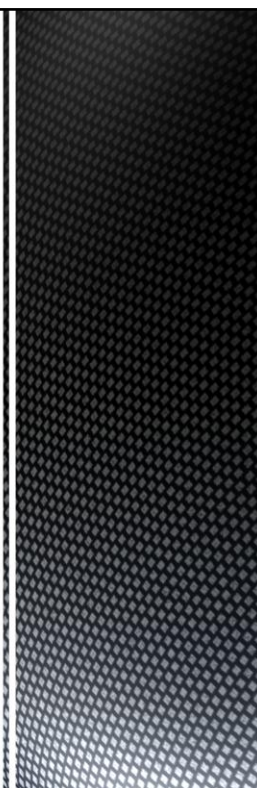


# PLANETÁRNÍ GEOGRAFIE

## Sluneční soustava

RNDr. Aleš Ruda, Ph.D.



# Obsah přednášky

- 1) Vznik a vývoj sluneční soustavy
- 2) Klasifikace objektů sluneční soustavy
  - 3) Terestrické planety
  - 4) Plynné planety
- 5) Nebeská mechanika

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



## Teorie vzniku sluneční soustavy

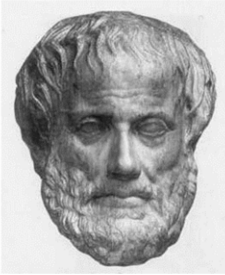
Kant - Laplaceova teorie

- poprvé koncipována **Immanuelem Kantem** (1755) využil poznatků Newtonových pozorování) a nezávisle na něm byla matematicky formulována **Pierrem-Simonem Laplacem** (1796)
- vychází z tzv. **nebulární** (mlhovinné) hypotézy: sluneční soustava vznikla gravitačním smršťováním mlhoviny složené z prachu a plynů
- F.R Moulton, T.C. Chamberlin – **katastrofická hypotéza** – vnější zásah vedl k přiblížení 2 hvězd, rozdělení na části hmoty Slunce a planet

Filosof **Immanuel Kant** uveřejnil své úvahy o tomto tématu v klasickém pojednání **Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels**. Kant si především všiml nápadné skutečnosti, že všechny tehdy známé planety a družice obíhají okolo svých gravitačních center a že oběhy se dějí až na málo výjimek ve drahách, jejichž roviny téměř splývají jak navzájem, tak i s rovinou slunečního rovníku. To jsou skutečnosti, které výmluvně nasvědčují společnému původu těles sluneční soustavy. Kant tak došel k základnímu předpokladu, že všechna tělesa byla "na počátku" rozložena v "elementární látku,, (neznámého původu), která vyplňovala všechen prostor, v němž nyní tato tělesa obíhají. Částice pralátky se pohybovaly všemi směry a navzájem se srážely, tím ztratily rychlost a klesly ke gravitačnímu centru. Tam vzniklo veliké těleso – pozdější Slunce. Zbývající částice si vzájemným rušením měnily postupně své dráhy. Hmoty kroužící v této rovině se sloučily v planety. *Kantova domněnka obsahuje četné nepřekonatelné obtíže – už jeho názor, jak v klidné pramlhovině došlo k rotaci, je mechanicky nemožný.*

**Laplaceova hypotéza** se zpravidla spojuje a ztotožňuje s Kantovou, takže ji pak označujeme jako **teorii Kant-Laplaceovu**. Ve skutečnosti se obě shodují pouze v některých základních předpokladech. **P. S. Laplace** uveřejnil svou teorii ve spise **Exposition du système du Monde**, vydaném r. 1796. Vychází z předpokladu, že hmota sluneční soustavy měla původně tvar žhavé plynové koule, rozkládající se až za dráhu nejvzdálenější planety. Ochlazováním se tato koule smršťovala, čímž se zrychlovala její rotace, až konečně došlo k odlučování hmoty na rovníku ve tvaru plynových prstenců. Zde je zřejmá inspirace, pocházející od prstenců Saturnových. *Laplaceova teorie sice zdánlivě dobře vysvětluje všechny zvláštnosti sluneční soustavy, zejména shodu oběžných a rotačních směrů, nepatrné odchylky dráhových rovin apod., bohužel však obsahuje neodstranitelné nesnáze dynamické povahy.*

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



## Modely sluneční soustavy

antické období

- 4. století př. n. l. Aristoteles přijal geocentrický systém,
- 3. století př. n. l. Aristarchos na základě pozorování zatmění Slunce a Měsíce a s geometrickými úvahami vytvořil heliocentrický model vesmíru - nebyl přijat.
- Ptolemaios – geocentrický model vesmíru

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



## Modely sluneční soustavy

Mikuláš Koperník  
(1473 – 1543)

- heliocentrický systém
- předpokládala i rotaci Země kolem své osy
- planety se nepohybují po ideálních kružnicích - výhrady

Koperník v knize o soustavě uvádí:

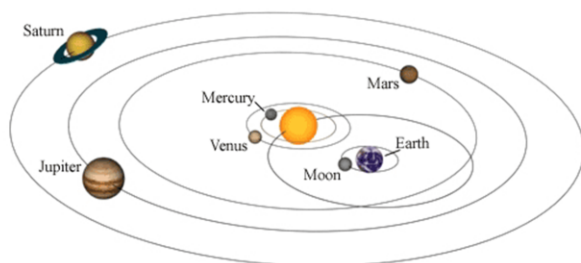
- Žádný nebeský kruh neboli sféra nemá jediný střed.
- Střed Země není středem světa, nýbrž toliko středem tíže a dráhy Měsíce.
- Všechny dráhy obklopují Slunce, jako by stálo v jejich středu, a proto střed světa leží poblíž Slunce.
- Poměr vzdálenosti Země-Slunce k výšce nebe stálic je mnohem menší než poměr zemského poloměru ke vzdálenosti Slunce, takže tato vzdálenost je proti výšce nebe stálic nepatrná.
- Všechny pohyby viditelné na nebi stálic není reálný, tak jak jej vidíme ze Země. Země se tedy otáčí s přidrženými elementy při denním pohybu jednou kolem svých pólů. Přitom zůstává nebe stálic nepohnuté jakožto nejzazší nebe.
- Všechny pozorované pohyby Slunce nepřísluší jemu samému, nýbrž je důsledkem rotace Země a jejího pohybu po kruhové dráze kolem Slunce, který je vlastní všem planetám. A tak se Země pohybuje několikerým způsobem.
- Co se u planet jeví jako pohyb zpětný a pohyb vpřed, není takové samo sebou, nýbrž se tak jeví ze Země. Její pohyb sám o sobě tedy stačí k vysvětlení četných rozmanitých jevů na nebi.

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



## Modely sluneční soustavy

Tycho de Brahe  
(1546 – 1601)



- všechny planety obíhají okolo Slunce, kromě Země, okolo které obíhá Slunce

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy

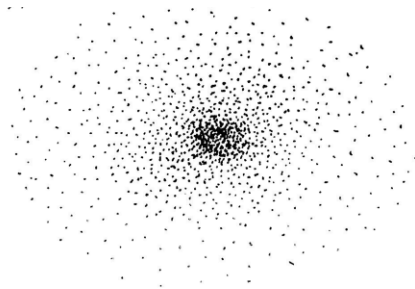


## Modely sluneční soustavy

Johanes Kepler  
(1571 – 1630)

- potvrdil platnost heliocentrického systému a zjistil, že se planety pohybují po eliptických drahách kolem Slunce
  - Keplerovy zákony

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



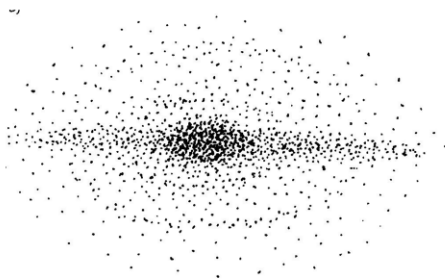
## Vznik sluneční soustavy

1

- pomalu rotující oblak plynu a prachu (tzv. sluneční mlhovina) o průměru 7 000 až 20 000 AU se začal před 4,7 mld. let smršťovat
- příčina smršťování je dosud neobjasněná, impulsem mohl být například výbuch blízké supernovy



# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy

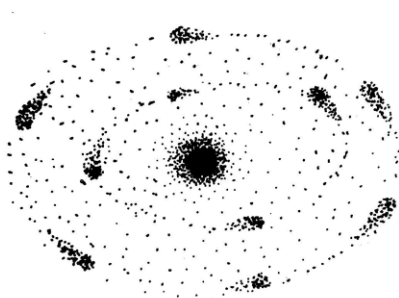


## Vznik sluneční soustavy

2

- smršťování mlhoviny → zrychlení rotace (zachování momentu hybnosti) a zploštění do tvaru **protoplanetárního disku**
- srůstem hustoty se zvyšovala i teplota → v centru vzniklo **protoslunce**

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy

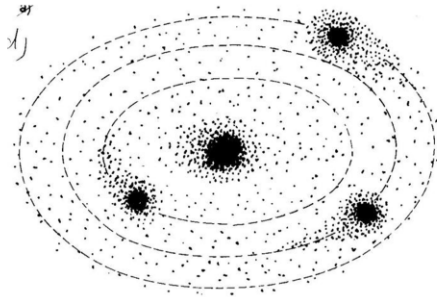


## Vznik sluneční soustavy

3

- prachové částice v rotujícím disku se srážely malými rychlostmi a shlukovaly se v tzv. **planetesimály**, malá tělesa tvořená horninami a případně také ledem a zmrzlými plyny

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy



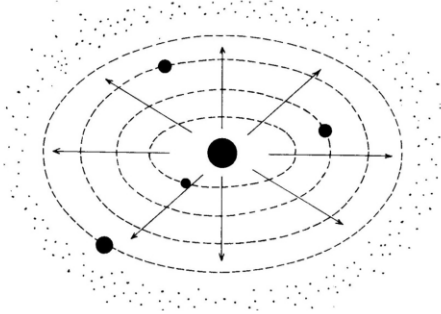
## Vznik sluneční soustavy

4

- planetesimály se postupně zvětšovaly procesem **akrece** (narůstání hmotnosti kosmického tělesa gravitačním přitahováním okolní hmoty)
- dostatečný rozměr → spojování do tzv. **protoplanet**

Ve vnitřní části disku se akrecí protoplanet utvořily planety zemského typu (Merkur, Venuše, Země, Mars). Nižší teploty ve vnější části disku umožňovaly akreci planetesimál s podílem ledu a zmrzlých plynů, protoplanety zde proto mohly přitáhnout více hmoty a díky větší gravitační síle byly schopné zachytit kolem sebe mocný obal z lehčích plynů. Vznikly tak obří plynné planety s kamennými jádry (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun).

# 1. Vznik a vývoj sluneční soustavy

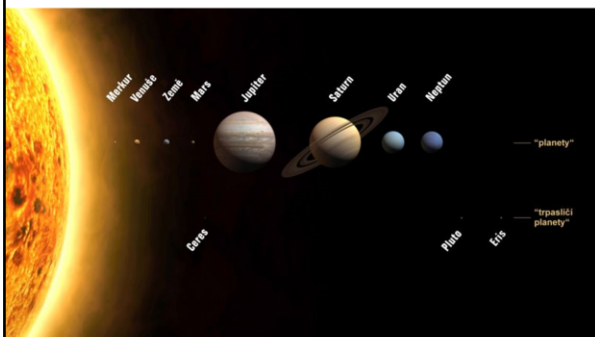


## Vznik sluneční soustavy

5

- vznik obřích planet → zvýšení tlaku, hustoty a teploty hmoty v protoslunci → termonukleární reakce → zrození Slunce
- sluneční vítr „odvál“ většinu zbývající hmoty mlhoviny a disku směrem k okrajům sluneční soustavy
- zbylé planetesimály → planetky a komety

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy



Tělesa, která se pohybují v gravitačním poli Slunce po kuželosečkách a vykonávají alespoň jeden úplný oběh kolem Slunce, patří do sluneční soustavy.

### Objekty sluneční soustavy

- Slunce
- planety a jejich měsíce
  - trpasličí planety
- malá tělesa sluneční soustavy
- meziplanetární plyn a prach – Kuiperův pás a Oortův oblak

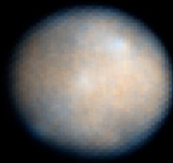
## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy



Rezoluce Mezinárodní  
astronomické unie

1. **Planeta** je nebeské těleso, které:

- a) obíhá okolo Slunce,
- b) má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého) a
- c) vyčistilo okolí své dráhy.



Ceres • January 24, 2004  
HSTACS/HRC

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

### Rezoluce Mezinárodní astronomické unie

2. „**Trpasličí planeta**“ je nebeské těleso, které:
- a) obíhá okolo Slunce,
  - b) má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého),
  - c) nevyčistilo okolí své dráhy a
  - d) není družicí.
3. Všechny ostatní objekty obíhající okolo Slunce, s výjimkou družic, budou označovány společným termínem „**malá tělesa sluneční soustavy**“ (většina asteroidů, transneptunických objektů, komet atd.)

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

### Trpasličí planety

- kategorie trpasličích planet není podskupina kategorie planet, ale naprosto separátní skupina těles
- trpasličí planety nejsou planety - definice se týká pouze naší sluneční soustavy
- v současné době známe pět trpasličích planet: Ceres, Eris, Haumea, Makemake a Pluto



### Rozměry a hmotnost trpasličích planet

Spodní a horní limit velikosti a hmotnosti trpasličích planet nebyl IAU rezolucí specifikován. Není zde striktně definován horní limit, a tak i objekty větší a hmotnější než Merkur, které nedokáží vyčistit okolí své oběžné dráhy, mohou být stále klasifikovány jako trpasličí planeta. Spodní limit je určen zmínkou o tvaru vyplývajícím z platnosti hydrostatické rovnováhy, nicméně rozměry a hmotnost, při kterých objekt tohoto tvaru dosáhne, nejsou definovány. Dle zkušeností při pozorování se mohou tyto hodnoty lišit složením a historií objektu. Původní návrh rezoluce IAU předpokládal, že se bude jednat o „objekt s hmotností vyšší než  $5 \cdot 10^{20}$  kg a rozměrech větších než 800 km“, ale ve finální verzi se to neobjevilo.



## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy



### Trpasličí planety

Plutoidy

2.1 **Plutoid** je těleso, které:

- obíhají okolo Slunce ve větší vzdálenosti než je dráha planety Neptun;
- mají dostatečnou hmotnost, aby jejich vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhnou tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulového);
- nevyčistily okolí své dráhy.

### A co s Plutem?

Jediná planeta objevená Američanem (Clyde William Tombaugh) přišla o „titul“ planeta, což se nelíbilo především občanům USA. Proto vznikla rezoluce 6B (ještě v Praze), schválená IAU v červnu 2008 na zasedání v Oslu. Rezoluci podala Komise pro nomenklaturu malých těles (CSBN).

Podle této rezoluce byla zavedena kategorie těles sluneční soustavy „plutoid“.

Jméno dostane objekt - plutoid, který:

- obíhá za dráhou Neptunu;
- jeho absolutní hvězdná velikost je větší než + 1 mag.

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

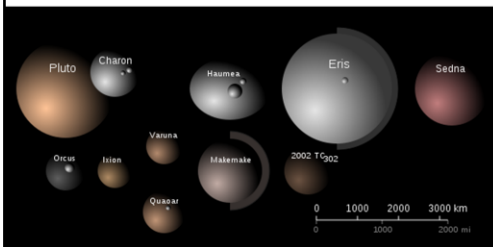


### Malá tělesa sluneční soustavy

Asteroidy (planetky)

- tělesa sluneční soustavy o velikosti 1–1 000 km, obíhají převážně v pásu planetek mezi dráhou Marsu a Jupitera a za dráhou Neptuna,
- pravděpodobné pozůstatky planetesimál, jimž silný gravitační vliv Jupiteru zabránil akrečně se stmelit v planetu,
  - největší planetka Ceres byla v roce 2006 označena za jednu z tzv. trpasličích planet

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

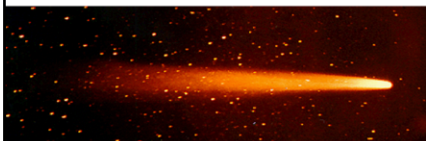


### Malá tělesa sluneční soustavy

Transneptunické objekty (TNO)

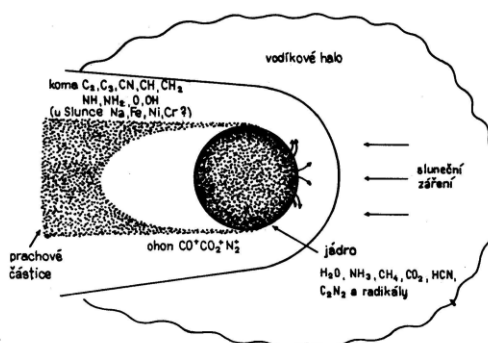
- malá tělesa sluneční soustavy, která mají velkou poloosu oběžné dráhy větší než planeta Neptun
- objekty Kuiperova pásu a Oortova oblaku, které nejsou kometami
- prvním objeveným bylo v roce 1930 Pluto
- objev dalších TNO (QB1, Varuna, Ixion, Quaoar, Orcus, Sedna, Eris) vedl astronomy k přehodnocení klasifikace objektů sluneční soustavy. Pluto a Eris byly v roce 2006 označeny za tzv. trpasličí planety,

## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy



- tělesa tvořená konglomerátem zmrzlých plynů, ledu, prachu a meteorického materiálu - JÁDRO
- poblíž Slunce se uvolňují z povrchu jádra částice prachu a plynů a tvoří obal jádra – KOMA a dále pak VODÍKOVÉ HALO
- jádro a koma = HLAVA KOMETY

### Malá tělesa sluneční soustavy Komety



Komety takto fakticky ztrácejí hmotu, např. *Halleyova kometa* ztrácí v okolí přísluní za sekundu asi 5 tun prachu a 15 tun plynu, za celý oblet pak asi  $10^{12}$  kg, tj. asi 0,5 % celkové hmotnosti. Odtud je patrné, že krátkoperiodické komety mají jen omezenou životnost řádu stovek tisíc let.

Aktivita jader ovšem silně klesá ve vzdálenosti přes 6 AU od Slunce, neboť v této vzdálenosti již vodní led přestává sublimovat. Nicméně běžně pozorujeme aktivitu jádra až do vzdálenosti 10 AU. Zde je asi hlavním příčinou uvolnění energie při přeměně amorfního ledu na krystalický.

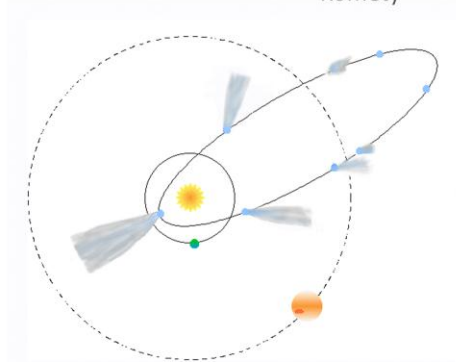


## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

- slunečním větrem jsou částice komy strhávány v tzv. ohon (chvost) komety, který je proto odvrácen od Slunce
- komety obíhají kolem Slunce po velmi výstředných drahách
- podle oběžné doby se dělí na:
  - a) **dlohoperiodické** (1 oběh za více než 200 let) – zdrojem je Oortův oblak
  - b) **krátkoperiodické** (1 oběh za méně než 200 let) – zdrojem je Kuiperův pás

### Malá tělesa sluneční soustavy

Komety





## 2. Klasifikace objektů sluneční soustavy

- malá pevná tělesa v meziplanetárním prostoru (velikost nanejvýš stovky m) o velikosti menší než rozměry planety a větší než rozměry atomu
- po vstupu do atmosféry se zahřívají a vypařují, přičemž září jako tzv. **meteory**
  - ✓ **ohnivá koule** – meteor jasnější než jakákoli jiná planeta
  - ✓ **bolid** – výjimečně jasné ohnivé koule
- jejich zbytky dopadají na zem jako meteority:
  - ✓ chondrity
  - ✓ siderity

### Malá tělesa sluneční soustavy

Meteoroidy

- a) **chondrit** je meteorit složen především z křemičitanů, na průřezu jsou patrné kulové granule – *chondrule* (z olivínu a pyroxenu)
- b) **siderit** (nezaměňovat s minerálem siderit) je složen především ze železa a niklu, pocházejí siderity pravděpodobně z jader rozbitých planetek.

### 3. Terestrické planety

Charakteristika		Merkur	Venuše	Země	Mars
velká poloosa dráhy	(AU)	0,387		1	
rovníkový poloměr	(km)	2 440	6 052	6 378	3 397
siderická oběžná doba	(dny)	88,0	224,7	365,256	686,98
siderická doba rotace	(dny)	58,7	243,0	0,997	1,026
sklon osy <sup>1</sup>	(°)	0	177,3	23,45	25,19
hmotnost	(Země = 1)	0,055	0,815	1	0,107
střední hustota	(kg m <sup>-3</sup> )	5 427	5 243	5 515	3 933
tíhové zrychlení <sup>2</sup>	(m s <sup>-2</sup> )	3,7	8,87	9,78	3,69
sluneční konstanta	(W m <sup>-2</sup> )	9 214	2 660	1366	595
průměrná teplota <sup>3</sup>	(°C)	179	464	15	-63
počet měsíců		0	0	1	2

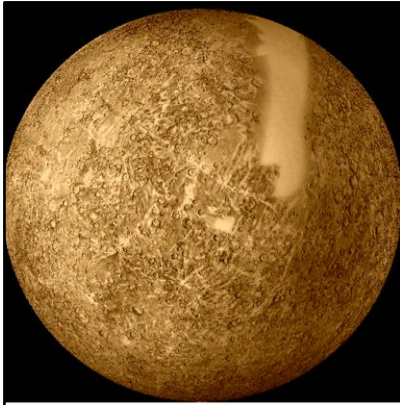
Poznámky:

1 – sklon osy rotace vůči normále k rovině oběžné dráhy planety

2 – tíhové zrychlení na rovníku

3 – průměrná teplota na povrchu planety

**Terestrická planeta** je planeta je složena především z křemičitanových hornin. Název je odvozen z latinského slova pro Zemi, „Terra“, takže alternativní definicí může být, že jde o planetu, jejíž rysy jsou výrazně „podobné Zemi“. Terestrické planety jsou podstatně odlišné od plyných obrů, kteří nemají pevný povrch a jsou složeni především z vodíku, hélia a vody v různých kombinacích a v různých skupenstvích. Terestrické planety mají všechny podobnou strukturu: centrální kovové jádro, převážně ze železa, obklopené křemičitanovým pláštěm, který na povrchu přechází v kůru.



sondy: Mariner 10, MESSENGER



## 3. Terestrické planety

### Merkur

bůh obchodu a zisku

- povrch poset impaktními krátery
- vysoká hustota hmoty
- výrazná převaha železa na niklem
- v poledne stoupá teplota povrchu k 470 °C, v noci klesá k -160 °C
- slabá atmosféra – černá obloha
- relativně silné magnetické pole
- dráha má největší excentricitu mezi planetami (vzdálenost v periheliu 46 mil. km, v afeliu 70 mil. km)
- pomalá rotace (1,5krát za dobu oběhu kolem Slunce)

**Mercurius**, bůh obchodu a zisku, na kterého přenesli Římané veškeré vlastnosti boha Herma. Nejstarší pozorování prováděli Sumerové

Merkur má pomalou rotaci - předpokládala se vázaná rotace planety – v roce 1965 bylo objeveno, že za dva oběhy kolem Slunce stačí Měkur vykonat tři otočky kolem vlastní osy (jeden sluneční den, doba mezi dvěma průchody Slunce meridiánem, trvá na Merkuru asi 176 pozemských dnů.

#### Povrch a geologická stavba

Povrch, podobný měsíčnímu, je pokryt především velkým množstvím kráterů, vzniklých srážkou s meteoroidy a planetkami nejrůznějších velikostí (tzv. impaktní krátery). Jeho značně vysoká hustota dosahující asi 5400 kg/m<sup>3</sup> a poměrně silné magnetické pole o velikosti asi 1 % zemského je způsobeno vysokým zastoupením **železa** a **niklu** uvnitř planety a masivním jádrem, které se nachází pod kůrou. Jako důkaz velkých rozměrů jádra slouží přítomnost magnetického pole. Kdyby bylo magnetické pole jen malé, pomalá rotace planety by nestačila ke generování tak silného magnetického pole. Odhaduje se, že planeta je ze 70 % tvořena kovy a pouze z 30 % silikátovým materiálem.

#### Atmosféra

Merkur má velmi tenkou atmosféru, podobnou vakuu, které je složená z atomů vyražených z jeho povrchu slunečním větrem, což je zapříčiněno slabým gravitačním polem vytvářeným poměrně lehkou planetou. V atmosféře jsou tak zastoupeny, kyslík, vodík, křemík a helium, byly pozorovány i nízké obsahy molekul oxidu uhličitého a vody. Protože planeta nemá žádnou silnější atmosféru, je obloha černá.



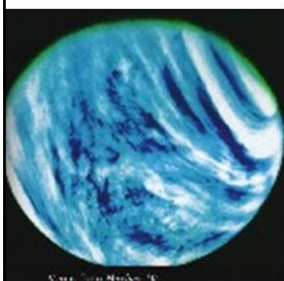


### 3. Terestrické planety

#### Venuše

perla oblohy

sondy: Venus Expres, Magellan, Cassini aj.



- velikostí a hustotou nejpodobnější Zemi
- atmosférický tlak je 92krát větší než na Zemi, povrchová teplota 460 °C
- vysokorychlostní proudění v atmosféře udržuje stabilní teplotu
- atmosféra: 96 % CO<sub>2</sub>, 3 % N<sub>2</sub>, 1% SO<sub>2</sub>
- 85 % povrchu pokryto vulkanickou horninou – lávové proudy
- impaktní krátery

Venuše, **perla oblohy**, starověkými astronomy zvaná též **Jitřenka** nebo **Večernice**. Venuše nese jméno podle řecké bohyně jara a probouzející se přírody, později však známé jako bohyně lásky a krásy a stejně tak, jako je tajemná láska, tak i Venuše před námi skrývá svou tvář a halí ji do oblaků a par. Původně staroitalská bohyně jara a probouzející se přírody, teprve později bohyně krásy. Po první punské válce ztotožnili Římané bohyni s řeckou bohyní lásky Afrodítou.

Není zde žádná voda, hustou atmosféru tvoří z 96 % CO<sub>2</sub>, což vede k extrémně silnému skleníkovému efektu (Venuše je proto v průměru teplejší než Merkur). Atmosférický tlak na povrchu je 92krát vyšší než na Zemi (stejný tlak působí u nás na ponorku, která je 3 000 m pod hladinou oceánu), celou planetu halí husté mraky obsahující kapičky kyseliny sírové. Rozsáhlá sopečná činnost. Sklon osy téměř 180° znamená, že planeta je jakoby „překocená vzhůru nohama“, tedy má retrográdní rotaci (v opačném smyslu než ostatní planety) – Slunce zde vychází na západě a pomalu postupuje k východu. Jedna otočka planety kolem osy (243 dnů; nejpomalejší ze všech planet) trvá déle než jeden oběh kolem Slunce (225 dnů), ovšem díky retrográdní rotaci má sluneční den na Venuši délku asi 117 dnů.

Vesmírné sondy k planetě: série sond Veněra (SSSR), Mariner (USA), Pioneer Venus (USA) a Vega (SSSR), sondy Zond 1, Galileo, Cassini, Magellan (radarové zmapování 99 % povrchu v letech 1990–1994), Venus Express (ESA; od dubna 2006 obíhá kolem planety a studuje ji).



## 3. Terestrické planety

Země  
modrá planeta

**Co dodat? Jen, že vás zaměstná na celý život.**



### 3. Terestrické planety

#### Mars

rudá planeta

- měsíce Phobos a Deimos
- teploty v rozmezí  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- vyschlá řečiště uspořádaná ve tvarech stromové sítě přítoků
- voda přítomna jen jako vodní pára v atmosféře, vodní led v polárních čepičkách Marsu a vázaná pod povrchem v permafrostu
- povrch je pokrytý impaktními krátery
- sondy: Mariner, Viking, Mars Reconnaissance Orbiter, Phoenix
- „rudá planeta“ pro svůj načervenalý povrch
- zhruba poloviční průměr než Země a má rok téměř dvojnásobné délky
- doba rotace a sklon rotační osy k dráze oběhu jsou velmi podobné zemským hodnotám
- řídká suchá atmosféra je z 95 % tvořena  $\text{CO}_2$
- obloha je žlutavá (rozptýlený jemný prach s obsahem oxidů železa)

**Mars**, bůh zemědělství a války, syn Iova a jeho ženy, bohyně Lunony. Byl po Iovovi nejpřednější a nejuctívanější římský bůh.

Atmosféra je složena zejména z oxidu uhličitýho s malým množstvím ostatních plynů a obsahuje pouze jednu tisícinu vody v porovnání se Zemí, které je schopné z kondenzovat a vytvořit oblačnost. V minulosti mohla hustá atmosféra planety umožňovat proudění vody na povrchu tak, jak můžeme pozorovat na Zemi. Důkazem jsou soutěsky, pobřeží, koryta řek a různé ostrovy. Možných vysvětlení ztráty atmosféry je několik - ztráta magnetického pole, zmírnění sopečné činnosti, únik částic z atmosféry nebo srážka planety s kosmickým tělesem. Po ztrátě magnetického pole tak planeta začala ztrácet také svoji hustou atmosféru. To se pravděpodobně stalo na Marsu a podobný osud jednou čeká i větší Zemi. Skleníkový plyn oxid uhličitý, zahřívající povrch planet, se z atmosféry spolu s deštěm dostával na povrch do zdejších oceánů a moří. Zde se rozpouštěl, reagoval s horninami a tvořil uhličitany (vápenec, kalcit), které se ukládaly na dno moří a tisíce let se stlačovaly až vytvořily sedimentární usazeniny. Zpět do atmosféry se dostával z vybuchujících sopek. Vulkanická aktivita na Marsu však dosáhla vrcholu před 3 až 3,5 mld. let. Nejvyšší vulkanickou strukturou na Marsu a v celé sluneční soustavě je *Olympus Mons*. Poté se  $\text{CO}_2$  přestal vracet zpět do atmosféry a mizel z ní, čímž atmosféra chladla a ubývalo z ní i vodních par (další zmenšení skleníkového efektu a další ochlazení), tak dlouho, dokud byla na povrchu přítomna voda.

*Terifikace (angl. terraforming) – přiblížení prostředí planet či měsíců podmínkám, jaké panují na Zemi, za účelem umožnění obyvatelnosti lidmi. Zvažují se především možnosti terifikace Venuše a Marsu a počítá se s lety lidí k těmto planetám v budoucnosti. Základní teoretické kroky terifikace Venuše: pomocí sluneční energie rozložit atmosférický  $\text{CO}_2$ , z Jupiteru dodat  $\text{H}_2$  pro sloučení s uvolněným kyslíkem (výroba vody), pomocí raket dopravit k Venuši křehký asteroid a ten rozdrobit v prachový stínící pás k regulaci teploty. Terifikace Marsu naproti tomu vyžaduje zahřátí a zahuštění atmosféry (odplynění  $\text{CO}_2$  vázaného v polárních čepičkách a pod povrchem; umělé zvýšení insolace obřími zrcadly na oběžné dráze apod.), ale i řadu dalších komplikovaných a časově náročných kroků.*

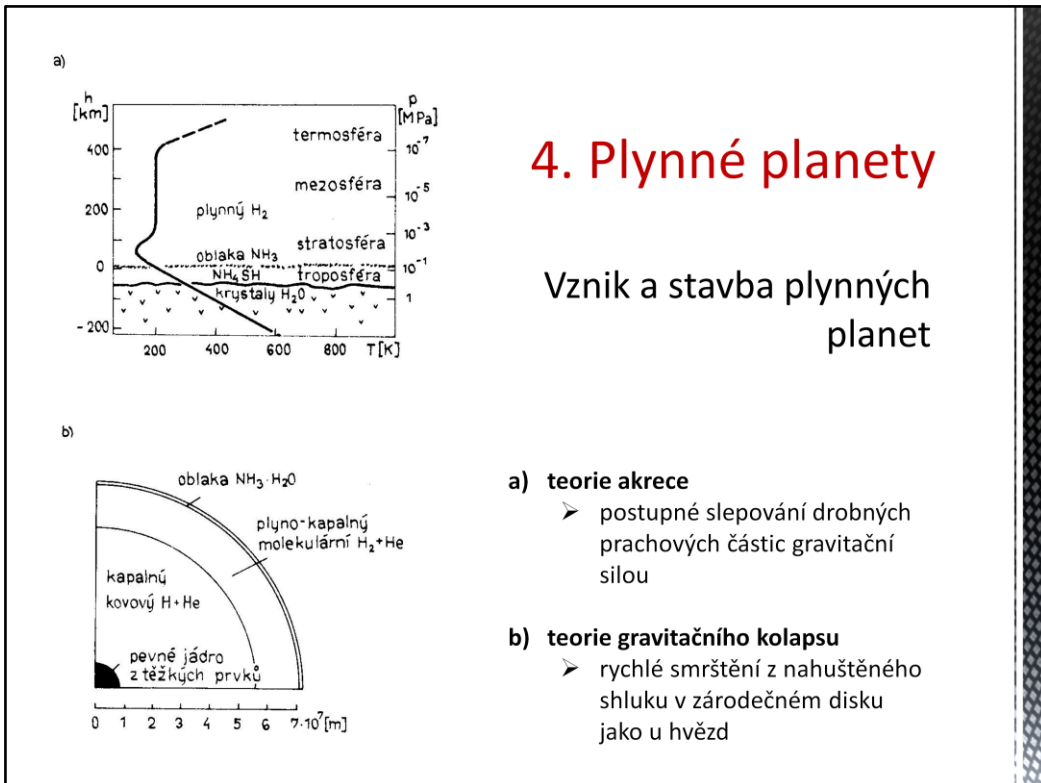
## 4. Joviální planety

Charakteristika		Jupiter	Saturn	Uran	Neptun
velká poloosa dráhy (AU)		5,2	→ 9,5	→ 19,18	→ 30,06
rovníkový poloměr <sup>1</sup> (km)		71 492	60 268	25 559	24 766
siderická oběžná doba (roky)		11,86	29,46	84,01	164,79
siderická doba rotace (hodiny)		9,925	10,656	17,24	16,11
sklon osy <sup>2</sup> (°)		3,12	26,73	97,86	29,56
hmotnost (Země = 1)		317,81	95,162	14,54	17,15
střední hustota (kg m <sup>-3</sup> )		1 326	687	1 270	1 640
tíhové zrychlení <sup>3</sup> (m s <sup>-2</sup> )		23,12	8,96	8,69	11,00
sluneční konstanta (W m <sup>-2</sup> )		51	→ 15	→ 3,71	→ 1,47
průměrná teplota <sup>4</sup> (°C)		-182	-139	-197	-201
počet měsíců <sup>5</sup>		63	62	27	13

Poznámky:

- 1 – pro hladinu tlaku plynů 1 bar
- 2 – sklon osy rotace vůči normále k rovině oběžné dráhy planety
- 3 – tíhové zrychlení na rovníku na hladině tlaku plynů 1 bar
- 4 – průměrná teplota na povrchu planety
- 5 – stav ke konci roku 2010

Obří planety (velké planety, plynní obři) – planety ve vnější části sluneční soustavy, za hlavním pásem asteroidů, jedná se o čtveřici planet Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Jsou mnohem větší a hmotnější než Země, složeny jsou převážně z lehkých plynů (vodík a helium). Rotují rychle, udržely si své primární atmosféry, nemají pevný povrch, za povrch planety je označována nejnižší plynná vrstva, z níž ještě pronikne světlo ven. Typickou vlastností obřích planet je přítomnost prstenců rotujících v rovině rovníku planet (nejvýraznější jsou u Saturnu) a velký počet přirozených družic – měsíců.



**Teorie akrece** předpokládá, že se v protoplanetárním disku postupně slepovaly drobné prachové částice, čímž začaly vznikat větší částice a posléze balvany. Neustálé srážky těles vedly k jejich narůstání, až vznikla tělesa o velikosti několik tisíc kilometrů. Tato velká železokamenitá tělesa se stala zárodky terestrických (kamenných) planet.

**Teorie gravitačního kolapsu** předpokládá, že velké planety nevznikaly postupným slepováním drobných částic, ale poměrně rychlým smrštěním z nahuštěného shluku v zárodečném disku podobným způsobem, který je známý při vzniku hvězd. Podle teorie několika gravitačních kolapsů, jejímž autorem je Alan Boss z Carnegie Institution of Washington, byl vznik plynných obrů krátký a v případě planety Neptun trval jen několik století.



sondy: Pioneer, Voyager, Galileo, Cassini, New Horizons



## 4. Plynné planety

### Jupiter velký obr

- největší planeta sluneční soustavy
- jádro je patrně z křemičitanů a železa, obal jádra tvoří tekutý kovový vodík, povrchovou vrstvu Jupiteru tvoří tekutý molekulární vodík
- husté mračno – rudá skvrna – největší anticyklóny
- lehce diferenciální rotace
- jednoduchý prstenec
- Galileovy měsíce (Io, Europa, Ganymedes a Callisto )

**Jupiter**, staroitalský bůh jasného nebe a vesmíru. Později ho Římané zcela ztotožnili s Diem.

Jupiter je se svým rovníkovým průměrem 142 800 km největší planetou ve sluneční soustavě. Svou přitažlivostí ovládá velké množství měsíců, jejich počet neustále narůstá. Čtyři z nich, Io, Europa, Ganymedes a Callisto byly objeveny Galileem již v roce 1610. Jako všechny plynné planety i tato má systém prstenců, ale velmi nejasný a zcela skrytý ze Země (prstenec byl objeven v roce 1979 pomocí kosmické sondy Voyager 1). Polární oblasti rotují asi o 5 minut pomaleji než rovníkový pás – diferenciální rotace.

Tloušťka Jupiterovy atmosféry je zhruba 1 000 km a skládá se z plynného vodíku a helia s malým množstvím metanu, čpavku, vodních par a dalších sloučenin. V horních vrstvách atmosféry jsou ještě další chemické sloučeniny, které způsobují pestré zbarvení planety. Červená barva převládá v nejvyšší vrstvě atmosféry, kam se spolu s výstupními proudy dostává fosfor. Bílou barvu vysokých oblaků způsobují krystalky amoniaku. Nižší položené mraky se projevují v podobě pruhů. Jsou složeny převážně z hydrosulfidu amonného. S ohledem na velikost Jupitera s hloubkou poměrně rychle narůstají teplota i tlak, a proto se v hloubce asi 1 000 m nachází moře kapalného molekulárního vodíku. V hloubkách ještě větších je už tlak natolik velký, že má vodík tuhé, kovové skupenství.

Barevné šířkové pásy, atmosférické mraky a bouře ilustrují dynamický systém Jupiterova počasí. Charakter oblak se mění během hodin nebo dnů. Velká rudá skvrna je složitá anticyklóna pohybující se proti směru hodinových ručiček. Na krajích se zdá, že se materiál otočí během čtyř až šesti dní; blízko středu je pohyb nepatrný a velmi náhodný ve směru. V celém pásu mračen se nachází řada dalších malých bouří a vírů.

#### **Jupiterův prstenec**

Na rozdíl od komplikovaného a složitého systému prstenců u Saturnu, má Jupiter jednoduchý prstenec, který je složený z vnitřního halového prstence, hlavního prstence a pavučinového prstence.





## 4. Plynné planety

### Saturn

vládce bohů

sondy: Voyager, Cassini, Huygens



- velmi podobný Jupiteru
- nápadná pólové zploštění způsobené rychlou rotací
- nad kamenným jádrem se nachází vrstva tekutého vodíku, dále vrstva tekutého molekulárního vodíku a hélia
- v atmosféře – krystalky amoniaku
- magnetické pole je téměř souměrné, rotační i magnetické pól téměř splývají
- soustava prstenců
- Titan – největší měsíc, větší než Merkur

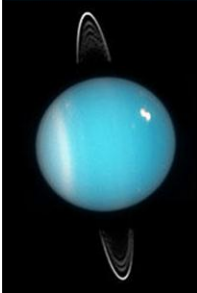
Saturnus, vládce bohů, měl v římské tradici stejné osudy jako řecký bůh Kronos, s nímž Saturn splýnul. Řecké bájesloví vypráví, že Kronos sdílel osudy Titánů a teprve později byl Diem omilostněn a stal se vládcem ostrovů blažených, kde žili héróové. V římském podání Saturnus prchl před vítězným lovem do krajiny obklopené horami, kterou nazval Latium.

Pozemní měření i přístroje sond zjistily, že Saturn, podobně jako Jupiter, vydává téměř dvakrát více energie, než od Slunce přijímá. Zdroj vnitřní energie lze vysvětlit fázovými přeměnami v nitru planety. Saturn stejně jako Jupiter je složen převážně z vodíku a hélia. Se zvyšujícím se tlakem při stálé nízké teplotě se elektronové obaly ve směsi navzájem přibližují, až se elektrony volně mezi atomy pohybují. Směs je tak charakteristicky kovová - je dobrým vodičem tepla i elektřiny. K promíchávání vodíku s héliem však nedochází v nitru, protože k tomu okolní teplota nedostačuje, ale na povrchu, a to vlivem gravitace. Ta je příčinou klesání těžšího hélia z povrchu do části kovového vodíku.

Díky stokilometrové vrstvě zmrzlých krystalků amoniaku nejsou v Saturnově atmosféře pozorovány tak výrazné pruhy a mračné víry jako u Jupitera. Hlubší vrstvy atmosféry Saturnu bude zkoumat mise pouzdra Huygens, které právě na sondě Cassini k planetě míří. Po pozorování televizními kamerami sondy Voyager bylo zjištěno, že podél rovníkového pásu vane silný západní vítr rychlostí až 1 800 km/h.

V rovině rovníku Saturnu je soustava prstenců, které mají dohromady průměr 280 000 km, ale jsou tenké jen několik stovek metrů. Skládají se z částic o velikosti od centimetrů po desítky metrů a jsou převážně z ledu (některé mohou být ledem pokryty); obsahují stopy křemíkových a uhlíkových minerálů. Jejich stáří se dnes odhaduje na pouhé stovky miliónů let, takže je můžeme považovat za velmi mladé. Rozlišujeme (Cassiniho dělení) čtyři hlavní a tři slabší skupiny prstenců, poblíž skupin prstenců oddělené mezerami, nazvanými "dělení". Až do věku kosmických sond byly známy tři hlavní prstence A, B, C a dva slabé, ze Země jen občas viditelné D a E. Známá byla též Cassiniho mezera - F.

## 4. Plynné planety



sondy: Voyager 2

### Uran ledový obr

- rotační osa je skloněna téměř do roviny oběhu kolem Slunce, během oběhu tak míří ke Slunci střídavě jižní a severní pól planety
- osa rotace ukloněná téměř o  $98^\circ$
- modrozelené barva atmosféry
- vodík a helium tvoří malou část vnitřní stavby – tvoří však atmosféru
- magnetosféra je rotací zkroucena do vývrtkového tvaru
- Titania a Oberon – největší měsíce

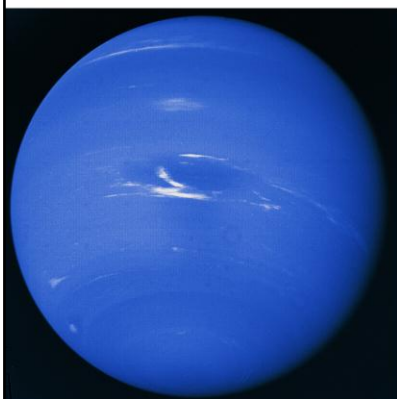
Uran byl starověký řecký bůh nebe, nejčasněji nejvyšší bůh. Uran byl syn a přítel Gaia, otce Cronuse (Saturnu) a byl z rodu Kyklopů a Titánů (tedy z předchůdců Olympských bohů).

Uran na rozdíl od většiny ostatních planet má výrazně skloněnou osu rotace. Je nakloněný na stranu o téměř  $98^\circ$ , a co je pozoruhodné, s ním i jeho prstence a oběžné roviny většiny jeho měsíců. Jeho neobvyklá pozice je pravděpodobně následek dávné kolize s tělesem o velikosti jako planeta samotná kdysi v rané historii sluneční soustavy. V důsledku toho během Uranova roku svítí Slunce střídavě na severní a jižní pól, jak ke Slunci póly postupně míří. Den na pólu pak trvá 42 let a následuje po něm 42 let dlouhá noc. Standardní model stavby Uranu předpokládá tři oddělené vrstvy: kamenné jádro ve středu planety, ledový plášť a plynný obal tvořený převážně vodíkem a heliem. Ledový plášť není ve skutečnosti tvořený z pevného ledu, ale z husté tekuté kapaliny tvořené vodou, čpavkem a dalšími lehkými látkami. Atmosféra Uranu se skládá z 83 % vodíku, 15 % helia, 2 % metanu a malého množství acetylenu a jiných uhlovodíků. Metan v horní atmosféře pohlcuje červené světlo a tím dává Uranu jeho modrozelenou barvu.

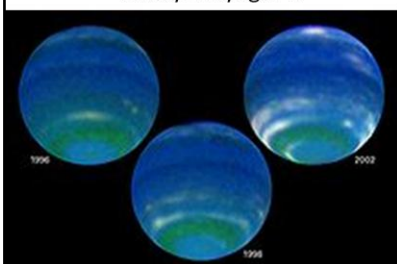
Uranovo magnetické pole je zvláštní tím, že se jeho centrum nenachází v centru planety a je vychýleno téměř  $59^\circ$  vzhledem k ose rotace. Je posunuto mimo střed planety směrem k jižnímu rotačnímu pólu o jednu třetinu poloměru planety. Pravděpodobně je vytvářeno pohybem v relativně mělkých hloubkách pod povrchem Uranu.



## 4. Plynné planety



sondy: Voyager 2



### Neptun

ledový obr

- stavbou podobný Uranu
- zelenomodré zbarvení
- Velká tmavá skvrna
- střídání čtyř ročních období – výrazný nárůst odraženého světla na jižní polokouli
- největší měsíc Triton je nechladnějším tělesem sluneční soustavy (  $-235\text{ }^{\circ}\text{C}$  ) a jediný měsíc, který nerotuje na stejnou stranu jako mateřská planeta

**Neptunus**, římský vládce moře, syn Saturnův a Opín, bratr Iovův. Římané ho zcela ztotožnili s Poseidónem.

Planeta Neptun je značně podobná Uranu, obě planety mají rozdílné složení než další plynní obři sluneční soustavy Jupiter a Saturn. Uran a Neptun jsou proto někdy vyčleňováni do zvláštní kategorie jako tzv. „**ledoví obři**“. Atmosféra Neptunu je složena převážně z vodíku a hélia s větším podílem vody, čpavku a metanu. Vnitřní stavba planety je spíše kamenitá a navíc obohacená vodním ledem.

Velká tmavá skvrna - obrovský vír, otáčející se rychlostí více než 600 km/h, ale existují i hypotézy, že se jednalo o obrovskou bublinu vystupující z hlubších částí planety.

Předpokládá se, že podobně jako na Zemi, i na Neptunu panují čtyři roční období, které se budou projevovat teplejším létem a studenou zimou s postupným přechodem přes jaro a podzim. Na základě délky oběžné dráhy Neptunu, která je přibližně 165 let, je patrné, že délka ročních období na Neptunu bude dosahovat okolo 40 let pro jednotlivou periodu. Teorii o střídání ročních období podporuje skutečnost, že rotační osa planety je skloněná o  $29^{\circ}$ , v případě Země je to  $23,5^{\circ}$ .

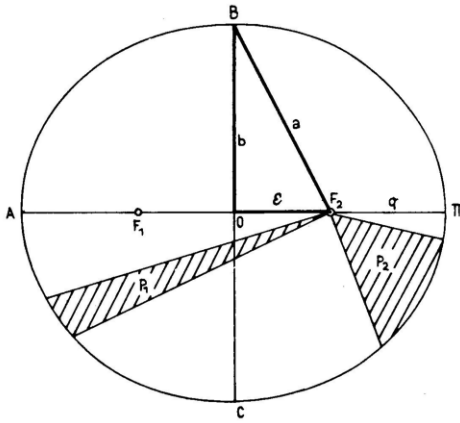
## 5. Nebeská mechanika

se zabývá studiem pohybů nebeských těles, která na sebe působí v souladu s Newtonovým gravitačním zákonem

### Keplerovy zákony

1. **zákon drah planet** - planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách málo odlišných od kružnic (reálně je to jakákoli kuželosečka), kde Slunce je v jejich společném ohnisku
2. **zákon ploch** - plochy opsané průvodičem planety za stejné doby jsou stejné
3. **zákon oběžných drah** - druhé mocniny oběžných dob planet jsou ve stejném poměru jako třetí mocniny jejich velkých poloos

## 5. Nebeská mechanika

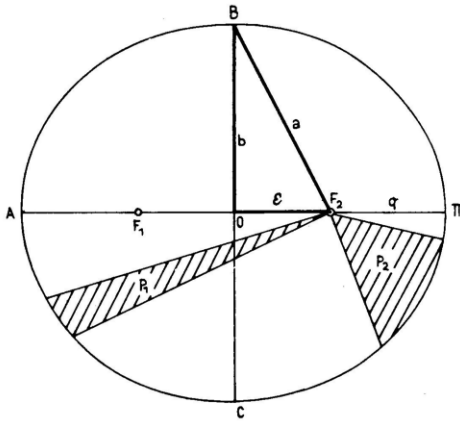


### Keplerovy zákony

důsledky 1. zákona

- vzdálenost od Slunce se mění
- místo, kde je planeta na oběžné dráze nejbližší Slunci – **perihel (přísluní)**
- nejdále - **afel (odsluní)**
- spojnice perihelu a afelu se nazývá **apsid**
- tvar eliptické dráhy se určuje pomocí **výstřednosti (excentricity)**
- vzdálenost středu elipsy ( $O$ ) od jejího ohniska ( $F$ ) – **délková výstřednost ( $\epsilon$ )**

## 5. Nebeská mechanika



### Keplerovy zákony

důsledky 2. zákona

- **průvodič planety** - spojnice planety se Sluncem
  - pro plochy  $P_1$  a  $P_2$  platí  $P_1 = P_2$
  - pro těleso o hmotnosti  $m$  platí, že  $r_1/r_2 = v_2/v_1$ ,
    - kde  $r_1, r_2$  jsou průvodiče a  $v_1, v_2$  odpovídající rychlosti tělesa
- je-li průvodič delší, planeta se pohybuje pomaleji

# 5. Nebeská mechanika

## Keplerovy zákony

důsledky 3. zákona

- vyjadřuje vztah mezi oběžnou dobou planety a její velkou poloosou
- lze vyjádřit ve tvaru

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

➤ kde  $P_1, P_2$  jsou oběžné doby planet a  $a_1, a_2$  jejich střední vzdálenosti od Slunce

- vztah platí pouze za předpokladu, že hmotnosti planet jsou podstatně menší než hmotnost Slunce, jinak platí:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{P_1^2}{P_2^2} \times \frac{M_S + m_1}{M_S + m_2}$$

➤ kde  $M_S$  je hmotnost Slunce ( $1,99892 \cdot 10^{30}$  kg) a  $m_1, m_2$  hmotnosti jednotlivých planet

## 5. Nebeská mechanika

### Keplerovy zákony důsledek 3. zákona

*Oběžná doba Země je 1 rok, oběžná doba Neptuna je 165. Kolikrátě dále je Neptun od Slunce, je-li vzdálenost Země-Slunce 1 AU?*

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \longrightarrow \frac{1^2}{165^2} = \frac{1^3}{a_2^3} \longrightarrow \frac{1}{27\,225} = \frac{1}{a_2^3} \longrightarrow a_2 = \sqrt[3]{27\,225} \cong 30 \text{ AU}$$

## 5. Nebeská mechanika

### Newtonovy zákony

- 1. zákon setrvačnosti** - každé těleso (o hmotnosti  $m$ ) setrvává v klidu nebo přímočarém rovnoměrném pohybu (rychlostí  $v$ ), pokud není tento stav přinuceno změnit působením okolních těles
- 2. zákon síly** - jestliže na těleso působí síla, pak se těleso pohybuje se zrychlením, které je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa
- 3. zákon akce a reakce** - v uzavřeném systému těles každá akce vyvolává stejnou reakci opačného směru

První Newtonův zákon říká, že síla není *příčinou* pohybu, tělesa se mohou pohybovat i bez působení sil. Ovšem tento pohyb musí být rovnoměrný a přímočarý (nemění se velikost rychlosti ani směr). Těleso si tedy zachovává svůj pohybový stav z okamžiku, kdy na něj přestala působit poslední síla.

Tato snaha setrvat v okamžitém pohybovém stavu se nazývá *setrvačností tělesa*. Setrvačností se těleso brání proti změně svého pohybového stavu, tzn. proti zrychlení. Zákon platí v inerciálních soustavách.

Druhý Newtonův pohybový zákon tedy říká, že síla je *příčinou změny* pohybu, nikoli pohybu jako takového. Na rozdíl od prvního pohybového zákona se tělesa, na která působí síla, nebudou pohybovat rovnoměrně přímočaře, ale jejich pohyb bude zrychlený, zpomalený, bude měnit směr, případně kombinace těchto možností.

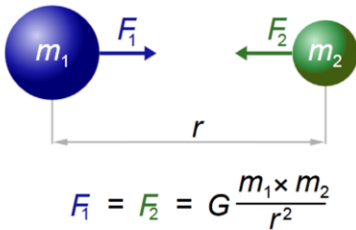
Změna pohybu (rychlosti) závisí také na *směru* působící síly. Síla ve směru pohybu způsobuje zrychlení tělesa, síla proti směru pohybu způsobuje zpomalení tělesa. Síla kolmá na pohyb způsobuje změnu směru pohybu tělesa (zakřivení trajektorie).

Třetí Newtonův zákon říká, že působení těles je vždy *vzájemné*. Přitom účinky sil akce a reakce se navzájem *neruší*. Nelze je sčítat, protože každá z těchto sil působí na jiné těleso. (Nejedná se proto o rovnováhu sil.). Př. reaktivní síla při zpětném rázu při střelbě.

## 5. Nebeská mechanika

### Newtonovy zákony

Newtonův gravitační zákon



Každá dvě tělesa o hmotnostech  $m_1$  a  $m_2$ , která můžeme dostatečně přesně aproximovat body, nebo jsou s dostatečnou přesností nahraditelná koulí (jak vyplývá z Gaussovy věty) na sebe působí gravitační silou přímo úměrnou hmotnostem těles a nepřímo úměrnou čtverci jejich vzdálenosti.

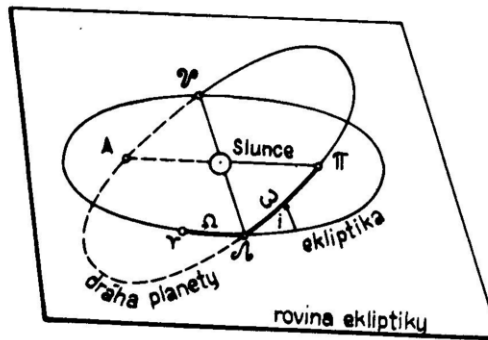


## 5. Nebeská mechanika

### Dráhové elementy těles sluneční soustavy

#### 1. Elementy určující polohu roviny v prostoru

- **sklon roviny dráhy k ekliptice  $i$  [°]** udává odchylku roviny dráhy tělesa od roviny ekliptiky
- je-li pohyb tělesa promítnutý do roviny ekliptiky ve stejném směru, jako se pohybuje Země kolem Slunce, jedná se o **pohyb přímý (direktní)** a  $i < 90^\circ$
- v opačném případě, kdy  $i > 90^\circ$ , se jedná o **pohyb zpětný (retrográdní)**
- planety - sklon dráhy je malý, komety a planety - sklony drah nabývají hodnoty od  $0^\circ$  do  $180^\circ$

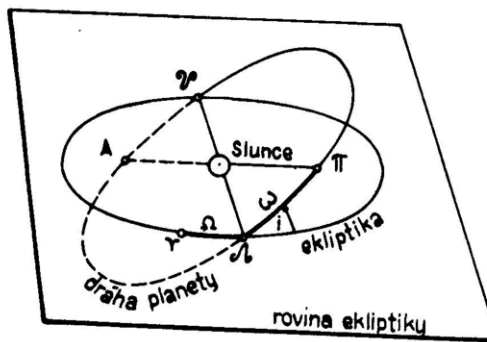


## 5. Nebeská mechanika

### Dráhové elementy těles sluneční soustavy

#### 1. Elementy určující polohu roviny v prostoru

- **délka výstupného uzlu  $\Omega$  [°]** je úhlová vzdálenost výstupného uzlu  $\Omega$  od jarního bodu  $\Upsilon$  (místo na ekliptice, kde se Slunce nachází o jarní rovnodennosti) měřená v rovině ekliptiky ve směru oběhu Země kolem Slunce
- **výstupný uzel  $\Omega$**  je místo na dráze, kde se těleso dostává na sever "nad" rovinu dráhy Země
- **sestupný uzel** je protilehlý bod výstupnému uzlu
- **uzlová přímka** je spojnice výstupného a sestupného uzlu

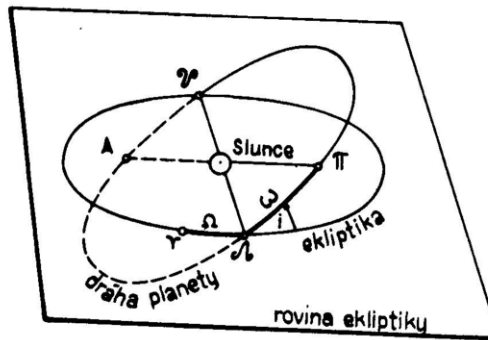


## 5. Nebeská mechanika

### Dráhové elementy těles sluneční soustavy

#### 1. Elementy určující polohu roviny v prostoru

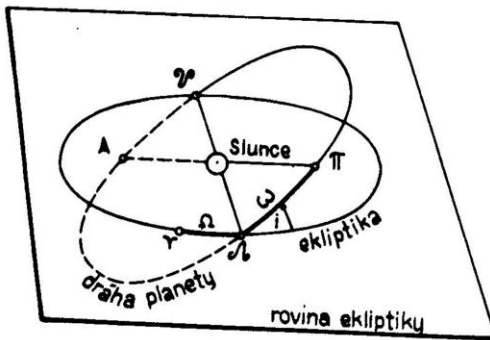
- **argument šířky perihelu**  $\omega$  [°] je úhlová vzdálenost mezi uzlovou přímkou a přímkou apsid, měřená ve směru pohybu tělesa od výstupného uzlu k přísluní
- místo argumentu šířky perihelu udává **délka perihelu**  $\Pi$ , pro níž platí  $\Pi = \omega + \Omega$ .



## 5. Nebeská mechanika

### Dráhové elementy těles sluneční soustavy

2. Elementy určující tvar dráhy

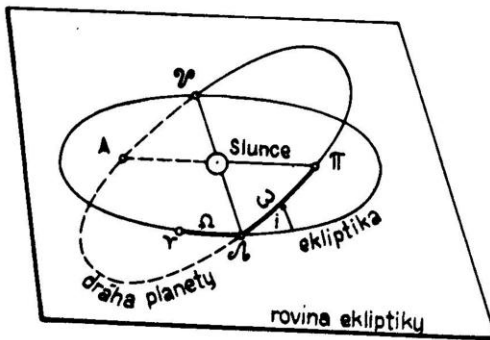


- délka velké poloosy  $a$  [AU], někdy se místo velké poloosy udává periheliová vzdálenost  $q$ , přičemž  $q = a(1 - e)$
- číselná výstřednost  $e$

## 5. Nebeská mechanika

### Dráhové elementy těles sluneční soustavy

#### 3. Elementy určující polohu tělesa na dráze



- okamžik průchodu tělesa přísluním  $T$
- poloha planety (tělesa) v prostoru v daném okamžiku  $t$  je jednoznačně určena velikostí, tvarem a orientací dráhy v prostoru a místem, kde se planeta na dráze nachází

Vzhledem k tomu, že se planety nepohybují po kružnicích, ale po elipsách, nestačí k jednoznačnému určení místa dráze znalost doby oběhu  $P$  a okamžik průchodu přísluním  $T$ .

Pro přesné zjištění polohy tělesa  $m$  na eliptické dráze zavádíme tzv. **anomálie**, přičemž rozeznáváme:

- a) anomálii pravou  $v$ , což je úhel perihelu, Slunce a tělesa  $m$ ;
- b) anomálii excentrickou  $E$ , což je úhel perihelu, středu eliptické dráhy a polohy pomocného tělesa  $m'$ ;
- c) anomálii střední  $M$ , což je úhel perihelu, středu eliptické dráhy a polohy pomocného tělesa  $m''$ .

Pomocná tělesa  $m'$ ,  $m''$  jsou zavedena pro účely výpočtů. Těleso  $m''$  charakterizuje polohy tělesa pohybujícího se po kružné dráze se stejnou oběžnou dobou jako má skutečné těleso  $m$ . Pomocné těleso  $m'$  je průmět skutečných poloh tělesa  $m$  pohybujícího se po eliptické dráze na kružnici. Cílem výpočtů je zjistit skutečnou polohu tělesa  $m$  na dráze ze znalosti oběžné doby  $P$ .