

Plynní a ledové obří



© 2018 Jan Píšala

Hvězdárna a planetárium Brno, p. o.

Vznik Sluneční soustavy



Capella

Uran

Aldebaran

Pollux

Betelgeuse

Rigel

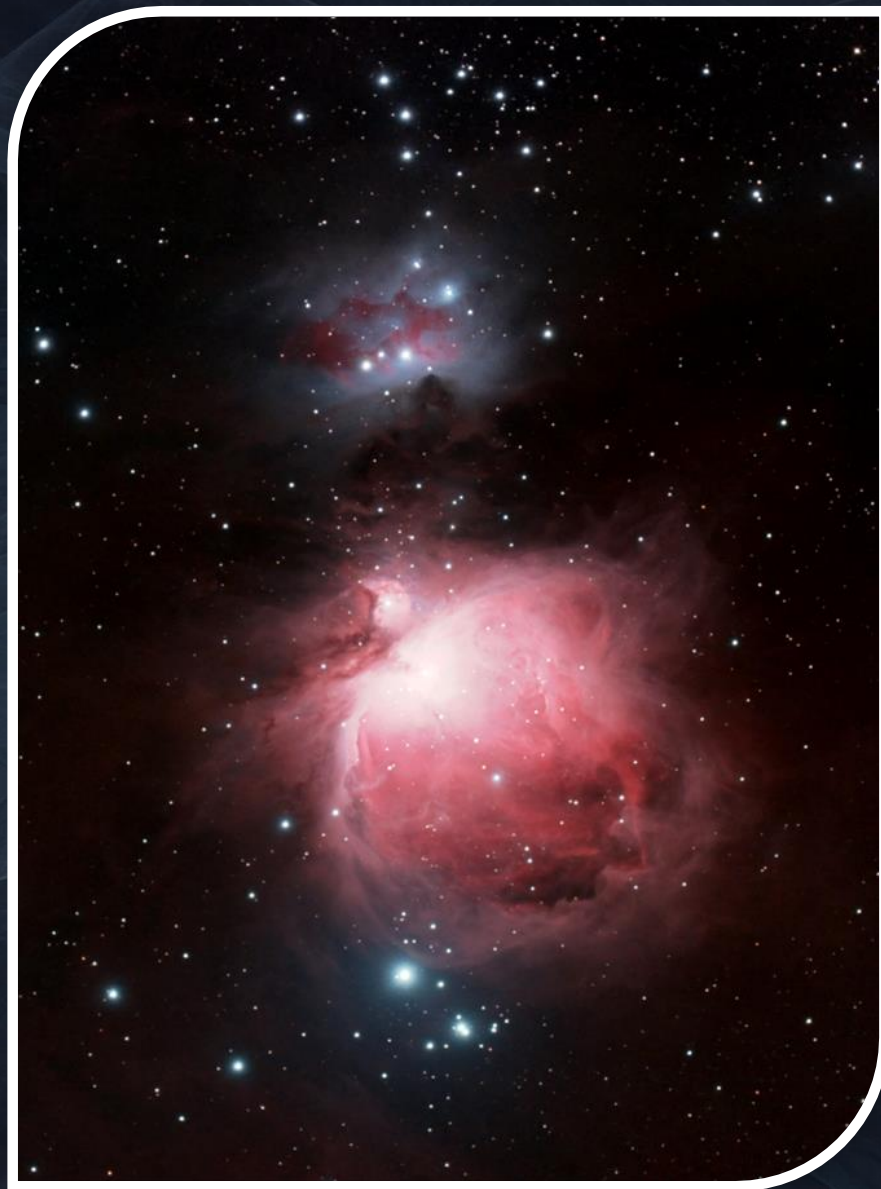
Procyon

Sirius

V

J

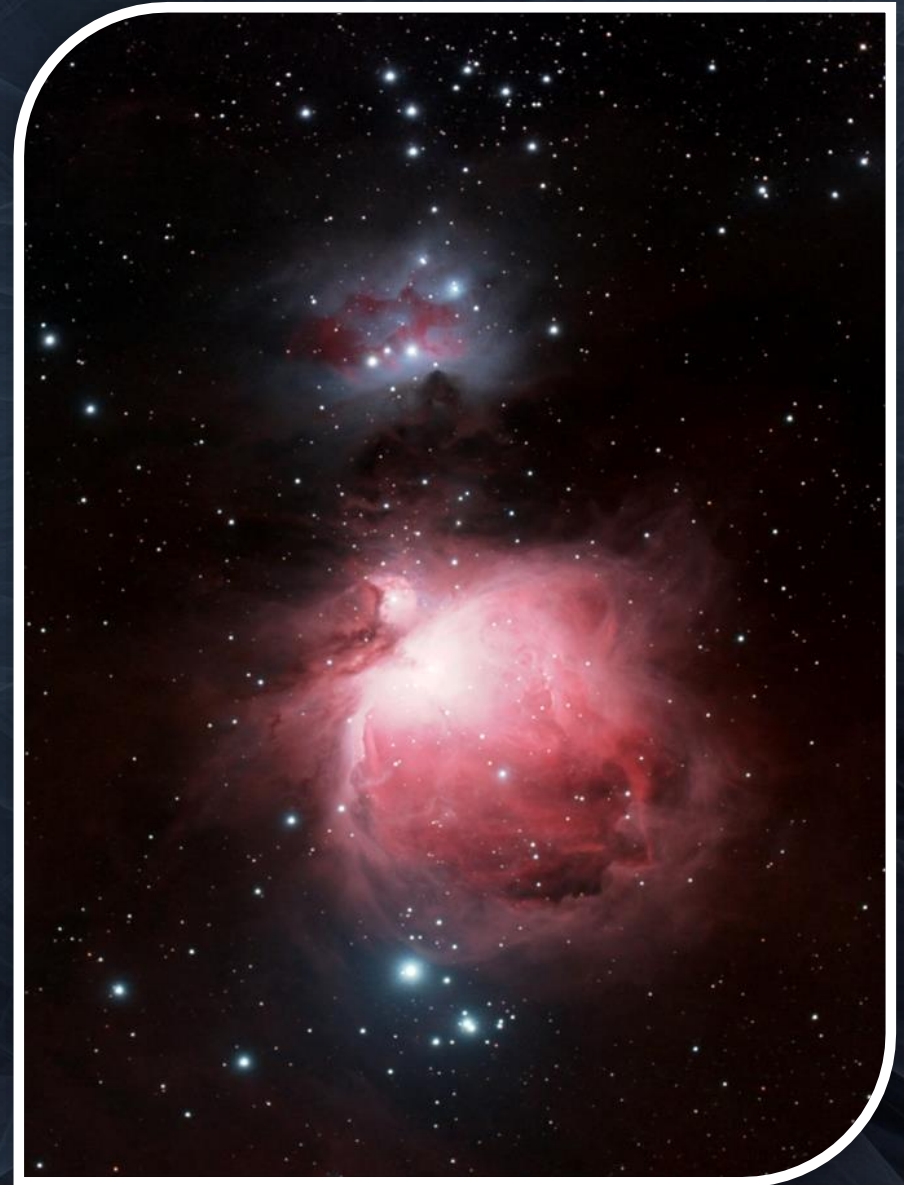
Velká mlhovina v Orionu



Molekulový oblak

Obecné vlastnosti

- ležel v rovině naší Galaxie
- průměr: **jednotky až desítky světelných roků**
- hmotnost: **10^4 - $10^6 M_{\odot}$**
- tvořen plynem a mikroskopickými prachovými částicemi, které měly rozměry srovnatelné s částicemi cigaretového kouře
- prachové částice vznikly kondenzací molekul ve vnějších vrstvách hvězd či mezihvězdném prostředí
- teplota **-260 °C až -240 °C** (tedy 10-30 K), ve stíněných centrálních oblastech dokonce jen pár stupňů nad absolutní nulou
- pravděpodobně obsahoval menší a **hustší fragmenty** o hmotnosti ~ 1 hmotnosti Slunce, jejichž průměr dosahoval jednotek sv. roku
- koncentrace částic uvnitř typické části oblaku: **několik tisícovek atomů a molekul v 1 cm^3**
- v nejhustších partiích oblaku byla koncentrace částic až 10^8 částic v 1 cm^3 (1 cm^3 vzduchu obsahuje cca 10^{19} molekul)



Molekulový oblak

Chemické složení

- molekulový oblak měl podobné chemické složení **jako současné povrchové vrstvy Slunce**
- složení povrchových slunečních vrstev není termojadernými reakcemi probíhajícími ve slunečním nitru ovlivněno
- chemické složení oblaku (hm. procenta):
 - **71 % molekulární vodík (H_2)**
 - **27 % atomy He**
 - **2 % ostatní těžší prvky a molekuly**
 - stopově CO, CN, CS, SiO, $\cdot OH$, H_2O , HCN, SO_2 , H_2S , NH_3 , H_2CO a další jednodušší organické molekuly složené z vodíku, uhlíku, dusíku a kyslíku
- zhruba 1 % z celkové hmotnosti oblaku připadalo na **prachové částice** (složené především z těžkých, netěkavých prvků)
- inspirací může být téměř 1500 světelných roků vzdálená **Velká mlhovina v Orionu** obsahující desetitisíce hvězd (mnohé halí plynoprachové obálky), jež jsou staré řádově miliony roků



Protoplanetární disk (proplyd)

- 98 % hmotnosti sluneční pramlhoviny bylo soustředěno v centrální hvězdě
- ze zbývajících materiálu se vytvořil disk, který se vlivem rotace (odstředivé síly) zploštil
- vzniknul protoplanetární disk o průměru přibližně 200 AU

Protoplanetární disky

- typický průměr několik stovek AU
- hmotnost 10^{-3} až $10^{-1} M_{\odot}$, nejteplejší centrální oblasti mají teplotu kolem 700°C (1000 K)
- jedny z prvních byly pozorovány ve Velké mlhovině v Orionu (průměr až 1 000 AU)
- protoplanetárním diskem je obklopena například Vega, Fomalhaut nebo β Pictoris
- disky existují 1-10 mil. roků, výjimečně i 30 mil. roků a mohou je doprovázet výtrysky (jety)



První snímky proplydů z Velké mlhoviny v Orionu



Čtveřice proplydů ve Velké mlhovině v Orionu, průměr fotografie je cca 0,14 světelného roku. Snímek byl pořízen 29. prosince 1993 prostřednictvím HST.



Teorie akrece

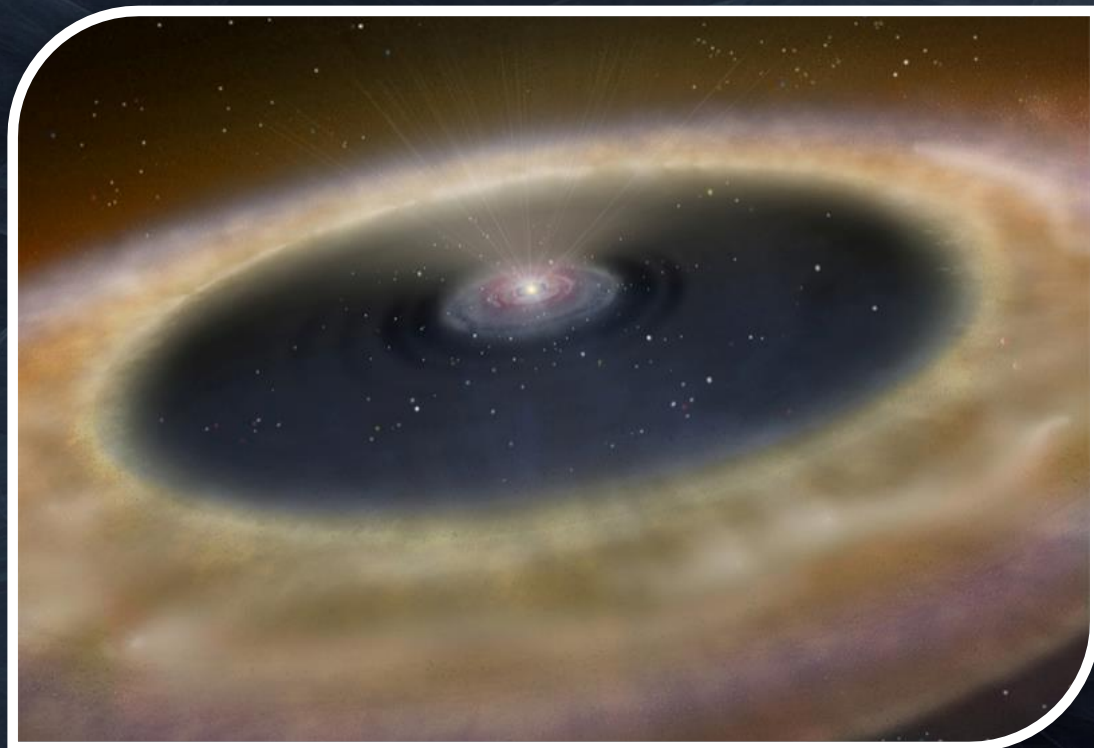
Kondenzace plynného materiálu

- při poklesu teploty na 900-1 400 °C (1 200-1 700 K) začal plyn v disku kondenzovat do mikroskop. zrněk
- nejdříve přešly do pevné fáze netěkavé kovové prvky s vysokou teplotou tání: Ti, Fe, Ni, Al, Ca
- následovaly je oxidy výše uvedených prvků a křemičitany



Sněžná čára

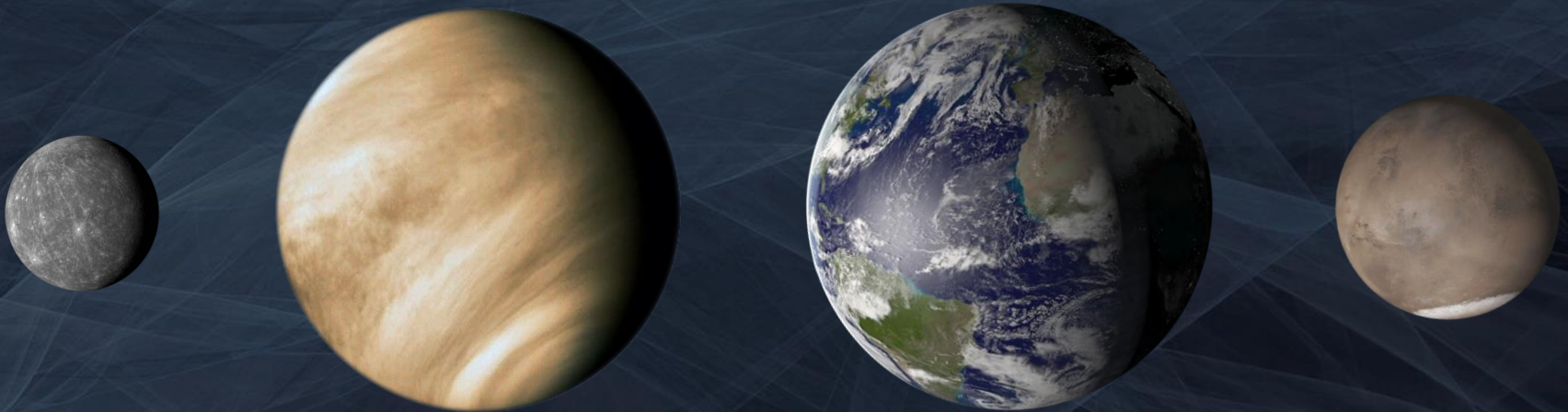
- při nízkém tlaku a teplotě kolem -75° C (200 K) začala kondenzovat voda (H₂O) a posléze i čpavek (NH₃)
- teplotu pod -75° C měly oblasti ve vzdálenosti 3-4 AU od Slunce, tedy za současným hlavním pásem planetek
- tato oblast se nazývá **sněžná čára** (snow line) či **ledová čára** (frost line)
- ve vzdálenosti 10 AU kondenzoval do pevných zrn také metan (CH₄)
- **v protoplanetárním disku se objevily oblasti o různém chemickém složení** (důležitý předpoklad pro formování terestrických planet a plynných obrů)



Terestrické planety

Merkur, Venuše, Země, Mars

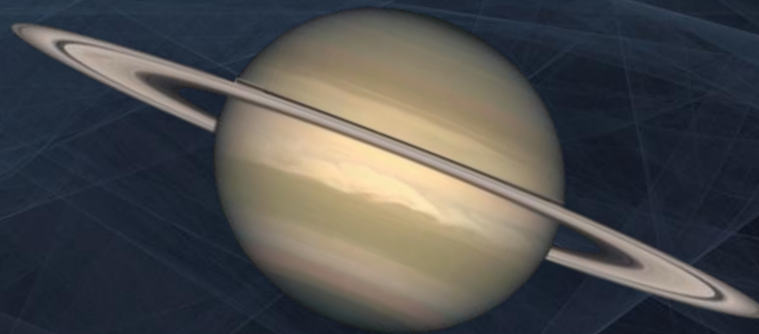
- vznikly ve vnitřní části Sluneční soustavy do vzdálenosti 4 AU od Slunce
- složeny z netěkavých kovů (Fe, Ni, Al) a horninotvorných křemičitanů
- tyto prvky tvořily asi 0,5 % sluneční pramlhoviny, jejich množství limitovalo rozměry terestrických planet



Plynní a ledoví obři

Jupiter, Saturn, Uran a Neptun

- zrodily se ve vnějších partiích Sluneční soustavy, kde byla hojnost lehkých prvků (vodík, helium) a jednoduchých sloučenin s nízkou teplotou tání
- kamenné zárodky (jádra) plyných obrů dosáhly hmotnosti odpovídající jednotkám až desetinásobkům hmotnosti Země
- zbytek současné hmotnosti těchto těles představuje **gravitačně zachycený plyn**
- plynní a ledoví obři tvoří 99 % hmotnosti všech těles, která obíhají kolem Slunce



Plynní a ledoví obři

Společné vlastnosti

- atmosférám **dominuje** molekulární vodík (H_2) a helium (He)
 - voda a sloučeniny bohaté na uhlík, kyslík či dusík jsou zastoupeny pouze stopově
 - u Jupiteru a Saturnu je přechod mezi atmosférou a nitrem spíše neostrý
 - u Uranu a Neptunu existuje větší diferenciacce (pod atmosférou je kapalný plášť)
-
- planety je na základě vzájemné podobnosti možné rozdělit do dvou párů:
 - Jupiter a Saturn (plynní obři)
 - Uran a Neptun (ledoví obři)

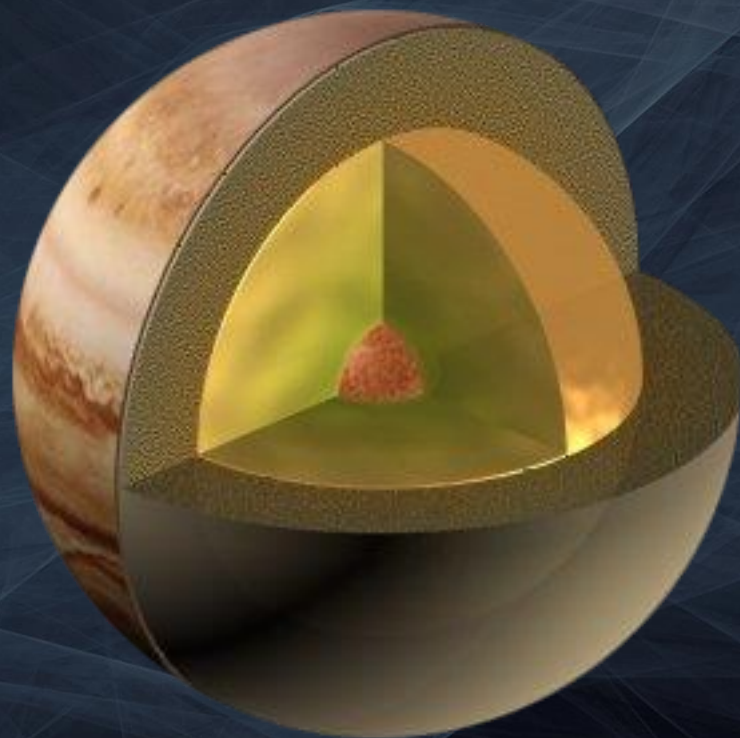


Atmosféry obřích planet

Atmosféry Jupiteru a Saturnu

Struktura plynných obrů

- s hloubkou roste v atmosféře plynných obrů také tlak a teplota
- **plyn přechází plynule v aerosol a následně v kapalinu**
- kamenná jádra Jupiteru a Saturnu jsou navíc obklopena **extrémně stlačeným ionizovaným vodíkem**, jehož elektrony degenerují a stávají se volnými – vodík tak získává **vlastnosti kovu**
- samotná atmosféra, jejíž svrchní část pozorujeme, má mocnost asi 1 000 km



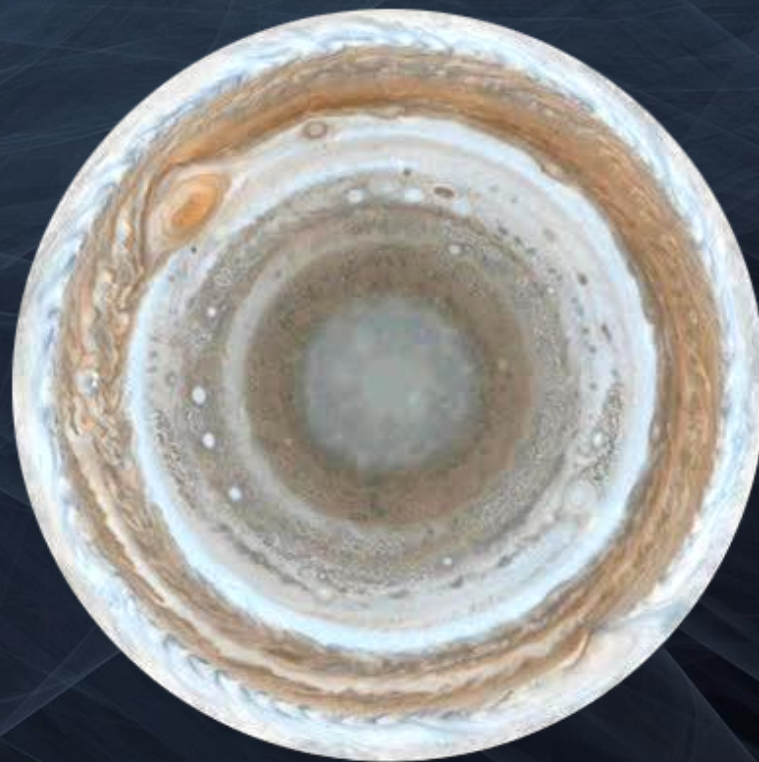
Atmosférické proudění obřích planet

Zonální proudění

- rychlá rotace formuje atmosférické proudění do podoby **rovnoběžných pásů (zón)**
- rychlost proudění v rozmezí **360-2000 km/h**
- u Jupiteru, Saturnu a Uranu se atmosférické masy pohybují větší rychlostí, než s jakou rotuje samotná planeta (Neptun je výjimkou)
- proudění je pravděpodobně velmi stabilní

Stanovení rychlosti větru na plynných obrech

- neexistuje pevný povrch, vůči čemu se stanovuje rychlost proudění v atmosféře?
- za vztažnou soustavu je bráno **magnetické pole** příslušné planety, které je „ukotveno“ v planetárním jádře a pravděpodobně rotuje stejnou rychlostí jako jádro planety
- rychlost atmosférického proudění na plynných obrech je tedy poměřována s rychlostí rotace magnetického pole příslušné planety



Jupiter – jeden příklad za všechny

Struktura zonálního proudění

- v různých zeměpisných šířkách proudí atmosféra různou rychlostí – formují se **atmosférické pásy**
- vertikální rozsah atmosférického proudění je stále otázkou debat, větry však určitě vanou **až 150 km hluboko**
- je možné, že vnitřní části planety jsou uspořádány do podoby jakýchsi „**slupek**“, v nichž má atmosférické proudění různou rychlost
- pokud by energie proudění pocházela pouze z rychlé rotace planety a z ohřevu svrchní atmosféry slunečním zářením, nebyl by vertikální rozsah atmosférického proudění příliš veliký
- Jupiter vyzařuje **1,67x více energie**, než kolik jí získává od Slunce
- vše nasvědčuje tomu, že pohonem rychlého atmosférického proudění je především **vnitřní teplo uvolňované planetou**



Jupiter – jeden příklad za všechny

Pestrá planeta

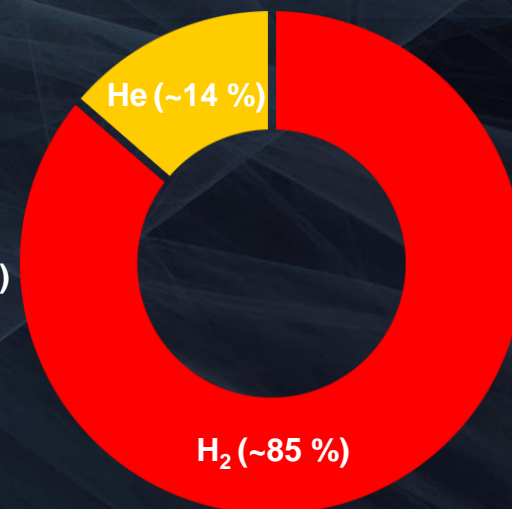
- už v malém dalekohledu lze na Jupiterově kotoučku bez problémů rozlišit střídání **světlých a tmavých pruhů**
- jedná se o oblačnost tvořící svrchní vrstvy atmosféry
- rychlost rotace Jupiteru činí 9 hodin a 55 minut!

Zonální proudění

- v atmosféře rozlišujeme:
 - **světlé zóny** bílých až žlutobílých odstínů
 - **tmavé pásy** s odstíny hnědé a červenohnědé barvy
- dlouhodobě stabilní jsou čtyři hlavní pásy a pět zón
- rychlost atmosférického proudění dosahuje až 600 km/h

Vnitřní struktura

- kamenné jádro o průměru cca 28 000 km
- vrstva kovového vodíku o mocnosti cca 45 000 km
- vrstva molekulárního vodíku o mocnosti cca 12 000 km
- atmosféra o mocnosti asi 1 000 km



ostatní (~0,1 %)

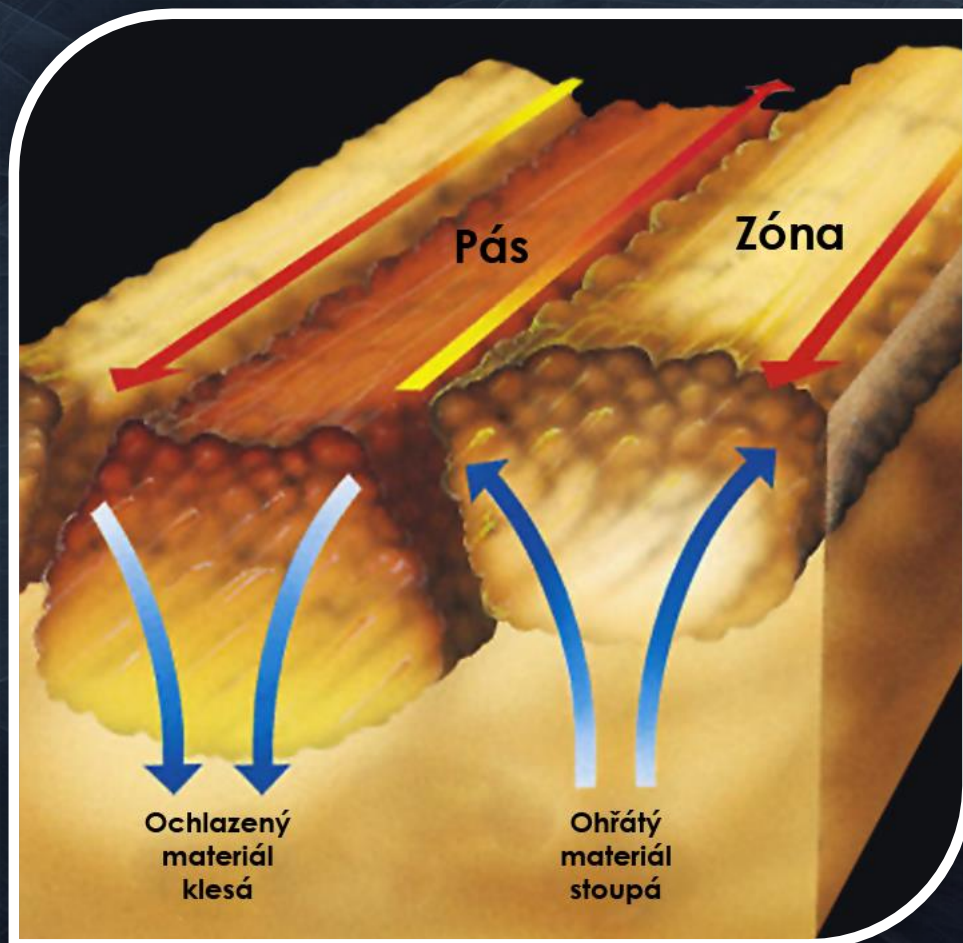
H₂ (~85 %)

He (~14 %)

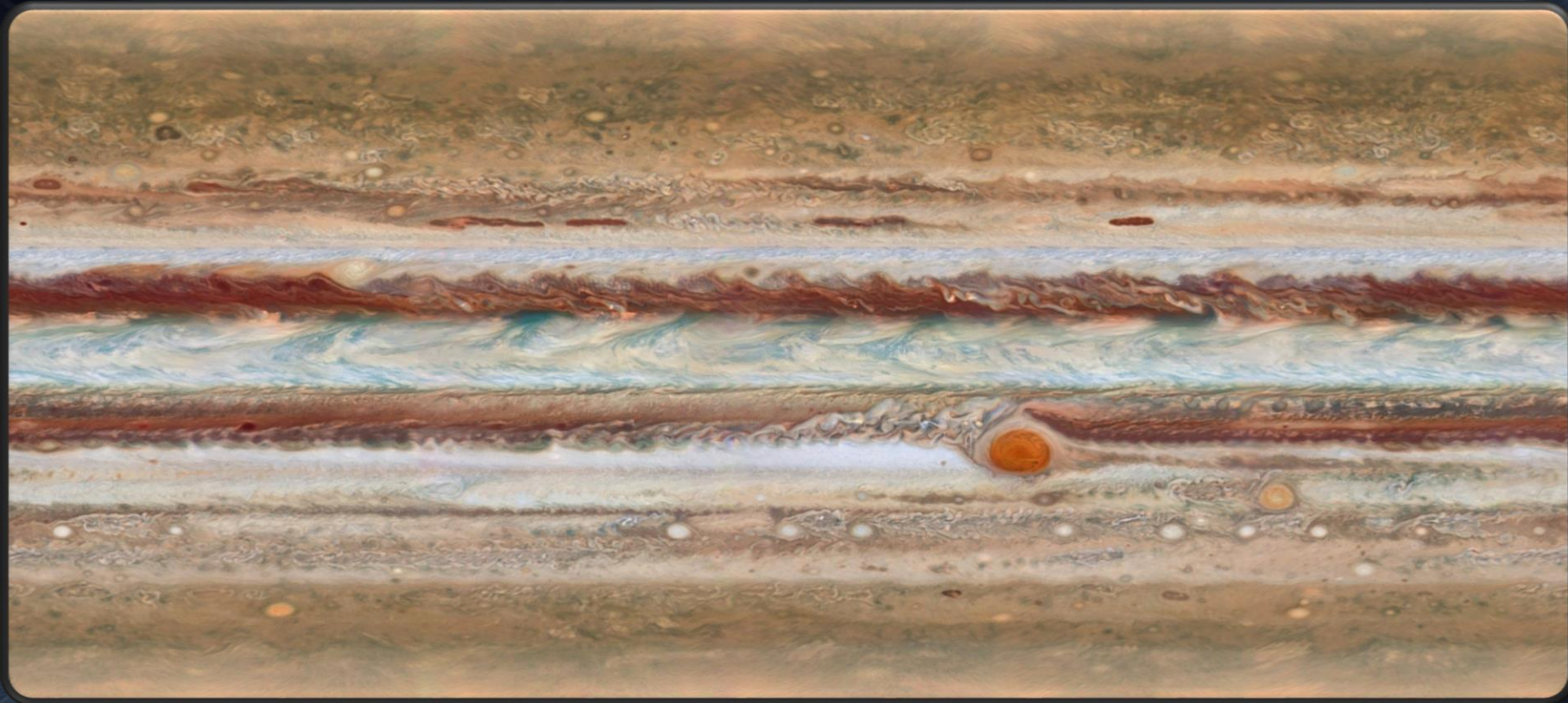
Zóny a pásy

Konvektivní proudění

- z měření v IČ oboru spektra vyplývá, že **světlé zóny** jsou o něco **chladnější** než tmavší pásy a obsahují více neprůhledné oblačnosti
- nejchladnější oblasti mají teplotu blízkou -160 °C
- zóny jsou oblasti vyššího atmosférického tlaku zatímco pásy jsou oblasti nižšího tlaku (analogie s pozemskými tlakovými výšemi a nížemi), do rovnoběžných pásů je protahuje Jupiterova rychlá rotace
- plynný čpavek (NH_3) a hydrogensulfid amonný (NH_4SH) konvekcí stoupají v oblasti zón
- ve svrchních částech zón dochází k **nasycení parami NH_3** (-117 °C) a tvorbě bělavých krystalků čpavku
- v oblasti tmavých pásů se vyskytují **sestupné proudy** atmosférických plynů, ve kterých se světlé krystalky opětovně rozpouštějí



Bouřlivý svět

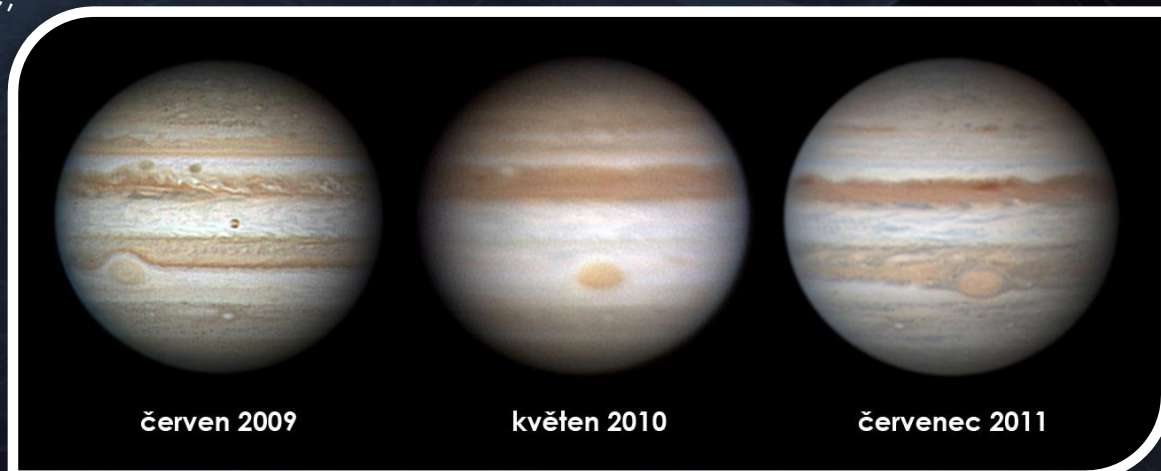


Mapa Jupiterovy atmosféry pořízená Hubbleovým vesmírným dalekohledem 19. ledna 2015.

Velká červená skvrna

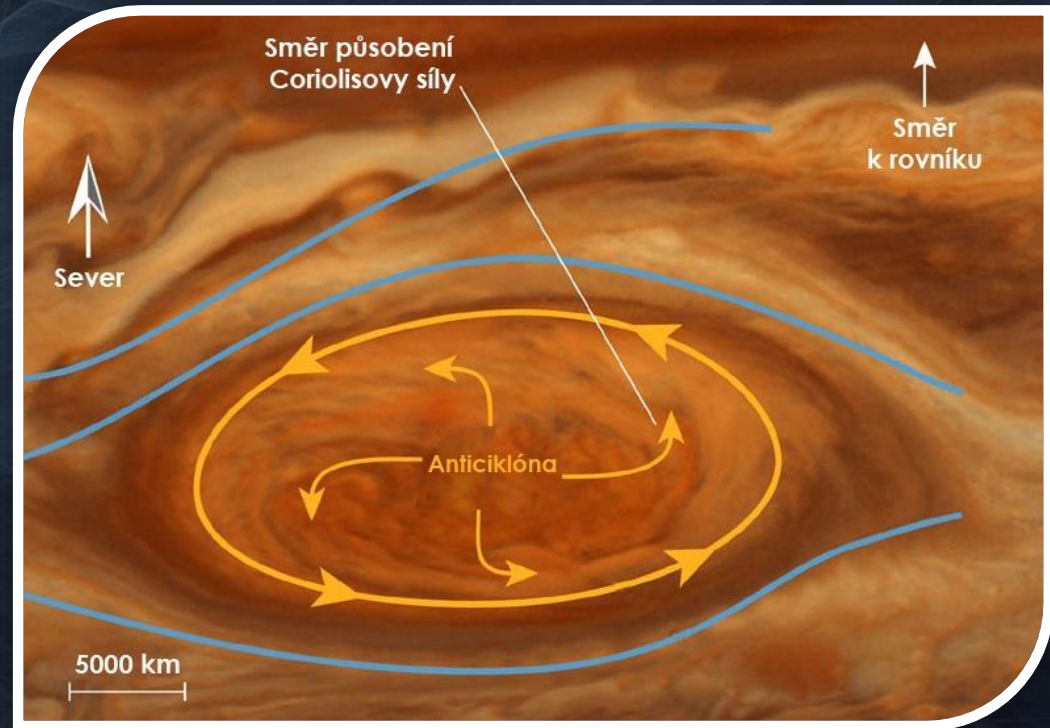
- velká červená skvrna (Great Red Spot, GRS) je výrazný útvar **v jižním subtropickém pásu**
- obří oválný vír s rozměry 12 000 x 20 000 km
- ve větším dalekohledu je to světlá skvrna **skořicově hnědé** barvy
- první pozorování GRS proběhla nejspíš v roce 1664 (R. Hooke) a 1665 (G. D. Cassini)
- chybí jistota, v průběhu 19. století nebyly žádné podobné útvary pozorovány (zpětně lze existenci GRS vystopovat až do roku 1831)
- skvrna může měnit svou velikost i odstín a je pravděpodobně velmi starým útvarem
- skvrna se trvale zmenšuje v délce, dle pozorování měla na počátku 19. století průměr 40 000 km, v 80. letech 20. století „pouze“ 25 000 km a v současnosti dosahuje délky asi 16 400 km

Vymizení jižního subtropického pásu v letech 2010-2011. Snímek uprostřed odpovídá pohledu dalekohledem s objektivem o průměru cca 20 cm.



Meteorologická podstata Velké červené skvrny

- atmosféra uvnitř GRS rotuje proti směru hodinových ručiček
- protože se skvrna nachází na jižní polokouli, jedná se z pohledu rotace o **tlakovou výši (anticyklónu)**
- v centrálních oblastech GRS ale existuje velmi **silný výstupný proud**, v okrajových částech naopak proudy sestupné (netypické pro anticyklóny)
- centrální oblasti skvrny převyšují okolní oblačnost o cca 10 km
- rychlost vzdušného proudění ve skvrně vzrostla od 80. let 20. století až na současných 700 km/h
- GRS získává energii (stejně jako další velké bouře na Jupiteru) **pohlcováním menších atmosférických vírů**
- dalším zdrojem energie, přispívajícím k dlouhé životnosti skvrny, může být **latentní teplo**, které se uvolňuje z plynů kondenzujících ve větších hloubkách
- menší atmosférické víry pohání energii, která pochází z větších (a teplejších) hloubek

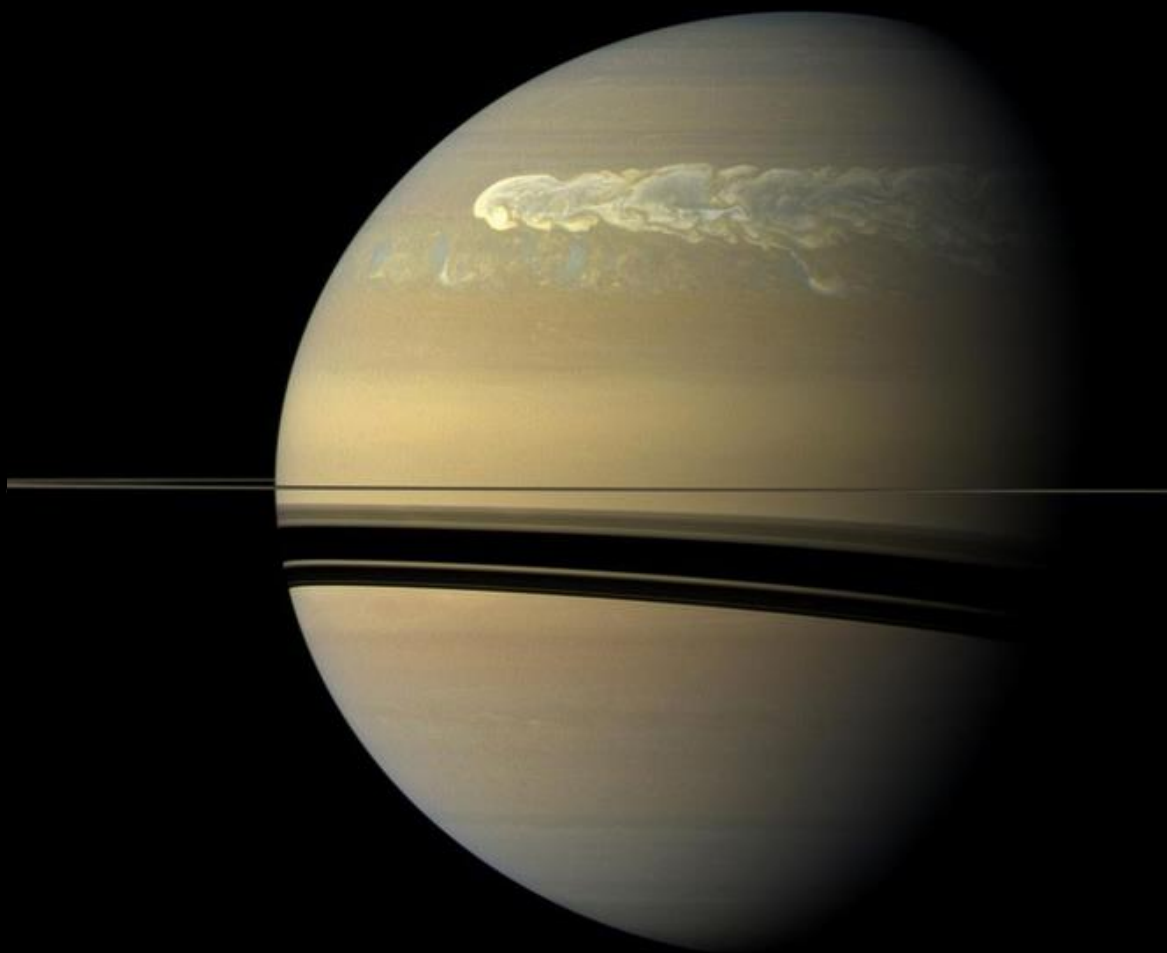


Saturn

- pásová struktura podobná Jupiteru, je však výrazně méně nápadná
- příčinou je svrchní vrstva oblak sahající do větších výšek (100 km široká vrstva vymrzlého čpavku o teplotě -135 °C)
- také v Saturnově atmosféře jsou přítomny zpravidla **světlé anticyklóny** a **tmavší cyklóny**
- Saturn předčí Jupiter v rychlosti atmosférického proudění (v rovníkových oblastech až **1 800 km/h**)
- planeta vyzáří **1,79krát více energie**, než kolik jí přijme od Slunce



Bouřlivý Saturn



Bouře na Saturnově severní polokouli byla zpozorována amatérskými astronomy již 9. prosince 2010, stávající snímek pořídila 25. února 2011 sonda Cassini.

Uran

Nudná planeta?

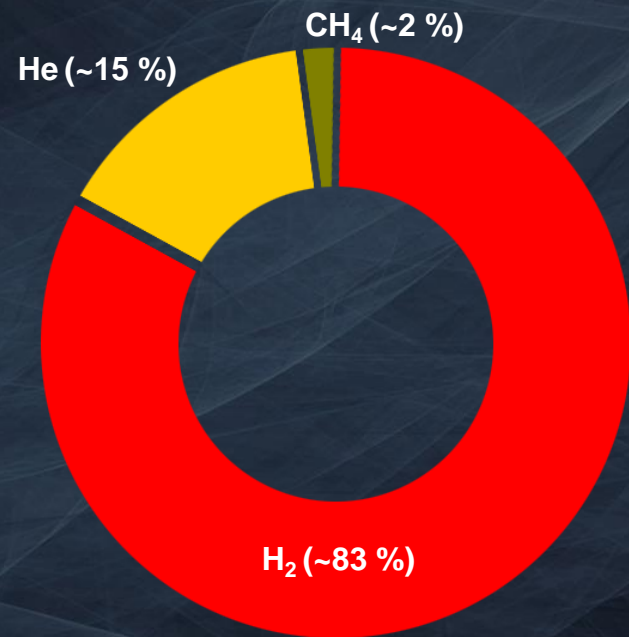
- Uran navštívila sonda Voyager 2 v roce 1986
- v atmosféře nebyly patrné žádné výrazné detaily
- atmosféra má mocnost asi 500-1 000 km
- rotační osa leží v rovině oběhu kolem Slunce (sklon $97,9^\circ$), **dochází k výraznému střídání ročních dob**
- planeta vyzáří **1,4x více energie**, než kolik jí získá od Slunce (tedy výrazně méně, než ostatní obří planety)
- nejrychleji vanou větry na 60. stupni zeměpisné šířky (**800 km/h**), směrem k rovníku rychlost klesá



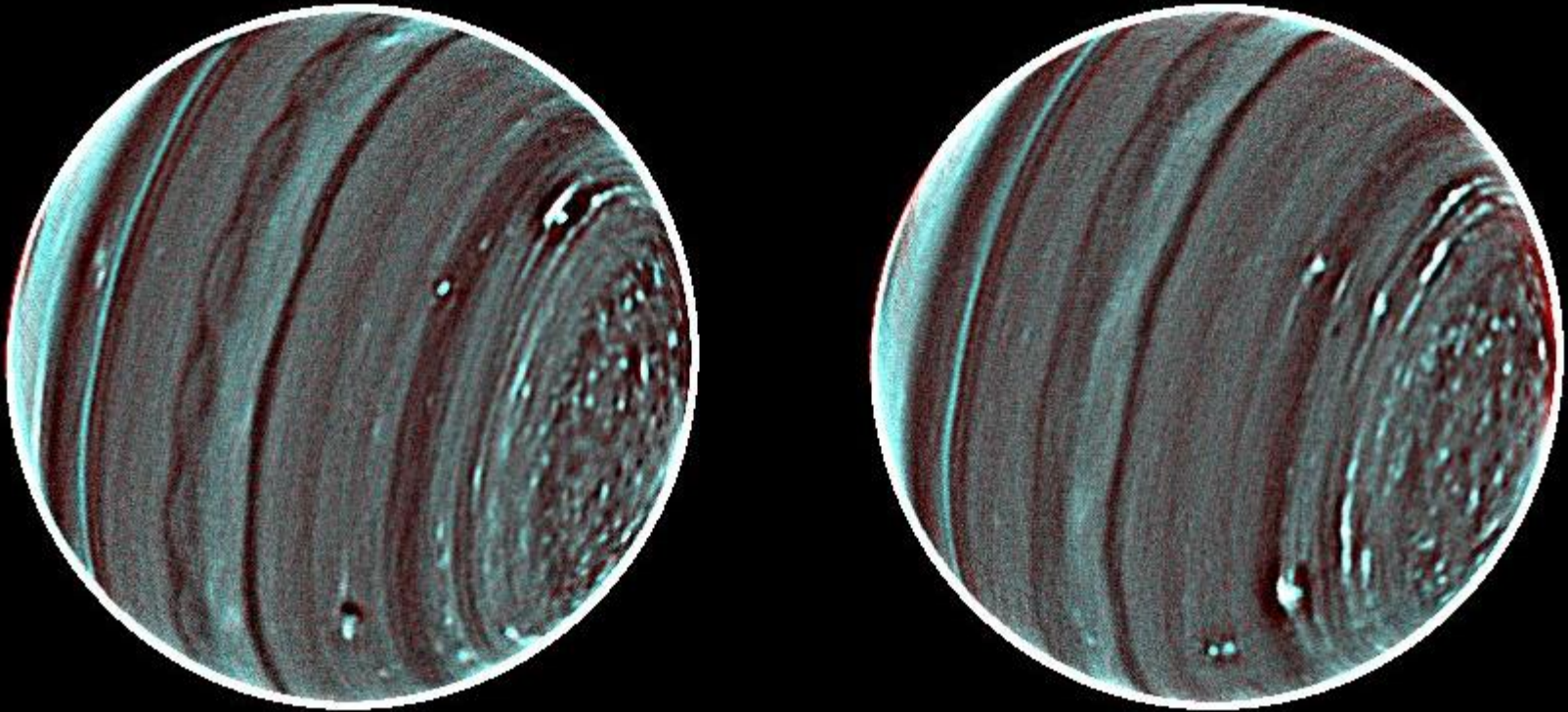
Uran

Metanový svět

- **modrozelené zbarvení vzniká díky metanu**, který velmi účinně absorbuje červenou složku slunečního záření -> v atmosféře se rozptyluje zejména modré světlo
- ve svrchních partiích atmosféry **metan kondenzuje** do drobných ledových krystalků tvořících světlá osamocená oblaka
- nad nimi existuje „**opar**“ tvořený produkty fotochemického rozkladu metanu ultrafialovým zářením
- občas se objeví světlé či tmavé skvrny, především v jarním období
- v nižších oblačných patrech i **bílá oblaka z krystalků amoniaku**, která vytvářejí dojem granulace
- ve větších hloubkách se předpokládají i oblaka složená z **krystalků vodního ledu**



Uran pohledem Keckova dalekohledu



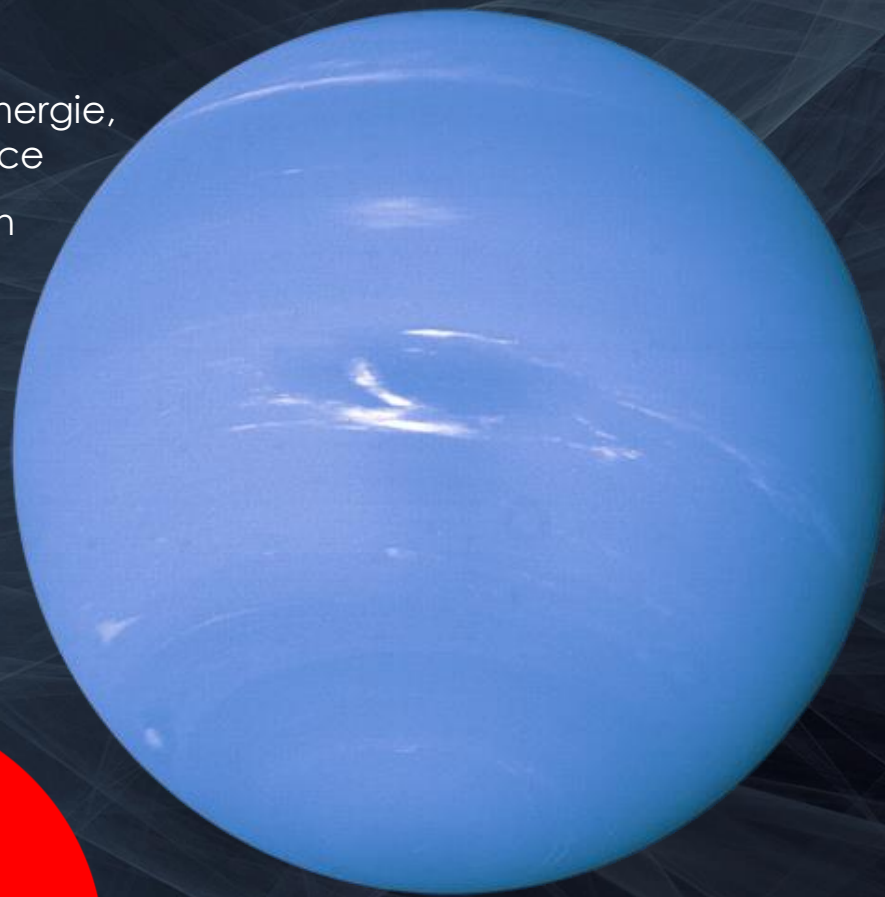
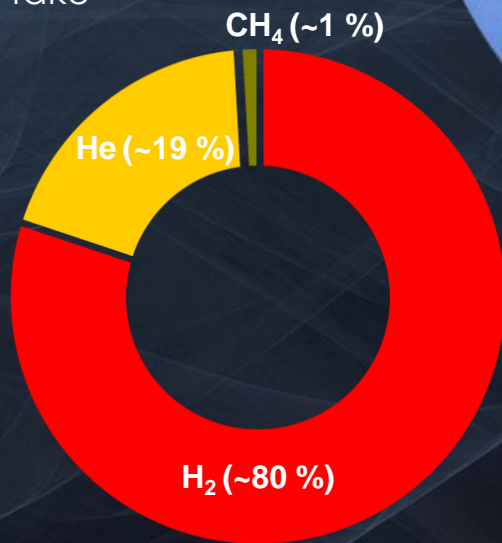
Fotografie Uranu pořízené prostřednictvím dalekohledu Keck II. Levý snímek vzniknul na základě série 117 fotografií získaných 25. července 2012, pravý snímek na základě 118 fotografií z 26. července 2012. Fotografie byly snímány v blízké infračervené oblasti spektra kamerou NIRC2 za použití adaptivní optiky a několika různých infračervených filtrů. Severní pól se nachází na pravé straně.

Bílou barvou jsou znázorněna neprůhledná, mohutná oblaka (podobná pozemským oblakům druhu cumulus) nacházející se ve vysokých výškách. Modrozelené odstíny představují rovněž oblaka ve velkých výškách, avšak průsvitného, tenkého charakteru (podobají se pozemským řasovitým cirrům). Červená barva značí hlubší oblačná patra. Většina detailů leží v hladině odpovídající atmosférickému tlaku 1-2 Bar (typické oblačné patro na Uranu). Úzký, modrozelený pás v levé části má původ v hlavním Uranově prstenci. Oblast kolem severního pólu nápadně připomíná texturu v okolí severního pólu Saturnu. Jižní pól Uranu byl snímkován v roce 2003 a podobná struktura jako na severu zachycena nebyla. V oblasti jižních rovníkových šířek se vyskytuje zvláštní vzlňený pás.

Neptun

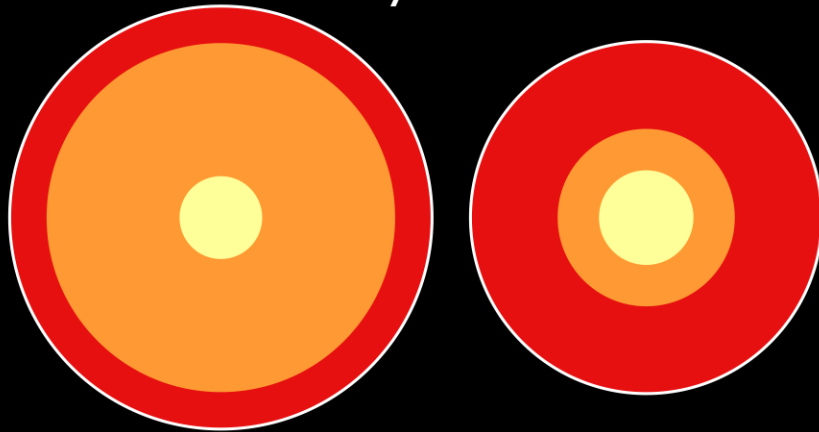
Dvojče Uranu? Ne tak docela...

- podobá se Uranu, vyzáří ovšem mnohem více energie, zhruba **2,7 ± 0,3krát více**, než kolik jí získá od Slunce
- za modré zabarvení atmosféry zodpovídá metan
- díky vnitřnímu teplu vzniká **mohutné konvektivní proudění** z nitra k povrchu, které je formováno rychlou rotací planety
- **zonální proudění o rychlosti cca 1 170 km/h** je dynamičtější než na Uranu (lepší transport tepla k povrchu)
- vyskytují se světlé a tmavé pásy podél rovnoběžek, přítomny jsou také **cyklóny** a **anticyklóny**
- v horní atmosféře vznikají **bílá oblaka složená z krystalků metanu**
- v nižších atmosférických patrech jsou oblaka složená z **krystalků amoniaku** a ještě níže nejspíš i oblaka z **krystalků ledu**



Vnitřní struktura obřích planet

Plynní obři



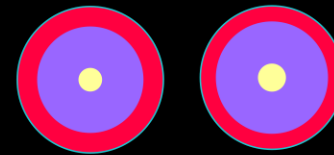
Jupiter

Saturn

- Atmosféra
- Kapalný molekulární vodík s příměsí helia
- Kapalný kovový vodík s příměsí helia
- Kapalné železokamenné jádro s příměsí těkavých sloučenin

Ledové obři

50 000 km

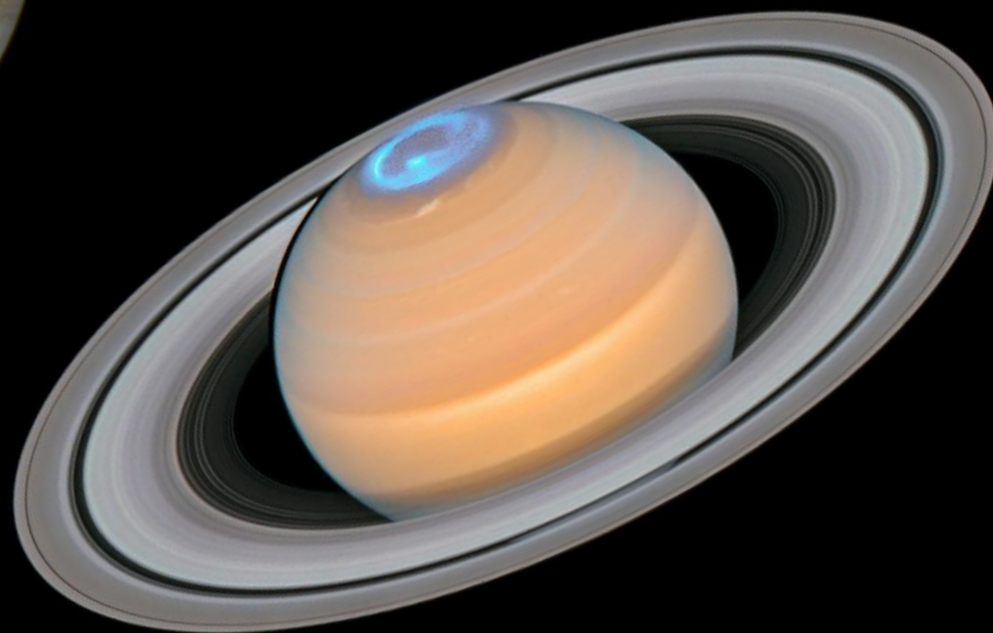
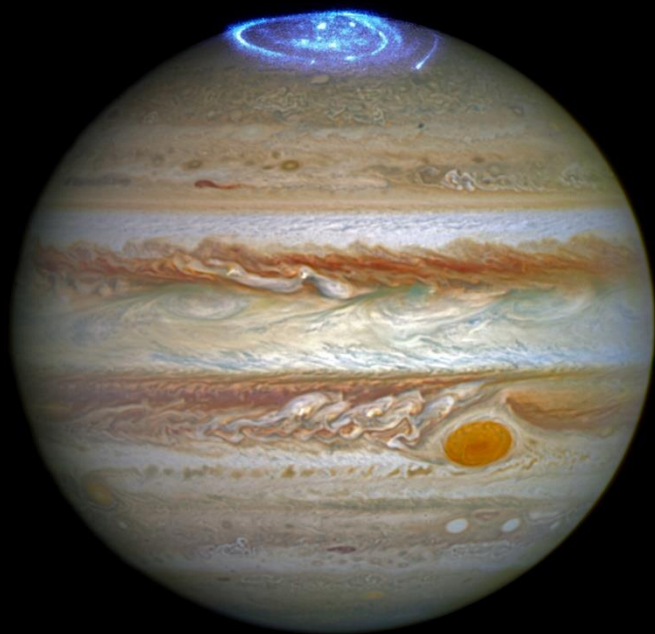


Uran

Neptun

- Atmosféra
- Kapalný molekulární vodík s příměsí helia a metanu
- Kapalná a horká vrstva tzv. ledových materiálů
- Kapalné železokamenné jádro s příměsí tzv. ledových materiálů

Polární záře

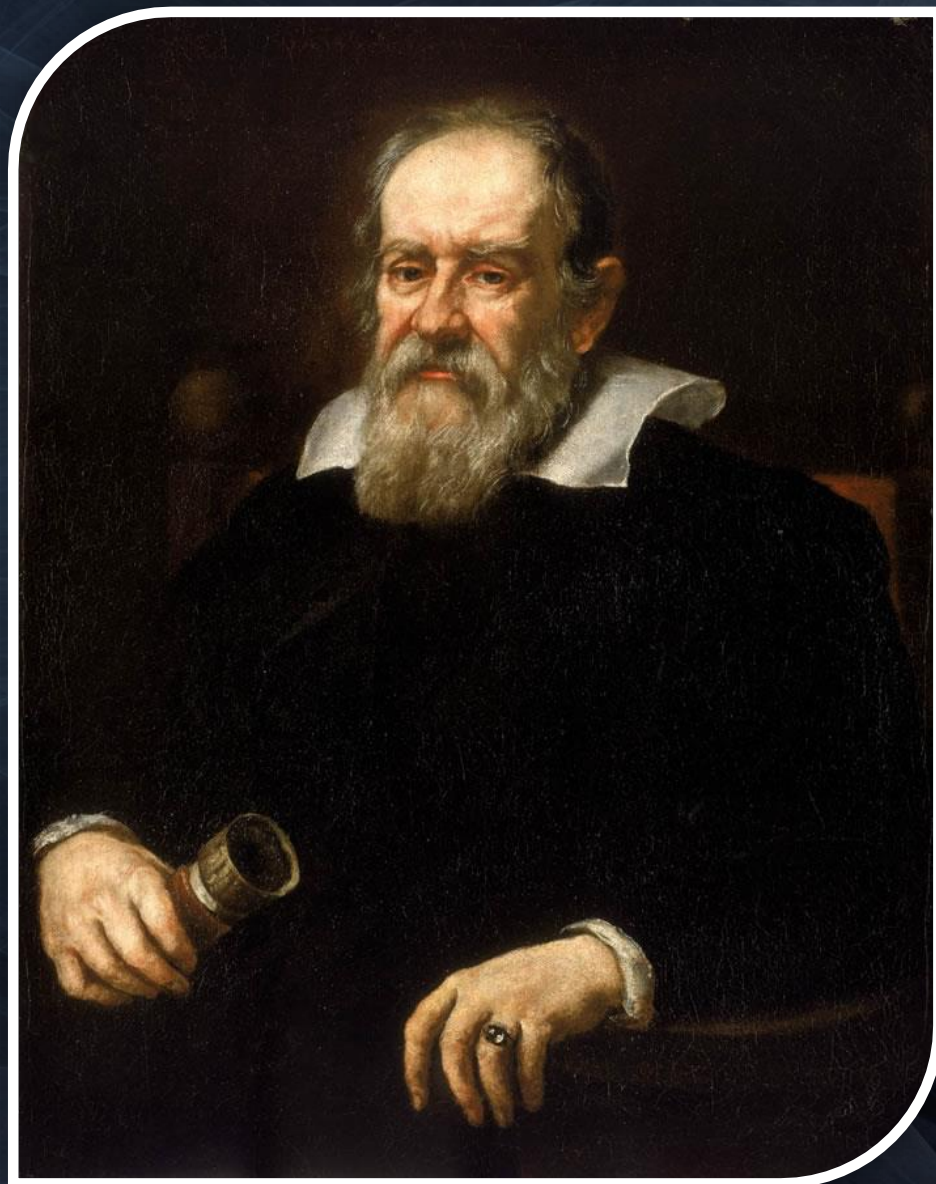


Měsíce obřích planet

Objev Jupiterových měsíců

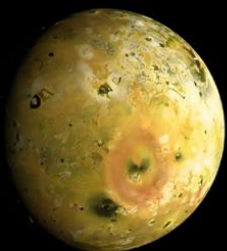
- k prvnímu pozorování měsíců u jiné planety došlo 7. ledna 1610
- Galileo Galilei (1564-1642) objevil u Jupiteru **Io**, **Europu** a **Callisto**, objev **Ganymeda** následoval o šest dní později
- pozorování neodpovídalo geocentrickému vnímání světa, jelikož měsíce obíhaly kolem Jupiteru a nikoliv kolem Země
- Galileo viděl v Jupiteru a jeho měsících **obdobu uspořádání planetárního systému**

3. Ho. s.	* ○ *
7. marc.	* ○ **
6. marc.	** ○ *
8. marc. H. 13.	* * * ○
10. marc.	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4 uyl.	* ○ *
17. marc.	* ** ○ *
14. čer.	* * * ○ *



Měsíce obřích planet vs. Měsíc

Jupiter



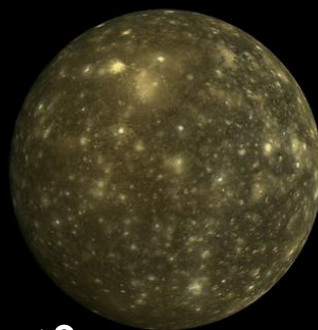
Io



Europa



Ganymedes



Callisto

Země



Měsíc

Saturn



Mimas



Enceladus



Tethys



Dione



Rhea



Titan



Japetus

Uran



Miranda



Ariel



Umbriel



Titania



Oberon

Neptun

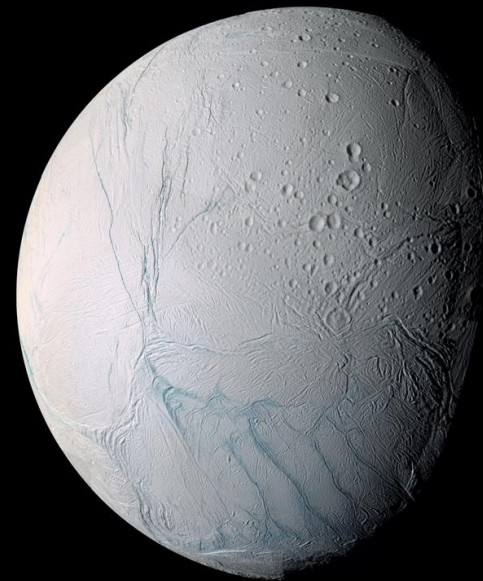
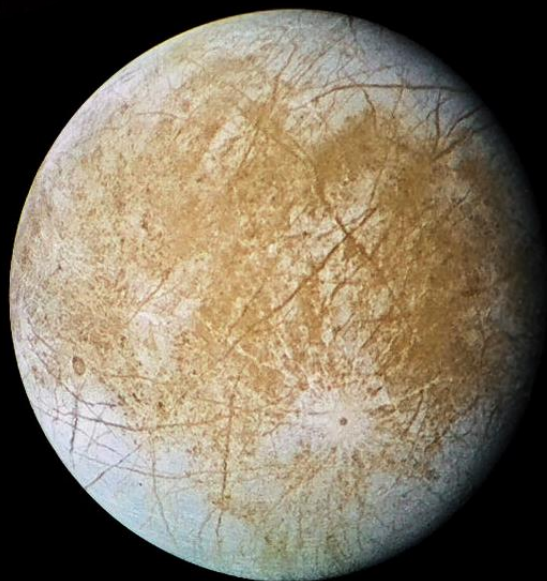
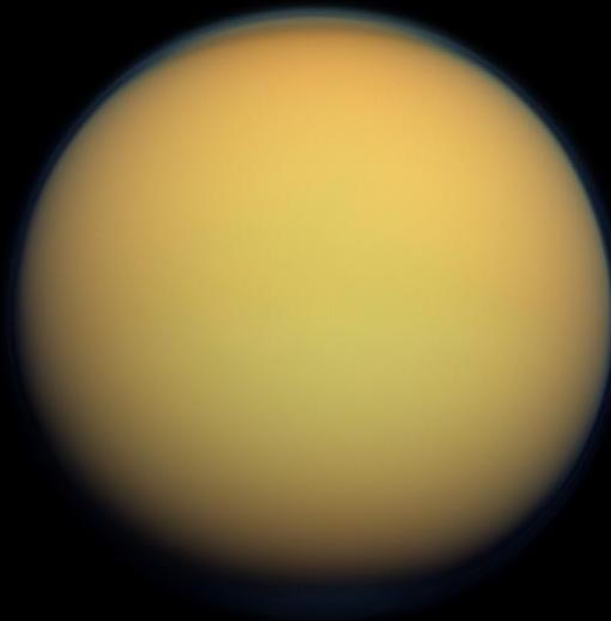
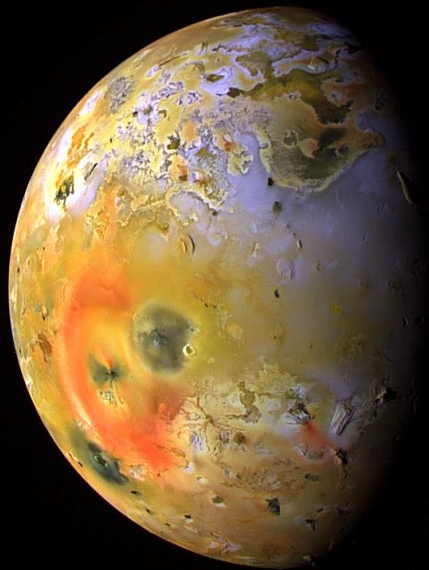


Triton

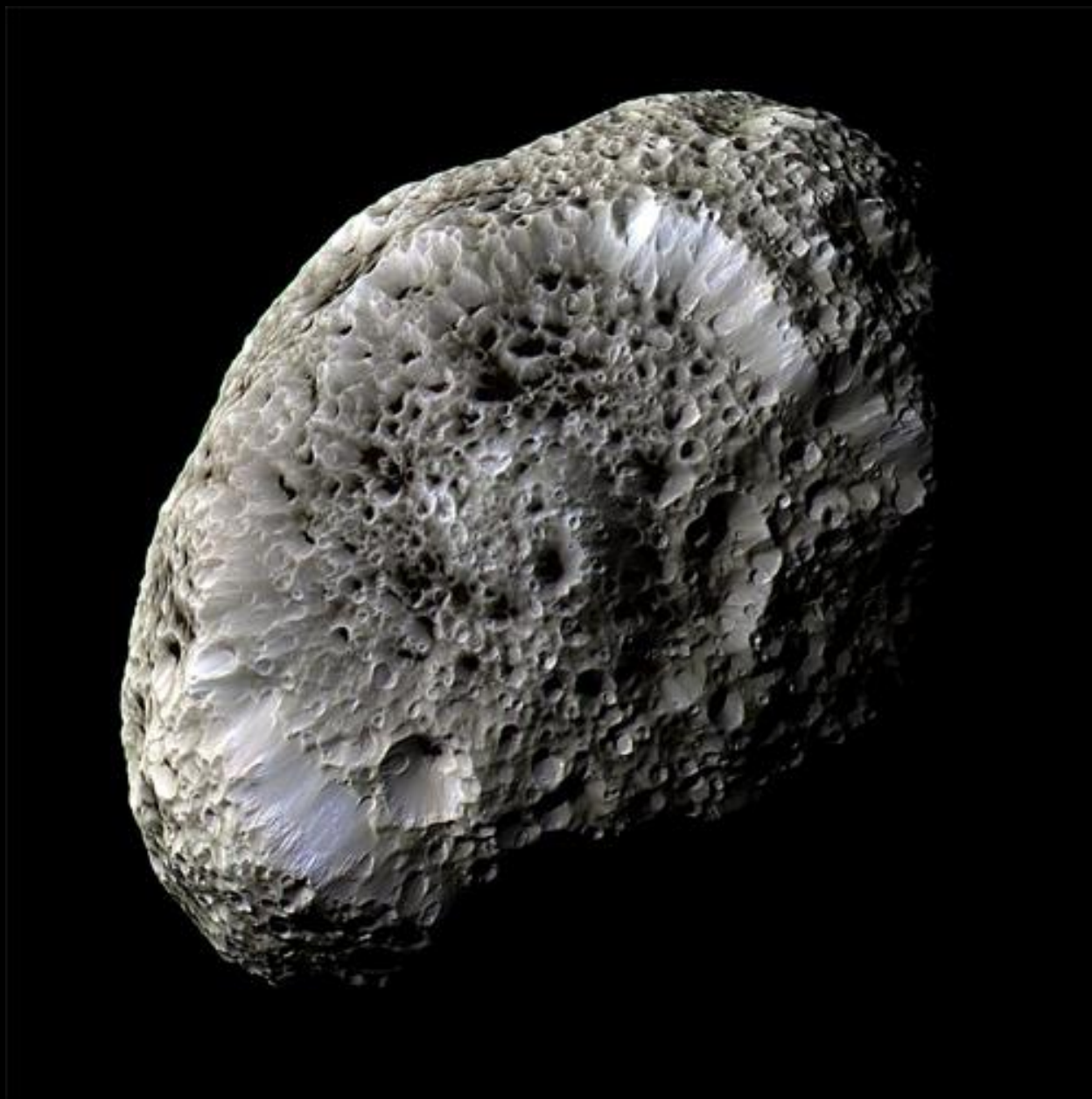


Proteus

Překvapivě pestré a aktivní světy



Měsíce středních rozměrů – Hyperion



Malé měsíce na periferii – Phoebe



Svérázný Triton

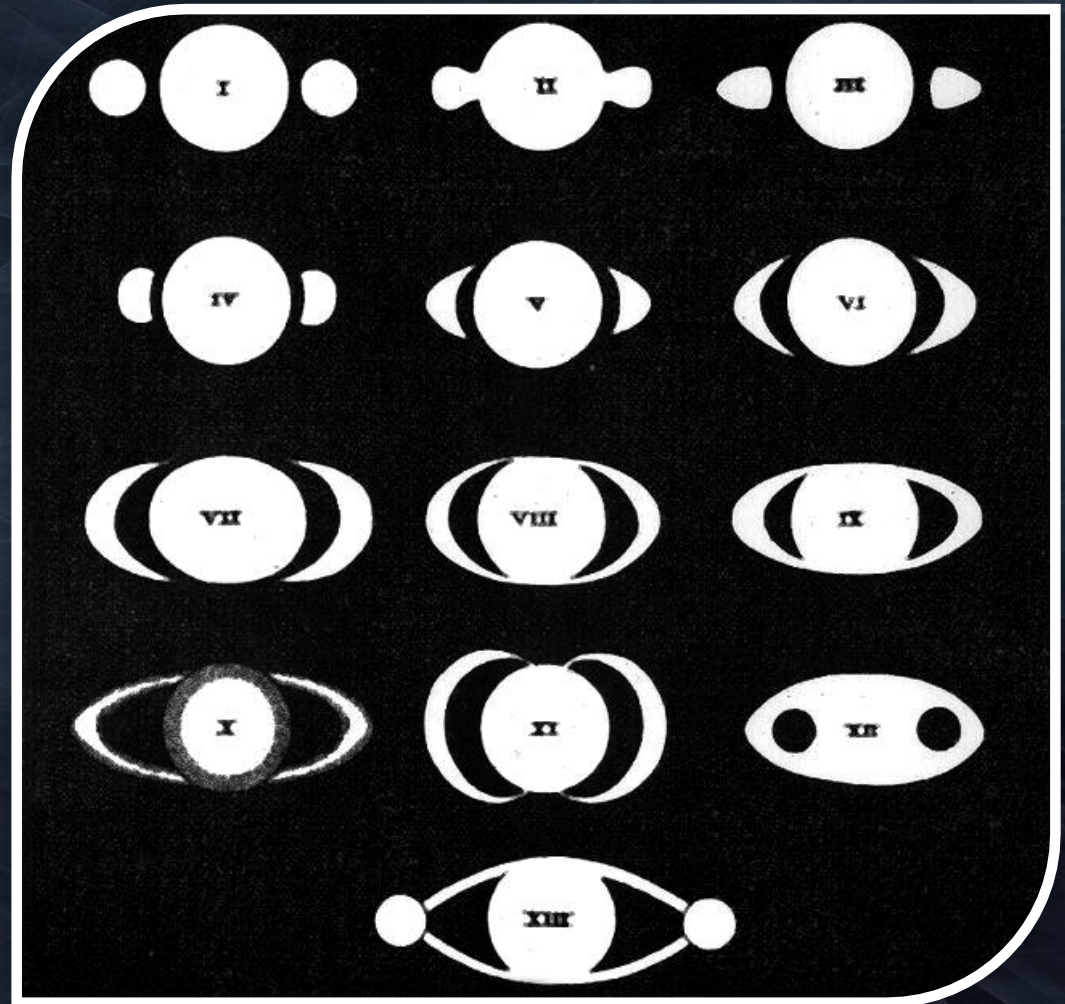


Prstence obřích planet

Planetární prstence

Historické mezníky

- 1610, Galileo Galilei poprvé pozoroval prstence u Saturnu a nevěděl o tom
- 1655, Christiaan Huygens (1629-1695) zjistil, že se jedná o prstence
- 1675, Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) objevil tmavé dělení v prstencích
- 1859, James Clerk Maxwell (1831-1879) matematicky dokázal, že prstence Saturnu nemohou být spojitě desky, ale musí být složeny z velkého množství drobných částic, obíhajících kolem planety různou rychlostí dle Keplerových zákonů
- 1977, při zákrytu hvězdy Uranem objeveny Uranovy prstence
- 1979, Voyager 1 objevil Jupiterovy prstence
- 1980, při zákrytu hvězdy Neptunem objeveny Neptunovy prstence

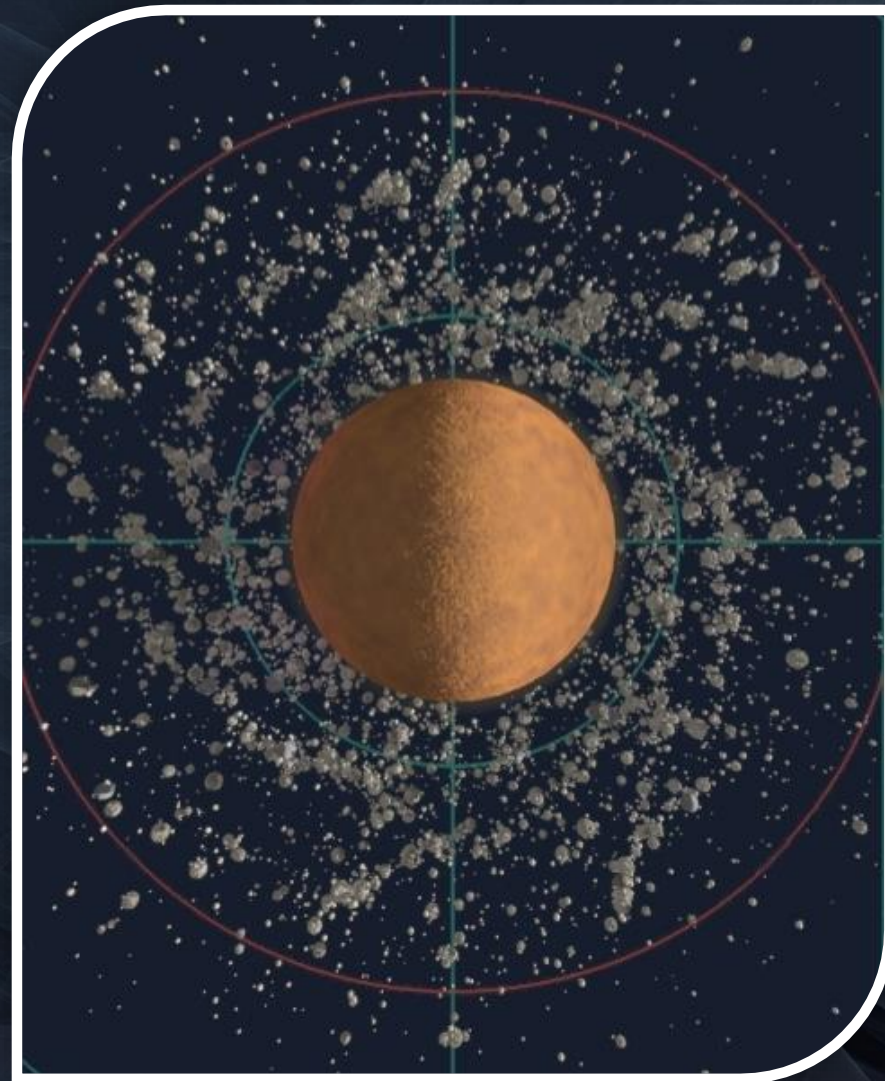


Pozorování Saturnu před Huygensem: I – Galileo 1610. II – Scheiner, 1614. III – Riccioli, 1641-1643. IV-VII – Hevelius. VIII a IX – Riccioli, 1648-1650. X – Divini, 1646-1648. XI – Fontana, 1636. XII – Gassendi, 1646. XIII – Fontana a další, 1644-1645.

Vznik prstenců

Význam Rocheovy meze

- většina materiálu prstenců se nachází **pod Rocheovou mezí**
- vznik prstenců úzce souvisí se **slapovým působením** mateřské planety
- prstence pravděpodobně vznikly z tělesa, které se dostalo za Rocheovu mez a bylo **roztrháno slapovými silami** na kusy
- mohlo jít o některý z měsíců či nějaký bludný objekt (transneptunické těleso, kometu atd.)
- vzniklé fragmenty se pohybovaly po velice blízkých oběžných drahách, narážely do sebe a **dále se tříštily**
- akreci materiálu bránily slapové síly
- tříštění probíhalo stovky milionů roků, během tohoto období získala většina částic průměr do jednoho metru
- **konkurenční teorie: prstence jsou materiálem protoplanetárního disku, který se nestihnul spotřebovat při stavbě planety anebo vznikly při srážce dvou měsíců (viz dále)**



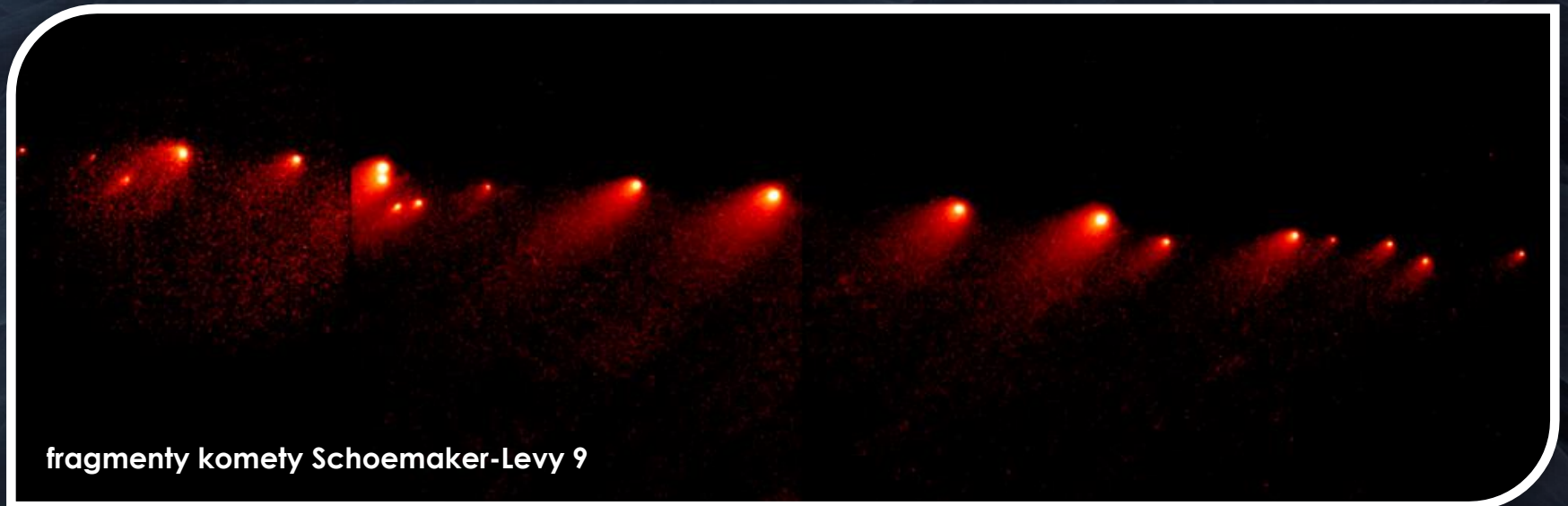
Rocheova mez u planet

Jupiter

- kometa Shoemaker-Levy 9 překročila 7. července 1992 Rocheovu mez a rozpadla se na **25 větších úlomků**, jež posléze zasáhly Jupiter

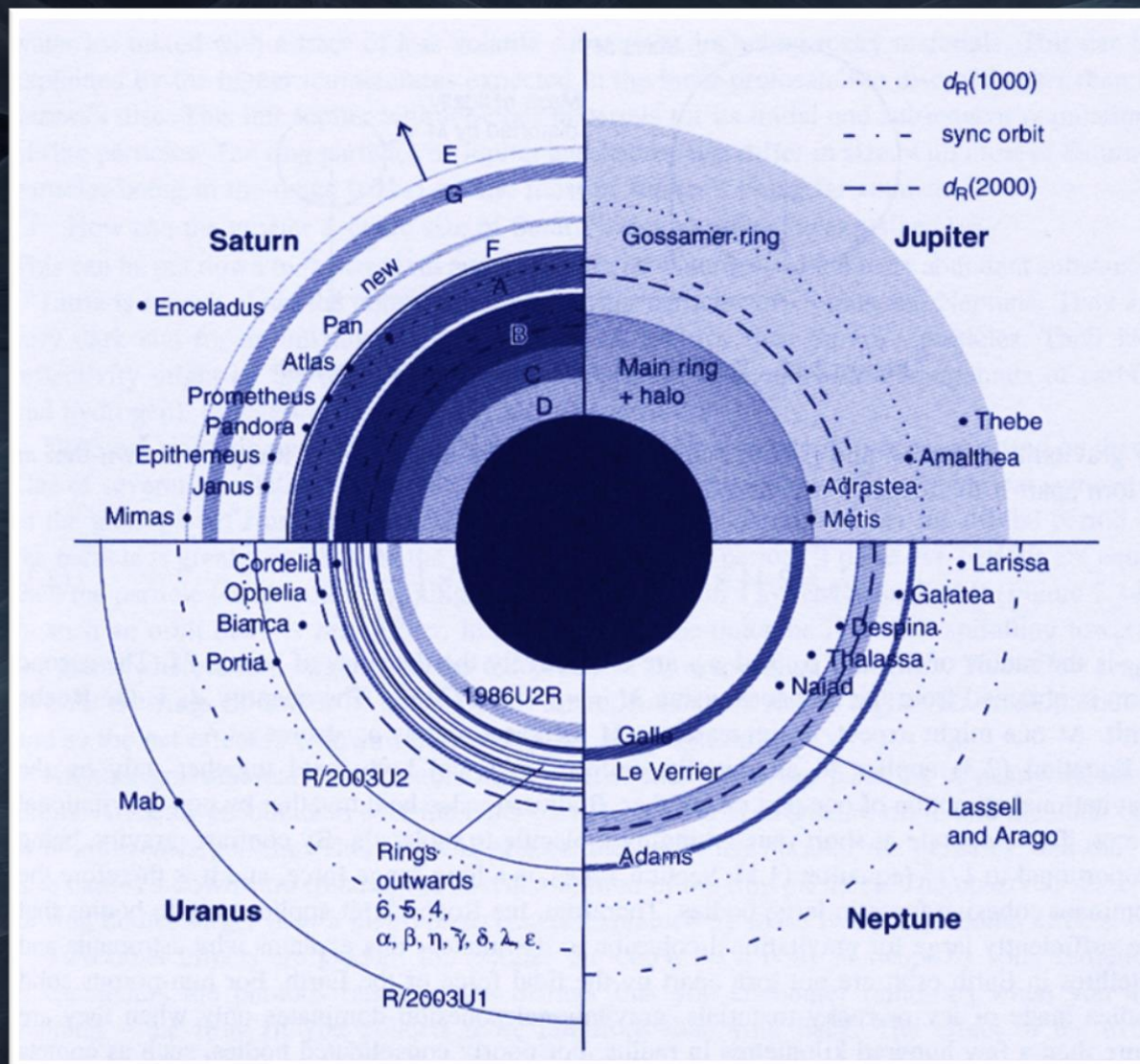
Saturn

- pokud by Saturn obklopoval kulový oblak částic, ztrácely by částice v důsledku vzájemných srážek v oblasti Rocheovy meze energii a zpomalovaly by se
- během jednoho roku by částice vytvořily v ekvatoriální rovině planety tenký prstenec
- uvnitř Rocheovy meze leží jasné prstence Saturnu A, B a C



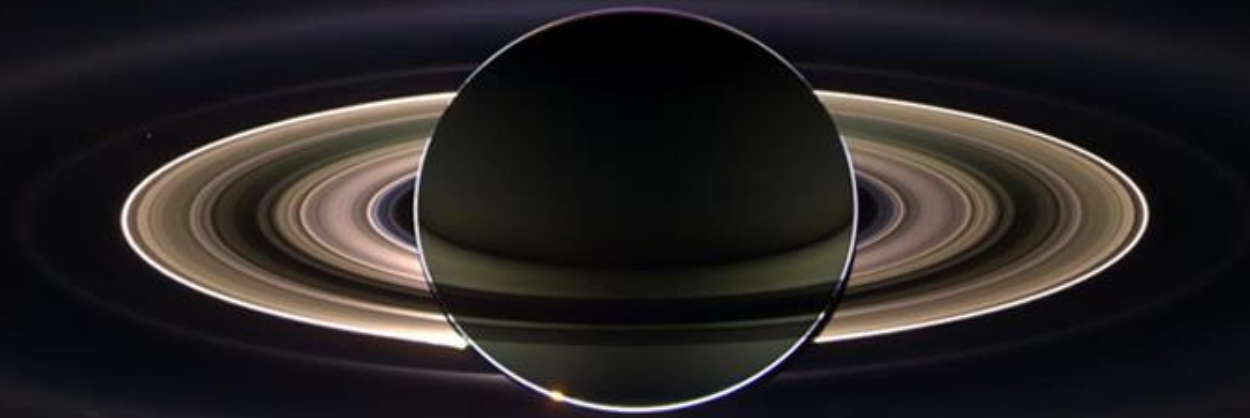
fragmenty komety Schoemaker-Levy 9

Srovnání prstenců Saturnu, Jupiteru, Uranu a Neptunu

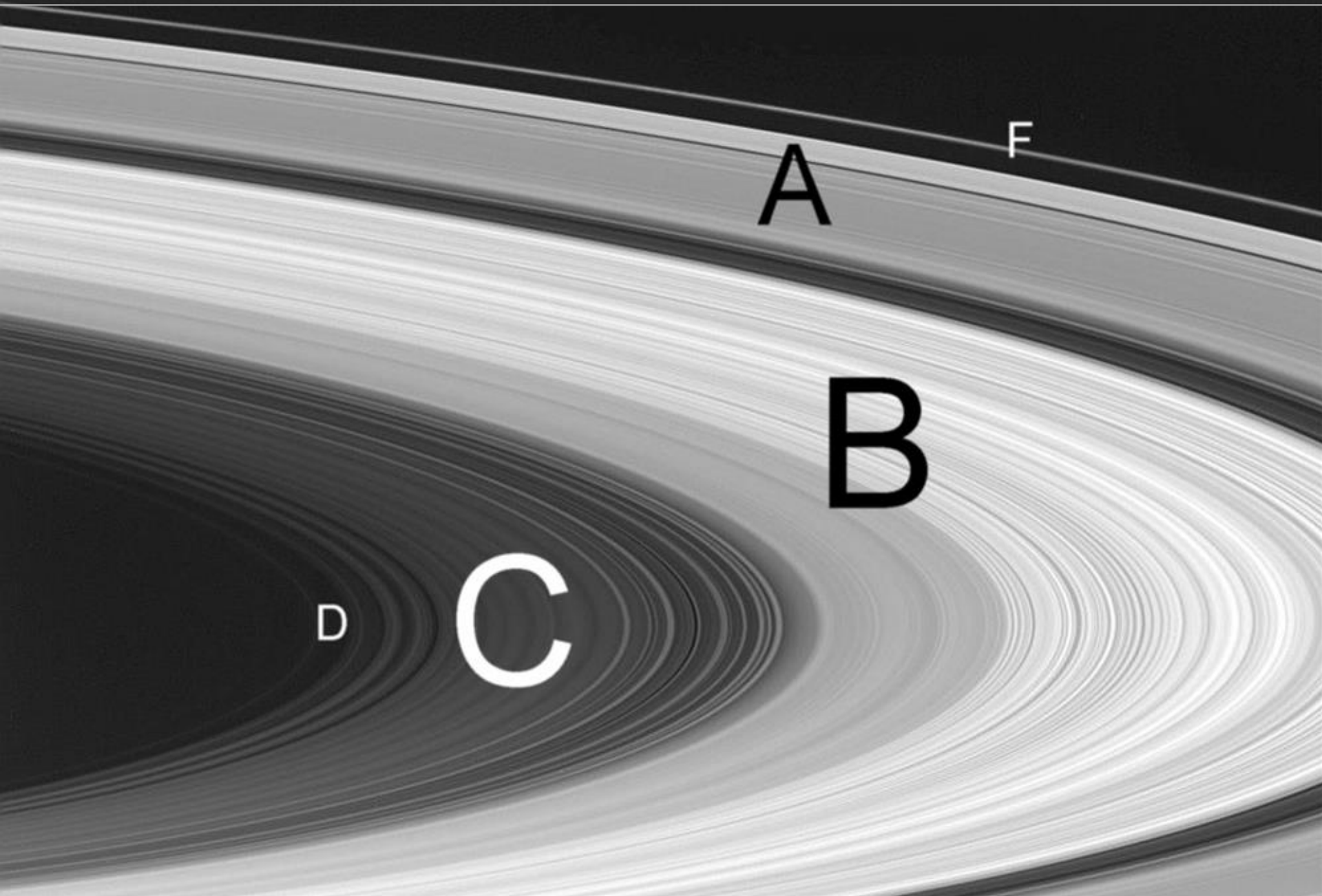


d_R – Rocheova mez pro tělesa s hustotou 1 000 a 2 000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, sync orbit – synchronní oběžná dráha

Saturnovy prstence



Hlavní Saturnovy prstence



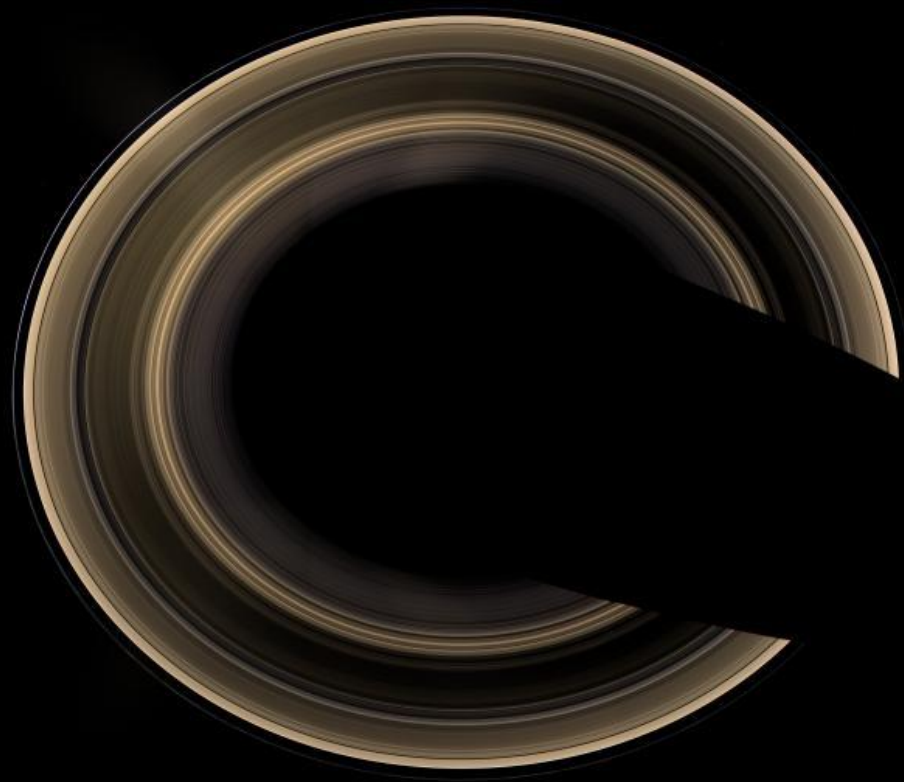
Saturnovy prstence

Rozměry prstenců a velikost částic

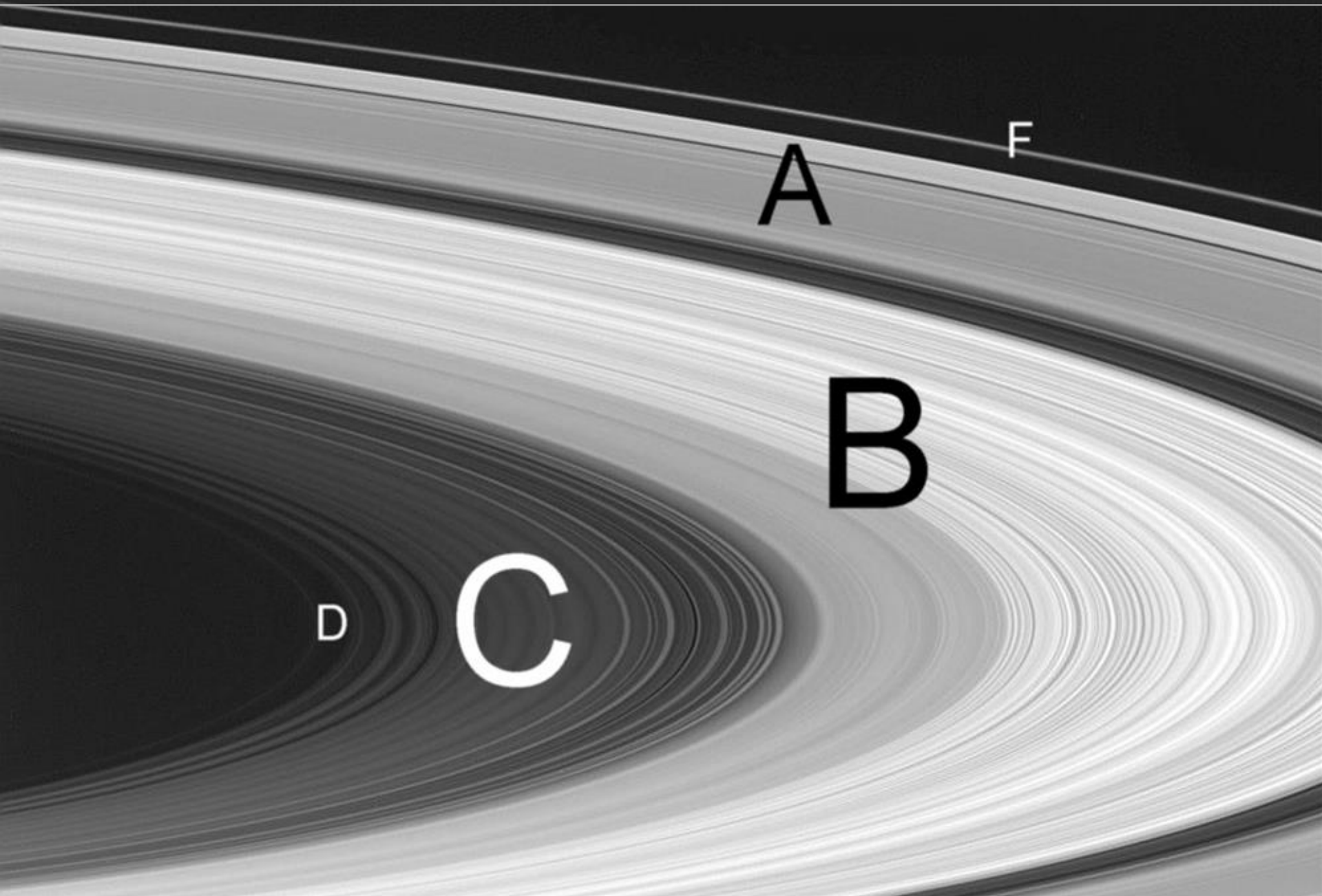
- systém hlavních prstenců (A, B, C a D) je široký asi **480 000 km**
- **typický vertikální rozsah prstenců je asi deset metrů** (někde možná i méně), maximální tloušťka činí 150-200 m
- průměrná velikost částic dosahuje jednotek milimetrů až centimetrů, přítomny jsou ale i částice o průměru 10 či 20 m
- hustota částic činí asi 1 g.cm^{-3} , což odpovídá **vodnímu ledu** nebo **zrníčkům křemičitanů, která jsou obalena vodním ledem**
- materiál prstenců by vytvořil těleso o průměru asi 500 km
- částice u vnitřního okraje prstenců oběhnou Saturn jednou za 4,9 h, u vnějších partií prstence E trvá oběh až 2 dny

Objev sondy Cassini

- prstence A a B obsahují výrazně více částic, než se předpokládalo, jejich hmotnost tak může být až třikrát větší



Hlavní Saturnovy prstence



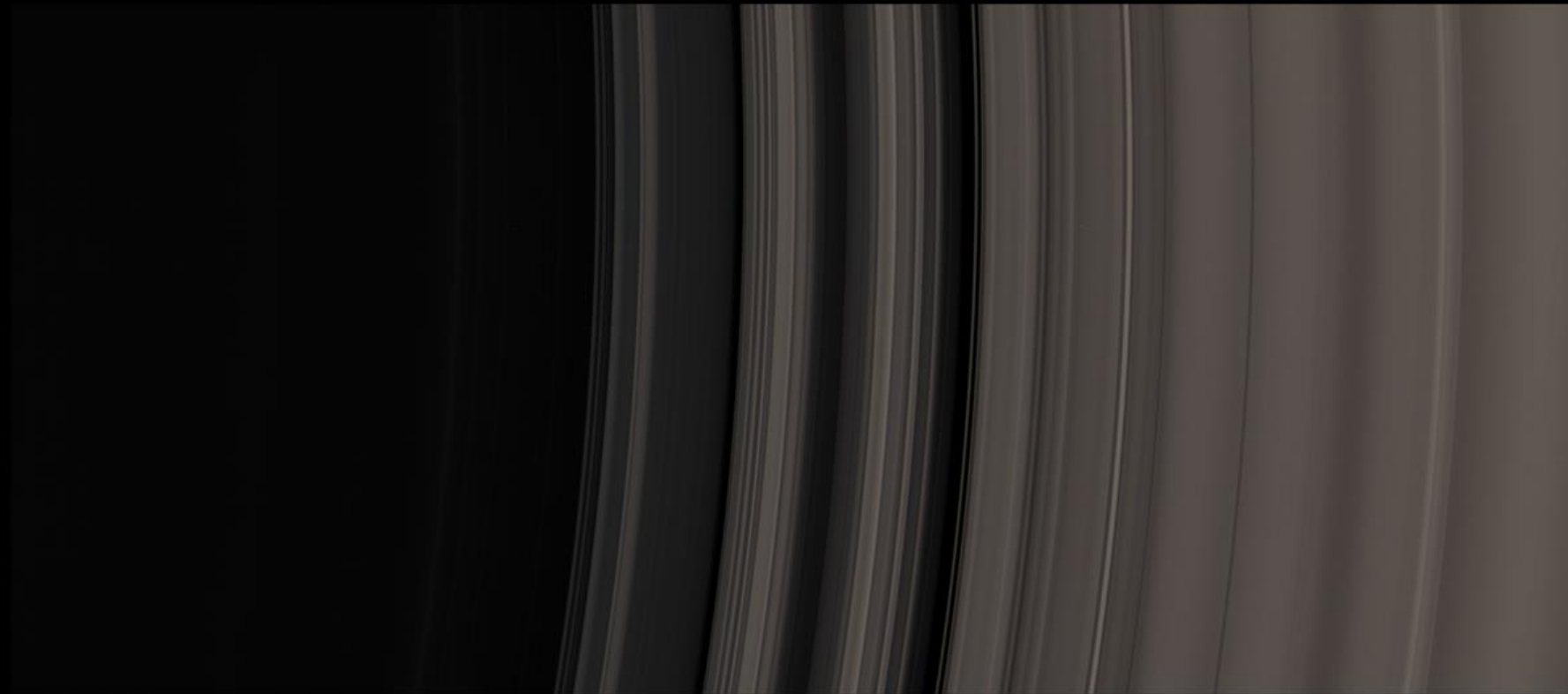
Saturnovy prstence

Prachové prstence E, F a G

- velikost částic v těchto prstencích se pohybuje **od 0,1 do 10 μm** (typicky 1 μm)
- prstenec E má vertikální rozsah několik tisíc kilometrů a vypadá spíše jako oblak
- jemný prach uvnitř prstence E pochází nejspíše z **kryovulkanické činnosti měsíce Enceladu**



Colombo Gap



D Ring

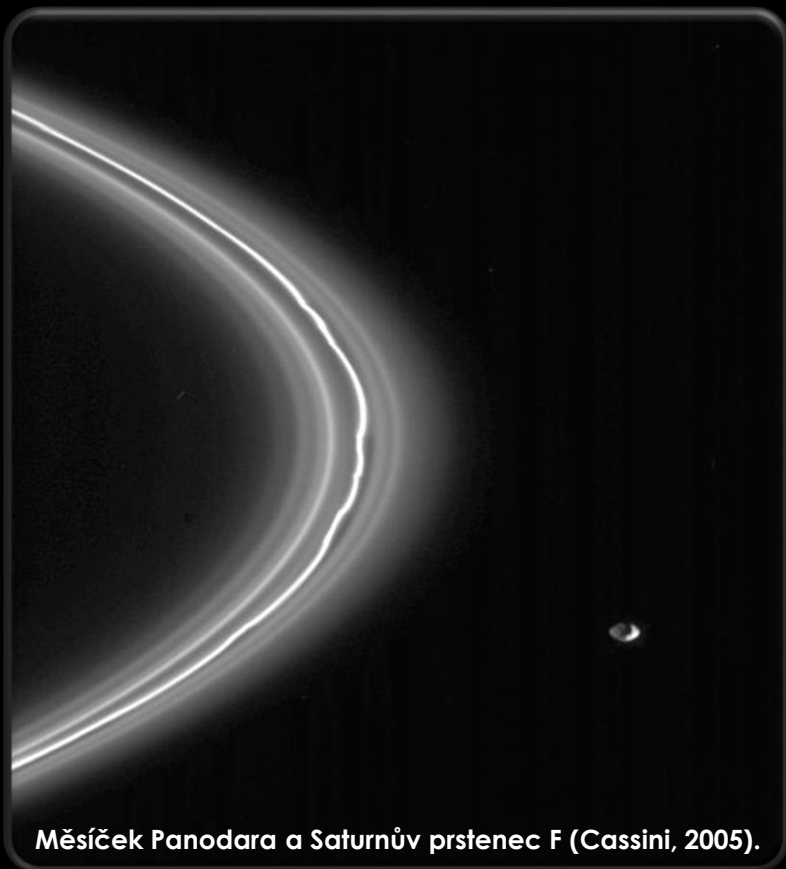
C Ring

74,500 km

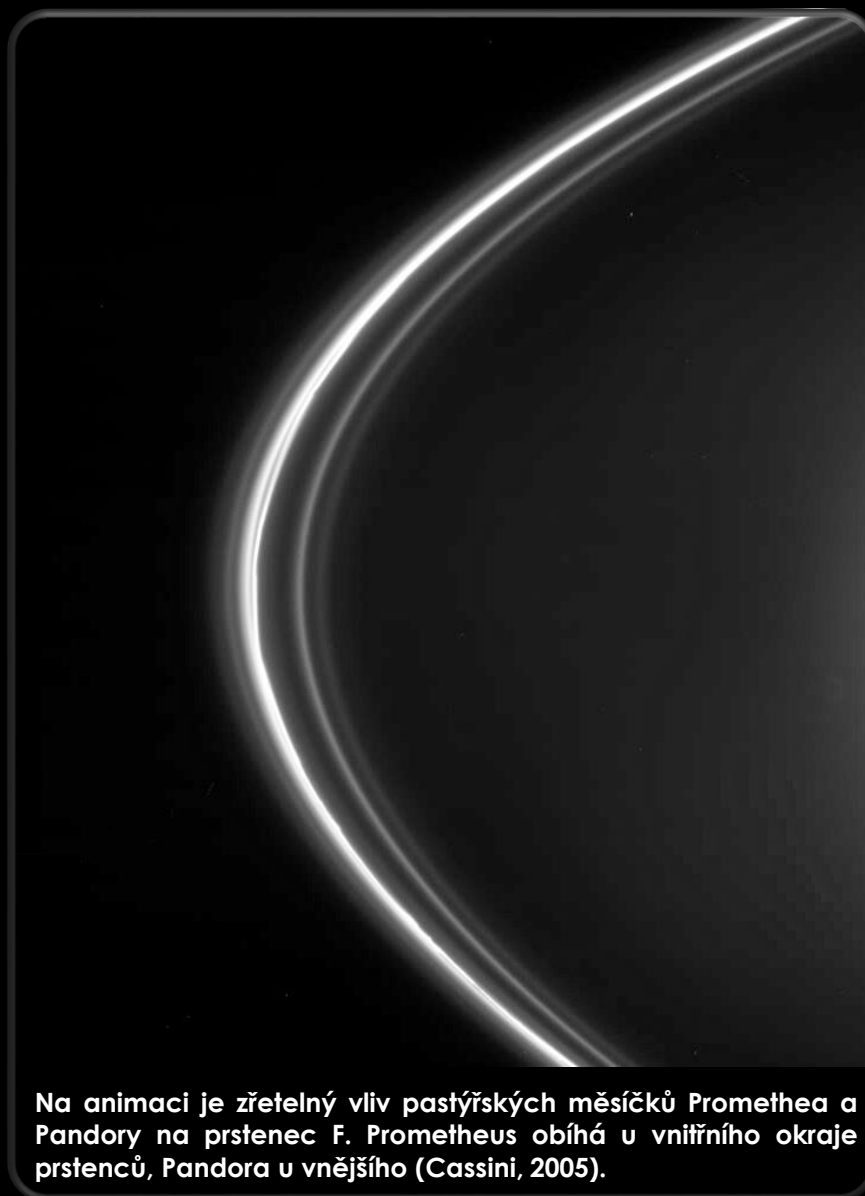
Saturnovy prstence

Vliv pastýřských měsíců na prstence F a G

- zvlněný charakter jasné části prstence F mají na svědomí měsíčky Prometheus a Pandora obíhající po vnější a vnitřní straně prstence
- drobné vlnky a nepravidelnosti v prstencích



Měsíček Panodara a Saturnův prstenec F (Cassini, 2005).



Na animaci je zřetelný vliv pastýřských měsíčků Promethea a Pandory na prstenec F. Prometheus obíhá u vnitřního okraje prstenců, Pandora u vnějšího (Cassini, 2005).

Děkuji za pozornost