

# Obsah

|                                                                                              |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Základy astronomie 2</b>                                                               | <b>2</b> |
| 1.1. Fotometrie, Interferometrie . . . . .                                                   | 2        |
| 1.2. Spektroskopie . . . . .                                                                 | 3        |
| 1.3. HR diagram, barevný diagram . . . . .                                                   | 3        |
| 1.4. Hvězdy - stavba, hydrostatická rovnováha . . . . .                                      | 4        |
| 1.5. Hvězdy - zdroje a přenos energie . . . . .                                              | 5        |
| 1.6. Slunce jako vzorová hvězda . . . . .                                                    | 5        |
| 1.7. Aktivity Slunce . . . . .                                                               | 5        |
| 1.8. Vznik hvězd a počáteční vývoj až po hlavní posloupnost . . . . .                        | 7        |
| 1.9. Závěrečná stádia a vývoje hvězd . . . . .                                               | 8        |
| 1.10. Dvojhvězdy . . . . .                                                                   | 9        |
| 1.11. Hvězdokupy . . . . .                                                                   | 9        |
| 1.12. Naše Galaxie . . . . .                                                                 | 10       |
| 1.13. Typy a vlastnosti galaxií, velkorozměrové struktury ve vesmíru . . . . .               | 10       |
| 1.14. Aktivní galaxie . . . . .                                                              | 11       |
| 1.15. Kosmologie - první představy, Newtonův model, paradoxy, kosmologický princip . . . . . | 11       |
| 1.16. Současný model vesmíru - velký třesk, relikvní záření, Hubbleova konstanta . . . . .   | 12       |
| 1.17. Vývoj vesmíru - historie a budoucnost . . . . .                                        | 13       |
| 1.18. Pozorovatelská kosmologie . . . . .                                                    | 14       |
| 1.19. Nebezpečí z kosmu . . . . .                                                            | 15       |
| 1.20. Život ve vesmíru . . . . .                                                             | 15       |

# 1. Základy astronomie 2

## 1.1. Fotometrie, Interferometrie

- Studium hvězd, pomocí pozorování, nemůžeme se k nim přiblížit

### Vizuální fotometrie

- W.Herschel - srovnání proměnné hvězdy s jinou hvězdou slovně.
- Angellander - První kvantitativní metoda srovnání stupně 0 až 4.
- E. Pickering - dvě hvězdy a proměnná hvězda, rozdíl v odhadovaných stupních 10

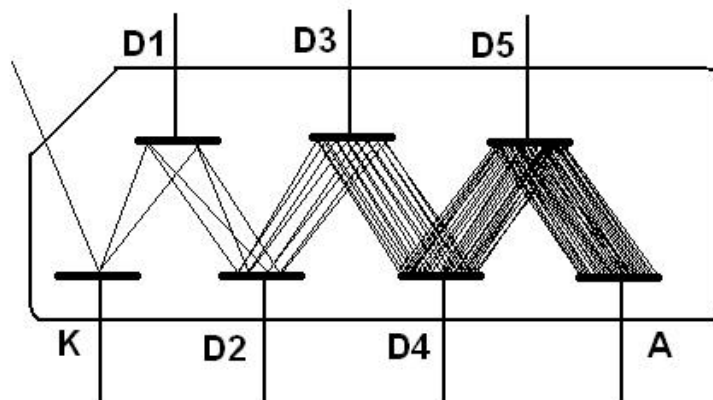
Jednalo se o subjektivní metody s malou přesností a spolehlivostí. Jejimi výhodami byla snadnost.

### Fotografická fotometrie

J. Draper - první astrofotografie - Měsíc Následovali fotky Slunce a hvězd (Vega), díky dlouhým expozicím bylo možné získat snímky hvězd, které nejsou stejným dalekohledem vizuálně pozorovatelné. Záznam na fotografii je trvalý a můžeme se k němu později vrátit. Po druhé světové válce se začala uplatňovat fotoelektrická fotometrie. Od devadesátých let CCD kamery.

### Fotoelektrická fotometrie

- první měření pomocí fotonky - 1892 Will Monck
- základem fotoelektrické fotometrie je fotometr, který se skládá z fotonásobiče
- jejími výhodami byla přesnost, mezi nevýhody patří cena, náročnost na pozorování a zpracování



Obr 1: Fotonásobič

Foton vyrazí z katody elektron, elektron postupně naráží do dynod. Z dynod vyráží další elektrony, znásobí se. Na anodě vznikne mA proudové pulzy. Měření jasností hvězd.

### CCD fotometrie

První CCD čip 1969, z křemíku, měl sloužit jako elektronická paměť. CCD čipy používají jako fotonásobič fotoelektrický jev, detektor je ale dvojrozměrný. Spektrální citlivost 400 až 1200 nm. Nelze fotit jen tak, nutnost pořídit další snímky pro korekci.

Flat snímek - rovnoměrně osvětlený plocha (za soumraku).

Dark snímek - stejná expoziční doba, stejná teplota čipu.

Bias snímek - snímek při zavřené závěrce kamery.

$$\text{UPRAVENY SNIMEK} = \frac{\text{ORIGINALNI SNIMEK} - \text{BIAS} - \text{DARK}}{\text{FLAT}}$$

## Interferometrie

Místo jednoho gigantického dalekohledu, použijeme více menších a levnějších dalekohledů. Signály z nich nám pak dají celkový obrázek. Použití radioteleskopy pro příjem dlouhovlnného záření. Příklady VLA - Nové Mexiko, ALMA - Atacama Chile. Určují se průměry hvězd, dvojhvězdné páry a exoplanety.

## 1.2. Spektroskopie

Zkoumá spektra hvězd. Vychází se z CCD snímku, ze kterého se zpracovává spektrogram (skládá se ze spektrálních čar). Z těchto čar poté můžeme získat teplotu a chemické zastoupení prvků. Z polohy čar zjistíme jestli se od nás objekt vzdaluje, nebo zda se k nám přibližuje a jakou rychlostí. Po srovnání se používají laboratorní spektra a syntetická spektra. Ze spektra můžeme zjistit složení atmosfér hvězd (exoplanet), složky dvojhvězd, jejich radiální rychlost a poměr jejich hmotností.

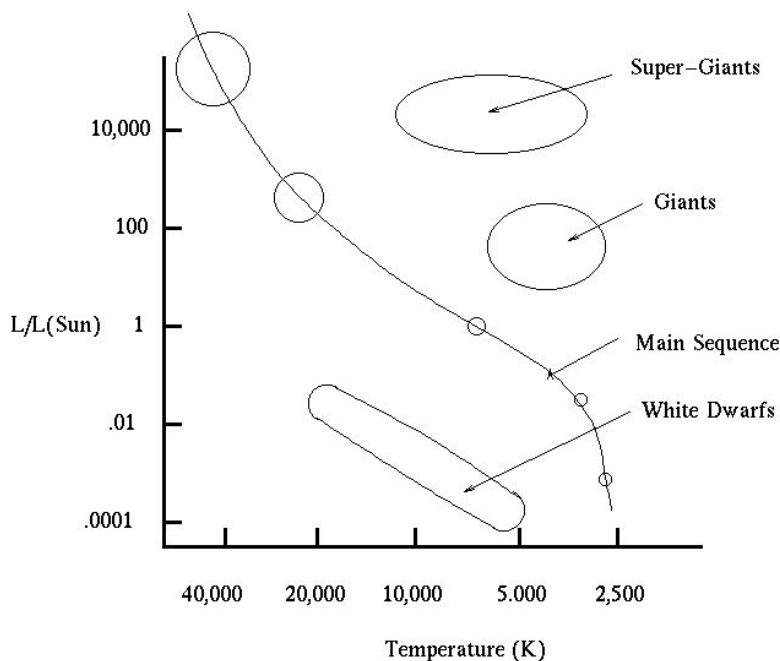
## 1.3. HR diagram, barevný diagram

### Hertzsprung-Russelův diagram

- 1910 - první grafická podoba HR diagramu
- 1905 - Hertzsprung - studiem hvězd známých absolutních hvězdných velikostí a spektrálních tříd. Jasnější hvězdy obři (velryby mezi rybami) výstup byla tabulka.
- Russel - vztah mezi zářivým výkonem a teplotou hvězdy, stejný výsledek, obři a trpaslíci, výstup byl diagram.
- HR diagram je nejdůležitější astronomický diagram. Najde využití při odhadech vzdáleností a výzkumu hvězdokup.

### Barevný diagram

- Náhražka HR diagramu pro hvězdy cca stejně daleko (hvězdokupy, galaxie)
- Místo spektrální třídy je barevný index a místo absolutní hvězdné velikosti pozorovaná hvězdná velikost. Je to kvůli tomu nelze pořádit spektra jednotlivých hvězd.
- Využití najde při určení vzdáleností hvězdokup a jejich stáří.



Obr 2: Rozložení hvězd na HR diagramu

#### 1.4. Hvězdy - stavba, hydrostatická rovnováha

Hvězdy kulovitěho tvaru, mohou mít setiny hmotností Slunce až stovky hmotností Slunce, trpaslíci, obří, veleobří. Mohou se vyskytovat osamocení, páry, více násobné soustavy, hvězdokupy, galaxie. Slunce je k nám nejbližší, hvězdy jsou tvořené plazmatem (ionizovaným plynem složeným z iontů a elektronů). Je kvazineutrální a vykazuje kolektivní chování (schopnost generovat elektrická a magnetická pole a také na ně reagovat). Nabité částice v plazmatu jsou schopny ovlivňovat pohyb dalších částic na poměrně velkou vzdálenost.

První úvahy o Slunci - rozžhavená kamená koule, obří vulkány soptící v temnotách. V roce 1925 přišla Gaposkinová s tvrzením, že většina hvězd je ze 75 procent z vodíku. O pár let později návrh jaderné syntézy vodík na helium.

##### Anatomie hvězdy

Nitro hvězdy - Nemůžeme pozorovat, méně dostupný než jakákoliv jiná část vesmíru. Z nitra hvězdy k nám nepronikne žádný foton, hmotou hvězdy proniknou jen neutrina. Helioseismologie zkoumá vnitřek Slunce pomocí zvukových vln. Frekvence pozorovaných oscilací závisí na různých vlastnostech Slunečního nitra (hustota materiálu, úhlová frekvence, rychlost zvuku. V jádru hvězdy vzniká energie za vysoké teploty (až  $10^9$ ) a velké hustoty (až  $10^9$ ).

Atmosféra hvězdy - přístupná našemu pozorování, nejlepší když se mění jasnost (dvojhvězdy, možnost určení teploty, hustoty, tlaku a složení atmosfér).

- Fotosféra - vznik fotonů, které pozorujeme, teplota se vzdáleností klesá a u Slunce je široká 135 až 200 km.
- Chromosféra - několikrát silnější než fotosféra, teplota se vzdáleností roste.
- Koróna - malá hustota, tloušťka  $10^6$  km, korona volně přechází do hvězdného větru, teplota se vzdáleností opět roste, můžeme ji pozorovat při zatmění Slunce.

**Hydrostatická rovnováha**  $F_G = F_{VZ}$ , rovnováha mezi tepelným tlakem působícím směrem ven z hvězdy a tíhou materiálu tlačícího směrem dovnitř. Pokud by tyto síly nebyly v rovnováze došlo by k zhroucení hvězdy nebo k explozi.

## 1.5. Hvězdy - zdroje a přenos energie

**Zdroje** - první představy hovořily o rozzhaveném kotouči, chemickém hoření, gravitačním smršťování, dopadech meteorů, jaderných štěpení a jaderných reakcí.

- Proton-protonový řetězec - čtyři jádra vodíku se několika reakcemi postupě promění na jedno jádro helia a dojde k uvolnění energie ve formě fotonů, pozitronu a neutrin. Tento řetězec je neúčinnější do teploty 20 miliónů kelvinů.
- CNO cyklus - opět čtyři protony na jedno jádro helia, ale do reakcí vstupuje i atom uhlíku, dusíku a kyslíku (CNO), dochází k němu u žhavých hvězd (spektrální třída F)
- Reakce  $3\alpha$  - řádově sto miliónů kelvinů, tři jádra helia + alfa částice přejde na uhlík, závěrečná fáze vývoje hvězd.

**Přenos energie** - tři typy

- Přenos zářením - stoprocentní účinnost jen v prázdném prostoru, jde o velmi pomalý proces v nitru. Hvězdná látka brání průletu fotonů. Fotony jsou mnohokrát pohlceny a jiné opět vyzářeny.
- Prouděním (Konvekci) - proudy teplé látky stoupají vzhůru a po ochlazení vyzářením zase klesají dolů. Podmínkou pro vznik proudění je neprůhledný materiál hvězdy (opacita), zdroj energie ve velmi malém objemu, konvektivní vrstvy pod fotosférou.
- Přenos vedením - přenos pomocí volných elektronů, látka má vlastnosti kovům, vyskytuje se u hvězd na konci vývoje bílí trpaslíci.

## 1.6. Slunce jako vzorová hvězda

Slunce je nejpodrobněji a nejlépe prozkoumaná hvězda, Slunce je hvězda neobyčejná a nadprůměrná. Spektrální třída G2V, teplota 5000 - 6000 K, složení 73,8 % vodíku 23,85 % helium a 1,34 % těžší prvky (O, C, Fe, Ne, N, S ...). Poměrné zastoupení jednotlivých prvků ve hvězdách se označuje jako abundance. Polovina vodíku už byla přeměněna na hélium, jádru Slunce má tedy složení 35 % vodíku, 63 % helium a 2 % ostatní prvky.

## 1.7. Aktivity Slunce

**Fotosféra**

- Sluneční skvrny
  - Části Umbra (střed) a penumbra (okraj), životnost hodiny i měsíce, vznikají interakcemi magnetického pole Slunce. Mají nižší teplotu a proto se jeví, jako tmavé oblasti. Určíme pomocí nich rotaci Slunce (27,3 dne). Slunce nerotuje jako tuhé těleso, na rovníku nejrychleji, k pólům rychlost klesá. Od počtu skvrn se odvozují příznaky aktivity Slunce, tento cyklus má periodu 11,3 let.

- Okrajové ztěmnění
  - Na okrajích se díváme do menší hloubky než ve středu kotouče, střed kotouče září více než okraje.
- Granulace
  - Granule zrna o velikosti cca 700-1000 km vrcholky vzestupných proudů plazmatu.
- Fakule
  - Světlé skvrnky nejnápadnější na okraji slunečního kotouče místa s vyšší teplotou než okolní prostředí

## **Chromosféra**

- Erupce
  - Náhlé zjasnění chromosféry, provázené silným vyzářením na různých frekvencích. Erupce vznikají v místech silných magnetických polí. Doba trvání desítky minut.
- Flokule
  - Jasně místo ve chromosféře, více jich tvoří chromosférickou síť
- Spikule
  - vrcholky flokulí
- Sluncetřesení

**Koróna** Řídký plyn obklopující Slunce, pozorování při úplném zatmění, nemá pevnou hranici.

- Protuberance
  - Shluky plazmatu - vystupují z Chromosféry do koróny.

**Heliosféra** Zvlněné proudové vrstvy uvnitř Sluneční soustavy - oddělují opačně orientované meziplanetární magnetické pole. Je to největší útvar ve Sluneční soustavě.

- Sluneční vítr
  - Poskytuje nám přesné chemické složení Slunce. Zachytávají ho družice nebo kosmické sondy. Pomalý vítr 300 km/s , rychlý 700-800 km/s. Velmi rychlý vede k meziplanetární bouři.

## 1.8. Vznik hvězd a počáteční vývoj až po hlavní posloupnost

Hvězdné porodnice - GMC (obří molekulární mračna), rozměry 10-50 pc teplota 15 K, z jednoho mraku vzniknou desítky až tisíce nových nových hvězd. Vývojové etapy trvají 40 až 50 miliónů let. Životnost Slunce 10 mld let

### Mračna plynů a jeho fragmentace

- Mračno je v hydrostatické rovnováze  $F_G = F_{VZ}$ , je třeba vnějších podmínek aby gravitační síla porazila  $F_{VZ}$ , dojde ke kolapsu. Kolaps může vyvolat srážka s jiným mračnem, výbuch blízké supernovy, průchod mračna spirálními rameny galaxie. Fragmentace mračna na shluky a ty dále na jádra. Celé GMC se rozdělí na hustá jádra o hmotnosti srovnatelné s hmotností hvězd.

### Samostatný kolaps fragmentu

- Fragment se chová jako plynná koule o hmotnosti 1 až 2 Sluncí. Jeho velikost je 100 krát větší než Sluneční soustava. Centrálního tělesa kolem 100 K, energie snadno uniká do prostoru, dojde ke smršťování a tím zvýšení hustoty. Roste teplota a tlak, zastaví se fragmentace, ale smršťování pokračuje.

### Protohvězda

- Velmi rychlé smršťování, rozměry srovnatelné s rozměry Sluneční soustavy v centru hustá neprůhledná oblast. Centrální teplota 10 000 K. Hmotnost protohvězdy roste a objekt se stále smršťuje. Jde o velmi krátkou etapu. Protohvězda má disk z prachu po zformování protohvězdy zmizí nebo se z něj složí planety, část je odvanuta pryč po zapálení jaderných reakcí.

### Kelvinova-Helmholtzova kontrakční fáze

- Rychlé smršťování, roste hustota a teplota až na milión Kelvinů v jádře. Zpomalení smršťování teplota nestačí k zapálení jaderných reakcí. Zářivý výkon tisíce Sluncí, pokryje ho potenciální energie. Poprvé můžeme hvězdu zakreslit na HR diagram.

### Hayashiho vývojová cesta

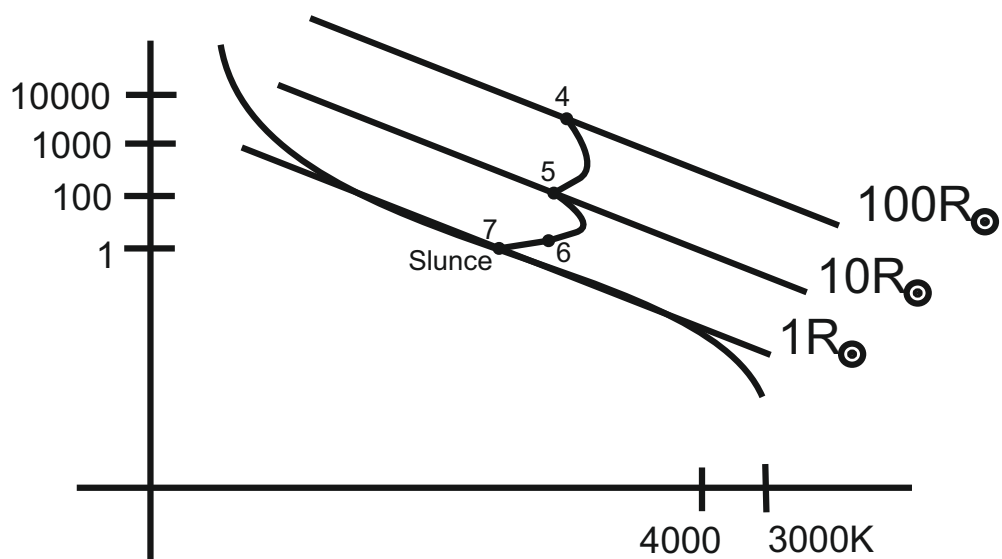
- Smršťování pokračuje, centrální teplota kolem pěti miliónů Kelvinů. Zmenšuje se poloměr, tím klesá zářivý výkon a teplota zůstává stejná.

### Zrození nové hvězdy

- Hmotnost sluneční, teplota v jádře dosáhla na mez pro zapálení jaderných reakcí. Velikost větší než Slunce. Hmotnost Slunce, teplota na povrchu menší než na Slunci. Hvězda stále není v hydrostatické rovnováze.

### Hvězda dosedá na hlavní posloupnost

- Teplota v jádru, zářivý výkon, teplota na povrchu, to vše se rovná přibližně Sluneční. Hvězda je v hydrostatické rovnováze.



Obr 3: Jednotlivé fáze v HR diagramu

### 1.9. Závěrečná stádia a vývoje hvězd

Stejně tak jako důchodci při nástupu do tramvaje, tak i stárnoucí hvězdy zrychlí. Ve fázi obra a veleobra vývoj prudce zrychlí, dojde ke smršťování nitra a k rozpínání obálky. Centrální teplota dosahuje 100 mil Kelvinů. Helium přechází na uhlík pomocí  $3\alpha$  procesu. Hvězda ztratí 30 až 85 % hmoty ve formě hvězdného větru. Závěrečná stádia závisí na počáteční hmotnosti hvězdy.

#### Stabilní

Černý trpaslík (ČT), Bílý trpaslík (BT), Neutronová hvězda (NH), kvarková hvězda (KH).

- Počáteční hmotnost menší než 0,0075 hmotnosti Slunce - Hnědý trpaslík (Černý trpaslík)
- Počáteční hmotnost větší než 0,0075 hmotnosti Slunce a menší než 0,5 hmotnosti Slunce - Vyhoří vodík a z hvězdy se stane heliový trpaslík
- Počáteční hmotnost větší než 0,5 hmotnosti Slunce a menší než 11 hmotnosti Slunce - Zapálí se vodík a potom i helium. Hvězdný vítr odnese obal, zůstane jen žhavé husté jádro. Jádro chladne a z hvězdy se stane bílý trpaslík
- Počáteční hmotnost větší než 11 hmotností Slunce - zhoří postupně i další prvky až po Fe a z hvězdy se stane neutronová hvězda.

#### Nestabilní

Hypernovy a Supernovy.

- Počáteční hmotnost větší než 11 hmotností Slunce a ve stadiu obra je hmotnost hvězdy větší než 8 hmotností Slunce - zapalují se až po Fe, centrální oblast se zhroutí (NH) a energie se uvolní ve formě supernovy.



- Počáteční hmotnost větší než cca 50 hmotností Slunce a hmotnost jádra větší než 3 hmotnosti Slunce - kolaps se nezastaví, vznik černé díry. Energie se uvolní ve formě hypernovy.

## 1.10. Dvojhvězdy

- Optické a fyzické dvojhvězdy.

**Vizuální dvojhvězdy** Skutečný fyzický pár obíhající kolem společného těžiště, vizuální protože pomocí očí či dalekohledu je dokážeme rozlišit (Mizar - Alcor). První pozorovatelé dvojhvězd Galileo Galilei v 17. století, po něm Herschel, ten vytvořil i katalogy. Pokud známe u dvojhvězdy její periodu a velkou poloosu lze zjistit dynamickou paralaxu dvojhvězdy i hmotnost obou složek. Existuje 100 000 vizuálních dvojhvězd.

**Astrometrické dvojhvězdy** Sirius a Prokyon - neseděla velikost rektascenzí, zjistilo se, že mají průvodce. Sirius a Prokyon typičtí představitelé astrometrických dvojhvězd, vidíme jen jednu jasnější složku, druhá je skrytá. Skrytá složka způsobuje zvlnění vlastního pohybu jasnější složky. Využití u exoplanet.

**Spektroskopické dvojhvězdy** Dochází u nich ke změnám ve spektru, jednotlivé složky se střídavě vzdalují a přibližují (Dopplerův jev), pozorování Pickering a jeho ženy (Mizar).

**Zákrytové dvojhvězdy** Nejzajímavější, jednotlivé složky se navzájem zakrývají. Většinou je nerozlišíme pozorujeme společné světlo obou hvězd (Algol), dochází u nich ke změnám jasů. Z pozorování můžeme zjistit poměry hmotností, rozměrů, zářivých výkonů složek.

## 1.11. Hvězdokupy

- uskupení desítek až miliónů hvězd, které mají společný původ a jsou gravitačně vázané.

**Kulové hvězdokupy** Kulovitý tvar, stáří se pohybuje kolem 10 až 13 miliard let, počet hvězd desetitisíce až milióny. Mezi členy hvězdokupy jsou malé vzdálenosti a tyto členové mají vysoký obsah těžších prvků (jiné prvky než vodík a helium). Skládají se ze starých hvězd, kulové hvězdokupy najdeme kolem středu galaxie, je jich kolem 200.

**Otevřené hvězdokupy** Časem se rozpadnou. Nepravidelný tvar, počet hvězd desítky až stovky obsahují mladé hvězdy, počet v galaxii kolem 2100. Hlavními zástupci jsou Plejády (mladé), Jesličky (starší), M67 (stará). Vznikají poblíž velkých molekulárních mračen (GMC), stáří se pohybuje kolem miliónů let.

- Pohybové hvězdokupy - přibližně deset nejbližších otevřených hvězdokup, můžeme u nich měřit změny poloh vůči vzdálenějším hvězdám (Plejády, Hyjády).

**Hybridní - zvláštní** NGC 6791 - jedna z nejstarších otevřených hvězdokup, počet hvězd tisíce, ale 8 miliard let starých, vysoký obsah těžkých prvků. Tyto těžké prvky se v galaxii hromadí velmi pomalu.

## 1.12. Naše Galaxie

Skládá se z hvězd, mezihvězdné látky a skryté hmoty. Galaxie - gravitačně vázaný strukturoviny a organizovaný systém. Většinu látky v naší Galaxii nevidíme, je uložena v temném halu. Pouze 10 % látky září. počet hvězd v Galaxii 400 mld. Průměr Galaxie je 100 000 světelných let (30 kpc). Slunce je asi 8 kpc vzdáleno od středu. S první modelem Galaxie přišel W. Herschel - špatně předpokládal, že dohlédne až na hranici Galaxie. Nebral v potaz extinkci, navíc všechny hvězdy nemají stejný zářivý výkon. S druhým modelem přišel Kapteyn, ten ale nevěděl o extinkci, přišel ale s tím, že Galaxie je větší a Slunce není v jejím středu. Kulové hvězdokupy tvoří kostru Galaxie, její střed leží v souhvězdí Střelce. Galaktická délka  $l$  ( $0^\circ$  až  $360^\circ$ ), galaktická šířka ( $0^\circ$  až  $90^\circ$ ).

### Extinkce

- Zkresluje pohled na okolní vesmír. Plyn - nehmotnější složka, zejména vodík, molekulární oblaka, mlhoviny. Prach - 1 % z hmotnosti mezihvězdné látky, křemík, uhlík, kovová a ledová zrnka.

### Anatomie Galaxie

- Kulová složka (halo) - zploštělá koule, průměr 50 kpc, nejstarší hvězdy v galaxii, stáří až 12 mld, kulové hvězdokupy.
- Disková složka - průměr 30 kpc, mimo střed, šířka 1 kpc u středu 4 až 5 kpc.
- Plochá složka - nejmladší hvězdy, vytváří ramena vybíhající z galaktického jádra dvě hlavní spirální ramena a dvě vedlejší malá ramena.
- Jádro galaxie - zastíněno, obří černá díra, extinkce 30 mag, pouze infračervené nebo radiové pozorování.

Jádro je zploštělá kulová hvězdokupa, složená z červených trpaslíků. Koncentrace hvězd směrem do středu roste. Jadérko je velmi hmotná černá díra.

## 1.13. Typy a vlastnosti galaxií, velkorozměrové struktury ve vesmíru

Je jich velmi mnoho, miliardy. První klasifikace Edwin Hubble. Přišel s tezí, že vývoj galaxií je tento eliptické přecházejí na čočkové a ty poté na spirální. V roce 1980 se přišlo na to, že je to naopak spirální přechází na čočkové a ty poté na eliptické.

**Spirální galaxie** - 50 % označení S (spirální), nebo SB (spirální s příčkou) a písmeno a ... d písmeno záleží na velikosti jádra a ramen. *Sa* malá ramena, velké jádro *Sd* malé jádro a velká ramena. Naše Galaxie *SBC*. Mají nejméně dvě spirální ramena připojená přímo nebo přes příčku. V ramenech hodně žhavých hmotných hvězd.

**Čočkové galaxie** - 20 % spirální galaxie bez ramen, čočkové galaxie tvoří přechodný typ mezi S a E galaxiemi. Mají výrazné jádro a nemají téměř žádnou mezi hvězdnou látku.

**Eliptické galaxie** - 25 % označení  $E+x$ , kde  $x$  se určuje pomocí vzorce:

$$x = 10 \left( \frac{a-b}{a} \right) \quad (1)$$

$a$  a  $b$  jsou poloosy galaxie,  $E0$  (kruhová),  $E7$  (plochá). Mají tvar koule nebo elipsoidu, obsahují převážně staré trpasličí hvězdy.

- Slupkové galaxie - eliptické galaxie s oblouky, slupkami kolem celé galaxie 17 až 44 % eliptických galaxií je slupkových.

**Nepravidelné galaxie** - 5 % prstencové galaxie, označení Irr (z angličtiny Irregular). 30 až 40 % celkové hmotnosti tvoří mezihvězdná látka a z ní se tvoří hvězdy.

**Velké struktury ve vesmíru** Kupy galaxií nejvíce gravitačně vázané struktury ve vesmíru, tisíce až desetitisíce členů. Nadkupy nejsou gravitačně vázané.

#### 1.14. Aktivní galaxie

Intenzita záření v RTG oblasti. Velmi aktivní černé díry (ve středu), záření z jejich jader. Jedná se o anomálie jádra cca 10 % galaxií. Výtrysky tvoří ionizovaný plyn o hmotnosti až miliónů hmotností Slunce. Studium aktivních galaxií, jedná se o prioritu galaktické astronomie. První pozorování v roce 1908 - emisní čáry ve spektru NGC 1068.

**Energie aktivních galaxií** Zářivý výkon je o jeden až tři řády větší než zářivý výkon všech hvězd v galaxii, který je vyzařován jen v malé oblasti. Co tu reakci živí:

- Pohlcené galaxie, mezihvězdná hmota, slapové síly, materiál a mezigalaktického prostoru.

##### Typy aktivních galaxií

- Rádiovětiché
  - Seyfertovy galaxie - podle objevitele, 200 dodnes objevených 10 % tvoří spirální, spektrum jádra není hvězdné - zakázané
  - Kvasary - Quasistellar radio source, velmi staré, nejvzdálenější objekty ve vesmíru, nejzářivější objekty ve vesmíru. Zářivý výkon kvasarů je 10000 větší než zářivý výkon normální galaxie a jeho objem je o dvacet řádů menší než objem normální galaxie.
- Rádiověhlučné
  - Rádiové galaxie
    - \* z boku pozorovaná eliptická galaxie
    - \* emise rádiových vln
  - Nový typ AGN
    - \* detekce v RTG oblasti, viditelné a ultrafialové záření pohlcují

#### 1.15. Kosmologie - první představy, Newtonův model, paradoxy, kosmologický princip

Vesmír je prostor mimo naši Zemi a její atmosféru, kosmologie je pak nauka, která zkoumá vesmír jako celek. Zabývá se jeho vznikem, vývojem i budoucností. První představy byly mýtické, každá kultura měla jiné, později se do toho vložila filosofie a náboženství, nakonec přišla věda:

- Země měla být placatá, vesmír věčný.
- Platón koncept čtyř základních těles - oheň, země, voda a vzduch.
- Aristoteles tento model ještě rozšířil o materii nebeskou (hvězdy, planety).
- Aristoteles geocentrický

- Koperník - heliocentrický - Koperníkův princip
- Aristarchus hvězdy jsou jiná Slunce.

V kosmologii aplikujeme předpoklad, že fyzikální zákony platí vždy a všude. Koperníkův princip je, že žádný bod v prostoru nemá privilegované postavení a vesmír musí být homogenní a izotropní.

### **Newtonův model**

Vesmír je nekonečný, rovnoměrně vyplněný hvězdami, které nekonají žádný systematický pohyb. Homogenní, izotropní v prostoru i čase.

### **Gravitační paradox**

Výsledné gravitační pole nekonečného počtu kosmických objektů. Gravitační síly se vykompenzují, ale potenciály jdou k nekonečnu . . . prázdný vesmír.

### **Fotometrický paradox**

Když je hvězd nekonečně mnoho, pryč nevyplní oblohu. Hvězdy nežijí nekonečně dlouho. Vesmír se rozpíná a tedy existuje červený posuv a s ním snížení intenzity záření.

## **1.16. Současný model vesmíru - velký třesk, relikvní záření, Hubbleova konstanta**

1916 - Základy standardního modelu vesmíru položil Einstein obecnou teorií relativity. Hmota kolem sebe zakřivuje prostor a čas.

1922 - Fridman - vesmír není statický ale dynamický.

1929 - Hubble - objev vzdal. galaxií, rozpínání vesmíru.

1931 - Einstein - kosmologická konstanta.

### **Geometrie vesmíru**

Dominující síla - gravitace není ji ničím možné odstínit.

### **Fridmanovy modely**

V počátečních fázích se vesmír rozpíná, expanze probíhá buď stále nebo se může změnit ve smršťování.

### **Hubbleův vztah**

Pozorovatel by měl vidět stejné rozložení rychlostí ostatních galaxií nezávisle na místě, kde se nachází.

$$v = H \cdot r \quad (2)$$

### **Hubbleova konstanta**

Udává o kolik se zvětší rychlost vzdalování při přechodu ke objektům vzdálenějším o jednotku vzdálenosti. Není vlastně konstantou.

### **Rozpínání vesmíru**

Červený posuv, Dopplerův jev.

### **Velký třesk**

Singularita - rozběhl se čas. Velký třesk neznamená výbuch, vesmír v minulosti byl menší, hustčí a teplejší. Vesmír se nikam nerozpíná nese svůj prostor sebou.

### **Důkazy že došlo k velkému třesku**

- Rozpínání vesmíru
- Zastoupení lehkých prvků ve vesmíru vodík, helium. Vznikly v prvních minutách po velkém třesku.
- Mikrovlné kosmické záření - pozůstatek žáru po velkém třesku.

- Vývoj a rozložení galaxií

### **Relikní záření**

- 1937 - neuvědomělé pozorování
- 1948 - předpověď existence všesměrového mikrovlnného záření
- 1965 - Penzias a Wilson - objev relikního záření
- Obsahuje v sobě třicetkrát více energie než bylo kdy vyzářeno z hvězd.

### **Relikní záření z kosmu**

- 1989 - Cobe - objev anisotropie relikního záření plus fluktuaace teploty záření
- 2001 - WMAP - Nejpresnější určení parametrů našeho vesmíru

### **Problémy standartního modelu**

- Problém počáteční singularity, nekonečná teplota
- Problém plochosti vesmíru
- Problém horizontu - řeší inflace

## **1.17. Vývoj vesmíru - historie a budoucnost**

### **Velmi raný vesmír**

- $10^{-43}$  - Planckova epocha - fyzikální interakce spojeny v jednu univerzální
- $10^{-43}$  až  $10^{-36}$  - Epoque velkého sjednocení
- $10^{-36}$  až  $10^{-12}$  - Monopóly
- $10^{-36}$  až  $10^{-32}$  - Inflační epocha, zvětšení objevu vesmíru 72 řádů.

### **Ranný vesmír**

- $10^{-12}$  až  $10^{-6}$  - Kvarková éra
- $10^{-6}$  až 1 sekunda - Hadronová éra - anihilovali
- 1 sekunda až 10 sekund - Leptonová éra - anihilovali
- 10 sekund až 380 000 let
  - Fotonová éra - vznik relikního záření, předtím vesmír neprůhledný hustý, teplota 3000 K
    - \* Nukleosyntéza - tvorba atomových jader  $\text{He}^4$ . Začala 3 minutu a skončila 20 minutu.
    - \* Převaha hmoty - vytvářejí se malé struktury hmoty, dominuje chladná temná hmota. Skončila za 70 000 let.
    - \* Rekombinace - Začala po převaze hmoty a skončila za 377 000.
  - Konec fotonové éry, vesmír se stal průhledný, ale prázdný.

## Temný věk

Probíhal v době od 150 mil po 800 mil let po velkém třesku. Doba mezi vznikem relikvního záření a zrodem prvních hvězd. Baryonická hmota ve vesmíru tvořena ionizovaným plazmatem. Neutrální jev získáním volných elektronů během rekombinace. Uvolní se fotony vytvářející relikvní záření, díky uvolnění fotonů vesmír zprůhledněl. V tuto chvíli to bylo jediné uvolněné záření, záření neutrálního vodíku na vlnové délce 21 cm.

## Vytváření struktur

- Reionizace od 150 mil až do 1 mld. Vznikali první hvězdy a kvasary.
- Tvorba hvězd třetí populace (populace III).
- Tvorba galaxií - velké objemy hmoty kolabovaly (hvězdy populace II a později i populace I)
- Tvorba kup a nadkup.
- Dnes 13,7 mld stáří, rozpínání zrychluje

## Výhled do budoucnosti

- Velké zamrznutí -  $10^{14}$  let, hvězdy vyhasnou, nepravděpodobnější, černé díry se vypaří.
- Velký krach - rozpínání se obrátí a vesmír se začne smršťovat. Cyklický vesmír.
- Velké rozervání - rychlost rozpínání roste. Gravitačně vázané systémy jsou roztrženy, mimo jiné i atomy a molekuly.
- Nestabilita vakua
- Tepelná smrt  $10^{150}$  let, maximální entropie, život nemožný, žádná termodynamická energie.

## 1.18. Pozorovatelská kosmologie

### Současná pozorovatelská kosmologie

- Akcelerující vesmír (1998) - na základě studia supernov typu Ia v rovnoměrně exp. vesmíru vzdálenost roste stejně jako se zvětšuje červený posuv
- Červený posuv - projekty CFA, RED SHIFT SURVEY, SDSS
- Relikvní záření (1989) - relikvní záření, záření absolutně černého tělesa, teplota 2,73 K. Relikvní záření podporuje inflační teorii. Projekty WMAP - nejpřesnější určení parametrů našeho vesmíru. Pozemská měření Atacama.
- Současný vesmír - skrytá hmota a temná energie. Dnes 72 % temná energie, 23 % skrytá hmota, 5 % viditelná hmota.
- Velikost fluktuací
- Baryonové akustické oscilace (BAO) - pravidelné periodické fluktuace v hustotě viditelné baryonové hmoty, původní fluktuace v relikvním záření. Měření BAO nám pomáhá při pochopení skryté energie stanovení mezí kosmologických parametrů.

## 1.19. Nebezpečí z kosmu

### Střet Země s cizím tělesem

- do 20 cm - vypaří se
- řádově metry - meteorit
- větší než metry - proletí atmosférou není překážkou
- velké srážky
  - 65 miliónů let - konec dinosaurů
  - 1908 - Tunguská srážka
  - 1947 - Vladivostok

### Slunce

- Sluneční aktivita
  - krátkodobé změny zářivého toku
  - narušení zemské magnetosféry
  - poruchy a zničení elektroniky na družicích
  - výpadek telekomunikace
  - přepětí v rozvodných sítích

### Výbuch blízké supernovy

- Supernova ve vzdálenosti do deseti světelných let - sterilizace planety, skleníkový efekt, zničení ozónové vrstvy.
- Supernova ve vzdálenosti do sta světelných let - tok záření dvojnásobný oproti normálu.
- Magnetar - silné magnetické pole
- Záření z kosmu - ozónová díra propouští UV záření.

## 1.20. Život ve vesmíru

Zabývá se tím astrobiologie, xenobiologie. Hlavní podmínky pro život mimo naši planetu jsou existence vody ve všech skupenstvích (dlouhodobá), vhodná teplota a tlak. Důležitá je rovněž desková tektonika. Hledat mimozemský život můžeme ve Sluneční soustavě (Mars, Europa, Titan), nebo ve vzdáleném vesmíru (SETI, CETI).

### Drakeova rovnice

Život v nejjednodušší podobě asi ano, komplexní forma života málo.

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L \quad (3)$$

R - přírůstek hvězd v galaxii za určité období

$f_p$  - podíl hvězd s planetárními systémy

$n_e$  - průměrná hodnota počtu planet v planetárním systému

$f_l$  - podíl planet kde život vznikne

$f_i$  - poměr z předchozí, kde vznikne inteligentní život

$f_c$  - podíl inteligentních forem života, které dosáhli schopnosti aktivní mezihvězdné komunikace

L - odhad délky existence životní formy schopné mezihvězdné komunikace