

Astrofyzika

mířící vzdálenosti

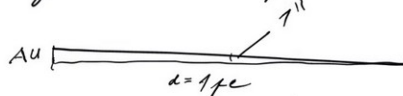


$$\frac{R_z}{d} = \sin \varphi \approx \varphi \Rightarrow d = \frac{R_z}{\varphi}$$

φ ... dešní paralaxa

AU ... astronomická jednotka
(150 000 000 km)

jednotka 1 pc (parsek)



$$1 \text{ pc} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} = 2,06 \cdot 10^5 \text{ AU}$$

$$= 3,26 \text{ svět. roků}$$

(paralaxa je použitelná do 50 pc)

(nejblíže hvězda Proxima Centauri)

$$\varphi = 0,722'' \dots 1,3 \text{ pc}$$

opět: Keplerovy zákony

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

miliardrát zmenšený model Sluneční soustavy

	model	vzdálenost (v modelu)
Slunce	1400 mm	-
Merkur	hrášek	60 m
Venuše	hok. oříšek	110 m
Země	hok. oříšek	150 m
Mars	hráška	230 m
Jupiter	grapefruit	800 m
Saturn	grapefruit	1500 m
Uran	mandarinka	3000 m
Neptun	mandarinka	4500 m ($\cdot 10^9$)

Hvězdná velikost (zdánlivá)

ozn.: m magnituda

např. $m = 1$ nebo 1^m - hvězda první hvězdné velikosti

$m = 1 \text{ mag}$ - hvězda první magnitudy; 1 mag

$m_A; m_B$ - magnitudy

$\Phi_A; \Phi_B$ - sířivítoby ... $m_A - m_B = -2,5 \cdot \log \frac{\Phi_A}{\Phi_B}$ (\Rightarrow měřím hvězdných velikostí mimo interval 1 až 6)

$$1 - 6 = -2,5 \log \frac{100}{1}$$

Slunce: $m = -26,8 \text{ mag}$ Měsíc v úplňku $m = -12,7 \text{ mag}$

M - absolutní hvězdná velikost ... 10 pc

Slunce: $M = 4,8 \text{ mag}$

m ... zdánlivá hvězdná velikost

M ... absolutní hvězdná velikost

r ... vzdálenost hvězdy

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log r$$

(přibližně platí, že hvězdy o stejné teplotě mají stejný červený výkon - stejnou absolutní hvězdnou velikost. Teplota mášimě určít spektrální třídu \Rightarrow mířící vzdálenosti viz příklad)

Uvěď vzdálenost hvězdy, která září stejně jako Slunce a má 6. hvězdnou velikost.)

Určete vzdálenost hvězdy, která září stejně jako Slunce a má 6.hvězdnou velikost.

$$r = ?$$

$$m = 6 \text{ mag}$$

$$M = 4,8 \text{ mag} \quad (\text{absolutní hvězdná velikost Slunce})$$

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log r$$

$$\log r = \frac{m + 5 - M}{5}$$

$$r = 10^{\frac{m+5-M}{5}} = 10^{\frac{6+5-4,8}{5}} = 10^{1,24} = 17,378 \doteq 17,4 \text{ pc}$$

Vzdálenost hvězdy je přibližně 17,4 parseků.

Hmotnosti hvězd

- z gravit. zákona ($T; r$)

$$F_n = F_g$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = \kappa \cdot \frac{M_0 \cdot m}{r^2} \Rightarrow M_0$$

$$M_0 = \frac{4\pi^2}{\kappa} \cdot \frac{r^3}{T^2} \quad \text{např. pro Zemi } r = 1 \text{ AU} \quad T = 1 \text{ rok} \quad \text{vychází hmotnost Slunce } M_0 = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

(Proti hmotnosti Země znáte-li střední vzdálenost Měsíce $r = 384\,000 \text{ km}$ s dobou oběhu 27,4 dne.)

Spočtěte hmotnost Země znáte-li střední vzdálenost Měsíce 384 000 km a jeho oběžnou dobu 27,4 dne.

$$M_{\oplus} = ?$$

$$r = 384\,000 \text{ km} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$T = 27,4 \text{ dne} = 2367360 \text{ s} \doteq 2,367 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$\kappa \doteq 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2} \quad (\text{všeobecná gravitační konstanta})$$

z rovnosti dostředivé a gravitační síly vychází:

$$\frac{1}{2} m \cdot \frac{v^2}{r} = \kappa \cdot \frac{M_{\oplus} \cdot m}{r^2} \quad (\text{m - hmotnost Měsíce})$$

$$M_{\oplus} = \frac{4\pi^2}{\kappa} \cdot \frac{r^3}{T^2} = \frac{4\pi^2}{6,674 \cdot 10^{-11}} \cdot \frac{3,84^3 \cdot 10^{24}}{2,367^2 \cdot 10^{12}} \doteq 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Země má hmotnost přibližně $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

(Opakování:)

Pohyby těles určuje všeobecný gravitační zákon:

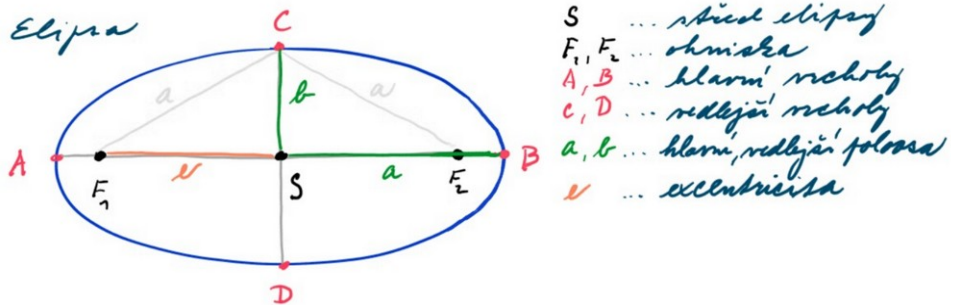
Dva hmotné body (nebo homogenní koule) na sebe působí přitažlivou silou, která je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti (vzdálenosti středů koulí).

$$F = \kappa \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad \kappa = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

1. Keplerův zák. Planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách podobných kružnici, v jejichž společném ohnisku je Slunce.
2. Keplerův zák. Obsah plochy opsané průvodičem planety za jednotku času je konstantní. (Průvodič planety je spojnice planety a Slunce; jednotkou času může být libovolně zvolený časový úsek. V místě nejbližší Slunci je rychlost největší.)
3. Keplerův zák. Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet je stejný jako poměr třetích mocnin délek jejich hlavních poloos (nebo středních vzdáleností těchto planet od Slunce).

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Elipsa (podobně jako hyperbola, parabola a kružnice) je kuželosečka, která je trajektorií tělesa, pohybujícího se v centrálním gravitačním poli s gravitačním centrem v ohnisku.



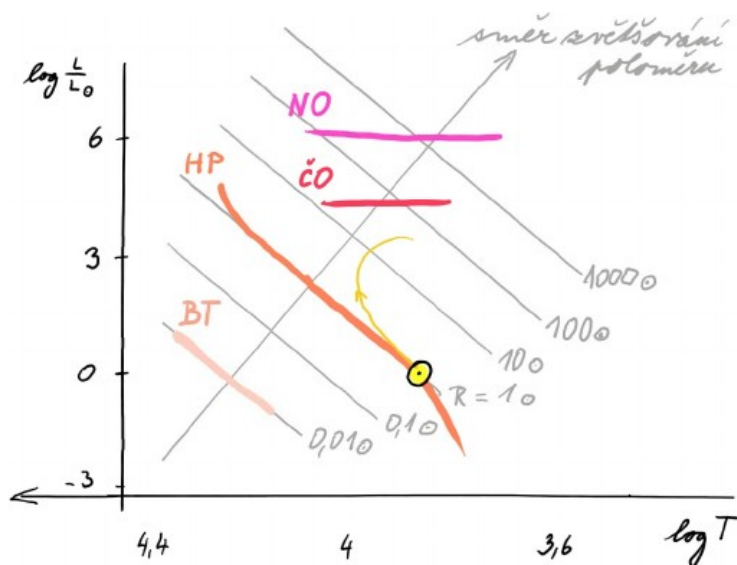
Pohyb po kružnici je výjimečný, ale je dobrým modelem pro pohyb planet. Pohyb po parabolické trajektorii odpovídá situaci, kdy má těleso právě takovou energii, že opustí silové působení gravitačního pole. Při pohybu po hyperbolické trajektorii centrální gravitační pole jen změnil směr pohybu tělesa a těleso gravitační pole opustí stejnou rychlostí, jakou do něj vstupovalo. (Původní a výsledný směr odpovídá asymptotám hyperboly.)

Vznik a vývoj hvězd.

Přirovnání: Představte si „fotografii“ všech lidí z vašeho okolí, které znáte. Na ní vidíme, jak vypadá dítě, dospělý člověk, stařec. Z těchto informací můžeme odhadnout, jak vypadá vývoj člověka od jeho narození přes dospívání až po stáří a smrt. V podobné situaci jsme, když z pozorování hvězd, které je vzhledem k jejich délce života pouhým okamžikem, chceme usuzovat, jaký je jejich vývoj.

HR diagram (Hertzsprungův-Russellův stavový diagram) popisuje okamžitý pohled na hvězdnou populaci.

Každý bod diagramu znázorňuje stav hvězdy. Na svislé ose je zářivý výkon (odpovídá absolutní hvězdné velikosti – směrem nahoru magnituda klesá) a na vodorovné ose znázorňuje efektivní teplotu. Stupnice jsou logaritmické, osa teploty je otočena směrem vlevo.



- ☉ ... astronomický symbol Slunce
- L_{\odot} ... zářivý výkon Slunce
- R_{\odot} ... poloměr Slunce
- HP ... hlavní posloupnost
- ČO ... oblast Červených obrů
- NO ... oblast Nadobrů
- BT ... oblast Bílých trpaslíků

Více než 90 % hvězd leží na hlavní posloupnosti. Hvězda se během svého vývoje pohybuje. Ve vyznačených oblastech jsou hvězdy stabilní, velmi dlouho v nich setrvávají. Velké hvězdy setrvávají na hlavní posloupnosti řádově 10^6 roků, menší hvězdy jako je Slunce až 10^{10} roků.

Vývoj hvězd

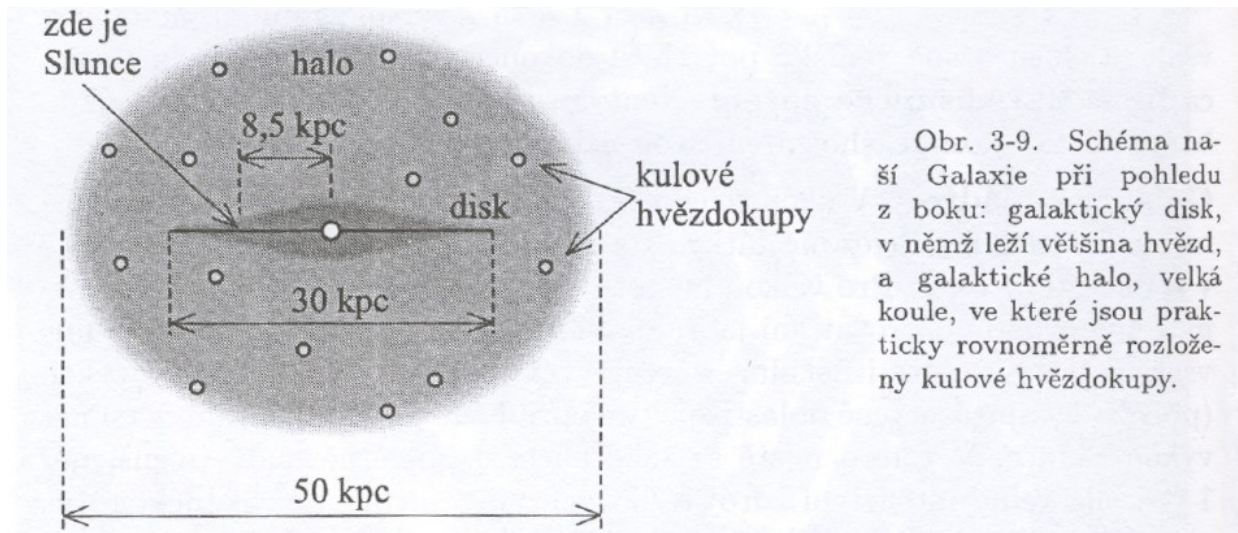
Hvězdy vznikají z mezihvězdného plynu a prachu v důsledku gravitačních sil. Při zmenšení se začne plyn zahřívat, roste tlak a teplota, až se zažehne termojaderná syntéza. Hvězda začne zářit. Po vyhoření asi desetiny zásob vodíku se termojaderná reakce změní, hvězda zvětšuje svůj objem, opouští hlavní posloupnost a stává se červeným obrem.

Po vyhoření paliva získává hvězda energii z gravitačního smršťování a další vývoj závisí na její hmotnosti. (M_{\odot} je hmotnost Slunce.)

- $M < 0,07 M_{\odot}$ nezažehne se ani termojaderná reakce, hvězda chladne vzniká hnědý trpaslík
- $M < 1,4 M_{\odot}$ malá žhavá hvězda o rozměrech Země bez dalšího zdroje energie – bílý trpaslík postupně chladne a nakonec vznikne černý trpaslík
- $M > 1,4 M_{\odot}$ mohou při gravitačním smršťování vybuchovat – výbuch supernovy, (je zdrojem těžkých prvků ve vesmíru)
- $M < 2 M_{\odot}$ po výbuchu supernovy může zůstat jádro, v němž se spojí elektrony s protony a vznikne neutronová hvězda (o rozměrech několik km)
- $M > 2 M_{\odot}$ dochází ke gravitačnímu kolapsu, rozměr je tak malý a gravitační síla tak velká, že neumožní ani fotonům opustit gravitační pole hvězdy – černá díra

Galaxie

Všechny hvězdy, které vidíme na noční obloze i světlý pás Mléčné dráhy patří do jednoho uskupení, kterému říkáme Galaxie. Je tvořena dvěma spirálními rameny a tvoří disk o průměru 30 kpc. Sluneční soustava leží asi 8 kpc od galaktického středu. Obsahuje 2 až $3 \cdot 10^{11}$ hvězd, hmotnost centrální části je $2 \cdot 10^{11}$ hmotností Slunce. (Podrobněji obr. 3-9 z učebnice nebo podrobné poznámky od prof Ka <http://v.smid.sk/19-20/astrofyzika.pdf>.) Existují i vnější galaxie, které se při pozorování jeví jako mlhavé skvrny. (Galaxie s velkým „G“ je jméno naší galaxie.)



Obr. 3-9. Schéma naší Galaxie při pohledu z boku: galaktický disk, v němž leží většina hvězd, a galaktické halo, velká koule, ve které jsou prakticky rovnoměrně rozloženy kulové hvězdokupy.

Další strukturou jsou: místní skupiny galaxií, kupy galaxií, nadkupy galaxií. I když je rozložení galaxií v prostoru nerovnoměrné, nadkupy galaxií již tvoří vláknitou či buněčnou strukturu.

objekt	obsahuje	rozměr
galaxie	1 galaxii	30 kpc
skupiny galaxií	30 galaxií	1,5 Mpc
kupy galaxií	10^2 až 10^3 galaxií	10 Mpc
nadkupy galaxií	několik kup	

Platí kosmologický princip: Z hlediska velkých rozměrů – řádově 100 Mpc je vesmír homogenní a izotropní.

Vznik a vývoj vesmíru

Pro dění ve vesmíru je určující gravitační zákon. Přesnější popis zajišťuje obecná teorie relativity. Při vzdálenostech menších než je vzdálenost blízkých galaxií a nepříliš silných gravitačních polích udává gravitační síly s dostatečnou přesností Newtonův všeobecný gravitační zákon. Z řešení Einsteinových rovnic obecné teorie relativity vyplývá, že vesmír nemůže být statický. Existuje teorie, že vesmír se rozpíná od určitého okamžiku – velkého třesku. Rozpínání vesmíru potvrzuje Hubbleův objev vzdalování galaxií. Z Hubbleovy konstanty můžeme určit stáří (dobu rozpínání) vesmíru:

Ve vzdálenosti r se vesmír rozpíná rychlostí vzdálené galaxie $v = H \cdot r$

Pro dobu, za kterou rychlostí v dostane galaxie vzdálenost r platí $t = \frac{r}{v} = \frac{r}{H \cdot r} = \frac{1}{H}$

dosadíme-li za $H = 74 \text{ (km/s)/Mpc}$, vychází $t = 13 \cdot 10^9$ let. (13 miliard let ... ověřte výpočtem.)

Podobná doba (11 až 18 mld let) vychází i s odhadů stáří Sluneční soustavy a doby, která tomu předcházela při vzniku a vývoji prvních hvězd až do jejich výbuchu jako supernovy.

Další nezávislý odhad z průběhu „spalování“ jaderného paliva nejstarších hvězd v Galaxii říká, že vznikly před 11 až 17 mld let.

V roce 1965 bylo objeveno reliktní záření, které odpovídá záření černého tělesa o teplotě 2,7 K. Přichází k nám ze všech směrů. To dobře odpovídá chladnutí při rozpínání vesmíru. Objev reliktního záření se považuje za spolehlivý doklad existence velkého třesku.

Zda se bude vesmír rozpínat donekonečna nebo se rozpínání zvrátí a skončí smršťováním a obrovským kolapsem, závisí na hustotě vesmíru. Tu zatím spolehlivě neznáme.