou se ze sublimujících ledů komety uvolňovat nejen plyny a tvořit vzrůstající koma a ohon, ale strhávají i zrnka pevného materiálu. Jejich část se může při průchodu zemskou drahou v určité dny dostávat do zemské atmosféry a vytvářet meteory. Tyto tzv. meteorické roje označujeme podle souhvězdí, ve kterém se jejich radianty každoročně objevují. Tak např. *meteory komety Encke* se objevují na počátku listopadu v souhvězdí Taurus a nazýváme je *jižní Tauridy*, meteory komety Halley koncem října Orionidy, atd.:

Název roje	Datum maxima	Souhvězdí	Maximální frekvence (meteorů za hodinu)	Mateřská kometa
Quadrantidy	3. ledna	Pastýř	50 – 80	96P/Machholz 1
Lyridy	22. dubna	Lyra	20	Thatcher (1861 I)
η Aquaridy	4. května	Vodnář	50	1P/Halley
Bootidy	28. června	Pastýř	až 100 proměnlivá	Pons-Winnecke
δ Aquaridy	1 – 5. srpna	Vodnář	20	Machholz 1
Perseidy	12. srpna	Perseus	75	109P/Swift-Tuttle
Drakonidy	10. října	Drak	proměnlivá	21P/Giacobini-Zinner

Orionidy	21. října	Orion	25	1P/Halley
Tauridy	5 – 10. listopadu	Býk	20	Encke
Leonidy	18. listopadu	Lev	25 – proměnlivá	55P/Tempel-Tuttle
Geminidy	14. prosince	Blíženci	75	PLanteka (3200) Phaeton
Ursaminoridy	23. prosince	Malý Medvěd	až 50 proměnlivá	Tuttle

Tato tabulka je převzata ze stránek České astronomické společnosti

<http://planety.astro.cz/zeme/1949-meteoroidy-a-meteority> ; v originále je kometa *Thatcher*, zdroj *Lyrid*, chybně „Tchatcher“.

Četnost dopadů meteoritů na Zemi v současné době odhadujeme podle záznamů v hustě obydlených oblastech jako je milion km² (Francie, Švýcarsko, Rakousko a Německo dohromady), kde za 100 let bylo pozorováno 35 pádů meteoritů větších než 1 kg. Od roku 1969 představuje Antarktida veliké naleziště – do roku 1992 zde bylo na povrchu modrých ledovců nalezeno 15.000 kusů, které se ovšem hromadily dynamikou a sublimací ledu (ablací) za staletí. Na těchto místech je nový sníh rychle odnášen větrem, takže na povrchu se hromadí meteority nepřikrývá. Podobně se meteority hromadí v některých pouštích, jako je Nullabor Plain v Australii, a některé oblasti libyjské a Sahary (hlavně západní, Marocco).

Unikátní je meteorit Benešov přesně zaměřený, spektrálně analyzovaný a po 20 letech nalezený http://www.astro.cz/clanek/5174?utm_source=news&utm_medium=mail&utm_campaign=clanky .

Klasifikace meteoritů

Nejúplnější a nejautoritativnější katalog meteoritů (vyjma antarktických) je tato publikace:

GRAHAM, A. L., A. W. R. BEVAN a R. HUTCHISON, 1985: Catalogue of Meteorites, 4th ed., British Museum (Natural History), London, and University of Arizona, Tucson, AZ.; 460 pages.

Antarktické meteority jsou popsány v těchto publikacích:

GROSSMAN, Jeffrey N, 1984: The U. S. Antarctic collection;

GROSSMAN, Jeffrey N, 1994: The Meteoritic Bulletin, No. 76/January 1994

Meteority klasifikujeme většinou podle jejich mineralogického a chemického složení :

Nediferencované

Uhlíkaté chondrity

CI

CO

CV

CM

Obyčejné chondrity

L

LL

H

Enstatitické chondrity

EH

EL

Diferencované

K nejdůležitější diferenciaci mateřských těles docházelo vlivem gravitace na materiály s různou hustotou v kapalném, tedy roztaveném — vyvřelém stavu.

Achondrity

Aubrity

HED meteority

HED znamená *howardit–eukrit–diogenit*. Tyto achondrity pocházejí z diferencovaných mateřských těles a prodělaly rozsáhlé vyvřelinové procesy, takže se příliš neliší od pozemských magmatických hornin.

Diogenity

Eucrity

Howardity

Ureility

Meteority z Měsíce

Meteority z Marsu

Železné meteority

Různé skupiny

Kameno-železné meteority

Palasity

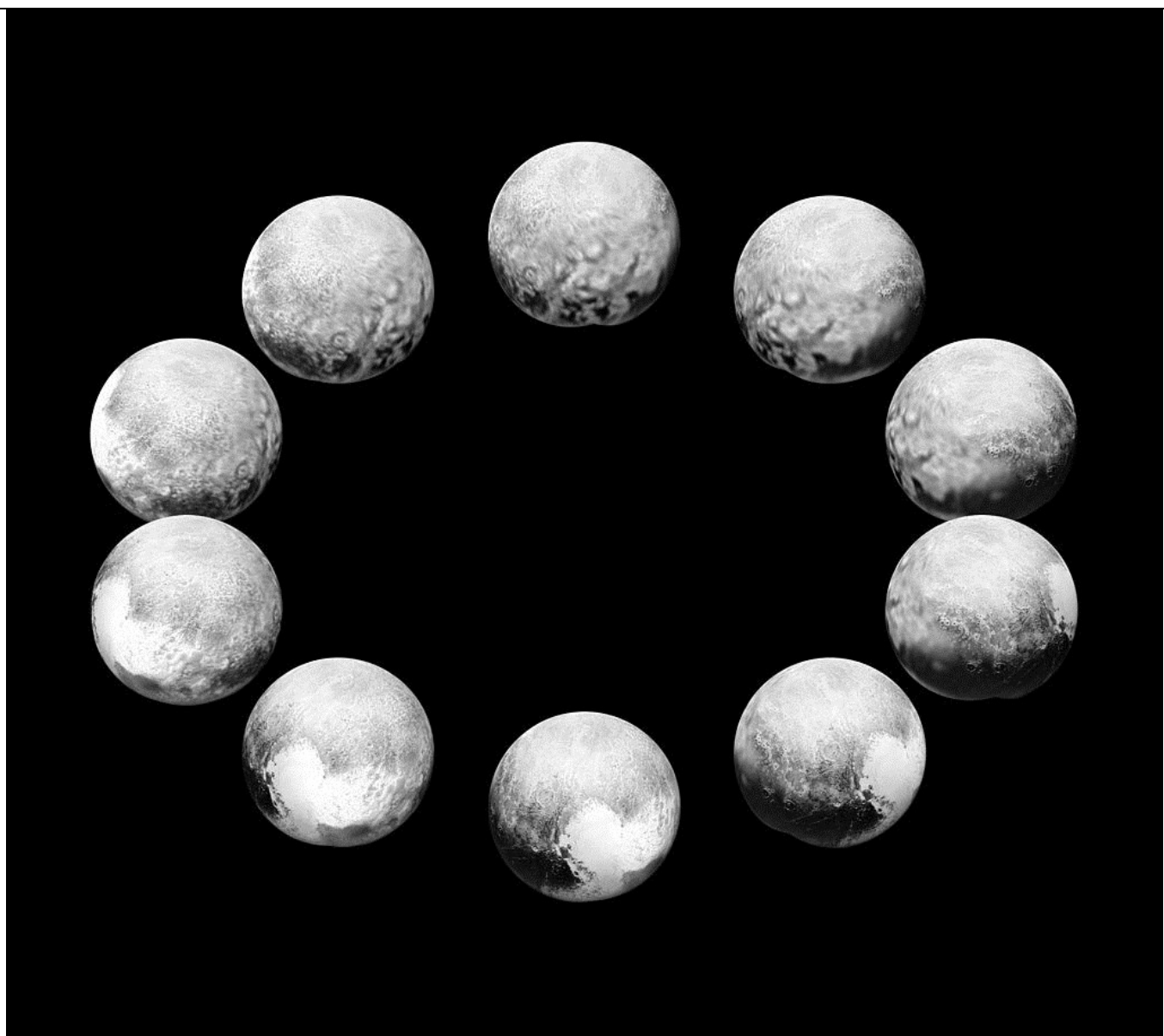
Mesosiderity

8. Trans-Neptunovy Objekty – TNOs:

a) Kuiperův pás (KBOs) + Pluto

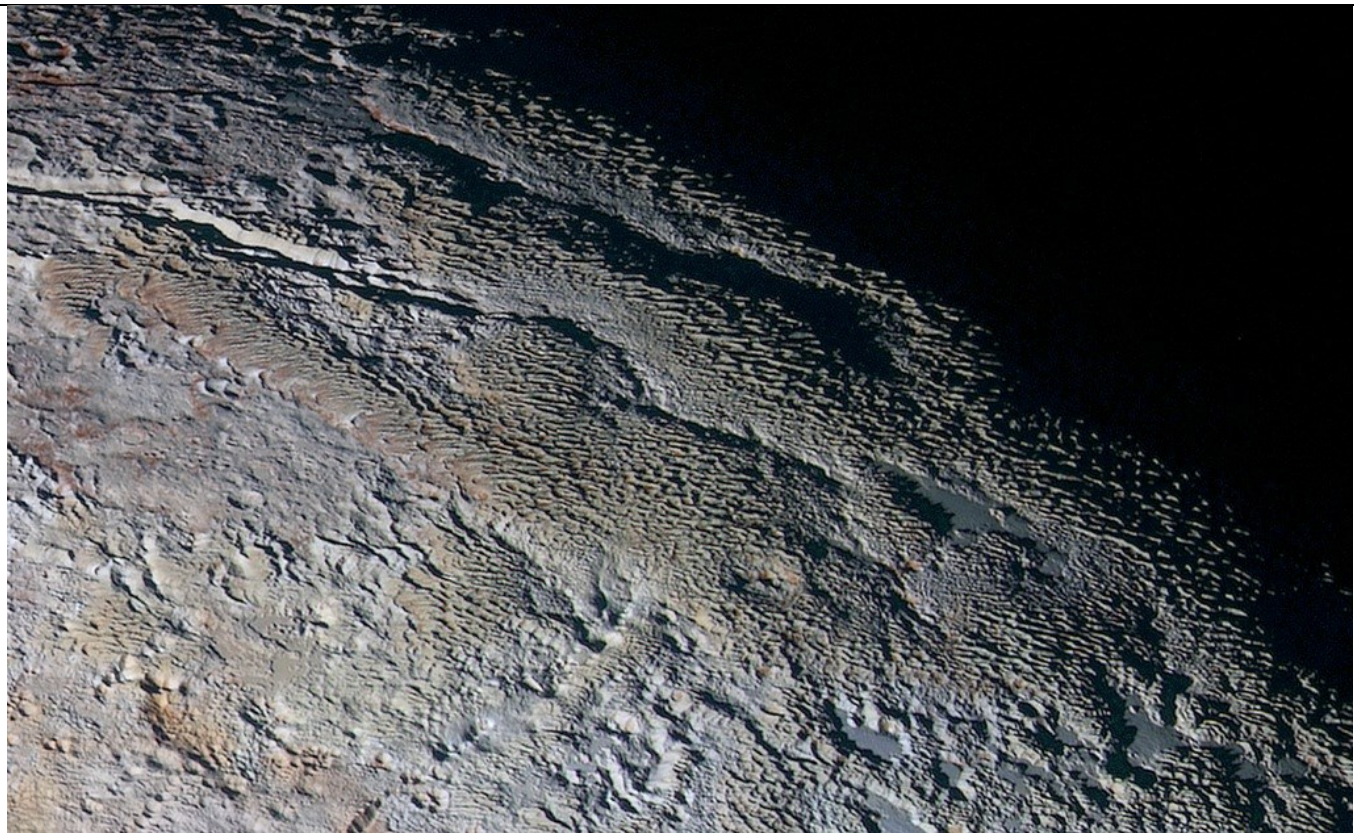
1) Pluto

Pluto, formálně 134340 Pluto, je druhá nehmotnější trpasličí planeta sluneční soustavy (0,00218 hmoty Země), o velikosti (průměr 2374 km) skoro našeho Měsíce, ale jen cca šestině jeho hmoty a třetině jeho objemu. P. se patrně skládá hlavně ze silikátových hornin a ledů z vody, dusíku a metanu (hustota $2,03 \text{ g/cm}^3$), teplota v roce 2015 44 Kelvin = -233 až -213°C). Jeho oběh je více než u kterékoliv planety skloněný k ekliptice ($17^\circ 9' 3''$) a nejvíce excentrický (0,248807). Střední vzdálenost P.-a od Slunce je 39,44 AU; 21. 1. 1979 až 14. 3. 1989 (20 let) byl blíže Slunci než Neptun, nejbliže (perihelium) 1989 – jen 29,64 AU; nejdále (aphelium) 49,24 AU bude v roce 2112. P.-ův oběh okolo Slunce je 248 let, je dosti excentrický (0,24905) a dost skloněný k ekliptice (přes 17°).



Pluto — mosaika 10 obrazů z různých úhlů pohledu (nejde o oběh okolo Slunce). Protilehle proti srdčitému útvaru je Charon, který je na to místo gravitačně vázán.

Díky velké oběžové excentricitě podléhá P. silnému vlivu globálních ročních období, především v teplotě a atmosférickém tlaku. Když je Slunci nejbližší, jeho slabá atmosféra houstne. Skládá se z dusíku, kyslíčnicku uhelnatého a metanu. Při jeho vzdalování atmosféra mrzne, povrch bělá vlivem metanového sněhu, který UV zářením během let tmavne. Tak P. světlá při vzdalování od Slunce. Silné teplotní změny mohou být příčinou polygonální struktury zjištěné sondou *New Horizons*.



Povrch Pluta se strukturou nazývanou „hadí kůže“ (*snake skin*).

Výrazná je diferenciací povrchu podle orientace k největšímu měsíci Charonu: na straně k němu přikloněné je více metanového ledu, na opačné straně více ledu z dusíku a kyslíčnicku uhelnatého.

P. je po Marsu „nejčervenější“ planetou: jeho oranžová barva připomíná barvu Titanu, o níž předpokládáme, že je způsobená před-organickými sloučeninami *tholiny*. P.-ův oběh rezonuje s Neptunovým v poměru 3:2 (248:165 let). Pluto se zvolna otáčí na více než „vodorovné“ (118°) ose: P.-ův den trvá 6 zemských dní, 9 hodin a 18 minut. Má zatím 5 známých měsíců: Charon (větší než polovina P.-a, takže P. a Charon jsou skoro dvojplanetou čili binární planetou), Styx, Nix, Kerberos a Hydra (objevena jako poslední 11. července 2012).

14. 7. 2016 okolo P. prolétla sonda *New Horizons*, díky již máme o P. jedinečné informace. 1. 1. 2019 NH prolétne okolo asteroidu 2014 MU68.

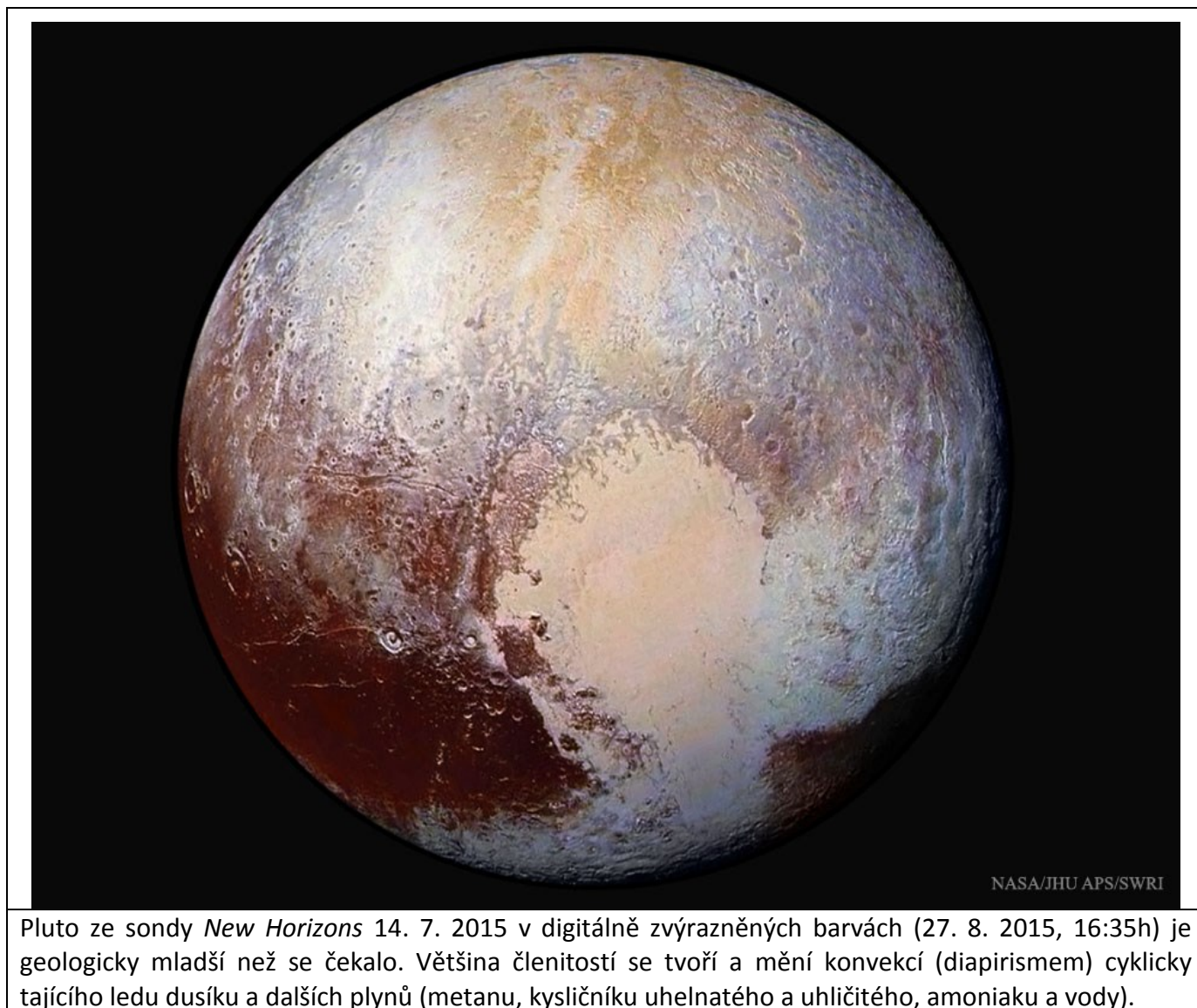
P. ukazuje vizuálně různé chemické složení. Např. na obrázku vpravo dole světlá srdčitá oblast nazvaná *Tombaugh Regio* (podle objevitele Pluta *Clyde T.*, 1930) je rozdělitelná na dvě geologicky různé části: neobvykle hladký levý (západní) lalok *Sputnik Planum* a pravý (východní) lalok. NH pokračuje za tímto snímkem a bude posílat nasbírané údaje a snímky ještě do konce roku 2016. Změnil kurz 4x (22., 25., 28. října a 4. listopadu 2015), aby se 1. ledna 2019 přiblížil asteroidu 2014 MU68. I když NH byl vyslán největší rychlostí ze všech sond, které lidstvo vyslalo, nikdy nebude rychlejší než *Voyager* 1 a 2, které

byly urychleny gravitační smyčkou při blízkých průletech okolo Saturnu a Titanu. Když bude NH vzdálený 100 AU, poletí 13 km/sek, tj. 4 km/sek pomaleji než Voyager 1 v takové vzdálenosti.

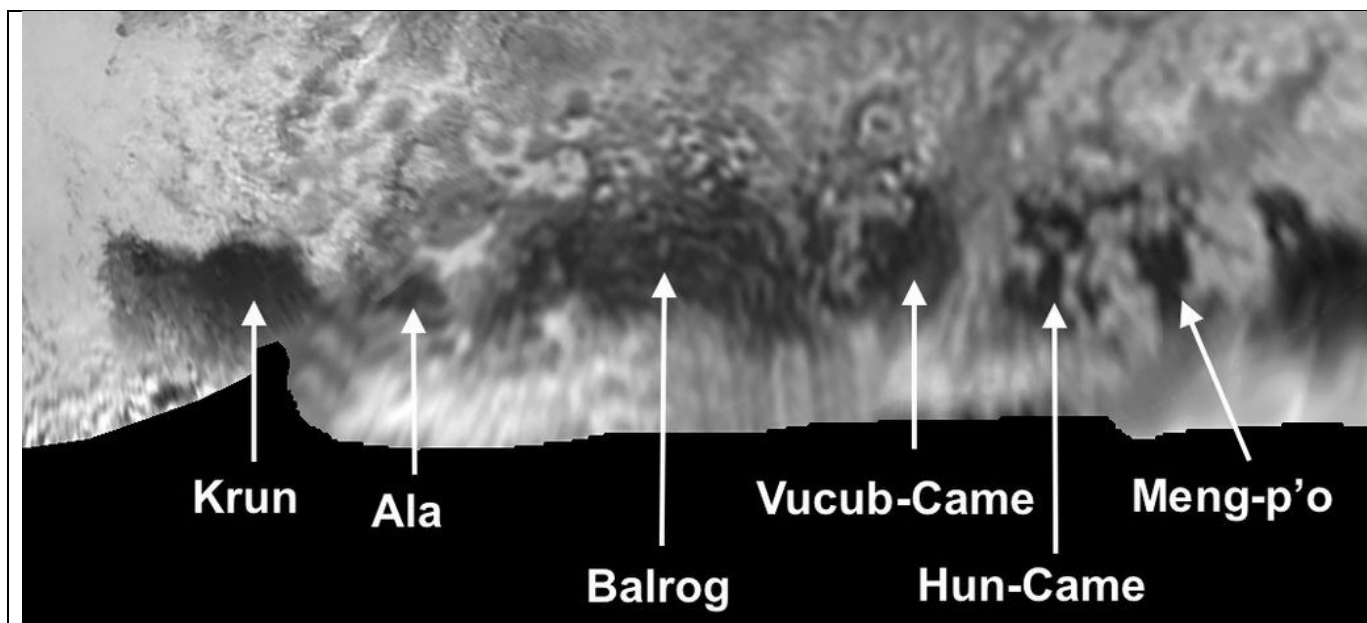


Pluto – vytlačené buňky dusíku jsou geologicky mladé, pohybovaly se *diapirismem* (konvekci, vztlakem), na Zemi známým u lehčích plastických ložisek soli a výtlaku magmatických pňů (plumes). Extraterrestrický se předpokládá na Neptunově měsíci Tritonu, Jupiterově měsíci Europě, Saturnově měsíci Enceladu a Uranově měsíci Mirandě.

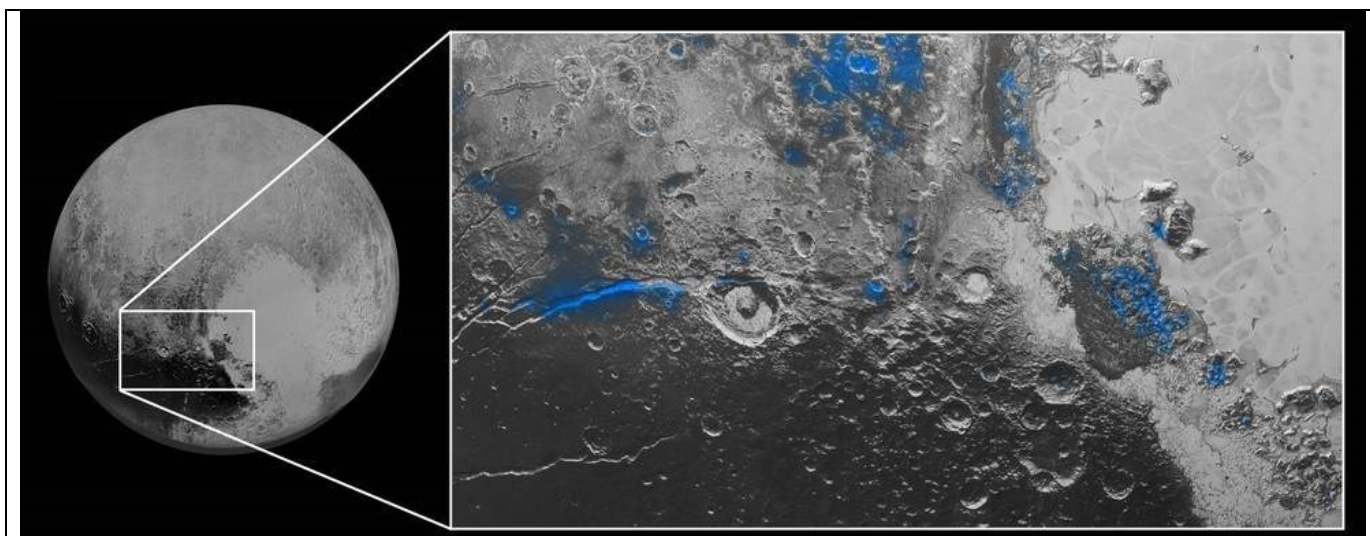
Zajímavá jsou místa charakterizovaná různým složením a strukturami. Pluto je zřejmě geologicky velmi aktivní (trpasličí) planeta. Velmi důležitou roli hraje hlavně dusík, který je v dosud nezvykle velké vzdálenosti od Slunce (teploty okolo 44 Kelvin) podroben mezním podmínkám okolo teplotně-tlakového rozhraní - ve třech fázích: pevné, kapalné a plynné. Přítomnost metanu v atmosféře ji ohřívá o několik desítek stupňů výše než tuhá povrch Pluta a v dolních partiích vyvolává teplotní inverzi. Atmosféra je zvrstvená do cca 20 vrstev



Povrch P.-a je z 98% led dusíku se stopami metanu a kyslíčnicku uhelnatého. Dusík a kyslíčnick uhelnatý jsou nejvíce rozšířené na straně odvrácené od Charonu, oblasti známé jako západní lalok Regia Tombaugh a Plán Sputnika, zatím co metan je nejrozšířenější na přivrácené k Charonu. P. je nejbohatší na barevné kontrasty ve sluneční soustavě (více než Saturnův měsíc Iapetus): od černé jako dřevěné uhlí, přes tmavo-oranžovou až k bílé.

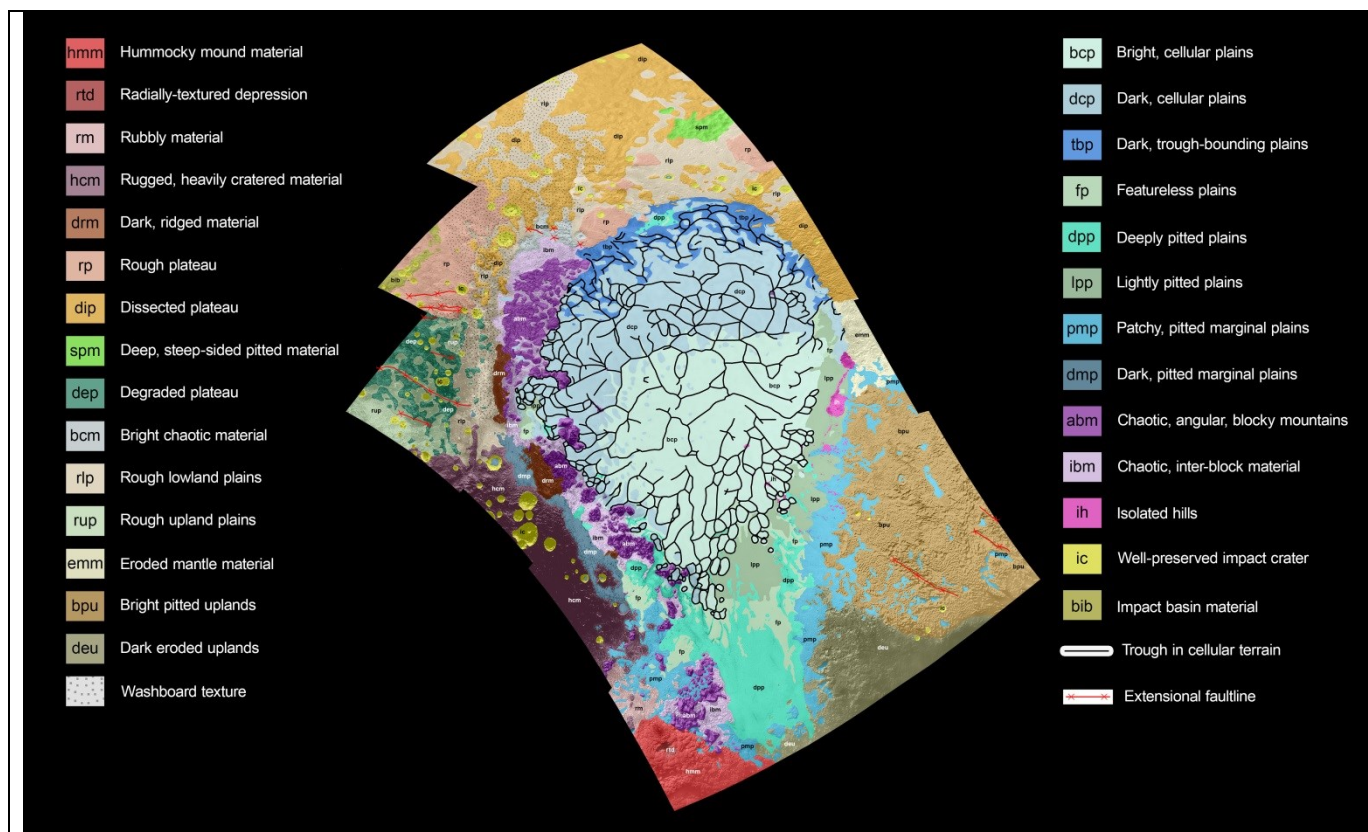


Pluto – mosazné uzlíky (angl. „brass knuckles“): řada skoro rovnoměrně vzdálených tmavých skvrn s nepravidelnými okraji. Mají průměrnou velikost 480 km a vyskytují se podél rovníku mezi „Srdcem“ (Tombaugh Regio na západě) a ocasem Velryby (na východě). Jsou od sebe oddělené vyvýšeninami. Často je prořezávají kilometry hluboké a stovky km dlouhé kaňony.



Pluto – vodní led na modře zvýrazněných místech

Sputnik Planum, západní lalok „Srdce“ (velká světlá plocha na straně odvrácené od Charonu), je 1000-km široká pláň ze zmrzlého dusíku a ledu kysličníku uhelnatého. Je rozčleněn do polygonálních buněk, které vysvětlujeme jako konvekční, které nesou bloky kůry z vodního ledu a sublimační dolíky směrem ke svým okrajům. Tato zjevná znamená ledovcového toku jak směrem do tak i z planiny. Nemá krátery, takže předpokládáme povrch mladší než 10 milionů let. Pluto vykazuje překvapující rozmanitost geologických útvarů, jako jsou ledovcové a vznikající ze vzájemného působení povrchu a atmosféry, z nárazů, tektoniky, možného kryovulkanizmu a gravitačně-svahových procesů.



Pluto — geologická mapa Sputnik Planum a okolí, s černě ohraničenými konvekčními buňkami.

Podle nejnovějšího modelování procesů na Plutu (Brown University, September 2016) simulujících náraz cizího tělesa a předpokládajících 100 km až 180 km silnou vrstvu tekuté vody na rozhraní horninového jádra a pláště z vodního ledu by se Sputnik Planum mohlo vytvořit. Existence tekuté vody se předpokládá z radioaktivního ohřevu hornin v jádře.

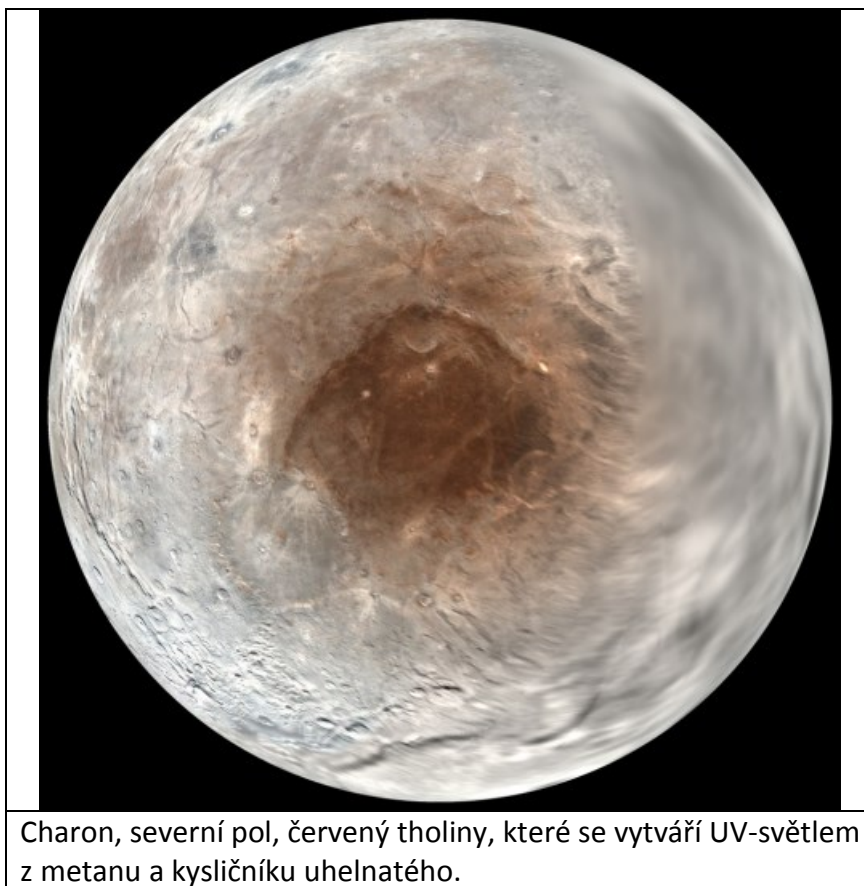


Charon a Pluto jak je viděl NH 14. 7. 2015.

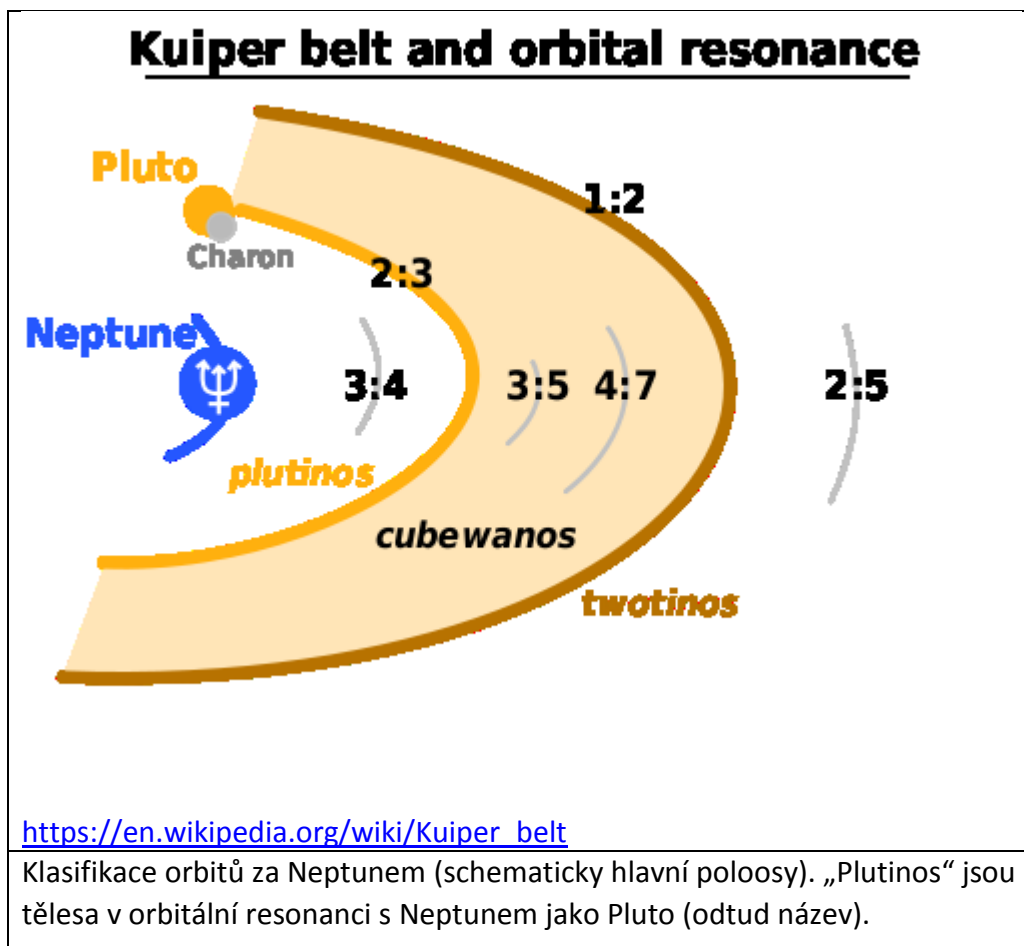
Charon – největší z pěti měsíců, jeho oběh (podobné jako Plutův rovník) je skoro kolmý k oběhu Pluta, se stejnou oběžnou dobou jako je den Pluta: pro pozorovatele na Plutu je Charon na obloze Pluta fixován na jedno místo a je vidět 60x větší než Měsíc na obloze Země. Charonova oběžná rovina směřuje během Plutova oběhu 2x hranou k Zemi, takže během těchto období dochází k zákrytům Pluta a Charonu. Naposledy takový 6-tiletý cyklus proběhl 1985 – 91, což umožnilo unikátní upřesnění našich znalostí o velikosti a hustotě obou těles a Plutovy proměnlivé atmosféry. Protože Charon dosahuje zhruba polovinu velikosti Pluta, je relativně největším měsícem sluneční soustavy; obě tělesa obíhají okolo společného barycentra, které je mezi nimi, tedy mimo Pluta, takže Pluto a Charon jsou skoro dvojplanetou (binární planetou). Pluto je poslední planetou (13. 9. 2006 na IAU v Praze degradovanou na „trpasličí“), která byla navštívena sondou: kosmická loď “New Horizons”, vypustila NASA 19. ledna 2006 dosud největší rychlostí (cca milion km za den), proletěla okolo Pluta 14. července 2015:

<http://pluto.jhuapl.edu> , <http://www.jpl.nasa.gov/pluto> , <http://www.lpl.arizona.edu/pluto> ,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Pluto> , http://en.wikipedia.org/wiki/New_Horizons .

Na rozdíl od Pluta, kde převládají ledy hlavně z dusíku a trochy metanu, na Charonu převládá méně těkavý vodní led



V roce 2007, observatoř Gemini https://en.wikipedia.org/wiki/Gemini_Observatory pozorovala skvrny hydroxidu amonného a vodních krystalů na povrchu Charonu. Z toho usuzujeme na možné aktivní kryo-gejsíry. Teorie o možnosti vzniku soustavy Pluto-měsíců velkou kolísí je nepravděpodobná vzhledem k velmi nízkému albedu měsíce Kerberos než ostatní Plutovy měsíce.



b) *Van OORTův oblak a KOMETY*

Kometa (Aristoteles mluvil o „vlasaté hvězdě“, dříve v názvu „*vlasatice*“), kus „špinavých“ porézních ledů, má velmi malou hustotu 0,1 až 0,25 g/cm³, průměr jen několik km.

Komety obíhají ve velmi excentrických elipsách okolo Slunce. Když se dostanou do vnitřní sluneční soustavy, ledy komety sublimují vlivem tepla ze slunečního záření, uvolňují prach a plynné molekuly se štěpí na atomy a ionty – vidíme zářící hlavu (kóma: slabá dočasná atmosféra) a někdy i ocas. Obrovský oblak plynů a prachu kómatu může narůst přes 1.000.000 km délky a i víc než průměr Slunce.

Jádra komet jsou složené z:

vody, kyslíčnicku uhelnatého a uhlíčitého, metanu, amoniaku, metanolu, kyanovodíku, formaldehydu, etanolu, etanu, a snad i z uhlovodíků s dlouhými řetězci, amino kyselin etc..

Plyn kómatu se skládá z:

vody, kyslíčnicku uhlíčitého a uhelnatého, vodíku atd..

Ocas kómatu typicky dosahuje 10 až 100 milionů km, max. 1 AU (150 milion km).

V listopadu 2014 jsme znali 5,253 komet, ale tento počet neustále roste zlepšující se technikou. Očekáváme jich cca 1 miliardu.

Za **zdroj komet** pokládáme van Oort oblak a Edgeworth - Kuiperův pás

<http://en.wikipedia.org/wiki/Comet> .

Záhadné *Sun grazers*: komety se noří do Slunce častěji, než se dosud myslelo (Astronomy, 4/Apr 92, p. 46-49). O mnohých se předpokládá, že jde o malé, cca 10timetrové zlomky rozpadlé komety, často se označují jako „Kreutz Sungrazers“. Zatím největší takovou kometou byla kometa Ikeya-Seiki, která v říjnu 1965 byla na jižní polokouli 10x jasnější než Měsíc a viditelná i za dne. Kometa Lovejoy 16. prosince 2011 přežila průlet sluneční atmosférou. Mnozí si to vysvětlují nezvykle velkým rozměrem nad 200 m, možná až 500 m. Očekáváme ji za zhruba 600 let. Zlomky komety Shoemaker-Levy 9 se srazily s Jupiterem okolo 21. 7. 1994. Během několika dní se zlomky komety (alespoň 20) přišly zpod Jupiteru a zmizely za ním při pohledu ze Země. Při průniku každého kusu atmosférou explodovaly a vyvolávaly dlouhodobé poruchy. Cca 90 minut po každém nárazu místo dopadu se natočilo do zorného pole (Jupiter se točí zleva doprava). Známý italský astronom Giovanni Cassini zaznamenal, že skvrna po dopadu komety na Jupiter byla vidět 5. až 23. 12. 1690 (Astronomy May 97, p. 34+36).

Populární krátkodobá *kometa Halley* (oběhová doba 76 let) byla naposledy pozorovaná v letech 1985 – 1986 pěti kosmickými loděmi (její jádro sondou Giotto). http://en.wikipedia.org/wiki/Halley's_Comet .

Kometa století *Hale-Bopp* měla perihelion 1. 4. 1997. Její maximální jasnost byla -1,8 MAG
https://en.wikipedia.org/wiki/Comet_Hale-Bopp
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview .

Mezihvězdné („Rogue“) komety se pohybují po hyperbolických drahách. Mohou se objevit (při magnitudě 22 – 25) jednou ročně v oblasti Herkula. Poměrně hojný acetylen, kyanovodík a isokyanatan nalezené na kometě Hyakutake ukazují na její mezihvězdný původ (Astronomy May '97, p. 36).

9. Vznik sluneční soustavy

Podle teorie sluneční mlhoviny, sluneční soustava vznikla před cca 4,6 Ga. Původně, před cca 5 Ga, byla sluneční mlhovina ještě neorganizovaným chladným mračnem plynů a prachu – částí mezihvězdných mraků o zhruba dvojnásobné hmotě dnešní sluneční soustavy a cca tisícinásobném objemu.

Podle pozorování víme, že chladná mračna se skládají z plynů: 75% H (vodíku), 25% He (helium), stopy C, N, O, Ca, Na a těžších atomů, a z 1 – 2% jemného prachu uhlíku, železa a silikátů. I když se jedná o tzv. hustá mračna, jejich hustota je velmi malá: 1 atom/cm³ jsou vířeny proudy „horkého“ nízkohustotního plynu o ještě menší hustotě: 0,1 atomů/cm³. Pro tuto nízkou hustotu mají jednotlivé atomy těchto plynů, třebaže jsou velmi studené (10 – 50 Kelvin), pořád větší tepelnou difusní rychlost než je úniková rychlost z velké gravitace těchto mračen, protože jsou od jejich středu velmi vzdálené. Vodíkové atomy se i při teplotě 10 Kelvin pohybují 0,5 km/sec. A k tomu přistupuje velká turbulence.

I při nízké teplotě se součásti tohoto mračna nemohly gravitačně ovlivňovat. K tomu došlo teprve po komprimaci na zhruba setinu objemu před 5 Ga. Pro takový proces si umíme představit jen dva možné procesy:

1. tlak elmag-záření supernovy (gigantická exploze) ve vzdálenosti 60 světelných let (18 pc),
2. gravitační vlna Mléčné dráhy.

Po tomto stlačení na cca setinu původního objemu se hmota mlhoviny začala gravitačně organizovat. Můžeme rozlišit 5 vývojových fází:

- 1 Prachová zrna rostla kondensací (atomové shlukování jako třeba při vzniku sněhových vloček) a růst nabalováním (jako sněhových koulí: slepování pevných částic uhlíkatými sloučeninami a statickou elektřinou) a vytvářela malé planetesimály (diameter cca centimetr až kilometr). Plyny a prach jsou drženy společnou gravitací ze středu do prostoru kulového tvaru.
- 2 Zatímco nejmenší prachová zrna byla zviřována turbulentním prouděním plynů, planetesimály kolabovaly do roviny sluneční mlhoviny zhruba 0,01 AU tlusté – většina materiálu se soustřeďovala do prostoru diskového tvaru. Tento kolaps kulového prostoru do roviny vznikl postupným vylučováním nesouběžných oběhů a převládáním oběhů v souhlasném směru. Kulový prostor neobsahoval oběhy okolo osy, nýbrž okolo středu koule.
- 3 Gravitační labilita rozčlenila rotující disk částic do malých mraků, elektrostatický náboj, posléze gravitace soustřeďovaly trilióny malých do velkých planetesimálů a pomohly je spojit do objektů až 100 km průměru (velké planetesimály).
- 4 Největší planetesimály, které začaly překračovat tuto velikost, nazýváme protoplanety: rychlostí úměrné hmotě rostly gravitací: „vymetaly“ víc a víc materiálu. Souběžný pohyb (průměrná oběhová rychlost ve sluneční soustavě je 30 km/sec) činil čelní srážky (rozprášily by materiál) postupně méně pravděpodobné: jen se vzájemně otíraly při malé vzájemné rychlosti. Gravitace větších těles mohla zachytit fragmenty vzniklé kolisemi a ukládat je jako vrstvy rozdušených hornin (regolit) účinné pro zachycování menších těles. Když byly protoplanety dostatečně hmotné, mohly začít zachycovat i část plynů původní mlhoviny a vytvářet primitivní atmosféry.
- 5 Vnitřní protoplanety začínají přecházet ve skutečné planety a podléhat tavení vlivem obrovské energie dopadajícího materiálu a radioaktivity prvků s krátkým poločasem jako ²⁶Al (ze supernovy). Roztavený materiál se začal diferencovat podle hustoty: kovy jako železo & nikl se koncentrovaly do

jádra, lehčí silikáty vyplavaly k povrchu; plyny uvolňované z pláště vytvářely první atmosféru bohatou na vodu, kysličník uhličitý, uhelnatý, dusík, amonium a metan (odplyňování). Atmosféry a hydrosféry planet typu Země však vznikaly později zachycováním vzdálených těles s excentrickými oběhy, jako jsou komety. Jejich dráhy strhnul Jupiter ke Slunci, kde dopadaly na vnitřní planety (ukazuje to nedostatek deuteria).

Jakmile se Slunce stalo svítící hvězdou, začalo čistit mlhovinu tlakem záření (slunečním větrem): odstraňovalo plyny a částice, které nevytvořily planety (proud ionizovaného vodíku a jiných atomů rychlý okolo 600 km/sek) a začaly "vymetat" meziplanetární zbytky. Toto čištění mlhoviny se uskutečňovalo první miliardu let (skončilo před cca 4 Ga).

Vytápění ze středu sluneční soustavy (Slunce) ven se projevilo na chemickém vývoji a diferenciaci sluneční mlhoviny. Teplota klesající ze středu mlhoviny řídila **kondenzační posloupnost**: vnitřní planety kondenzovaly z materiálů o vysoké hustotě a vysokém bodu tání, jako jsou kysličníky kovů a čisté kovy; středně vzdálené planety kondenzovaly z materiálů o střední hustotě, bodu tání a vypařování, jako jsou silikáty a alumosilikáty hořčíku a železa, a sodné, vápenaté + draselné alumosilikáty; ve chladných vnějších oblastech kondenzovaly nejlehčí materiály s nejnižšími body tání a odpařování, jako jsou ledy vody, kysličníku uhličitého, uhelnatého, amonia, metanu, dusíku, dále vodíku a helia.

10. Exoplanety

<http://en.wikipedia.org/wiki/Exoplanet>

<http://exoplanet.eu/catalog.php>

http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet

Exoplanety (extra-solární planety) jsou tělesa planetárního charakteru, která se vyskytují mimo sluneční gravitaci, tedy mimo sluneční soustavu. Většina z nich obíhá okolo hvězd naší galaxie (Mléčné dráhy), jsou však i takové, které se v ní „volně vznášejí“, angl. „free floating“, což může znamenat, že

1. dosud neznáme jejich centrální hvězdu
2. oběh exoplanety je příliš dlouhý
3. obíhají autonomně okolo galaktického těžiště.

Tyto planetární objekty nazýváme také *sirotčí* (angl. *orphan planets*), nebo *Rogue planets*.

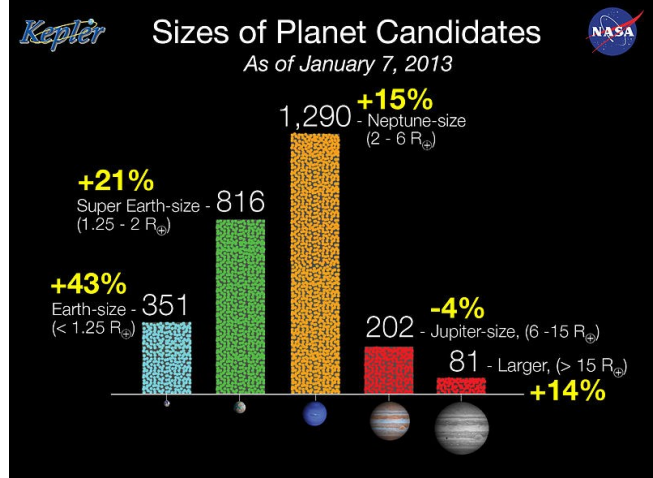
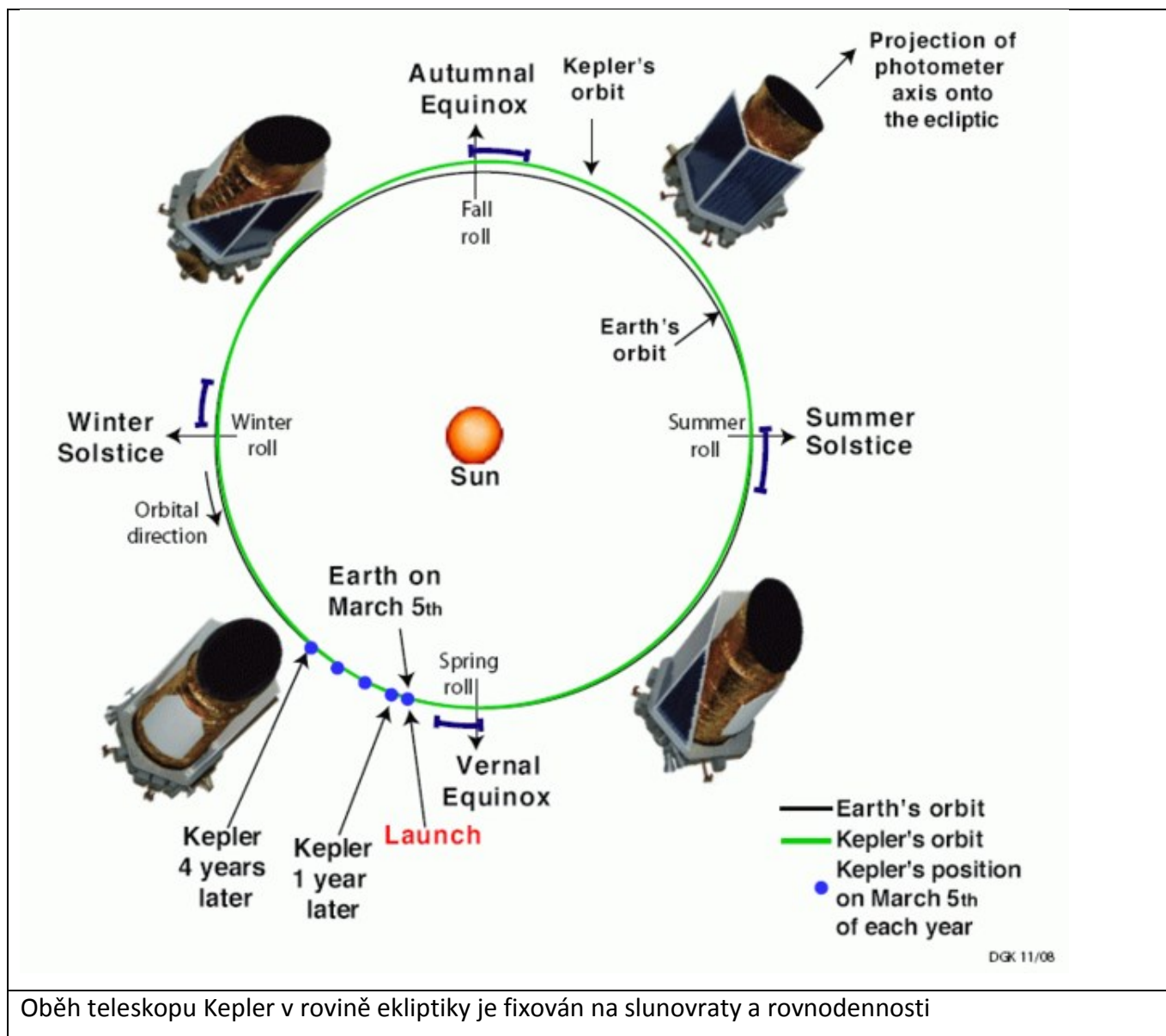
Převážná většina exoplanet byla zjištěna z periodických změn radiální rychlosti svých centrálních hvězd, necelá třetina metodou transitů přes centrální hvězdu, cca tři desítky přímým pozorováním, cca dvě desítky „mikročočkou“, angl. *microlensing*.

Více zde: <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=40577>

Existenci extragalaktických planet, i když nespornou, se podařilo ověřit jen několika pozorováními:

1. Mikročočkovou událostí Dvočatného quasaru v roce 1996, v laloku A „čočkujícího“ quasaru předpokládanou planetou YGKOW G1. Je to ovšem neopakovatelné pozorování. Očekávaná planeta má mít velikost tří zemských hmot a je ve vzdálenosti 4 miliard ly;
2. Planeta o 6ti až 7mi-násobné hmotě Jupiteru gravitační mikročočkou v Galaxii Andromeda;
3. Exoplaneta okolo hvězdy HIP 13044 vzdálené 2000 ly v Mléčné dráze, v tzv. Helmi-ho proudu hvězd, které zbyly z malé galaxie pohlcené Mléčnou drahou před více než 6 miliardami let, kdy ona hvězda vznikla jako součást zaniklé galaxie. Planetu označujeme jako HIP 13044 b. Téměř s jistotou předpokládáme, že planeta strávila stovky tisíc let pod povrchem své hvězdy, když byla ve stadiu červeného obra.

K 9. 2. 2015 bylo známo 1889 exoplanet v 1188 exoplanetárních soustavách včetně 477 víceplanetárních. Mise Kepler, vesmírný teleskop, který pro hledání exoplanet vyslala NASA na sluneční oběh 7. 3. 2009 na dobu původně 3,5 let, byla roku 2012 prodloužena do roku 2016, zčásti z důvodů problémů ze zpracovávání a analýzy gigantického množství přijímaných dat. Zjistila více než 18.000 kandidátů zahrnujících 262 obyvatelných z hlediska fyzikálních podmínek. V galaxii Mléčné dráhy očekáváme mnoho miliard exoplanet (průměrně nejméně jedna planeta obíhající okolo jedné hvězdy, což ukazuje na 100 – 400 miliard exoplanet), s mnohem více volně se vznášejícími planetami. Nejbližší exoplaneta je Alpha Centauri Bb, vzdálená $4,366 \pm 0,007$ ly ($1,339 \pm 0,002$ pc). Exoplanet Mléčné dráhy blízkých velikosti Země odhadujeme (leden 2013) nejméně 17 miliard.

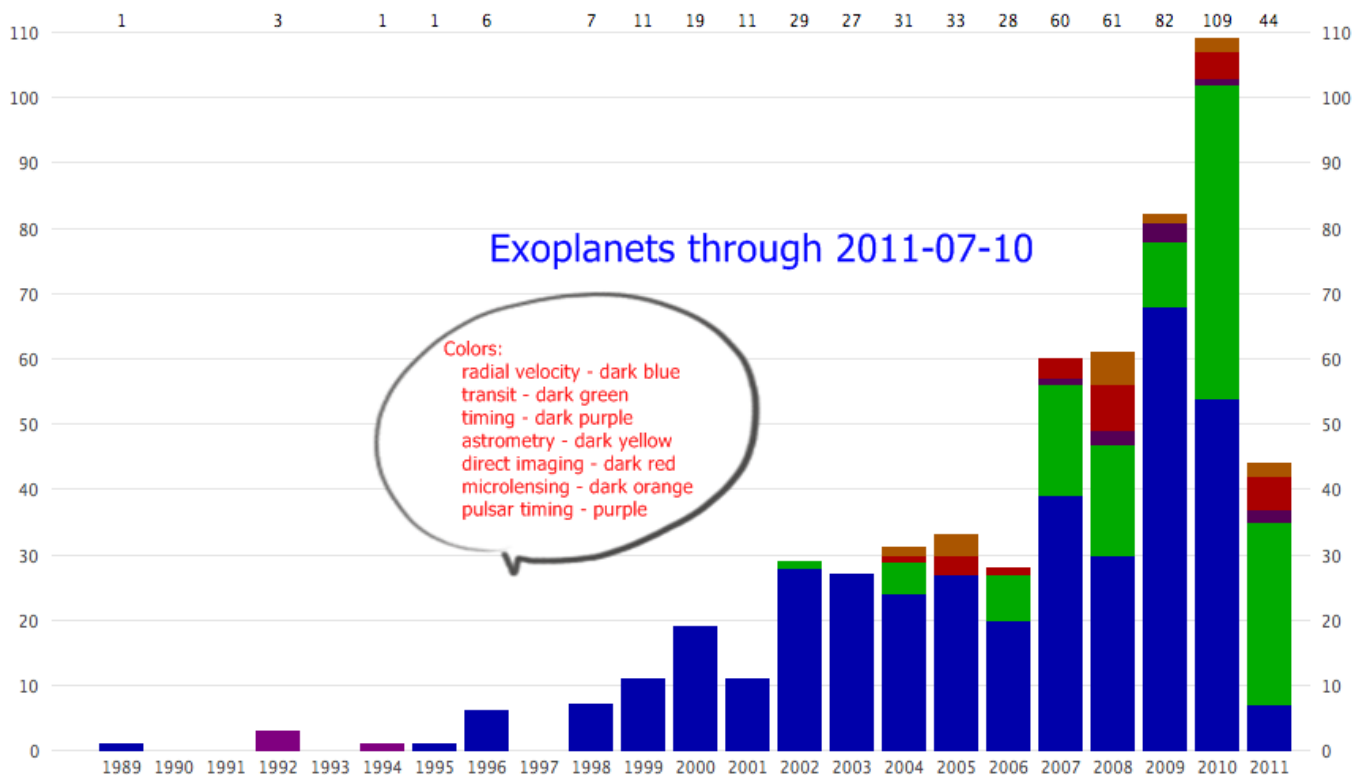


Rozdělení velikostí 2740 kandidátů mise Kepler obíhajících 2036 hvězd k 7. 1. 2013 (NASA)



Záběr teleskopu Kepler v Mléčné dráze.

Teleskop mise Kepler má hmotu 1.039 kg, primární zrcadlo 1,4m (v době vypuštění největší zrcadlo mimozemského teleskopu). Teleskop má zorné pole (FOV) 12°. Excelentní fotometrická přesnost je 20 ppm při 6,5-hodinové integraci. Transit exoplanety velikosti Země působí změnu jasnosti o 84 ppm trvající 13 hodin, pokud prochází středem hvězdy. Sensor kamery má jedinečně vysoké rozlišení: 42 CCD po 2200x1024 px poskytují 95 Megapixelů.



11. Slunce – naše rodná hvězda

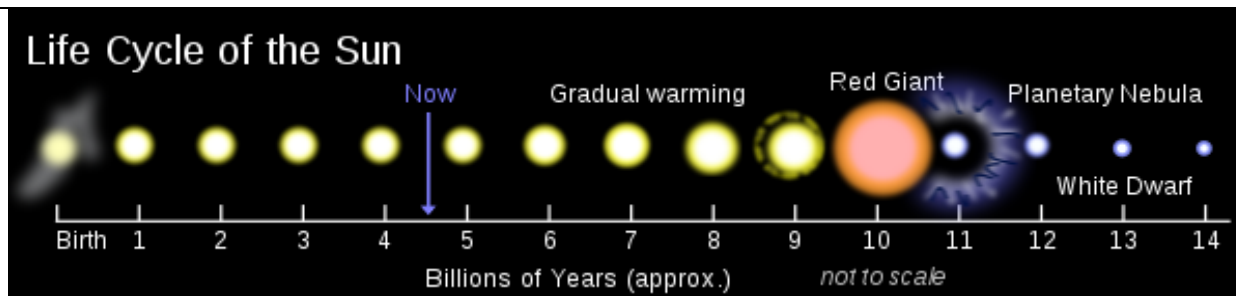
<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>

Hvězda hlavní posloupnosti (angl. *main sequence star*), gravitačně soustřeďuje sluneční soustavu, představuje 99,86% její hmoty, čili 333.000 zemských hmot; průměr S. 1.392.684 km odpovídá 109 zemským průměrům: Měsíc by ve Slunci mohl obíhat Zemi a zbylo by 20% nevyužitého průměru S.. Průměrná hustota S. $1,4 \text{ g/cm}^3$ je mezi průměrnými hustotami obřích planet Jupiterova typu. Složení: cca $\frac{3}{4}$ vodík, zbytek helium, 1,69% ostatních prvků, jako kyslík, uhlík, neon a železo (hmota 5628 Zemí). S. je skoro perfektní koule složená z horké plasmy.

Vznik: hromaděním hmoty, až gravitační tlak a teplota v jádře zažehly fúzi vodíku na helium (dnes 620 milionů tun za vteřinu), jejíž radiační tlak se dostal do rovnováhy s gravitací, zastavil smršťování a ustálil průměr S.. Podle složení, hmoty a průměru S. dosáhlo dnes cca $\frac{1}{2}$ svého věku, 5 miliard let. Teplota jádra je 15.700.000 K, viditelný povrch, fotosféra, je nejchladnější: 5.778 K (5.505°C). Vertikálně negativní teplotní gradient způsobuje pohyb horké plasmy vzhůru konvekci a radiací. Silná magnetická pole konvekčních buněk brzdí proudění elektricky nabitě plasmy, čímž se hromadí mechanická energie určitých proudů plasmy (jako stlačujícího se péra) až magnetický odpor okolí dovolí a původně stlačená část plasmy vystřelí jako CME, plasmová sluneční erupce (angl. *Coronal Mass Ejection*, CME: <http://helios.gsfc.nasa.gov/cme.html>) - nejsilnější a na Zemi mířící mohou zničit civilizaci a vážně ohrozit život na Zemi, naposled 1.-2. září 1859: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_storm_of_1859.

Nad fotosférou teplota stoupá: chromosféra a korona vyplněná slunečním větrem, který dosahuje na povrch heliosféry, obalu sluneční soustavy.

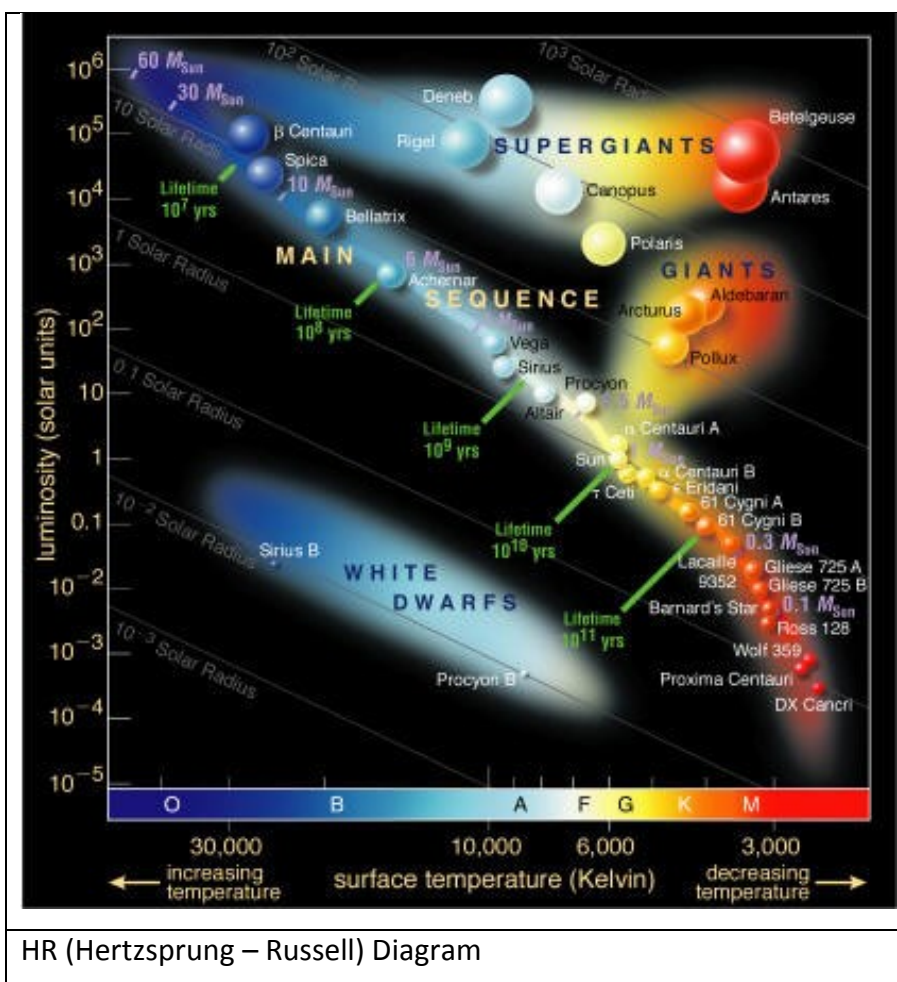
Vývoj Slunce jako hvězdy hlavní posloupnosti se odhaduje na cca 10 miliard let, z nichž zhruba polovina uběhla:



Životní cyklus Slunce (bilion odpovídá evropské miliardě, tisíc milionů)

12. Hvězdy – vznik, vývoj a zánik

Hvězdy (dříve také stálice) jsou objekty určité hmoty, jejich množství vede k jaderné fúzi v jejich jádru. Odtamtud se vznikající energie přenáší na povrch většinou konvekci (u neutronových hvězd vodivostí), odkud ji záření rozptyluje do prostoru. Povrch hvězd je proto jejich nejchladnějším místem. Povrchovou teplotu hvězd spolu s jejich vlastní světelností (angl. *intrinsic luminosity*) užíváme pro klasifikaci hvězd, např. podle známého Hertzsprung-Russellova diagramu (viz obrázek níže).



Vlastní světelnost (angl. *intrinsic luminosity*) je světelnost ze standardní vzdálenosti 10 parsec-ů (32,6 ly/světelných let) .

Vznik a vývoj hvězd

Hvězdy vznikají jako sluneční soustava a obdobné extrasolární soustavy v galaxiích, např. v naší Mléčné dráze, externím stlačením chladných mezihvězdných oblaků, tím, že se zažehne nukleární fúze v jádře.

Vlastní gravitace začne právě vzniklou hvězdu dále stlačovat, setrvačnost rychle rotující okrajové hmoty začne rotaci hvězdy zrychlovat. Odstředivá síla vymrští okolo rovníku mladé hvězdy část hmoty, kde vytvoří *nárůstový disk* (angl. *accretion disk*), a silný magnetismus vystřeluje rychlostí 100 – 1500 km/sec ve směru rotační osy bipolárně (oběma směry kolmými na disk), kde vytváří až 1 světelný rok dlouhé *polární výstřiky* (angl. *polar jets*); hmota okolní mlhoviny se v čelech obou výstřiků stlačuje, aktivuje a vytváří *Herbig-Haro objekty* (viz schematický obrázek níže). Nárůstový disk pokládáme za rodiště hvězdných soustav jako je naše sluneční soustava. Hvězda sama postupně „spaluje“ jadernou fúzi

palivo v jádře — v zóně největšího tlaku a teploty. To je hlavní období života hvězdy, které je u *hvězd hlavní posloupnosti* (*Main Sequence Stars*) přesně definováno zachováváním pt — rovnováhy (*pressure-temperature thermostat*). V nich se vodík fúzí spaluje na helium.

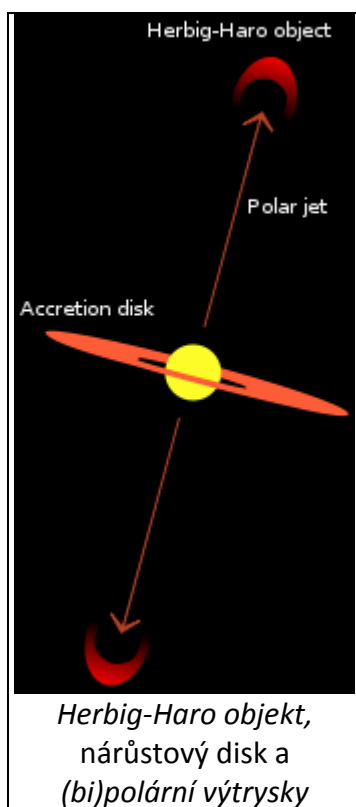
Životnost hvězd hlavní posloupnosti

Hmota M hvězd hlavní posloupnosti plyne z jejich luminosity L (=světelnost v celém el-mag spektru):

$$L = M^{3,5},$$

$$M = L^{1/3,5}.$$

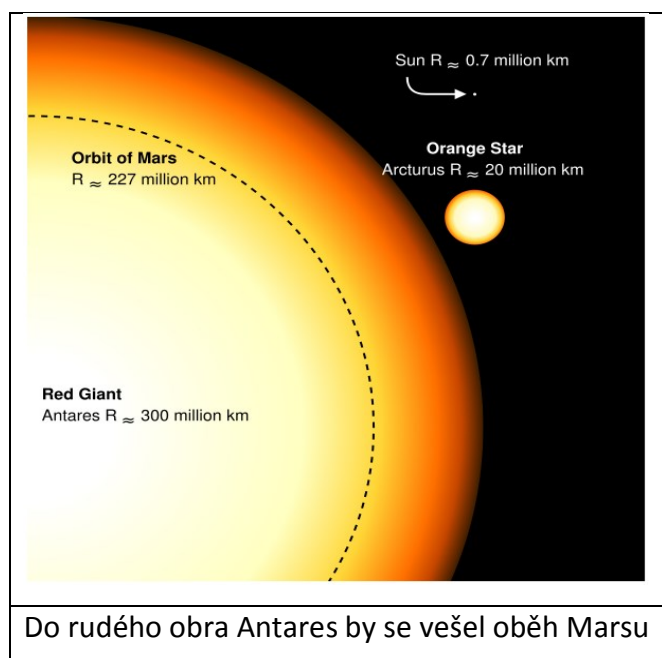
Protože spotřeba paliva je úměrná luminositě L , je **životní očekávání** hvězdy *hlavní posloupnosti* $T = \text{palivo}/\text{rychlost spotřeby} = M/L = M/M^{3,5} = 1/M^{2,5}$. Je-li např. životnost Slunce ca 10 miliard let, pak je životnost hvězdy o čtyřech ☼-slunečních hmotách $T = 1/4^{2,5} \times 10$ miliard let = $1/32 \times 10$ miliard let = pouhých 310 milionů let.



Zánik hvězd

Hvězdy končí své zářivé životy spotřebou zásob jaderného paliva. Hvězdy hlavní posloupnosti, jejichž hmotnost stačí na fúzi vodíku, začnou „umírat“, když není dost vodíku v jejich jádře, v němž je tlak dostačující na vodíkovou fúzi. Z nedostatku tohoto paliva se sníží světelný tlak zadržující gravitační stlačování, které začne převažovat a více stlačovat plasmu. Nejdříve dojde ke komprimaci, oteplení a zjasnění hvězdy. Jakmile se vyšší vrstvy dosud nespotřebovaného vodíku dostanou do zóny vyššího tlaku vyvolávajícího fúzi i tohoto vodíku, dojde k expansi. Expanse a kontrakce se začnou periodicky střídát, až se veškeré palivo spotřebuje, vytvoří se rudý obr nebo veleobr, jádro se stane bílým trpaslíkem. Žhnoucí povrch vzroste se čtvercem průměru, a svou velkou plochou se obrovským vyzářením rychle chladí. Naše Slunce by mohlo rozepnutím pohltit i část až všechny vnitřní planety

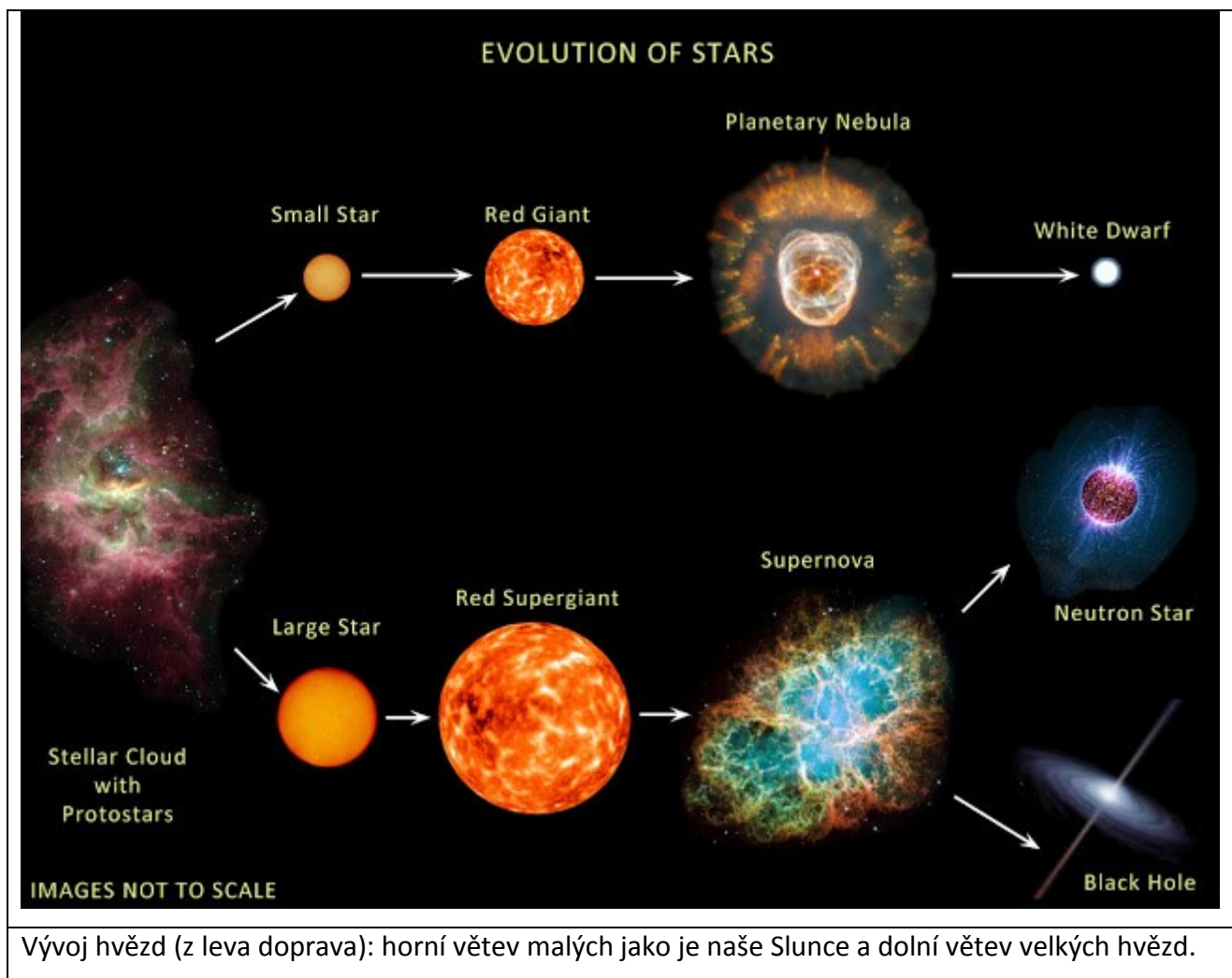
(Země, případně Mars), které by ovšem nerušeně obíhaly dál, protože velmi řídká hmota (vele)obrá by jejich oběhu téměř nekladla odpor. Vysokou teplotou by ovšem zanikla atmosféra i hydrosféra.



Podle hmoty původní hvězdy (*Chandrasekharův limit* pro bílý trpaslík je 1,4 sluneční hmoty M) očekáváme 3 konečná stadia vývoje hvězd:

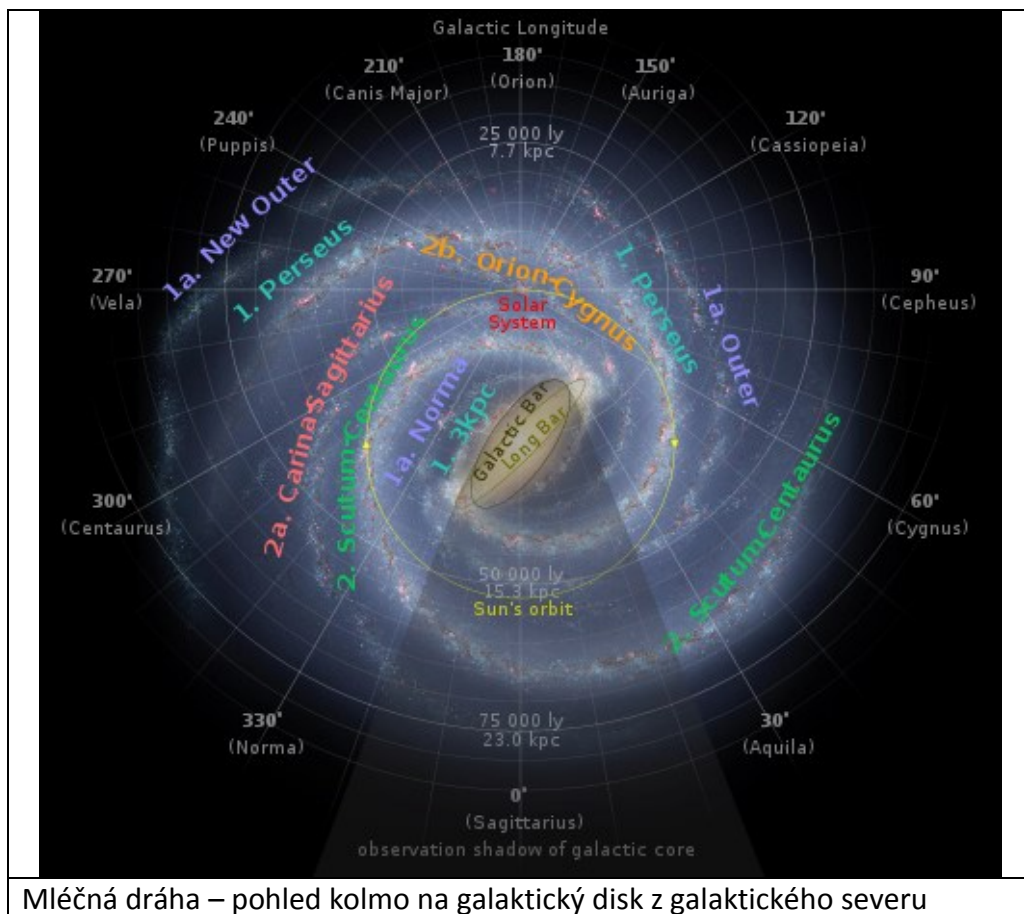
	M	stadium	charakteristika
1	<1,4	bílý trpaslík	degenerovaná hmota, 0 nukleární reakce; rozměr Země
2	>1,4	neutronová h.	degenerované neutrony; 20 km průměr
3	>3	černá díra	na ploše Schwarzschildova poloměru úniková rychlost = c , rychlost elmag zář.

Přehledně lze znázornit vývoj menších a větších hvězd v tomto schematu:



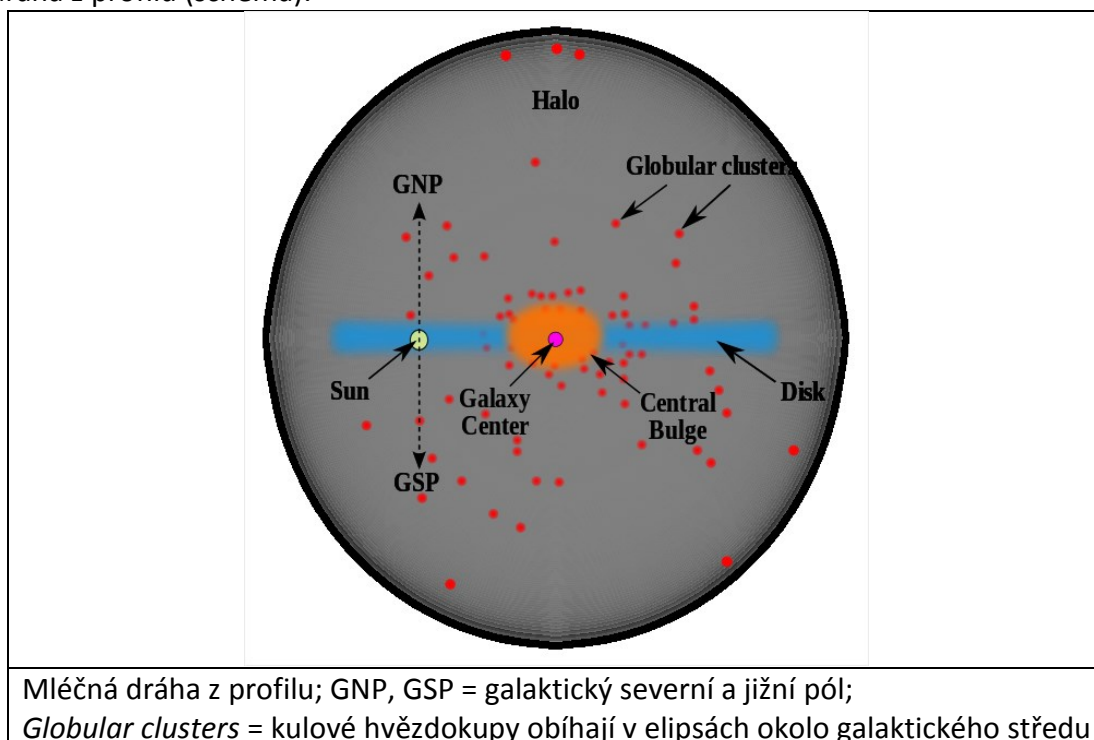
13. Mléčná dráha – naše galaxie a naše místo v ní

Mléčná dráha je spirální galaxie, v jejímž ramenu 2b. Orion – Labuť (=Orion – Cygnus) je umístěna naše sluneční soustava:



Mléčná dráha – pohled kolmo na galaktický disk z galaktického severu

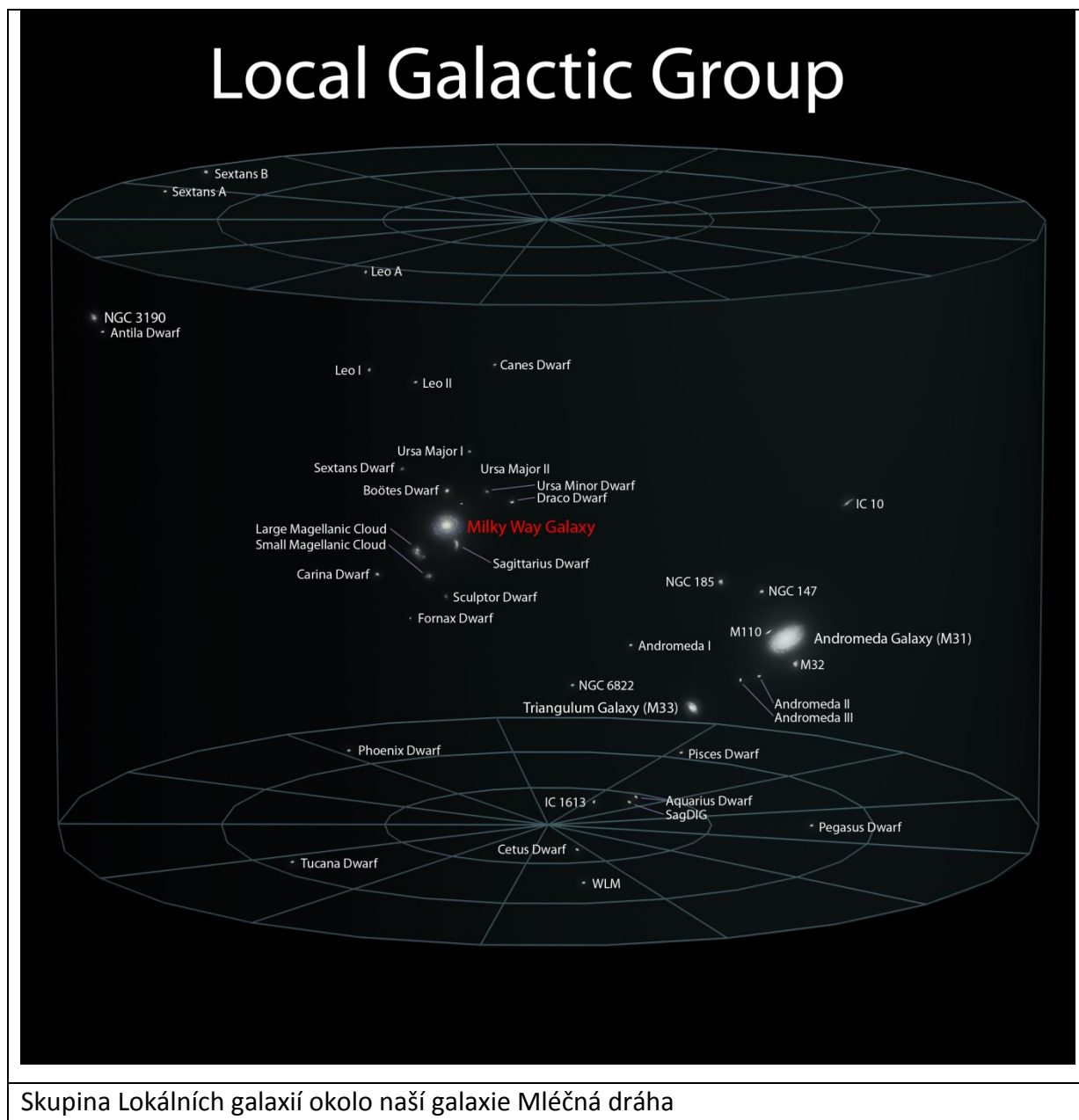
Mléčná dráha z profilu (schema):



Mléčná dráha se skládá ze zhruba 400 miliard hvězd.

Podle nejnovějších výsledků, hlavně ze sondy Kepler, na každou hvězdu Mléčné dráhy připadá zhruba 1,6-násobku planet <http://www.universetoday.com/109551/keplers-universe-more-planets-in-our-galaxy-than-stars/>.

Mléčná dráha je umístěna mezi těmito lokálními galaxiemi:



14. Literatura

	autor	název	nakladatelství	poznámka
1	BEATTY J. Kelly, Carolyn Collins PETERSEN & Andrew CHAIKIN (editors)	The New Solar System	4th ed., Sky Publ. Corp., Cambridge, MA, USA & Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999; ISBN 0-93334686-7 (Sky), 0-521-64587-5 (CUP)	Autoři jednotlivých kapitol tvoří sbírku nejlepších expertů svých oborů. Tak např. astrofyzik Dr. David Morrison, autor úvodní kapitoly, je opravdu nejpopulárnějším NASA odborníkem: ředitel Centra Carl Sagana pro Studium života ve vesmíru při SETI ústavu, dříve ředitelem NASA Lunárního Vědeckého Ústavu a hlavním vědeckým poradcem NASA Astrobiologického ústavu při NASA Ames Center, Mountain View, CA atd. (http://en.wikipedia.org/wiki/David_Morrison_(astrophysicist)). Z dalších 27 vědeckých pionýrů jen namátkou Eugene M. Shoemaker o kolísích, R. Stephen Saunders o Venuši, Don L. Anderson o Zemi, Michael H. Carr o Marsu, William B. Hubbard o obřích planetách, William K. Hartmann o malých tělesech, Harry Y. McSween Jr. o meteoritech.
2	FAURE Gunter & Teresa M. MENSING	Introduction to Planetary Science. The Geological Perspective	Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2007; 526 pages; ISBN 978-1-4020-5233-0	
3	HARTMANN, William K.	Moons & Planets	Cengage Learning, 5th ed. June 2004, 428 pages + CD, ISBN 0534493939	Tuto knihu mi doporučil Ludolf Schultz, autor německé planetologie výrokem, že "Billova kniha je lepší než jeho vlastní". Od takového odborníka je to jistě to nejvyšší ocenění, a v podstatě souhlasím. Nemohu však knihu doporučit k systematickému studiu našeho stručného kurzu: 13 kapitol, každá členěná do hlubokých podrobností, převyšují možnosti našeho kurzu. Jedinečný zdroj detailních informací.
4	McSWEEN Jr., Harry Y.	Meteorites and Their Parent Planets	Cambridge University Press, 2nd edition, thoroughly revised, 1999; 310 pages; ISBN 0-521-58751-4	
5	MURRAY Carl D. & Stanley F. DERMOTT	Solar System Dynamics	Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999, Reprint 2001; 592 25,2x17,8x2,8cm pages; ISBN	Jedinečná monografie na dané téma - klasika. Oba autoři jsou Angličané, Stanley Dermott pracuje v Bryant Space Center, Gainesville, Florida. Jím psané části se týkají výpočtu slapové deformace a resonancí rotačního a oběhového pohybu - velmi běžné zjevy soustav jako je sluneční a planetárních satelitů. Diskutoval jsem se Stanleyem svou představu o ohřevu na Zemských

			0521575974 paperback; Amazon.de cena 18. 2. 2012 72,70 /56,35 €UR	subdukčních diskontinuitách a díky jemu jsem mohl opravit svůj chybný výpočet na webu v Geology News, zpráva o zemětřesení SW od Sumatry 26-DEC-04: http://teaching.grano.de/old_hp/s_n_geol.htm ; česká zmínka zde: http://www.grano.de/CZ-Teaching/ .
6	POKORNÝ, Zdeněk	Exoplanety . Najdeme ve vesmíru naší Zemi?	Academia, edice Pruhledy, Praha; 104 stran; ISBN 978-80-200- 1510-5; cena 70 Kc	Tato unikátní útlá knížka, zahrnující stav do roku 2007, je bohužel téměř rozebraná. Autor, v posledních pěti letech života ředitel Hvězdárny a planetária Mikuláše Koperníka v Brně, by se jistě staral o další aktualizace tohoto dílka, kdyby nám ho nevzala těžká nemoc z této planety 5. 12. 2007 navždy. Obsahuje i klasickou planetologii naší sluneční soustavy a řadu užitečných principů. Pokud seženete - zaručeně se investice vyplatí. http://amper.ped.muni.cz/jenik/hvezdarna/o_zd_pokor.html
7	SEEDS, Michael & Dana BACKMAN	Horizons. Exploring the Universe	Brooks/Cole Cengage Learning, 12th edition 2012, 514 pages; ISBN 978-1-111- 56907-5	Kniha je doplněna nejnovějšími poznatky, její poslední sekce, i když zabírá ¼ knihy, je pro naše účely více než postačující. Pro své přednášky astronomie u UMUC Europe jsem užíval více než 20 let mnoho předchozích vydání psaných starším autorem Mike Seeds-em (mladší autor se podílí teprve na tomto vydání). Až do desátého vydání jsem k tomu účelu vybavoval studenty svým podrobným Průvodcem barevně tištěným na 22 A4 stranách.
8	SCHULTZ, Ludolf	Planetologi e. Eine Einführung	Bechtermünz, Stuttgart 2004 (4. Aufl.), 270 pages; ISBN 3- 8289-1633-3	I po dvanácti letech poskytuje tato učebnice detailní údaje hodnotné zvláště vlastními originálními tabulkami a diagramy.

15. Rejstřík

absolutní teplota.....	12	deuterium.....	20, 69	hnětení.....	7, 31, 47
accretion disk.....	71	diacetylén.....	36	Hohmannův transferový oběh.....	11
acetylen.....	62	diagnostická vlnová délka.....	15	horká skvrna sluneční soustavy ..	30
Aitkenův kráter.....	22	dimension of quantity.....	3	HR (Hertzsprung – Russell) Diagram	71
albedo Měsíce.....	20, 21, 59	Dione.....	19	hvězdy.....	5, 16
alumosilikáty.....	69	Dopplerův princip.....	15	Hvězdy.....	71
alumosilikáty sodné, vápenaté a draselné.....	69	draslík.....	21	Hyakutake.....	62
amino kyseliny.....	61	dusík.....	21, 36, 49, 60, 69	Charon.....	16, 17, 19, 60
amoniak.....	26, 27, 49, 61, 69	Earthshine.....	23	chemické složení.....	15
analýza vlnové délky.....	14	Edgeworth.....	16, 61	Iapetus.....	18, 37, 38
Ananke.....	36	EJSM.....	41	Ida.....	58, 59
Andromeda M31.....viz galaxie		ekliptika.....	6	impaktní.....	20
anorthosit.....	21	Elara.....	35	intrinsic luminosity.....	71
anténa.....	13	elektromagnetická.....	12	Io.....	7, 18, 28, 31, 32, 34, 40
anticyklonické jevy.....	28	elipsa.....	10	isokyanatan.....	62
anuloid.....	29	elmag vlny.....	13	jaderná reakce.....	71
aphelion.....	60	Enceladus.....	19, 40, 41, 42, 43	Jasnost (intenzita).....	5
argon.....	23, 36	energetická hladina (orbit) elektronu.....	12	jets, polar.....	71
architektura.....	39	Eris.....	18, 19	Jupiter 7, 11, 16, 18, 19, 25, 26, 30, 41, 45, 53, 62, 69	
Ariel.....	47	ESA.....	41	Jupiterovy trojáni.....	53
Aristoteles.....	61, 62	etan.....	27, 36, 61	K.....	8, 12, 18, 26, 27, 45, 49, 68
Arthur C. Clarke.....	37	Europa.....	7, 18, 31, 32, 33, 34, 41	KBO.....	16, 51, 60
asterismy.....	5	Europa Jupiter System Mission ..	41	kelvin.....	12
asteroid (planetka).....	16, 54	Excentricita.....viz elipsa		Kepler	
asteroidy .	16, 20, 24, 26, 36, 53, 54	Exoplanety.....	66	Kepler, Johannes.....	10
Asteroidy (menší planety).....	53	extra-solární planety.....	66	Keplerovy oběžové zákony.....	10
asteroidy hlavní.....	53	formaldehyd.....	61	Keplerův zákon.....	11
atmosférická okna atmosférické okno.....	14	foton.....	12	klasifikace hvězd.....	71
atom.....	12	free floating planets.....	66	klatráty.....	36
atomová jádra.....	13	frekvence.....	12, 13, 14	klinopyroxen.....	21
attitudes (in science).....	3	galaktický rok.....	16	koma.....	16, 61
Balmerova serie.....	12	Galileo.....	58, 59	kometa Hale-Bopp.....	62
barycenrum Země - Měsíc.....	8	Galileo sonda 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34		kometa Halley.....	62
barycentrum.....	26, 60	Galileovy satelity.....	31	komety.....	16, 26, 29, 61, 62
Bus a Binzel.....	55	gama paprsky.....	13, 14	Komety.....	16
C – uhlíkaté.....viz asteroidy, viz asteroidy, viz asteroidy		Ganymed.....	18, 34, 35	kondenzace.....	69
Callisto.....	31, 34, 35	globální.....	6	kondenzační posloupnost.....	69
cantaloupe terrain.....	50	gravitační deformace.....	7	kovové jádro.....	20, 34
Carme.....	36	gravitační vazba.....	22	kovy.....	69
Cassini.....	26, 38, 39, 40, 41, 62	gravitační vlna Mléčné dráhy.....	68	Král prstenů.....	36
Cassini Jean-Dominique.....	37	GRS.....	26, 27, 28, 29	kruh.....	8, 10, 11, 41
centauři.....	36, 56	heliosféra.....	70	Kuiperovy pásy.....	61
Centauři.....	58	helium.....	16, 25, 27, 36, 48, 69	Kuiperův pás.....	16, 51
Ceres.....	16, 18, 19, 56	hemisférická roční období.....	6, 21	kyanoacetylen.....	36
cirus.....	27	Herbig-Haro objekty.....	71	kyanovodík.....	27, 61, 62
CMEs.....	70	Herculina.....	56	kysličník uhelnatý.....	27, 60, 61, 69
Coronal Mass Ejections, CMEs.....	70	Hertzsprung-Russell.....	71	kysličník uhlíčitý.....	20, 27, 61, 69
Cygnus.....	16	Hidalgo.....	56	kysličníky kovů.....	69
Dactyl.....	58, 59	Hildy.....	53	Labuť.....	16
dalekohled.....	14	Himalia.....	35	Lagrangeovy body.....	54
Deformace.....	7, 30	Hipparchos.....	5	laločnaté zlomy.....	20
Deimos.....	24, 59	hlava komety.....	61	Leda.....	35
deklinace.....	5	hlavní barvy.....	13	ledy vody.....	69
				létavice (meteor).....	62

Linda	7	Philosophiae naturalis principia		Siderický měsíční oběh.....	8
litosféra	7	mathematica	12	silikáty	69
lobate scarps	viz Merkur	Phobos.....	24, 59	Sinope	36
Loki.....	31	PHOs	54	síra.....	20, 27, 28, 31, 32
Lysithea	35	picokelvin	12	sirotčí planety	66
M – kovové	viz asteroidy	pK.....	12	sírové polymery	27
magnetické pole	20, 21, 29, 45	planetesimály	69	slapové jevy.....	7
magnetosféra.....	29, 30	planetka (asteroid)	16	slapový ohřev	7, 31, 32, 47
magnituda.....	5	planetoidy.....	53	Slunce... 6, 8, 11, 16, 17, 20, 21, 25,	
Mars.....	11, 17, 18, 23, 24, 31, 59	Planety typu Jupiter.....	25	26, 27, 29, 36, 45, 48, 49, 53, 60,	
melounový terén	50	Planety typu Země.....	20	61, 62, 69, 70	
menší planety	53	Plutinos.....	16, 60	sluneční mlhovina	26, 27, 68, 69
Merkur	11, 16, 17, 18, 20	Pluto	6, 11, 16, 17, 18, 19, 49, 60	Small Main-Belt Asteroid	
Měsíc.....	7, 8, 18, 20, 21, 31, 54, 60	Plutoids.....	16	Spectroscopic Survey	55
Měsíc – Země	7	Pogson, Norman	5	SMASS	55
metan.....	27, 36, 48, 60, 61, 69	polární výstřiky	71	SOFIA.....	6
metanol.....	61	polární záře.....	29	Souhvězdí.....	5
meteor	62	poloha objektu na nebeské kouli .	5	Souřadnice nebeské koule	5
meteor showers	62	Potentially hazardous Objects....	54	Spektrální analýza	14
meteorických rojů.....	62	Povrchová teplota hvězd	71	stálice	71
meteorit	16	primitivní atmosféra	69	stratosféra	27
meteoroid	16	protoplanety.....	69	Sun grazers.....	62
Meteoroid	16, 62	průvodič.....	11	supernova	68
Meteorologie	62	prvky	12, 15	světlo.....	11, 12, 13, 14, 27
meteory komety Encke-ho.....	63	přiliv.....	7	synodický měsíční oběh	8
meteory komety Halley-ho	63	Přímost (prográdnost) a		Tauridy	63
metric system of units	4	retrográdnost otáčení (rotace) a		teleskop.....	14
meziplanetární lety	10	oběhu	6	teplota.....	12, 69
meziplanetární prach	62	quantities (dimensions, units).....	3	Teplota	23
microlensing.....	66	Quaoar.....	18, 19	teplota objektu	12
mikročočka.....	66	radiální rychlost.....	15	Tholen, David J. klasifikace	
Mirabito	7	radio	13	asteroidů	54
Miranda	19, 47, 48	Reflektor.....	viz teleskop	tholiny	36
Mléčná dráha.....	16	Refraktory.....	viz teleskop	thorium	21
nadzvukové větry	23	Regio Galileo.....	34	tidal locking	22
nárůstový disk.....	71	rektascense.....	5	titan	21
NASA ...	6, 25, 34, 38, 40, 41, 47, 49,	resonance	7, 31	Titan	18, 36, 41
60		Rhea.....	18	Titan Saturn System Mission.....	41
NCE (New Columbia Encyclopedia)		roční období		Titania	19, 47
.....	3	globální	6	Titius-Body	17
Near Earth Objects.....	54, 59	Roční období – hemisférická a		TNO	16, 60
NEOs	54, 59	globální	6	torus.....	29
Neptun	6, 11, 18, 48, 60	Roentgenovy	viz paprsky	transferový.....	11, viz Hohmannův
Nereida	51	Rogue komety	62	transferový oběh	
New Columbia Encyclopedia.....	3	Roche-ho hranice	24	Triton... 6, 17, 18, 36, 48, 49, 50, 51	
Newtonův gravitační zákon ..	11, 12	Roche-ův limit.....	26	Trojani	53
oblak Hillův	16	rotace (otáčení)	7	troposféra	27, 36
oblak van Oortův	16	rovníkový hřbet	38	TSSM	41
odliv	7	Řeci (Greeks)	53	Umbriel	47
odplyňování	69	S – kamenné	viz asteroidy, viz	units	3
Olympus Mons	24	asteroidy		uran.....	21
Oortův oblak	16	Saturn	11, 18, 36, 41	Uran	6, 11, 17, 18, 45, 47
Orionidy	63	scientia	3	Ursa major.....	5
orphan planets.....	66	Sedna.....	18, 19	Valhalla.....	35
orthopyroxen	21	Shoemaker-Levy 9	26, 29, 62	Van OORTův mrak.....	61
Pallas.....	56	SI units	4	Velká červená skvrna	27
Pasiphae.....	36	Siderický a synodický oběh Měsíce		Velká medvědice	5
perihelion.....	60, 62		8	Velký vůz	5

Venuše	viz planety	vodík . 12, 16, 20, 21, 25, 27, 29, 48, 61, 69	záření černého tělesa	12, 15
Vesta	56	Voyager	zatmění Slunce a Měsíce	8
vlasatice	61	Voyager 1.....	Země ..	5, 6, 7, 8, 11, 15, 16, 18, 19,
vlastní světelnost	71	vznik Jupiteru.....	20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 34,	45, 48, 49, 60, 62, 69, viz planety
vlastnosti hlavních planetárních těles	18	vznik Měsíce	zeměpisné souřadnice	5
vlnová délka	12, 14, 15	Vznik Sluneční soustavy.....	Země-planetesimál	22
vnější sluneční soustava.....	40, 58	Weber-Fechnerův zákon	Zemský svit.....	23
Vnitřní sluneční soustava	53	Yin/Yang měsíc	železo + nikl.....	20, 21
		zachycené asteroidy		