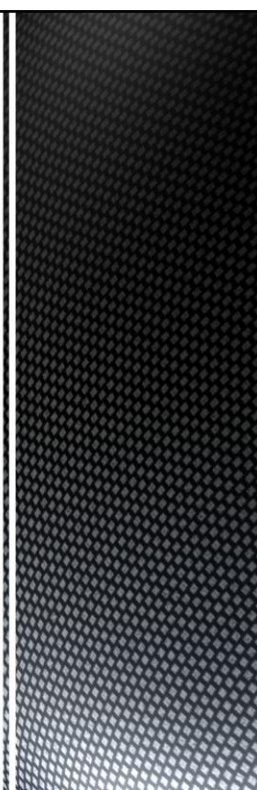


# PLANETÁRNÍ GEOGRAFIE

RNDr. Aleš Ruda, Ph.D.



## Průběh a zakončení předmětu

- **přednáška:** 1 h
- **zakončení:** písemná a navazující ústní zkouška
- **požadavky:** témata přednášená na přednáškách a cvičeních + studijní materiály + studium zadané literatury, zápočet ze semináře, **znalost základních témat středoškolské matematiky a fyziky**
- **studijní literatura a odkazy**

BRÁZDIL, R. Úvod do studia planety Země. Vyd. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988. 365 s.

ČAPEK, R.: Planetární geografie. Karolinum Praha, 1997, 83 s.

KLECZEK, J.. Velká encyklopedie vesmíru. Praha: Academia. 2002

REES, M. (ed.) et al. Vesmír. Přeloženo z anglického originálu Universe. Praha: Knižní klub. 2006

[www.astro.cz](http://www.astro.cz)

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

[www.esa.int](http://www.esa.int)

# Obsah předmětu

1. Vznik, vývoj a složení vesmíru
2. Objekty sluneční soustavy
3. Základy nebeské mechaniky
4. Orientace na Zemi
5. Čas a kalendář
6. Pohyby Slunce, Měsíce a vesmírných těles
7. Tvar, rozměry a hmotnost Země
8. Pohyby Země
9. Seismologické charakteristiky Země
10. Fyzikální pole země (tíhové, magnetické, tepelné, elektrické)

# Obsah přednášky

- 1) pojetí předmětu
- 2) vesmír a jeho složení
- 3) galaxie a mlhoviny
- 4) vznik a vývoj hvězd
- 5) Slunce – stavba a složení

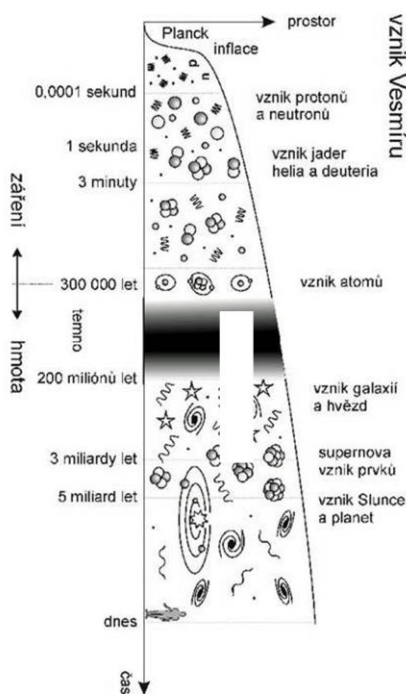


# 1. Pojetí předmětu

- planetární geografie & matematická geografie
- **astronomie** se zabývá výzkumem vesmírných těles, jejich soustav, různých dějů ve vesmíru
- **astrologie** zkoumá předpokládané souvislosti mezi děním na obloze, charakterizovaným zejména pohybem planet, Slunce, Měsíce a dalších prvků, a jeho vlivem na dění na Zemi
- astrofyzika
- **kosmologie** – zabývá se uspořádáním vesmíru a jeho dynamickým vývojem v čase
- geologie & geofyzika
- geodézie
- meteorologie a klimatologie

## 2. Vesmír a jeho složení

### Vznik a vývoj vesmíru Velký třesk



#### Vznik vesmíru podle teorie Velkého třesku

Vesmír tedy vznikl z prvotního bodu - singularity = časově i prostorově nekonečně zakřiveného bodu - který byl nepředstavitelně hustý a žhavý. Tento bod ale přitom neměl žádnou hmotnost ani jiné fyzikální parametry, neboť ty vznikly až za několik zlomků mikrosekundy po výbuchu ( tzv. Planckův čas ). Z prvotní energie a pramateriálu pak vznikly fotony - kvarky - elektrony - protony a neutrony a nakonec celé atomy ( vodík a helium ). To vše během první sekundy. Časoprostor se ustálil a vesmír se začal ochlazovat a prudce rozpínat až do dnešní podoby. A rozpíná se i nadále.

Raný vesmír byl homogenní a izotropně vyplněný vysokou energetickou hustotou. Přibližně  $10^{-35}$  sekund po Planckově času se vesmír exponenciálně zvětšil během období nazývaného kosmická inflace. S růstem vesmíru klesala jeho teplota. Díky fyzikálním nesymetriím se vytvořilo o něco více hmoty než antihmoty (antihmota je druh hmoty, který je složen z antičástic k běžným částicím, tzn. například antiprotonů a pozitronů místo protonů a elektronů a antineutronů místo neutronů). Nicméně veškerá vzniklá antihmota anihilovala (setkání částice se svou antičásticí) většinou částí hmoty.

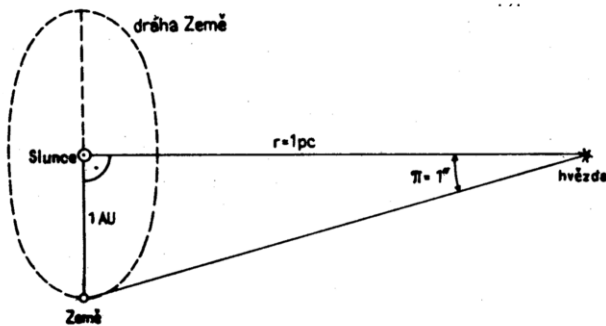
Jak se vesmír dál zvětšoval, jeho teplota dále klesala, což vedlo k dalším procesům narušujícím symetrie, které se začaly projevovat jako známé interakce a elementární částice. Ty brzo umožnily vznik atomů vodíku a helia. Tento proces se nazývá **nukleosyntéza** velkého třesku. Vesmír se dále ochlazoval, hmota se přestala pohybovat relativisticky a její vlastní hmotnost začala gravitačně dominovat nad energií záření. Asi po 100 000 letech se záření oddělilo od hmoty. Vesmír se tak stal pro záření průhledný. Záření z této doby se tak zachovalo až do dneška a můžeme ho dnes pozorovat jako reliktní záření.

Časem se začaly o trochu hustější oblasti v téměř homogenním vesmíru díky gravitaci ještě více zahušťovat. Vytvořily se tak oblaka plynu, galaxie, hvězdy a další objekty, které dnes můžeme pozorovat. Detaily tohoto procesu závisí na množství a typu hmoty ve vesmíru.

#### Budoucí vývoj vesmíru?

## 2. Vesmír a jeho složení

### Délkové jednotky v astronomii

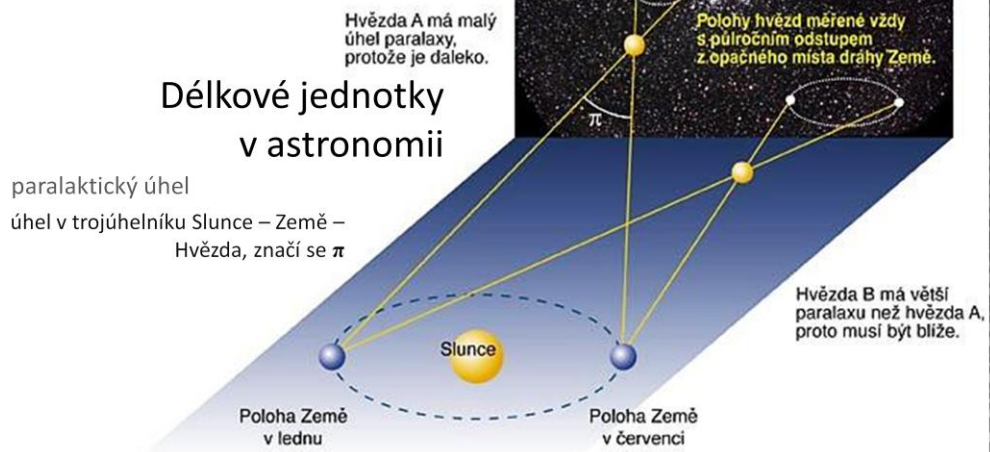


**astronomická jednotka**, značka  $AU$   
průměrná vzdálenost Země od Slunce,  
 $1 \text{ AU} = 149\,597\,870 \text{ km}$

**světelný rok**, značka  $ly$   
označuje vzdálenost, kterou urazí  
elektromagnetické vlnění ve vakuu za jeden  
juliánský rok,  
 $1 \text{ ly} = 9\,460\,730\,472\,580 \text{ km} \approx 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$

**parsek** (paralaktická sekunda), značka  $pc$   
které by poloměr oběžné dráhy  
no k zornému paprsku vidět pod  
úhlem  $1''$ ,  
 $1 \text{ pc} = 30,9 \cdot 10^{12} \text{ km} = 3,27 \text{ ly}$

## 2. Vesmír a jeho složení





## 2. Vesmír a jeho složení

### Objekty ve vesmíru

Galaxie

Mlhoviny

Hvězdy

Planety a jejich měsíce

Asteroidy a komety



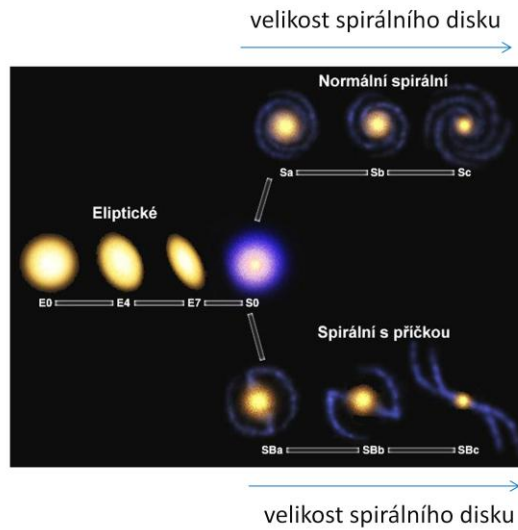
### 3. Galaxie a mlhoviny

Edwin Hubble



#### Galaxie

Galaxie představuje rozsáhlý systém hvězd, mezihvězdného prachu a nezářivé hmoty vázaný vzájemnou gravitací zúčastněných složek



Klasifikační diagram typů galaxií sestavil Edwin Hubble a nazývá se Hubbleovo schéma nebo ladičkový diagram. Má tvar ladičky a v angličtině se odpovídajícím způsobem nazývá („tuning fork“). „Rukojeť“ ladičky odpovídá eliptickým galaxiím (E), očíslovaným podle stupně zploštění. Obě ramena ladičky odpovídají spirálním galaxiím (S) a spirálním galaxiím s příčkou (SB), označených písmeny a, b nebo c podle velikosti spirálního disku vzhledem k centrální výduti. Postupně byla Hubbleova klasifikace upřesňována. **Gerard de Vaucouleurs** představil rozlišení závislé na tom, zda spirální struktura pochází z jádra ve tvaru „S“ (*s*), z vnitřního prstence (*r*) nebo nějaké kombinace (*rs*) nebo (*sr*). Také připustil přechodnou klasifikaci SAB mezi příčkovou a nepřičkovou galaxií.

### 3. Galaxie a mlhoviny

Galaxie

normální spirální galaxie



eliptická galaxie



spirální galaxie s příčkou



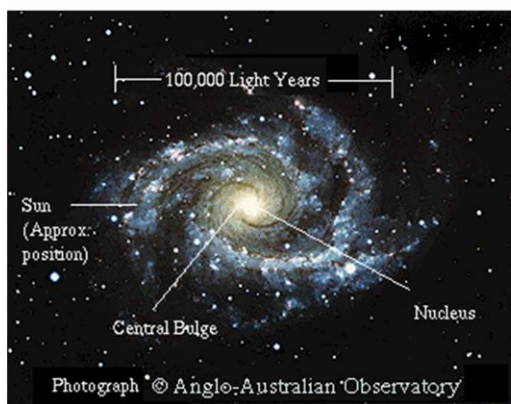
### 3. Galaxie a mlhoviny



#### naše Galaxie

je na obloze viditelná jako stříbřitý pás světla (Mléčná dráha) táhnoucí se podél ekliptiky od souhvězdí Štíra nahoru přes Orla, Labuť, Kassiopeji až do zimního souhvězdí Jednorožce, potom klesá pod obzor, prochází Plachtami, Jižním křížem, Kentaurem, Střelcem až do Štíra

spirální galaxie s příčkou typu SBc



poloha sluneční soustavy na příkladu galaxie NGC2997, podobné té naší

Jsme blízko roviny souměrnosti disku Galaxie, takže Mléčná dráha rozděljuje oblohu na dvě stejné poloviny. Galaxie je domovem naší sluneční soustavy, stejně jako více než 200 miliard dalších hvězd a jejich planet, tisíců hvězdokup a mlhovin. Naše Galaxie je součástí tzv. Místní skupiny galaxií s gravitačním centrem mezi naší Galaxií a galaxií v Andromedě.

V rovníkových oblastech, odkud je vidět téměř celá obloha, ji lidé nazývají *Nebeský pás*, *Zářící pás* či *Mléčný kruh*, jinde dostala jméno *Nebeská řeka* či *Stříbrná řeka*.

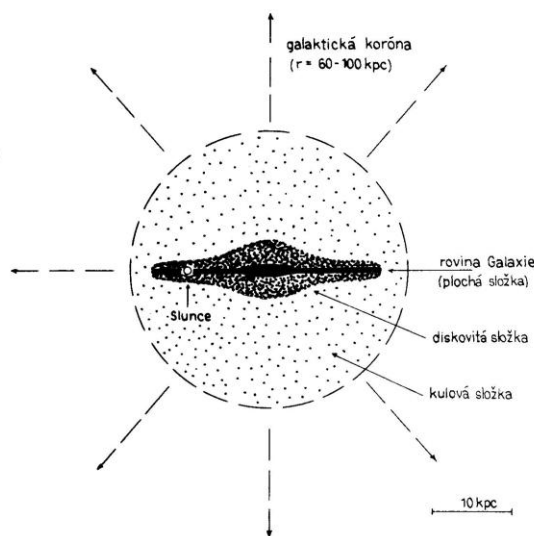
### 3. Galaxie a mlhoviny

za galaktickým halem se do vzdálenosti přibližně 100 kpc rozprostírá **galaktická koróna**, je to obrovský kulový oblak řídkého plynu

#### naše Galaxie

**disková složka Galaxie** je tvořena jádrem a spirálními rameny obsahující mezihvězdnou hmotu, mlhoviny, mladé hvězdy i otevřené hvězdokupy

**galaktické halo** je tvořeno starými hvězdami a kulovými hvězdokupami, obklopuje naši Galaxii, bylo převážně vytvořeno přírůstkem a slapovými rozpady satelitních systémů



Magnetické pole a částice kosmického záření galaktické koróny jsou zdrojem synchrotronového záření na rádiových vlnách.

Náš sluneční systém se nachází ve vnějších oblastech Galaxie, zhruba 14 světelných let nad rovinou galaktického disku, ale 26 400 světelných let od galaktického středu. Slunce leží v jednom menším spirálním ramenu (známé jako Místní rameno nebo rameno Orion) asi ve dvou třetinách od středu. Toto rameno se nachází mezi rameny Střelce a Persea. V místě, kde se nachází Slunce, je tloušťka diskové části Galaxie pouze 3 000 světelných let. Poměrem tloušťky a průměru se podobá hudebnímu CD.

### 3. Galaxie a mlhoviny

#### Mlhoviny

mezihvězdná látka složená z prachu a plynu – objekty, které září vlastním světlem, které samy nezáří a jsou vidět díky jasnému pozadí nebo rozptylu záření z jiného zdroje, a objekty, které mají charakter mlhoviny nejen ve viditelném světle, ale i v jiných částech spektra



mlhovina Omega – kolébka hvězd

- **prachová složka** - kombinace uhlíku a křemičitanu a ledu
- **plynná složka** - na 1 000 atomů vodíku připadá 80 atomů hélia a 1 atom těžšího prvku

mlhoviny se nachází poblíž horkých hvězd → ionizace vodíku → záření mlhovin

### 3. Galaxie a mlhoviny



mlhovina IC 5146 – viditelné jasné i temné části

#### Mlhoviny

- **jasné mlhoviny**

- **mlhoviny emisní** (plynné) – záření způsobuje zahřátý plyn
  - planetární mlhoviny – mlhoviny s bílým trpaslíkem v centru, který tuto mlhovinu ionizuje
  - zbytky supernov – zbytky po výbuchu supernovy
  - oblasti HII – oblasti, které jsou z velké části tvořeny ionizovaným vodíkem
- **mlhoviny reflexní** (prachové) – záření je způsobené rozptylem světla blízké hvězdy na prachových částicích mlhoviny

- **temné mlhoviny**

- oblaka nesvítícího prachu a plynu viděná jen díky zářícímu pozadí, kterým může být například jiná (difúzní) mlhovina

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdy

plynné kulové objekty složené z plazmy s velkou teplotu, v nichž probíhají termojaderné reakce, vznikají z protohvězdných mlhovin

#### hvězdné systémy

- hvězdy
- dvojhvězdy
- hvězdokupy

#### vnější charakteristiky hvězd

- hvězdná velikost ( $M$ )
- vzdálenost ( $r$ )
- spektrální třída
- efektivní teplota ( $T$ )
- zářivý výkon ( $L$ )
- poloměr ( $R$ )
- hmotnost ( $M$ )
- chemické složení

#### vnější charakteristiky hvězd

- centrální teplota ( $T_c$ )
- centrální tlak ( $p_c$ )



## 4. Vznik a vývoj hvězd

vzdálenost

astronomická jednotka

světelný rok

parsek

paralaxa

### Hvězdy

hvězdná velikost

zdánlivá jasnost všech nebeských objektů, jak se jeví pozorovateli na Zemi, se definuje jako hvězdná velikost neboli magnituda (M)

nejjasnější: Slunce (M 26,8) a Měsíc v úplňku (M 13,6)

efektivní teplota

je teplota takového černého tělesa, které vyzařuje na  $1 \text{ m}^2$  stejné množství energie jako hvězda

*př. s pomocí sluneční konstanty (množství sluneční energie dopadající za 1 s na plochu  $1 \text{ m}^2$  kolmo k paprskům ve vzdálenosti 1 AU –  $1367 \text{ W.m}^{-2}$ ) lze vypočítat, kolik vyzařuje  $1 \text{ m}^2$  povrchu Slunce, a tak určit jeho hodnotu efektivní povrchové teploty ( $T_{ef} = 5780 \text{ K}$ )*

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdy

#### zářivý výkon

odpovídá celkové energii vyzářené na všech vlnových délkách za jednotku času (vyjadřuje se ve wattech), závisí na hmotnosti

Slunce:  $3,846 \cdot 10^{26}$  W

#### poloměr

**sluneční poloměr**  $R_S$  je vzdálenost od středu Slunce k povrchu sluneční fotosféry,  $R_S = 695\,997$  km

úhlový průměr hvězdy je úhel, pod kterým se nám jeví průměr jejího kotouče (úhlový průměr Slunce pozorovaného se Země je  $0,5^\circ$ )

$$\delta = \frac{2R_S}{1 \text{ AU}} \doteq \frac{2 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ km}}{150 \cdot 10^6 \text{ km}} \doteq 0,01 \text{ rad}$$

#### hmotnost

množství látky (plazmatu, degenerované látky, neutronového plynu), z níž je hvězda gravitací vybudována

astronomickou jednotkou hmotnosti je sluneční hmotnost  $M_S$  (přibližně  $2 \cdot 10^{30}$  kg)

#### Poloměr

Vzhledem k velkým vzdálenostem se i největší hvězdy jeví jako prakticky bodové zdroje. Lidské oko dokáže rozlišit dva svítící body v úhlové vzdálenosti asi  $1'$ , pozemský dalekohled o průměru objektivu 6 m může mít teoretickou rozlišovací schopnost  $0,02''$ , avšak úhlový průměr nejbližších obřích hvězd Antares a Betelgeuse je řádově  $0,01''$ .

K měření průměru hvězd a k rozlišení jemných detailů v jejich spektrech slouží různé typy **optických interferometrů**. Interferometrie je obor, který se věnuje studiu nebeských těles na základě analýzy interferenčních obrazců. Jestliže dopadající elektromagnetické záření rozdělíme na dva svazky (z nichž jeden fázově posuneme), které potom znovu svedeme dohromady, dojde k interferenci. Výsledný interferenční obrazec v podobě soustavy kroužků umožňuje získat podrobnější informaci o zdroji než rozbor původního paprsku.

#### Hmotnost

Hmotnosti hvězd jsou v rozmezí  $0,08$  až  $100$  slunečních hmotností. Avšak velká většina hvězd má hmotnost v úzkém rozmezí  $0,3$  až  $5 M_S$ . Spodní mez je dána tím, že prahvězda o hmotnosti menší než  $0,08$  hmotnosti Slunce nemá dostatek gravitační síly, aby se smrštěním v nitru zahřála na teplotu minimálně  $7$  mil. K, která je potřebná k hoření vodíku. Taková prahvězda nedosáhne hlavní posloupnosti a stane se hnědým trpaslíkem. Horní mez je dána tím, že při vyšší hmotnosti než  $100$  Sluncí je teplota v nitru příliš vysoká a tlak záření, který roste (podle Stefanova zákona) se čtvrtou mocninou teploty, převládne nad gravitací. Prahvězda je rozhozena tlakem záření ještě před tím, než dosáhne hlavní posloupnosti.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdy

#### chemické složení

převažuje zastoupení vodíku a helia,  
dále pak kyslíku, uhlíku a jiných prvků

nejlépe je prostudováno u Slunce,  
protože s ním máme přímý kontakt  
díky slunečního větru, což je  
expandující svrchní část sluneční  
atmosféry

používá se spektroskopická metoda

směrem do nitra stoupá zastoupení  
helia

## 4. Vznik a vývoj hvězd

spektrum

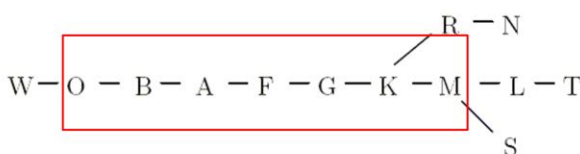
záření rozložené na jednotlivé barvy podle vlnových délek

nejjednodušší je sluneční spektrum, říkáme mu *spojité pozadí* nebo také *kontinuum* – odpovídá Planckovu zákonu záření

### Hvězdy

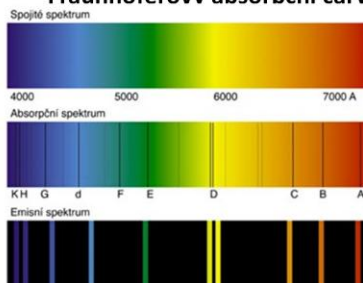
spektrální třída

klasifikace hvězd podle typu spektra  
Hardwardská klasifikace



spojité spektrum vzniká ve hvězdách ve stlačených plynech (plazmatu) a je přerušeno tmavými čarami tzv.

#### Fraunhoferovy absorpční čáry



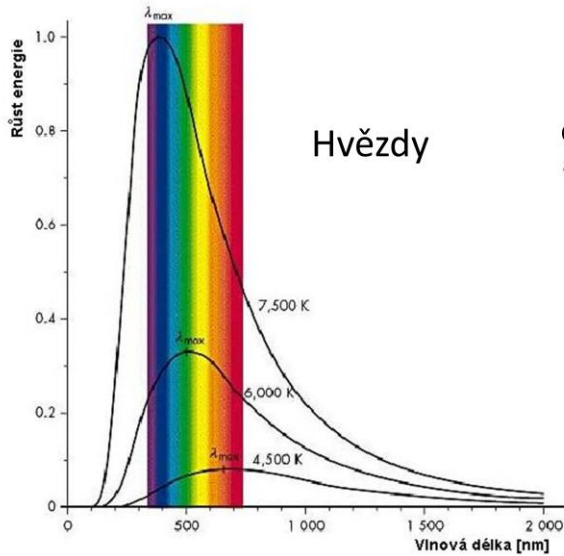
**Fraunhoferovy absorpční čáry** vznikají při průchodu světla chladnějším a méně stlačeným plynem v atmosféře hvězdy. Atomy chladnějšiho plynu pohlcují záření (jsou ionizovány) přicházející ze spodních teplejších vrstev. Děje se tak pouze na některých vlnových délkách podle toho z jakého plynu je atmosféra tvořena. Protože atomů je mnoho, projeví se to na spojitém pozadí tmavou čarou. Ta signalizuje přítomnost toho kterého prvku v atmosféře hvězdy.

Jestliže dochází k rekombinaci atomů (návrat do základního stavu), dochází také k vyzáření fotonu určité vlnové délky, což se projeví jasnou emisní čarou. Emisní čáry se vyskytují na stejných místech spektra jako čáry absorpční.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Planckův zákon záření

těleso s vyšší teplotou září více ve všech vlnových délkách než těleso za teploty nižší



Čím je hvězda **hmotnější** tím **více září** a tím **rychleji** svoji **energii spotřebuje** a dosáhne **kratší životnosti**.

Nejzářivější hvězdy (O a B) mají vrchol v ultrafialové části a září spíše modrofialově.

Malé, málo zářivé a starší hvězdy mají vrchol v infračervené části a vidíme je jako červené.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdy

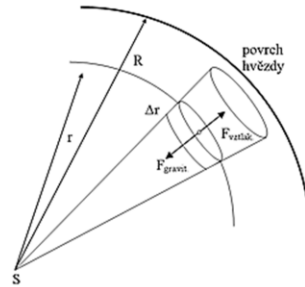
centrální tlak a centrální teplota

pro Slunce o  $M = 2 \cdot 10^{30}$  kg,  
 $R = 7 \cdot 10^8$  m,  $\rho = 1,4 \cdot 10^3$  kg.m<sup>-3</sup> platí

$$\rho_c \approx 10^{15} \text{ N.m}^{-2}$$
$$T_c \approx 10^7 \text{ K}$$

hydrostatická rovnováha

v každém místě nitra hvězdy musí platit rovnováha mezi gravitační silou a silou vztlakovou



Budeme uvažovat malý váleček v nitru hvězdy, který je vzdálen  $r$  od jejího středu  $S$ , má podstavu o obsahu  $\Delta S$  a malou výšku  $\Delta r$ . Plyn, který je v něm obsažený, má hustotu  $\rho(r)$  a hmotnost  $\rho(r)\Delta S\Delta r$ . Tento váleček je přitahován do středu hvězdy pouze koulí o poloměru  $r$  a hmotnosti  $M(r)$ , protože gravitační síly vrstev vyšších než  $r$  se navzájem ruší.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

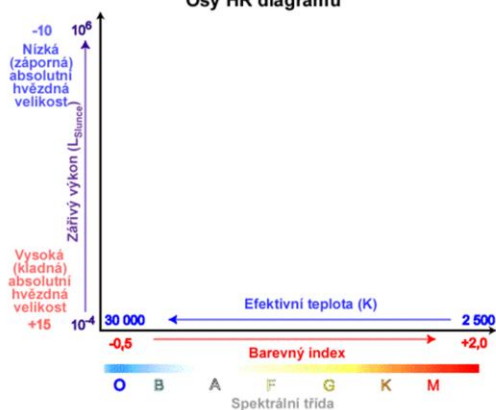
HR diagram

veleobří, obří, hlavní posloupnost a trpaslíci

### Hvězdy

#### Hertzsprungův – Russelův diagram

vyjadřuje závislost mezi výkonem (relativní či absolutní svítivostí) hvězdy a její povrchovou teplotou (resp. zařazením do spektrální třídy)



#### Vodorovná osa

Je nutné si uvědomit, že u HR diagramu efektivní teplota vynášená na vodorovnou osu neroste zleva doprava, ale klesá, tzn. že nejvyšší teplota je vlevo. Jestliže je místo efektivní teploty použito barevného indexu (B – V), potom začíná od záporných hodnot (modrá) na levé straně a pokračuje do pozitivních hodnot (červená) na pravé straně. Třetí možností pro vodorovnou osu je použití spektrální třídy.

#### Svislá osa

Na svislou osu je vynášen zářivý výkon hvězdy. Používá se buď poměrné číslo v porovnání s naším Sluncem nebo absolutní hvězdnou velikostí,  $M$ . Při používání absolutní hvězdné velikosti si je nutné uvědomit, že nižší nebo více záporná hodnota znamená hvězdu s vyšším zářivým výkonem. Nejjasnější hvězdy jsou proto v horní části HR diagramu, kde se na svislé ose objevuje nejzápornější hodnota absolutní hvězdné velikosti.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

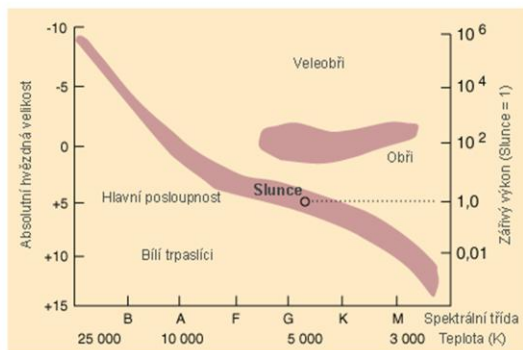
HR diagram

veleobři, obři, hlavní posloupnost a  
trpaslíci

### Hvězdy

Hertzsprungův – Russelův diagram

vyjadřuje závislost mezi výkonem  
(relativní či absolutní svítivostí)  
hvězdy a její povrchovou teplotou  
(resp. zařazením do spektrální třídy)





## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Vznik a vývoj hvězd na příkladu Slunce

#### Podmínky formování hvězd v mezihvězdném oblaku

- oblak musí být stlačován
- oblak musí ztratit nadbytečnou energii
- oblak musí snížit rychlost své rotace

#### oblak musí být stlačován

je potřeba gravitace, a pokud není dostatečná, je potřeba vnějšího zásahu:

- expanze tlaku horkého plynu
- exploze blízké supernovy
- rázová vlna spirální galaxie

#### oblak musí ztratit nadbytečnou energii

atomy, které se díky stlačování zahřívají, narážejí na prachové částice, kterým předají svou kinetickou energii, ty se zahřívají a tepelnou energii rychle vyzáří v infračerveném spektru - **protohvězda**

#### oblak musí snížit rychlost své rotace

pro růst hmotnosti musí vznikající hvězda snížit rychlost rotace, přesný princip není znám, je domněnka, že příčinou jsou mezihvězdné větry a magnetický tok částic

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### chladný vodíkový oblak

- vznik protoslunce

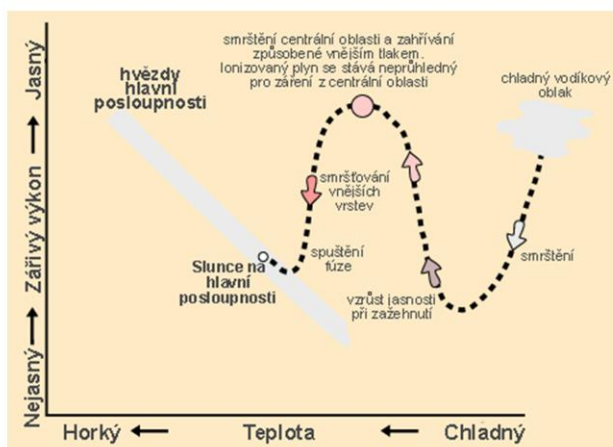
### Hyashiho linie

- dosažení stavu hydrostatické rovnováhy

### hlavní posloupnost

- energie je čerpána z termonukleární fúze
- poloha hvězdy na HP je téměř neměnná, závisí na hmotnosti a složení hvězdy
- horizontální změna polohy jen u těsných dvojhvězd

### Vývoj Slunce do stádia na hlavní posloupnosti

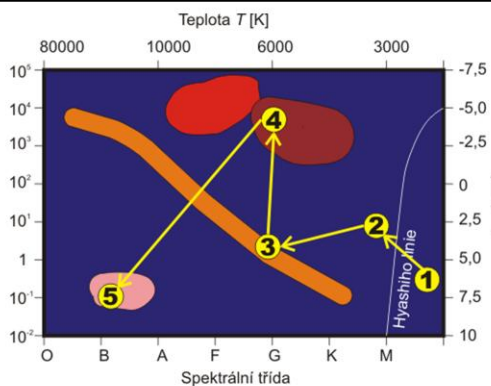


Vývojový přechod od mateřské, v tomto případě sluneční mlhoviny, k hvězdě na hlavní posloupnosti se nazývá *Praslunce*. Zpočátku se v Praslunci uvolňovala pouze jeho gravitační potenciální energie, a to smršťováním se. Uvolněnou energii Praslunce zčásti vyzářilo (jako infračervené a později červené záření), zčásti ji přeměnilo v teplo. Po dosažení teploty 7 mil. K se začal vodík přeměňovat na helium. Potom byly zdrojem energie jednak vlastní gravitace, jednak hoření vodíku. Se vzrůstající vnitřní teplotou podíl gravitace klesal, až se při středové teplotě 15 mil. K smršťování docela zastavilo. Praslunce se ocitlo na hlavní posloupnosti HR diagramu a stalo se dospělou hvězdou – Sluncem. Od té doby vyzařuje v důsledku své vysoké teploty, zdrojem energie jsou termonukleární reakce.

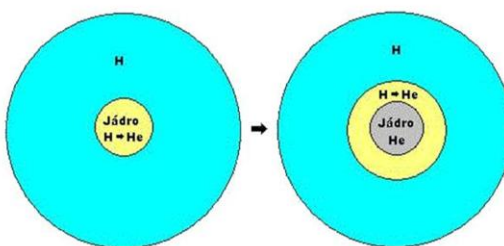
## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Slunce na hlavní posloupnost

- spalování v jádře H na He
- jádro se plní héliem až je celé z hélia, vodíkové hoření probíhá ve vrstvě okolo jádra, zásoby vodíku se sníží
- produkce energie se zvyšuje, dochází k poklesu tlaku a růstu teploty.
- s poklesem tlaku se zvyšuje přísun hmoty z okolí (H).



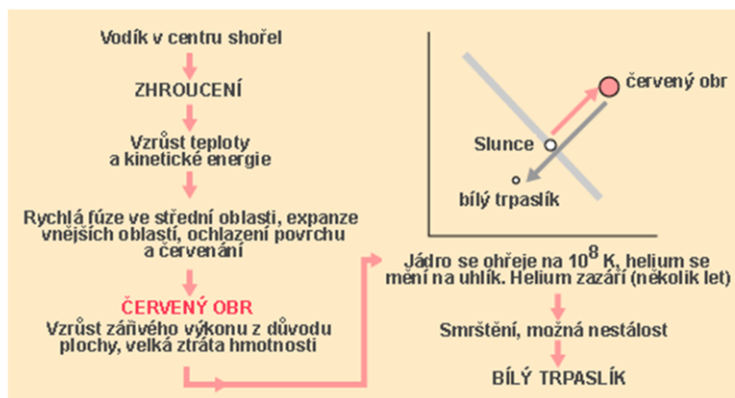
- Hlavní posloupnost
- Trpaslíci
- Obří
- Veleobří



## 4. Vznik a vývoj hvězd

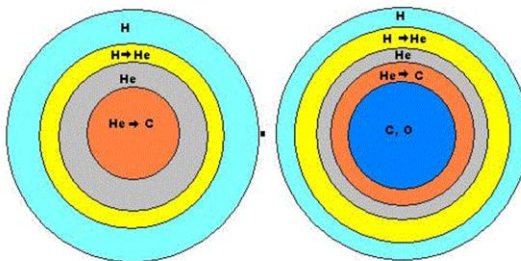


### Očekávaný vývoj Slunce

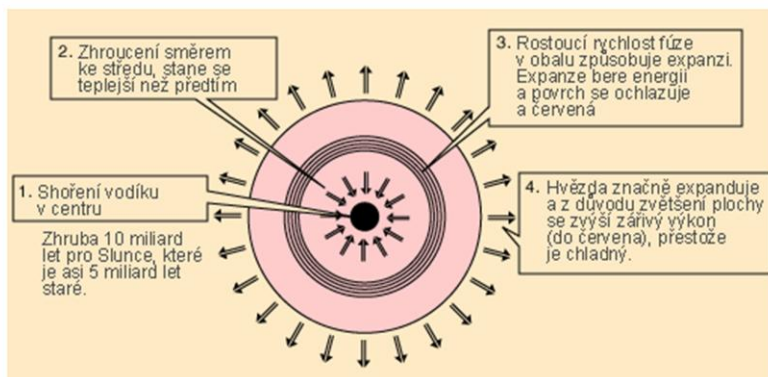


Jestliže hvězda spálí zhruba 10 % až 20 % vodíku, její jádro bude bez potřebného paliva. V tomto okamžiku se hvězda dostává do konečné fáze svého vývoje. Okolo samotného jádra se začne smršťovat vodík a jeho teplota začne stoupat. Hlavním efektem je opětovné spuštění termojaderné reakce. Tato jaderná reakce je vcelku rychlá a výsledná tlaková vlna začne působit na vnější vrstvy hvězdy. Hvězda se začne postupně „nafoukat“. Během této doby se její jádro začne vlivem gravitace smršťovat, to způsobí přenos energie směrem na povrch hvězdy, který se ještě více nafoukne a tím se ochladí. Průměr hvězdy může vzrůst až na 200 násobek, zatímco ochlazování je provázeno tím, že hvězda začne vyzařovat více v červené oblasti spektra – hvězda se postupně stává červeným obrem.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

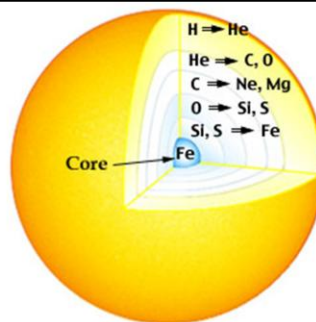


Očekávaný vývoj Slunce – stádium **ČERVENÉHO OBRA**

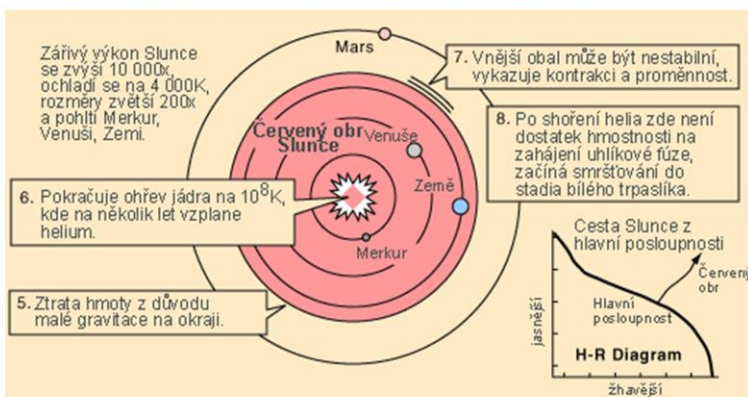


Pro hvězdy s hmotností menší než 4 hmotnosti Slunce platí, že vyčerpání vodíku v centru spustí rozpínání hvězdy do podoby červeného obra. Je to červená hvězda, která má vysoký zářivý výkon.

## 4. Vznik a vývoj hvězd



### Očekávaný vývoj Slunce – stádium BÍLÉHO TRPASLÍKA



Jádro hvězdy, které nemá další palivo, nemá zároveň potřebnou energii v boji s gravitací. Hvězda se tedy začíná smršťovat, dokud není hustota natolik veliká, že by nutila elektrony opouštět své orbitální dráhy okolo atomárního jádra.

Hvězda se stala bílým trpaslíkem a její teplota se pohybuje mezi 5 000 K a 100 000 K. Tyto objekty mohou pouze vyzařovat zbytkové vnitřní teplo a chladnou. Jestliže dostatečně vychladnou, stanou se neviditelnými.

Fyzicky má bílý trpaslík stejnou velikost jako Země, ale jeho hmotnost zůstala téměř nezměněná – únik vnějších vrstev nezpůsobí přílišnou změnu hmotnosti. Z toho důvodu je hustota tohoto objektu obrovská. Pro přirovnání, sklenice hmoty z bílého trpaslíka by vážila více než 50 tun!

Bílé trpaslíky jsou také objekty s velkou rotační rychlostí, protože si ponechaly rotaci počáteční hvězdy, ale jsou zároveň mnohem menší.

Hvězdy do hmotnosti 8 Sluncí následují stejný vývoj jako Slunce, hmotnější hvězdy vybuchují jako supernovy, nebo se ty ještě hmotnější mohou gravitačně zhroutit v černé díry.

## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Dvojhvězdy a vícenásobné hvězdné systémy

gravitací vázané dvojice (systémy) hvězd, které hvězdy ve dvojicích (systémech) krouží po elipsách, v jejichž společném ohnisku je těžiště soustavy

#### trojhvězda

se skládá z těsné dvojhvězdy, která obíhá kolem společného těžiště s třetí složkou, která je několikrát dál, jedná se tedy o **podvojný systém**

#### typy dvojhvězd

**vizuální** – objeveny dalekohledem

**astronomické** – objev na základě nerovnoměrností v pohybu jasnější ze složek

**spektroskopické** – podle periodických změn polohy spektrálních čar

**zákrytové** – podle světelných změn soustavy, vzájemným zákrytem při orbitálním pohybu



## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdokupy

soustavy hvězd spolu fyzikálně souvisejících, majících společný původ a řadu vlastností, např. původní chemické složení, společný pohyb prostorem atd.

#### kulové hvězdokupy

obsahují mimořádně mnoho hvězd (statisíce až miliony), které jsou nahuštěny poblíž středu a zabírají přibližně kulový prostor, jehož průměr je obvykle 15 až 46 pc (50 až 150 světelných let)

*kompaktnost + hmotnost → značná stabilita*

*menší hmotnost + zisk únikové rychlosti → úbytek: vypařování hvězdokupy*



#### Kulové hvězdokupy

Hvězdokupa téměř kulového tvaru, složená z velmi starých hvězd, je součástí hala naší Galaxie. Kulové hvězdokupy mohou obsahovat od sta tisíc do několika milionů hvězd, které jsou tak koncentrovány v blízkosti středu, že pozemským dalekohledem nelze jednotlivé hvězdy zcela rozeznat. Kulové hvězdokupy jsou staré nejméně deset miliard let, jak plyne z pokročilého vývojového stádia jednotlivých hvězd. Jejich mimořádné stáří i jejich rozmístění v galaktickém halu ukazuje, že se kulové hvězdokupy tvořily v době, kdy v naší Galaxii probíhalo zhušťování obrovského mračna plynů. V naší Galaxii víme asi o 140 kulových hvězdokupách. I když jsou umístěny v kulovém galaktickém halu, většina z nich není od středu Galaxie dále než Slunce. Proto pokrývají celou oblohu v prostoru, ve kterém je střed naší Galaxie, zvláště pak v souhvězdích Střelce, Hadonoše a Štíra. Kulové hvězdokupy obíhají kolem galaktického středu a periodicky procházejí rovinou Galaxie.



## 4. Vznik a vývoj hvězd

### Hvězdokupy

soustavy hvězd spolu fyzikálně souvisejících, majících společný původ a řadu vlastností, např. původní chemické složení, společný pohyb prostorem atd.

#### otevřené hvězdokupy

jsou tvořeny mladými hvězdami a jejich střed není tak hustě zaplněn

*náchylnost k rozpadu v důsledku vypařování hvězdokupy, působením slapových interakcí s Galaxií či srážek s mezihvězdnými mračny*

*životnost: několik miliónů let až miliardu let*



#### Otevřené hvězdokupy

Jedná se o skupinu mladých hvězd ve spirálních ramenech naší Galaxie, která může obsahovat několik desítek až několik tisíc hvězd. Otevřené hvězdokupy jsou známy také pod starším názvem *galaktické hvězdokupy*. Jejich skutečný průměr je obvykle roven několika parsekům.

## 5. Stavba a složení Slunce

### První pozorování

první písemné zmínky o Slunci pocházejí z Číny, z období 2 000 let př. n. l. , první potvrzené zmínky o pozorování zatmění Slunce jsou z doby starověké Asyrie (762 př. n. l.), zpráva je napsána klínovým písmem na hliněné destičce



první zmínka o Slunci napsané na hliněné destičce

Slunce je centrální těleso sluneční soustavy a soustřeďuje 99,866 % její hmotnosti.

Nachází se ve stavu hydrostatické rovnováhy.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Základní charakteristiky Slunce

#### chemické složení

povrchové vrstvy obsahují 91 %  
vodíku, 9 % helia (+ stopová  
množství O, C, Ne, N, Fe, Mg, ...),  
v jádru Slunce je nadbytek helia  
coby produktu termonukleárních  
reakcí

#### Střední poloměr

695 997 km (109krát větší než poloměr  
Země)

#### Střední hustota

1 408 kg . m<sup>-3</sup> (25,5 % hustoty Země)

#### Tíže na rovníku

274,0 m . s<sup>-2</sup> (28krát větší než na Zemi)

#### Rotace

diferenciální (různé šířkové oblasti Slunce  
se otáčejí různou úhlovou rychlostí:  
rovníkové oblasti jednou za 25 dnů, polární  
1x za 34 dnů)

Sklon osy rotace vůči rovině ekliptiky  
7°15'

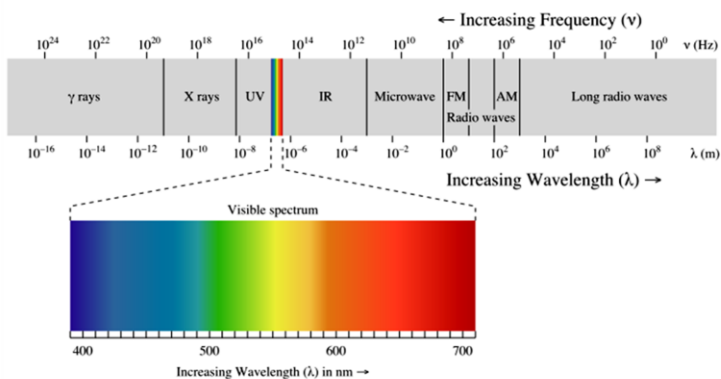
Rychlost pohybu vzhledem k okolním  
hvězdám 19,4 km . s<sup>-1</sup>

Oběžná rychlost kolem středu Galaxie  
230 km . s<sup>-1</sup>

# 5. Stavba a složení Slunce

## Elektromagnetické záření

nejvíce nebezpečné gama záření, nejméně radiové



Slunce vysílá záření dvojího druhu

elektromagnetické záření

(světlo a teplo)

radiové, mikrovlnné, infračervené, viditelné, UV, rentgenové a gama

korpuskulární záření

(sluneční vítr)

Proud nabitých částic elektronů a protonů vodíku

Vesmírný výzkum

série sond Pioneer, sonda Helios 1, orbitální stanice Skylab, družice Solar Maximum Mission, družice Yohkoh, observatoř SOHO, návratová sonda Genesis.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Stavba nitra Slunce

#### jádro

rozpíná se od středu do vzdálenosti 175 000 km, dochází v něm k termonukleárním reakcím přeměňujícím vodík v helium za uvolnění velkého množství energie



Teplota jádra v blízkosti středu je asi 15 000 000 K a hustota látky 150 000 kg.m<sup>-3</sup>

Na okraji jádra klesne teplota na pouhých 7 500 000 K s hustotou látky 20 000 kg.m<sup>-3</sup>.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Stavba nitra Slunce

#### radiální zóna

vrstva 175 000 až 525 000 km od  
středu Slunce, uvolněná energie  
se tudy šíří zářením rychlostí  
světla od jádra k povrchu ve  
formě fotonů, které se cestou  
sráží s elektrony

Teplota se snižuje na 2 000 000 K  
a hustota látky na  $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Elektron při srážce získá energii., foton ji  
ztrácí, což se projeví prodloužením jeho  
vlnové délky.

Cesta fotonu na povrch trvá asi milion  
let a zatímco jádro opouští jako záření  
gama či rentgenové záření, na povrch  
vystupuje jako viditelné světlo.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Stavba nitra Slunce

#### **konvektivní zóna**

vrstva asi 525 000 až 700 000 km od středu Slunce, přenos energie k povrchu probíhá především

**prouděním – konvekcí**

promícháváním: teplé proudy plynu vystupují k povrchu, kde se ochlazují a následně opět klesají



Vztlaková síla vynáší horké masy plynu z vnitřních vrstev Slunce na povrch, tam se vyzářením energie ve formě světla ochlazují a opět klesají do hlubších vrstev.

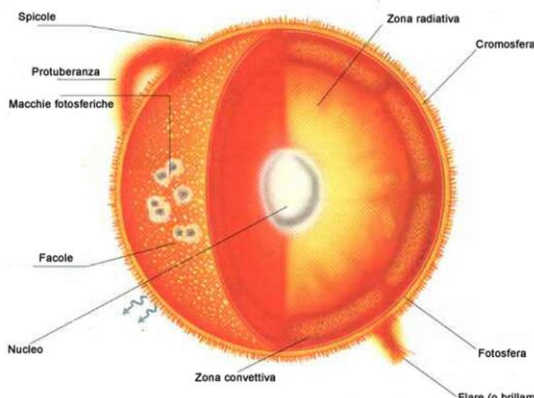
Konvekce vyvolává některé projevy sluneční činnosti – granulaci, sluneční vítr, protubernaci, sluneční skvrny, atd.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Sluneční atmosféra

#### fotosféra

asi 300 km mocná spodní vrstva atmosféry, je z ní vyzařováno 99,9 % energie unikající do kosmického prostoru, pozorujeme ji jako oslnivý bílý sluneční disk; je nejchladnější vrstvou atmosféry (teplota asi 4 300–7 000 K)



Nachází se bezprostředně nad konvektivní zónou. Na dně fotosféry přestává působit vztlačová síla, která způsobuje konvekci a její jevy pozorujeme jako granulaci supergranulaci v případě klidného Slunce a jako skvrny v případě aktivního Slunce.

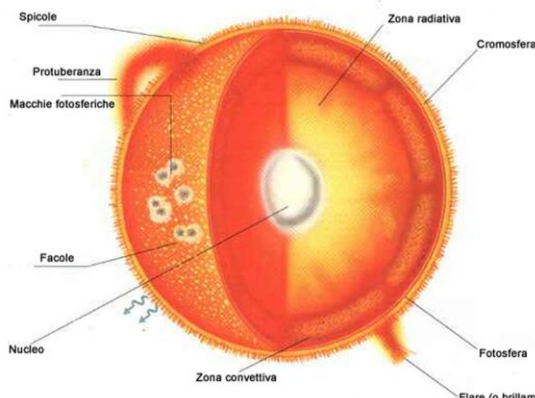


## 5. Stavba a složení Slunce

### Sluneční atmosféra

#### chromosféra

střední oblast sluneční atmosféry s tloušťkou přibližně 10 000 – 16 000 km, spodní část chromosféry je poměrně rovinná, ve střední části vznikají spikuly)



Hranice mezi korónou a chromosférou není ostře ohraničená a v oblasti bez spikul splývá s horní hranicí střední chromosféry.

## 5. Stavba a složení Slunce

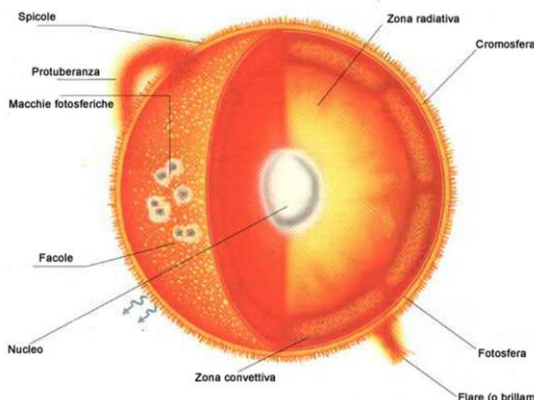
### Sluneční atmosféra

#### koróna

nejsvrchnější část sluneční atmosféry, teplota asi 2 mil. K, lze ji pozorovat při zatmění Slunce, volně přechází do okolního prostoru

Vzhledem k vysoké teplotě a malému výškovému poklesu (gradientu teploty) se koróna neustále rozpíná všemi směry do meziplanetárního prostoru – tak vzniká **sluneční vítr**.

**Sluneční vítr** je tedy tok elementárních částic koronální plazmy, v okolí Země dosahuje nadzvukové rychlosti  $409 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Rozpínající se plazma vynáší siločáry slunečního magnetického pole, čímž se tvoří meziplanetární magnetické pole.

Chromosféra a koróna pohlcují jen nepatrné množství zářivé energie vyzařované z fotosféry. Tyto vrstvy jsou pro záření značně průhledné, proto bychom očekávali spíše pokles teploty se vzrůstající výškou. Ve skutečnosti je to ale právě naopak. Tento jev označujeme jako problém zahřívání koróny. Podle nejnovějších teorií je zahřívána rekonexí magnetických indukčních čar.

## 5. Stavba a složení Slunce

### Projevy sluneční činnosti

Granulace

Sluneční skvrny

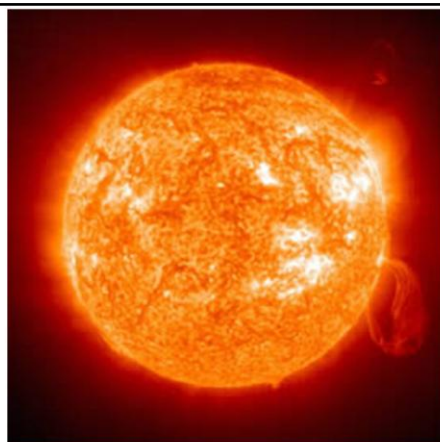
Sluneční erupce

Protuberance

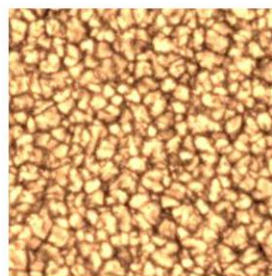
Fakule

Fokule a spikule

Sluneční vítr



## 5. Stavba a složení Slunce



### Projevy sluneční činnosti

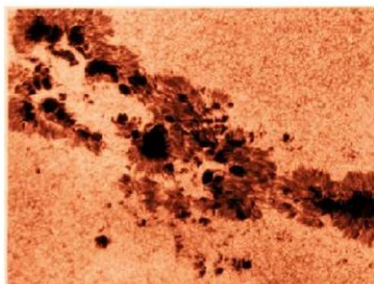
#### Granulace

na povrchu Slunce má buněčnou strukturu, která je tvořena jasnými granulemi a tmavým mezigranulovým prostorem, granule mají nepravidelný, často mnohoúhelníkový tvar o průměru 1–2"

Ke granulaci dochází v konvektivní zóně v důsledku přenosu energie prouděním, teplejší hmota vystupuje k povrchu Slunce, zde se ochlazuje a opět klesá do Slunce. Důvodem tohoto jevu je změna hustoty látky.

Průměrná životnost jednotlivých granulí se pohybuje kolem 8 minut, v ojedinělých případech může jednotlivá granule vydržet až 15 minut.

## 5. Stavba a složení Slunce



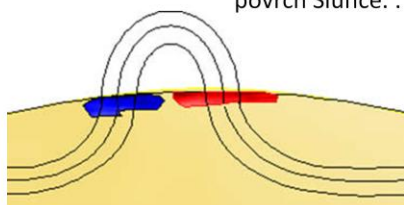
### Projevy sluneční činnosti

#### Sluneční skvrny

jsou oblasti fotosféry se sníženou teplotou, zářením a tlakem plynu

se skládají z jádra (tmavé **umbry**) a obálky (o něco světlejší **penumbry**).

Z nejnižší části skvrny stoupá vzhůru proud plazmatu, to se na povrchu skvrny ochladí a rozlévá se od středu skvrny k okrajům. Plazma se pohybuje podél uzavřených magnetických smyček a na okraji skvrny se opět vrací pod povrch Slunce. .



Magnetické pole ve skvrnách

#### Magnetické pole ve skvrnách

Sluneční skvrny mají extrémně silná magnetická pole, skoro až 3 000krát silnější oproti magnetickému poli klidných částí Slunce, které je co do velikosti srovnatelné s magnetickým polem Země. Díky tomu ve skvrně převládají síly magnetické nad granulací. Plazma je jakoby fixováno mezi magnetickými indukčními čarami a přenos energie je mnohonásobně menší než mimo skvrnu. Teplota plynu ve skvrnách je z toho důvodu nižší, skvrny nezáří tolik jako okolí a zdají se být tmavší.

Právě výskyt skvrn ve dvojicích s opačnou polaritou přivedl sluneční fyziky k hypotéze, že magnetické pole je skryto pod povrchem a jeho magnetické indukční čáry jsou k povrchu rovnoběžné. Svazek magnetických indukčních čar si můžeme představit jako potrubí či lano. Na tomto pomyslném laně či potrubí se může udělat smyčka, která vystoupí na povrch Slunce a nese s sebou plazma uzavřené mezi magnetickými indukčními čarami magnetického pole. Část materiálu odteče podél magnetických indukčních čar zpět. Magnetické pole vystupuje vysoko do atmosféry. Tam kde trubice vystupuje z povrchu, pozorujeme skvrnu, z které magnetické indukční čáry vycházejí a v místě, kde se vrací pod povrch, pozorujeme skvrnu s opačnou polaritou, tedy magnetické indukční čáry směřující do nitra Slunce.

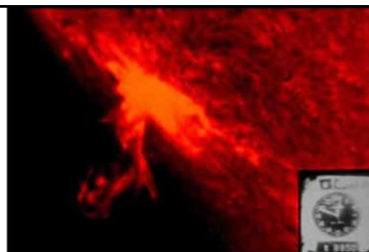
## 5. Stavba a složení Slunce

### Projevy sluneční činnosti

#### Sluneční erupce

jsou obrovské exploze slunečního plazmatu na povrchu Slunce charakteristické vyzařováním v rentgenové části spektra nebo proudem vysoce energetických částic

uvolněná energie dosahuje síly miliardy megatun TNT



Sluneční erupce jsou klasifikovány písmeny A, B, C, M nebo X, v závislosti na maximu toku rentgenového záření o vlnových délkách od 100 do 800 pm, naměřených v blízkosti Země sondami GOES.

Sondy GOES jsou geostacionární sondy, primárně určené k sledování a předpovědi počasí na Zemi, současně však slouží i k detekci sluneční radiace.

**Proč je pro nás tak důležité sledovat sluneční erupce?**

Velmi silné sluneční erupce třídy M a X jsou doprovázeny různými efekty v kosmickém okolí Země. I když se klasifikace sondy GOES běžně používá k označení velikosti erupce, je to pouze jedno z mnoha měřítek.

Dvě sluneční erupce patřící k velmi intenzivním byly zaznamenány systémem GOES 16. srpna 1989 a 2. dubna 2001, obě dosáhly hodnoty X20. Největší dosud zaznamenaná erupce byla pozorována 4. listopadu 2003, hodnota naměřená GOES byla X28, skutečná velikost erupce však mohla být mezi X40–X45, síla erupce byla tak silná, že saturovala detektory a ty přestaly měřit.

#### **Proč je pro nás tak důležité sledovat sluneční erupce?**

Sluneční erupce silně ovlivňují vesmírné počasí v blízkosti Země. Uvolňují do sluneční soustavy a tím i do geomagnetického pole Země velké množství vysokoenergetických částic, které vnímáme jako radiaci. Díky magnetickému poli nehrozí lidem na Zemi velké nebezpečí. Sluneční erupce může přispět k větší intenzitě jižní a severní polární záře, nebo přerušit rádiové vysílání. Vysoké nebezpečí však vzniká pro kosmonauty a kosmické sondy.

Sluneční erupce vytváří velké množství vysokoenergetických částic, známých jako protonové bouře. Protony mohou procházet lidským tělem a způsobit mutace. Většinu protonových bouří trvá dvě až čtyři hodiny, než se dostanou až k Zemi. Sluneční erupce pozorovaná 20. ledna 2005, která uvolnila nejvyšší koncentraci protonů, jaká kdy byla naměřena, však Zemi dosáhla za pouhých 15 minut, z čehož vyplývá, že se šířila rychlostí 1/3 rychlosti světla.

Sluneční erupce jsou proto hlavním problémem pro kosmické lety k Marsu či na Měsíc. Bude zapotřebí vytvořit fyzické či magnetické stínění k ochraně astronautů a vzít v úvahu čas 15 minut, pro přechod z nechráněných částí kosmického plavidla do bezpečí protiradiačního krytu.

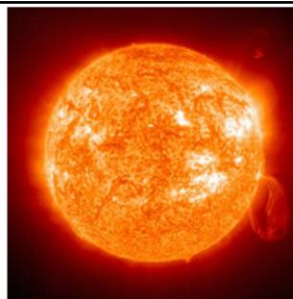
## 5. Stavba a složení Slunce

### Projevy sluneční činnosti

#### Protuberance

vypadají jako rudé boule či hrby  
plazmatu vystupujícího přes  
okraj slunečního disku

složení latinských slov *pro-* (jako,  
jakoby) a *tuber* (hrb, boule)



Plyn v protuberancích je 200x až  
300x hustější než plyn v koróně a  
může dosáhnout do výšek až 50  
000 km nad povrch Slunce.

Podstatou protuberance je  
magnetické pole Slunce, neboť  
filamenty se vyskytují na rozhraní  
dvou magneticky opačně  
polarizovaných oblastí. Plazma je  
vyvrženo ze slunečního disku a za  
pomoci magnetických indukčních  
čar levituje nad povrchem.

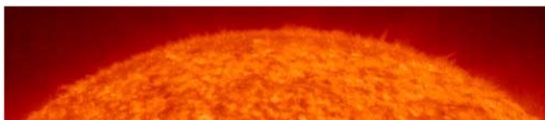
Z tohoto vězení se může plazma vysvobodit, pouze tehdy, pokud dojde k rekonexi (přepojení) magnetický indukčních čar. Změna magnetického pole většinou způsobí uvolnění velkého množství energie, které vyvrstí filament velkou rychlostí do okolí Slunce

## 5. Stavba a složení Slunce

### Projevy sluneční činnosti

#### Flokule a spikule

Flokule jsou světlejší a tmavší oblasti ve chromosféře o průměru asi 30 000 km, vrcholky flokulí se nazývají spikule.



#### Fakule

jsou nepravidelná jasná místa, jejichž kontrast se zvyšuje směrem k slunečnímu okraji (zesilují zářivost Slunce)

Se slunečními skvrnami, které snižují zářivost Slunce, přispívají ke změnám zářivého výkonu Slunce.

Flokule představují horký plyn šířící se rychlostí okolo  $50\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , výtrysk trvá asi pět minut, poté dosáhne plyn svého vrcholu a začne padat zpět.



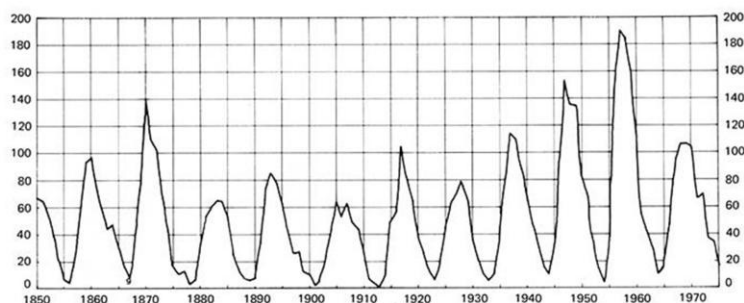
## 5. Stavba a složení Slunce

Pozorováním magnetického pole slunečních skvrn a globálního magnetického pole Slunce bylo zjištěno, že **polarita Slunce se mění jednou za 11 let.**

Aby se během slunečního cyklu opakovalo co nejvíce vlastností, musí být **délka slunečního cyklu 22 let.**

### Sluneční cykly

Během jednoho slunečního cyklu tedy proběhnou dvě sluneční maxima a **Slunce se dvakrát přepóluje.**



Dvaadvacetiletý magnetický sluneční cyklus vypadá asi takto. Na začátku cyklu se objeví skupiny párů skvrn v slunečních šířkách okolo 30 stupňů severně či jižně od rovníku. Vedoucí skvrna na severní polokouli má severní magnetickou polaritu, následná polaritu jižní. Na jižní polokouli je tomu naopak. V průběhu několika let se sluneční skvrny začnou objevovat stále častěji a oblasti jejich výskytu se více posunují k rovníku. Přibližně deset let po začátku cyklu se zmenšuje počet skvrn, objevují se jen zřídka, a to v blízkosti rovníku. Nastává sluneční minimum. V této době se začnou objevovat nové skvrny dalšího jedenáctiletého cyklu v slunečních šířkách okolo 30 stupňů, mají však opačnou polaritu než skvrny předchozího cyklu. Tedy na severní polokouli je vedoucí skvrna s jižní polaritou, následná se severní a na jižní polokouli obráceně. Skvrny se opět začínají posouvat k rovníku, četnost skvrn nejdříve roste a poté se zmenšuje. Nastává další minimum. V pásech okolo 30 stupňů sluneční šířky se objevují nové sluneční skvrny. Na severní polokouli má vedoucí skvrna polaritu severní, následná jižní, na jižní polokouli právě naopak. Tím je dovršen dvaadvacetiletý sluneční cyklus.

# Sluneční soustava

