

# Geochemie

Geochemie studuje zastoupení  
a změny v zastoupení chemických prvků  
v jednotlivých částech Země (a v širším  
pohledu v celém Vesmíru - kosmochemie).

# Hmota a záření

Při vzájemných přeměnách jsou vlastnosti záření a hmotnost vázány známým Einsteinovým vztahem

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

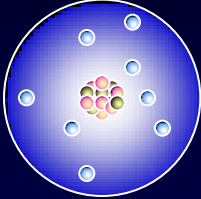
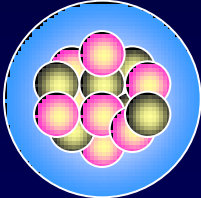
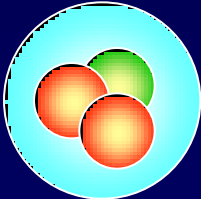
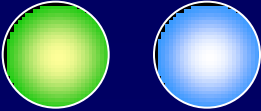
kde  $\Delta E$  je energie záření, které se uvolní při přeměně  $\Delta m$  hmoty na záření a  $c$  je rychlost světla ( $2,998 \times 10^8$  m/s). Frekvence (a tím i vlnová délka) vzniklého záření je pak dána vztahem

$$\Delta E = h \nu$$




kde  $h$  je Planckova konstanta a  $\nu$  je frekvence záření.

Čím větší množství hmoty se přemění na záření, tím vyšší je jeho frekvence, tím kratší je jeho vlnová délka a naopak.

# Struktura hmoty

rozměr	částice		škála v rozměrech e <sup>-</sup>
$10^{-10}$ m	atom		100 000 000
$10^{-14}$ m	jádro		10 000
$10^{-15}$ m	proton, neutron		1 000
$< 10^{-18}$ m	kvark, elektron		1

# Elementární částice

generace	I	II	III
typ	Označení, náboj a hmotnost (GeV/c <sup>2</sup> )		
kvarky	<b><i>u</i> (up)</b> 2/3 0,005 	<b><i>c</i> (charm)</b> 2/3 1,5 	<b><i>t</i> (top)</b> 2/3 175 
	<b><i>d</i> (down)</b> -1/3 0,01 	<b><i>s</i> (strange)</b> -1/3 0,2 	<b><i>b</i> (bottom)</b> -1/3 4,7 
leptony	<b><i>e</i><sup>-</sup> (elektron)</b> -1 0,000511 	<b><i>μ</i><sup>-</sup> (muon)</b> -1 0,106 	<b><i>τ</i><sup>-</sup> (tau)</b> -1 1,7771 
	<b><i>ν</i><sub>e</sub> (e neutrino)</b> 0 < 7×10 <sup>-9</sup> 	<b><i>ν</i><sub>μ</sub> (μ neutrino)</b> 0 < 0,0003 	<b><i>ν</i><sub>τ</sub> (τ neutrino)</b> 0 < 0,03 

Stabilní jsou pouze částice I. generace.  
 Konverze jednotek: 1 GeV/c<sup>2</sup> = 1,783 10<sup>-27</sup> kg

# Hmotnosti a interakce

Částice	Hmotnost (kg)
Elektron	$9,10939 \times 10^{-31}$
Proton	$1,67262 \times 10^{-27}$
Neutron	$1,67493 \times 10^{-27}$

interakce	nosič	působí	základní částice
gravitační	graviton (?)	všechny	leptony
slabá	$w^+, w^-, z^0$	všechny	
elektromagnetická	foton	bez neutrin všechny	kvarky
silná	gluon	všechny	

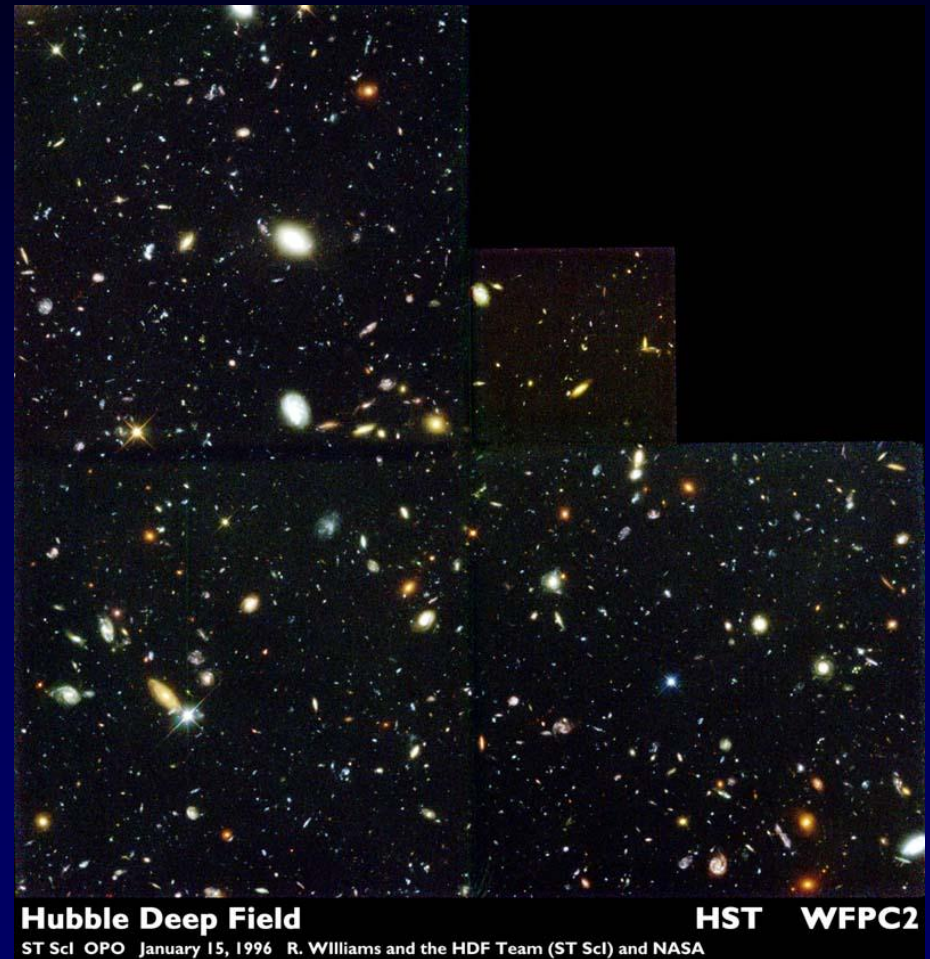
## Složené částice

baryon	kvarky	náboj	hmotnost ( $\text{GeV}/c^2$ )	spin
proton	uud	+1	0,938	1/2
antiproton	<u>uud</u>	-1	0,938	1/2
neutron	udd	0	0,940	1/2

tři kvarky – baryony, dva kvarky – mesony

# Vznik Vesmíru

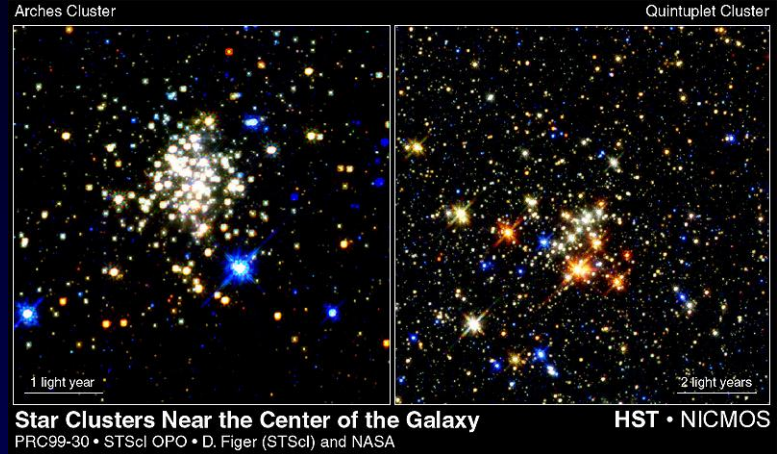
Pozorování Vesmíru – pohled do minulosti (konečná rychlost světla 300 000 km/s).  
Vzdálenost Slunce-Země urazí světlo za 8 minut. Nejbližší hvězda Alpha Centauri vzdálena 4,3 svět. let, nejbližší galaxie v Andromedě 2 miliony svět. let (doba vývoje Homo sapiens). Hubbleův teleskop umístěný na oběžné dráze je schopen pozorovat Vesmír do vzdálenosti několika miliard let – Hubble Deep Field.



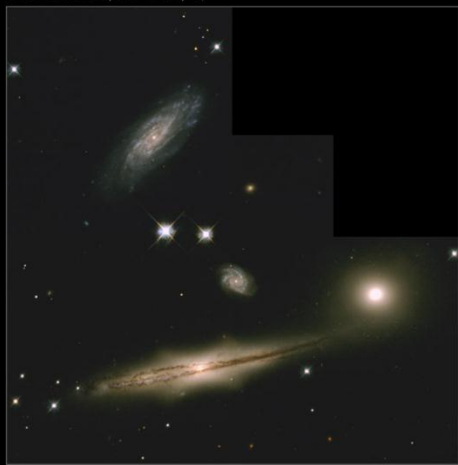


# Struktura

**Vesmír má velkorozměrnou strukturu.** Hvězdy vytvářejí skupiny – galaxie, které vytvářejí kupy s desítkami galaxií. Mléčná dráha s dalšími 30 galaxiemi patří do Lokální kupy – 3 velké spirální galaxie – *Mléčná dráha*, galaxie v Andromedě a M33. Rozměr Lokální kupy – 5 mil. svět. let. Další kupy obsahují až tisíce galaxií a mají rozměry desítek milionů světelných let. Kupy se sdružují do clusterů a superclusterů o rozměrech stovek milionů světelných let.



Hickson Compact Group 87



Hubble  
Heritage

PRC99-31 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

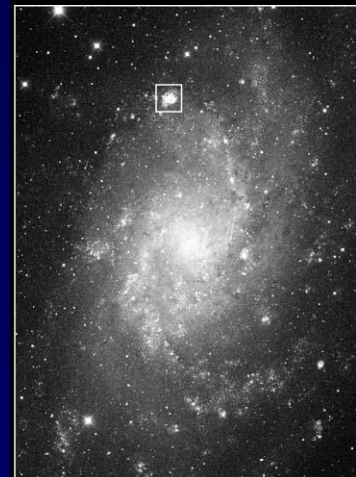


Distant Galaxy Cluster HST • WFPC2



PR94-25 • Office of Public Outreach • December 6, 1994 • ZGL

Palomar



NGC 604 in Galaxy M33

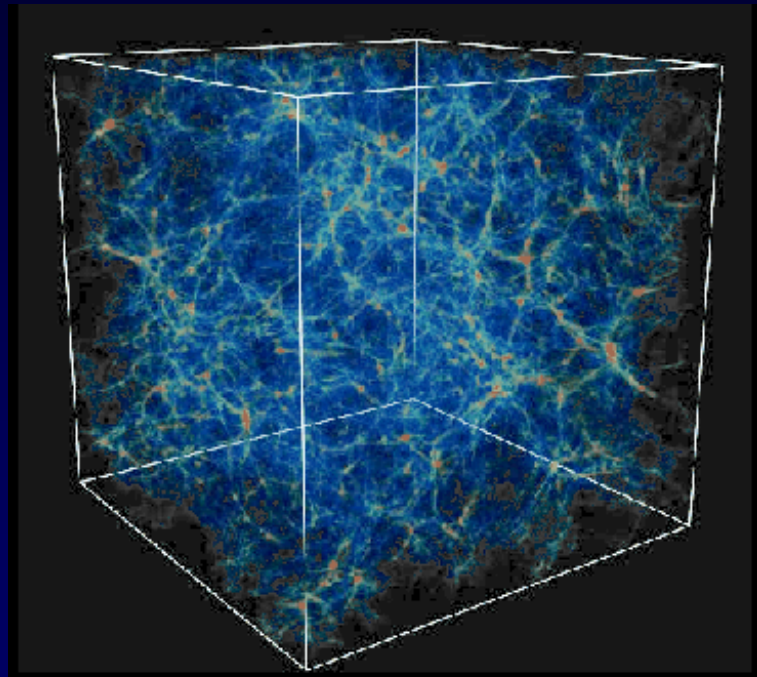
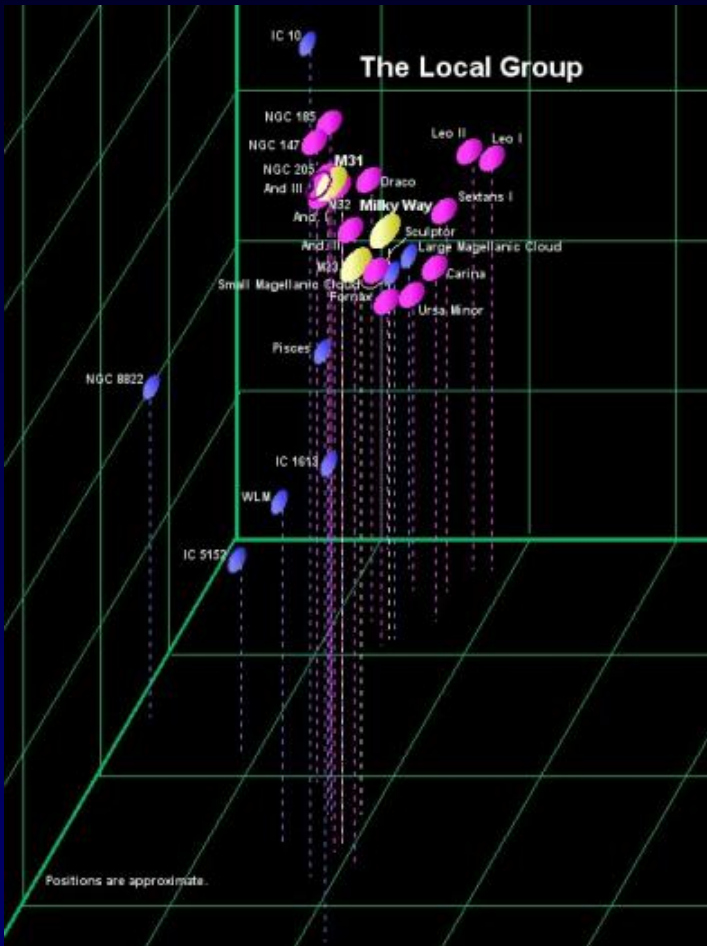
PRC96-27 • ST ScI OPO • August 7, 1996 • Hui Yang (U.I.L) and NASA



HST  
HST • WFPC2

# Velkorozměrná struktura

Naše galaxie Mléčná dráha spolu s dalšími asi 30 galaxiemi tvoří Lokální skupinu galaxií.



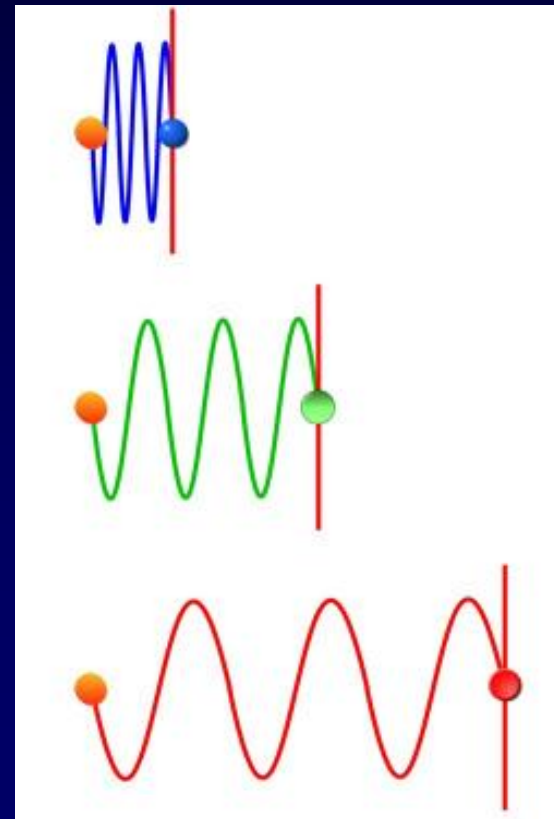
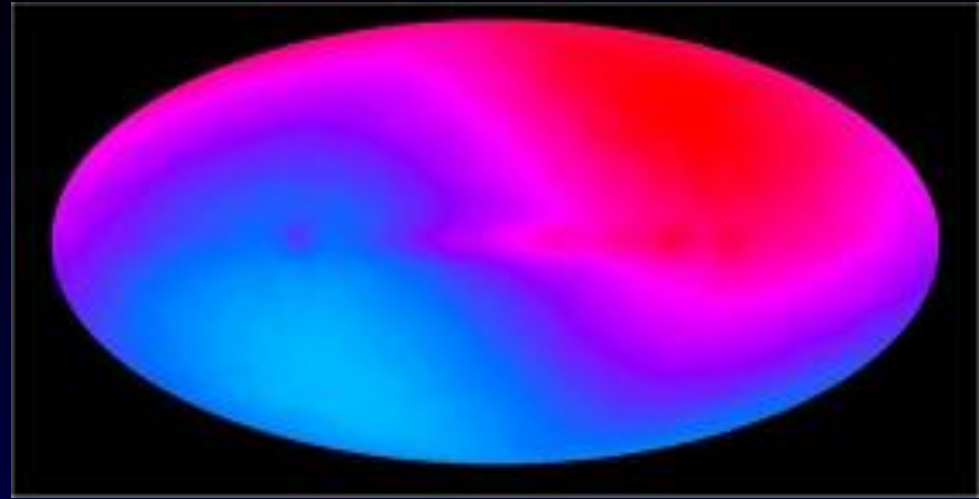
Skupiny a superskupiny galaxií pak vytvářejí velkorozměrnou strukturu Vesmíru. Na obrázku je počítačová simulace velkorozměrné struktury Vesmíru, v níž je hmota rozmístěna velmi nerovnoměrně jakoby na hranicích „mýdlkových bublin“.



# Pozadí

**Vesmír se mění.** Dvacátá léta – Edwin Hubble: všechny objekty se vzájemně vzdalují.

**Kosmické mikrovlnné záření v pozadí.** Šedesátá léta – z celého okolního Vesmíru přichází uniformní mikrovlnné záření (2,7 K).



# Vývoj

otevřený

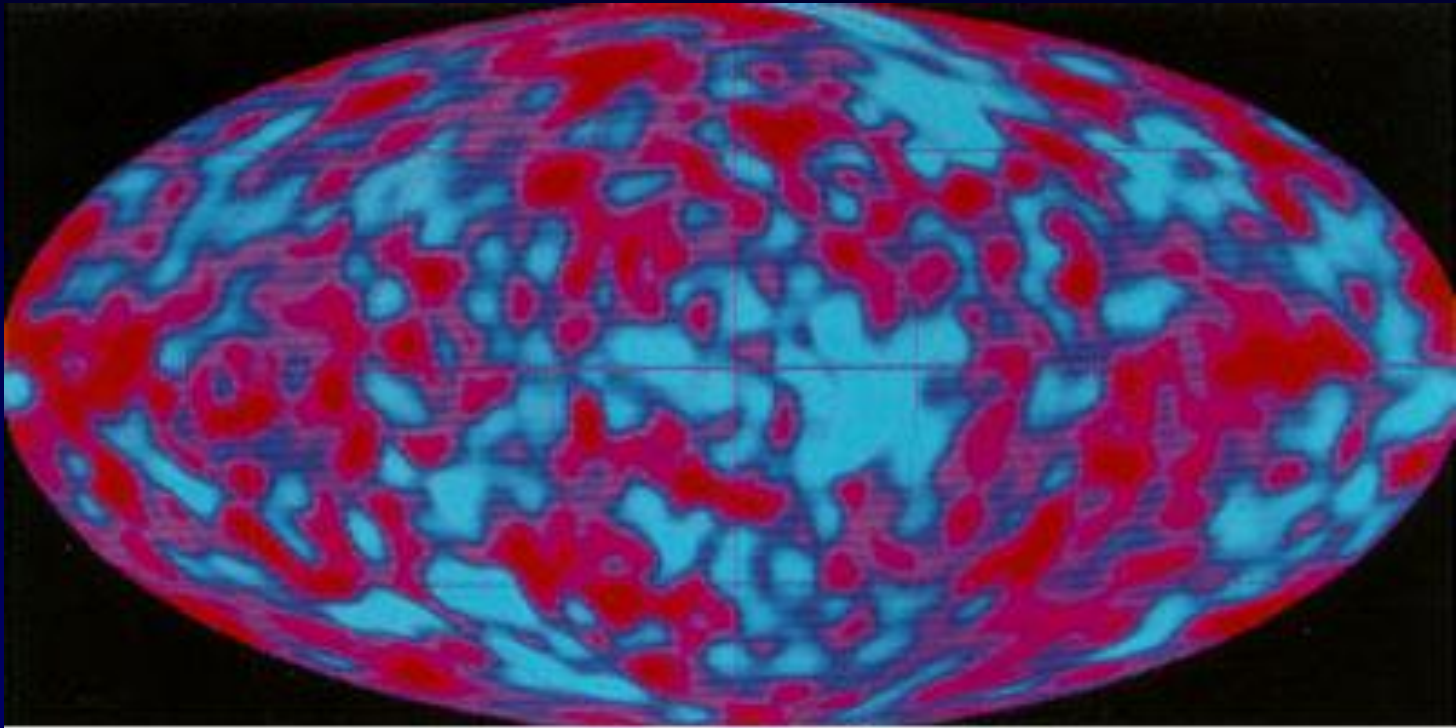
uzavřený

t	stav	složení
0	singularita, začíná expanze	
$10^{-24}$ s	malý ohnivý kotouč – $10^{12}$ K	kvarková polévka
$10^{-8}$ – $10^{-4}$ s	hadronová éra	protony a neutrony
1s	leptonová éra	elektrony + neutrína
$10^6$ let	éra záření	
$\sim 15 \times 10^9$ let – současnost	éra hmoty	



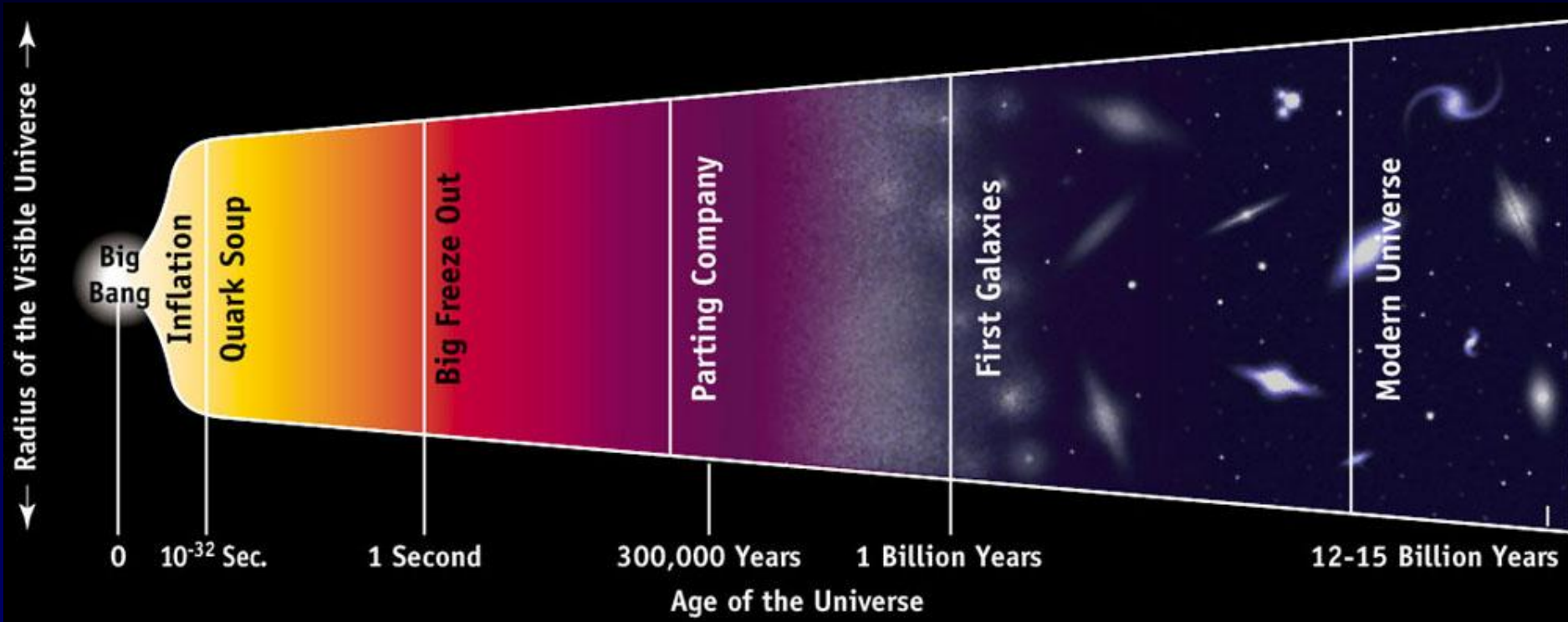
# COBE

Původní hmota složená z atomů vodíku a helia byla distribuována nehomogenně. Vlastní gravitační síly v částech Vesmíru s vyšší hustotou atomů vedly ke gravitačnímu stažení hmoty a ke vzniku první generace hvězd.



Ranný Vesmír jak jej zachytil COBE (Cosmic Background Explorer). Z nehomogenně distribuovaných atomů vodíku a helia pravděpodobně vznikla první generace hvězd gravitačním stažením.

# Big Bang



# Zrození hvězd



Mlhoviny Orla, Laguny a Orionu. Jsou to oblasti v naší galaxii Mléčná dráha s vyšší hustotou hmoty, ve kterých dochází ke vzniku hvězd. Všechny vykazují přítomnost těžších prvků, prachu a struktur, které pravděpodobně podléhají dalšímu přerozdělení v prostoru za vzniku protohvězd.



Detail sloupcovitých útvarů tvořených plynem a prachovými částicemi s nově vzniklými hvězdami v mlhovině Orla. Nejvyšší sloupec vlevo je jeden světelný rok vysoký. Tato oblast v souhvězdí Hada je vzdálená 7 000 světelných let.



# Zrození hvězd



**30 Doradus in the Large Magellanic Cloud**  
**Hubble Space Telescope • WFPC2**

NASA, N. Walborn (STScI), J. Maíz-Apellániz (STScI), and R. Barbá (La Plata Observatory, Argentina) • STScI-PRC01-21



# Smrt hvězd



**Henize 1357 • Stingray Nebula**  
PRC98-15 • ST ScI OPO • April 2, 1998  
M. Bobrowsky (Orbital Sciences Corp.) and NASA

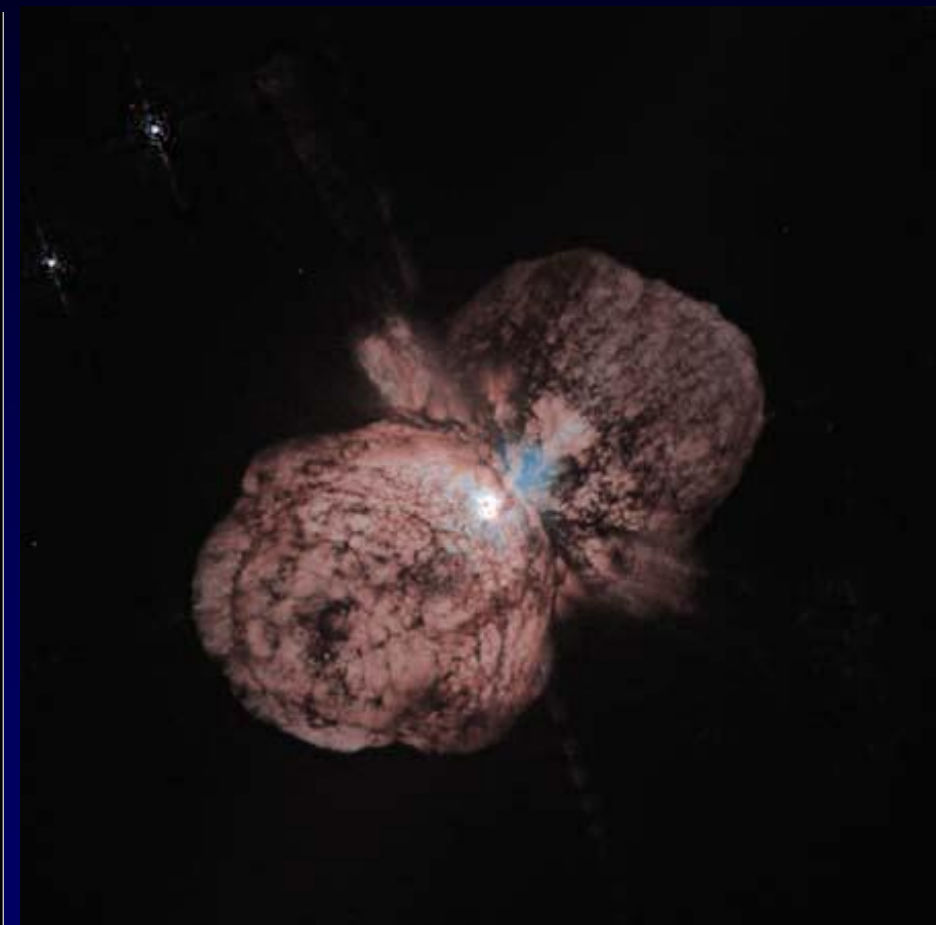
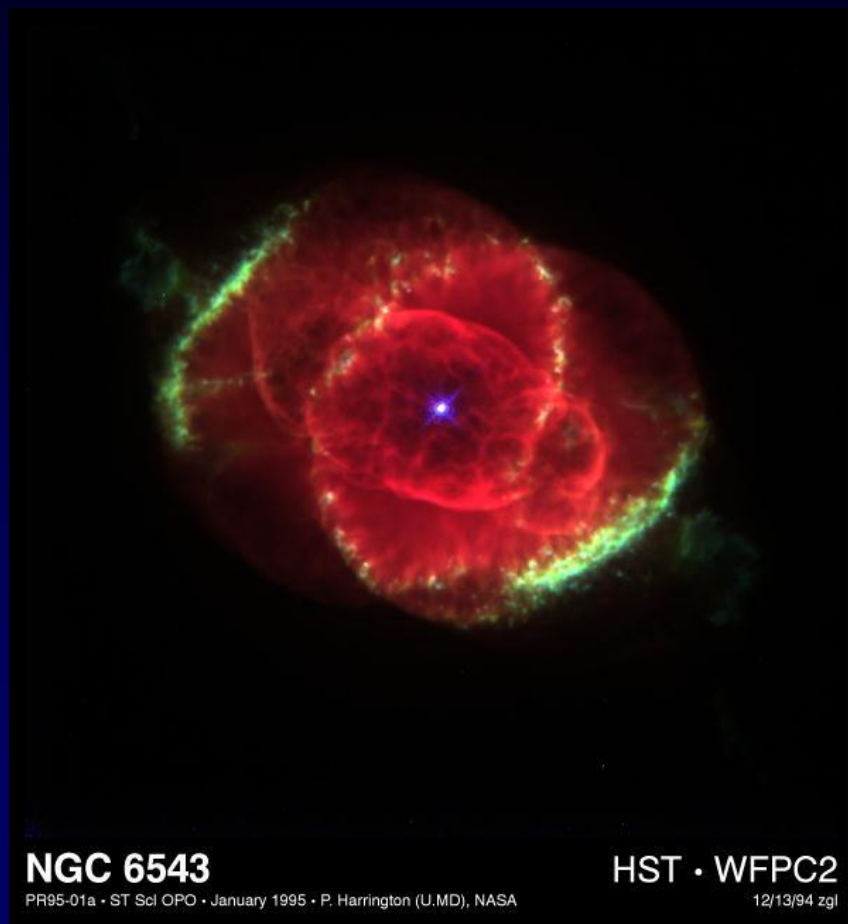
HST • WFPC2



**Planetární nebula NGC 7027**

Konečná stádia života hvězdy s průměrnou hmotností.

# Smrt hvězd



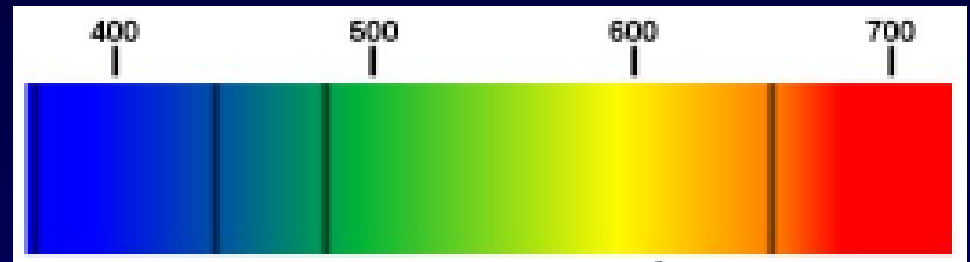
# Chemické složení – jak zjistíme

nepřímo ze spektrálních údajů

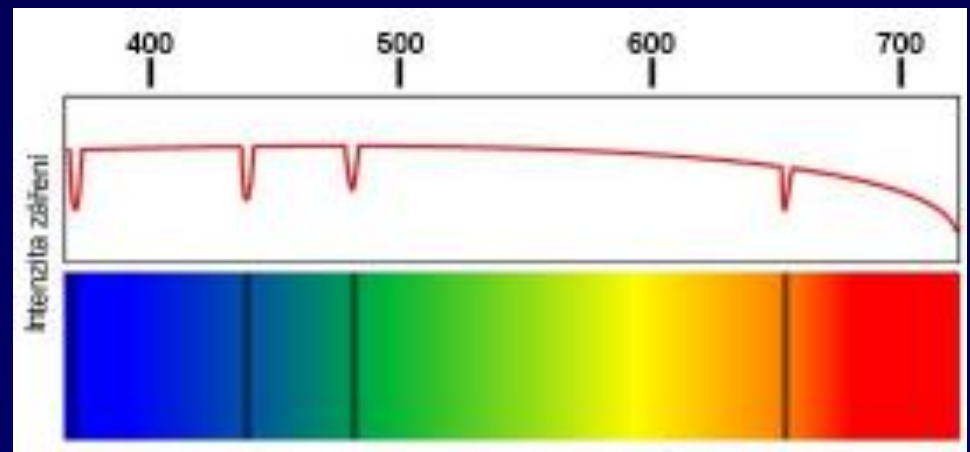
Emisní spektrum



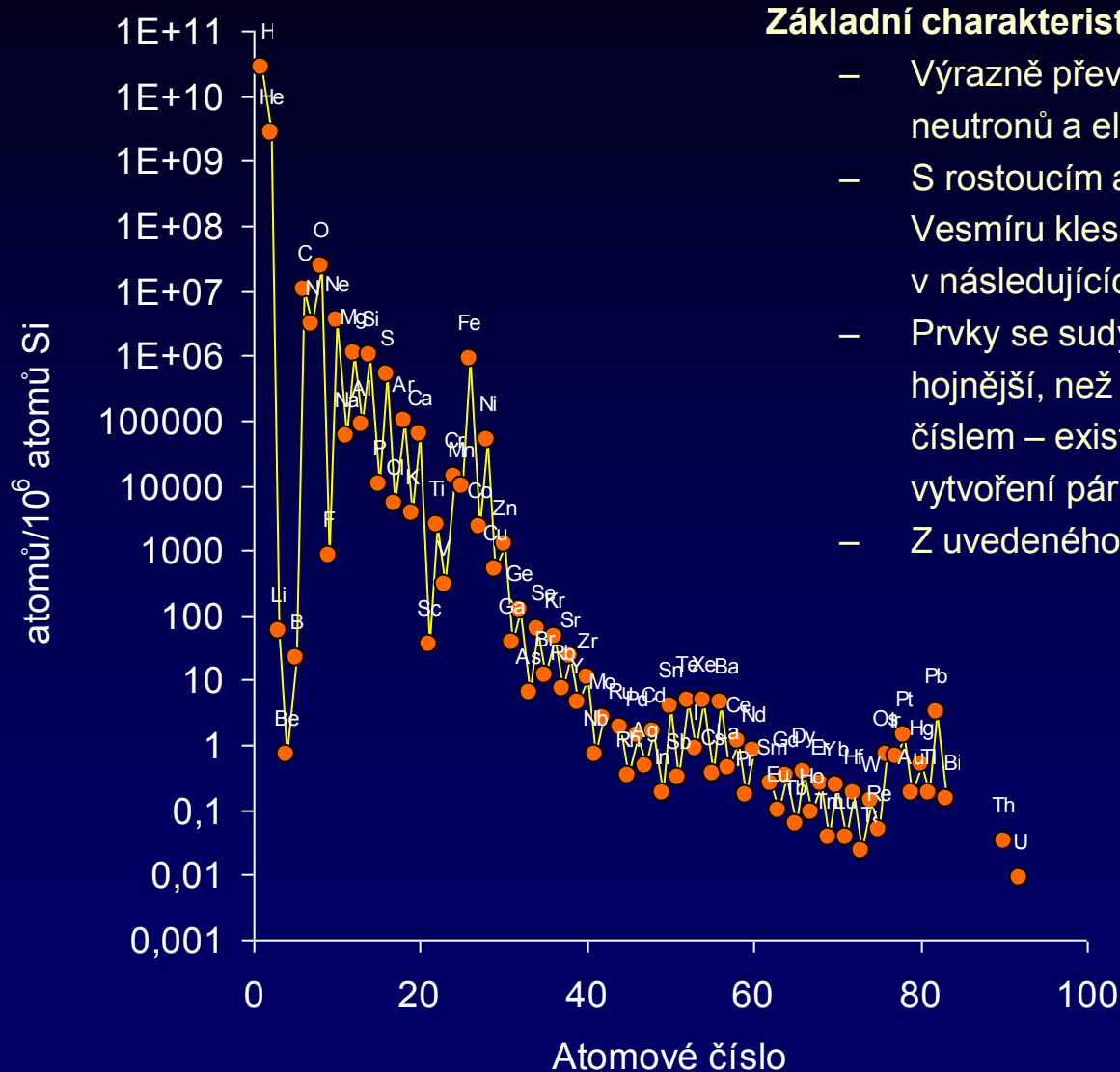
Absorpční spektrum



Intenzita záření



# Chemické složení



## Základní charakteristika:

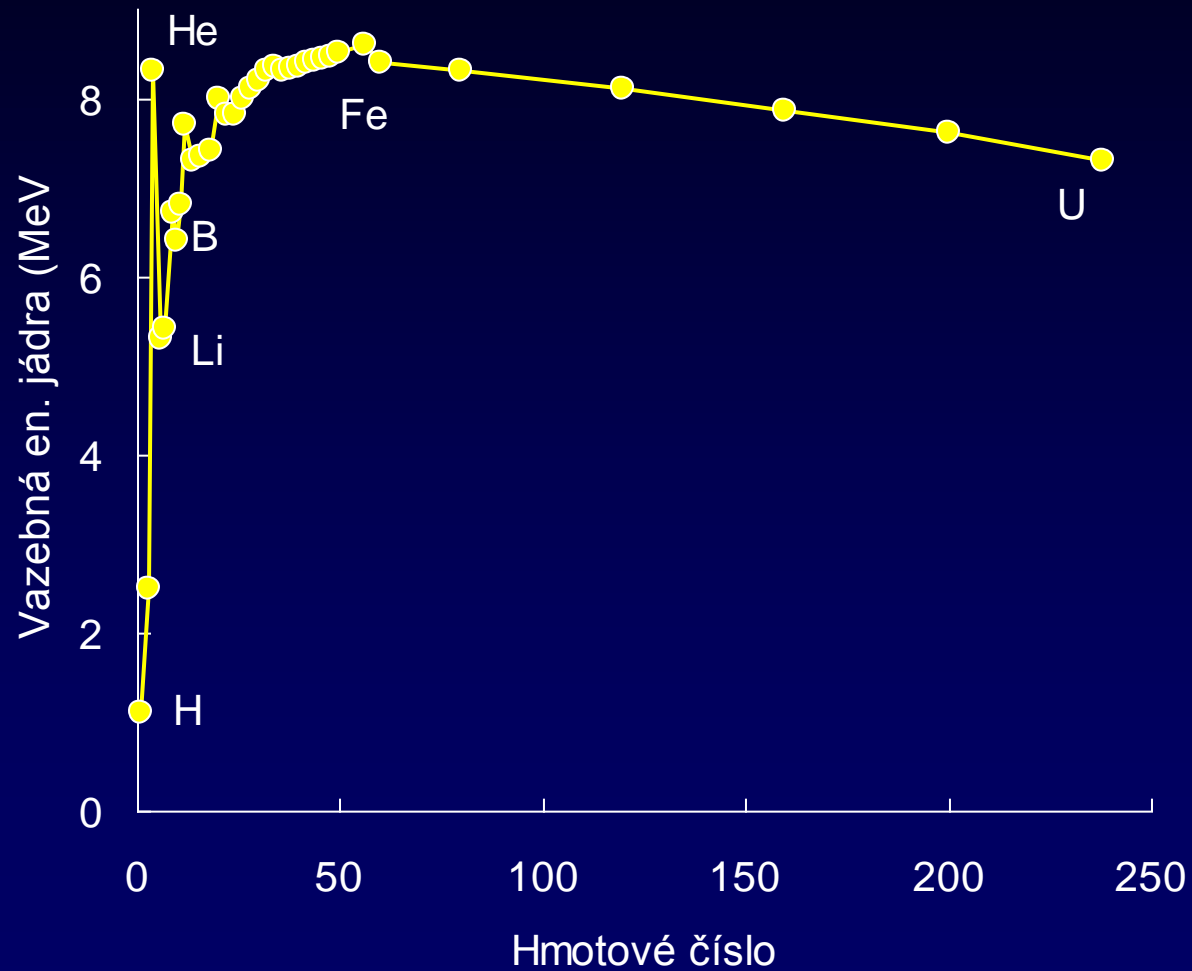
- Výrazně převládají H a He – vznikly z protonů, neutronů a elektronů po Velkém třesku.
- S rostoucím atomovým číslem zastoupení prvků ve Vesmíru klesá – ostatní prvky vznikly až v následujících fázích vývoje Vesmíru ve hvězdách.
- Prvky se sudým atomovým číslem jsou ve Vesmíru hojnější, než sousedící prvky s lichým atomovým číslem – existuje celá řada vysvětlení například že vytvoření párů zvyšuje stabilitu jádra.
- Z uvedeného trendu se vymykají tři skupiny prvků:

Li, Be, B, jejichž zastoupení je výrazně nižší – obecně je možných několik vysvětlení: buď jsou uvedené prvky meziproductem při nukleosyntéze těžších prvků a po jejich vzniku jsou zase spotřebovávány nebo vznikly po spolu s H a He po Velkém třesku a v současnosti již ve Vesmíru nevznikají, nebo je to způsobeno nízkou stabilitou jádra.

Prvky z okolí Fe, jejichž zastoupení je výrazně vyšší – tyto prvky mají nejstabilnější jádra

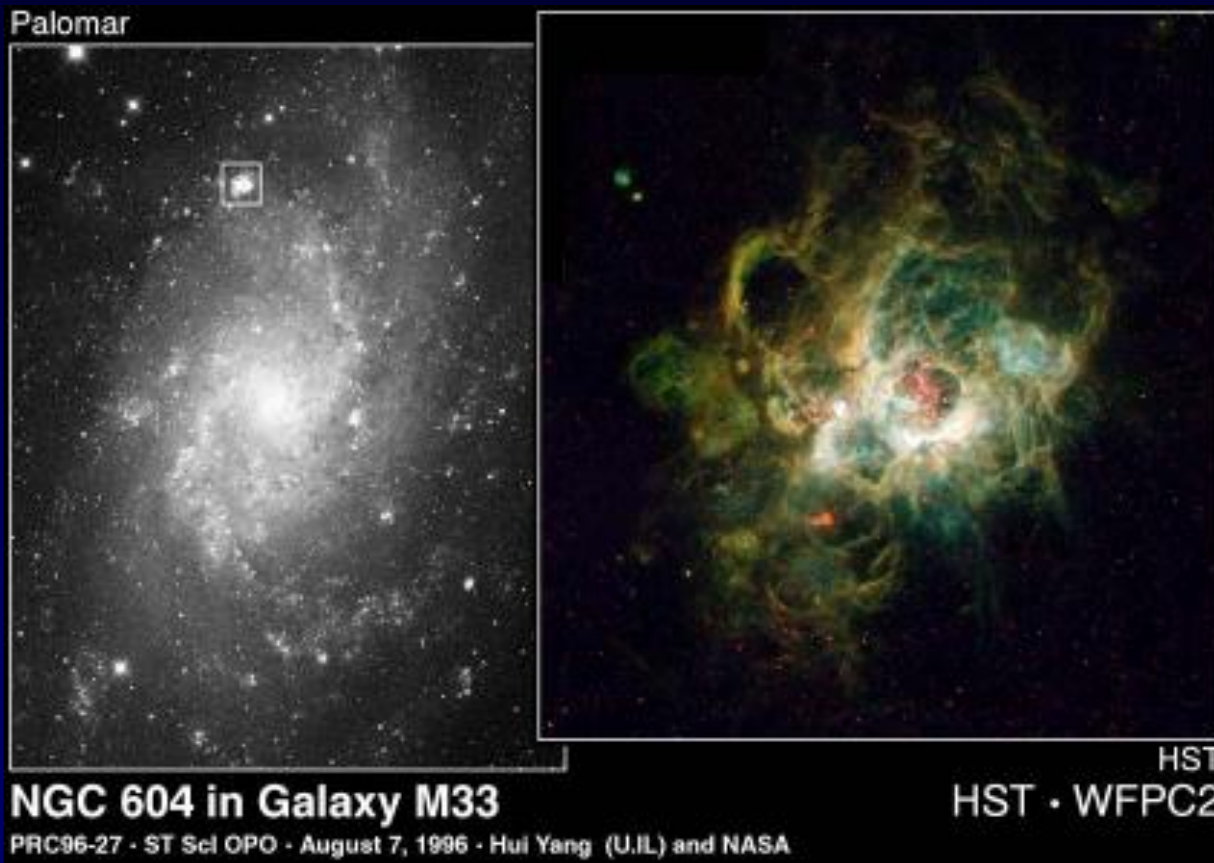
Prvky z okolí Pb – jsou produktem radioaktivního rozpadu těžkých prvků (například U a Th)

# Energie jader



# Vnitřní vývoj hvězd

Hvězdy vznikají při gravitačním stažení vesmírných plynů a prachových částic (v raném Vesmíru pouze atomů vodíku a helia). Pokud je hmotnost takového objektu dostatečná, pak dojde k jeho zahřátí na teploty milionů K a nastartování termojaderné (nukleární) syntézy.



Snímek z Hubblova teleskopu zachycuje oblast velké mlhoviny NGC 604 (vpravo) v sousední galaxii M33 (vlevo). Tato mlhovina je vzdálena 2,7 milionu světelných let a leží v souhvězdí Trojúhelníka. Je to oblast vzniku nových hvězd v jednom z ramen spirální galaxie M33.



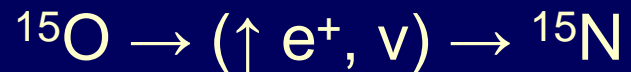
# Nukleární reakce – lehké hvězdy

p-p proces

(hoření vodíku – 10 milionů K):



CNO cyklus:



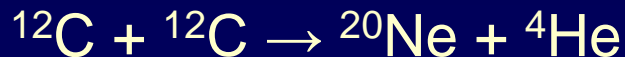
# Nukleární reakce – těžké hvězdy

další prvky

hoření helia – 100 milionů K



hoření uhlíku – 500 milionů K



hoření kyslíku – 1 miliarda K



hoření křemíku – *e-proces*  
(equilibrium)



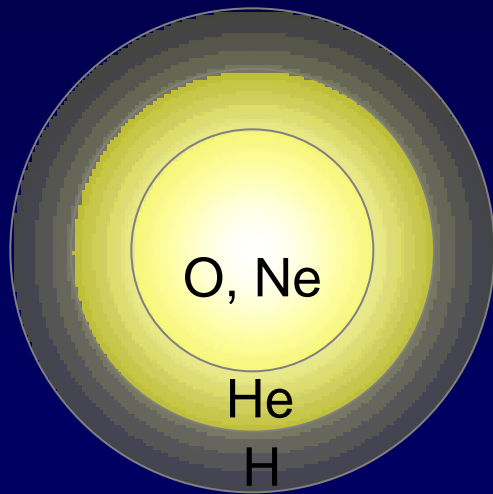
# Těžké prvky - vznik

pomalý záchyt neutronů – *s-proces* (slow)

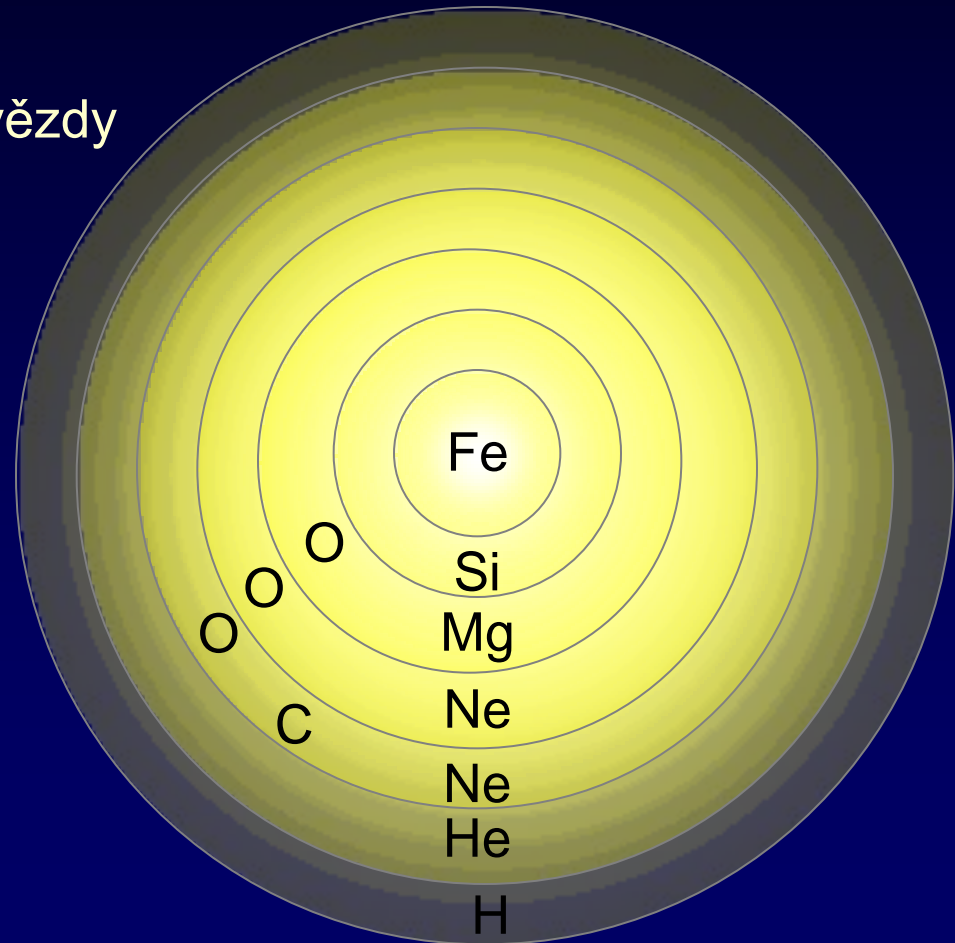
rychlý záchyt neutronů – *r-proces* (rapid) – následně  $\beta^-$  rozpad

záchyt protonů – *p-proces*

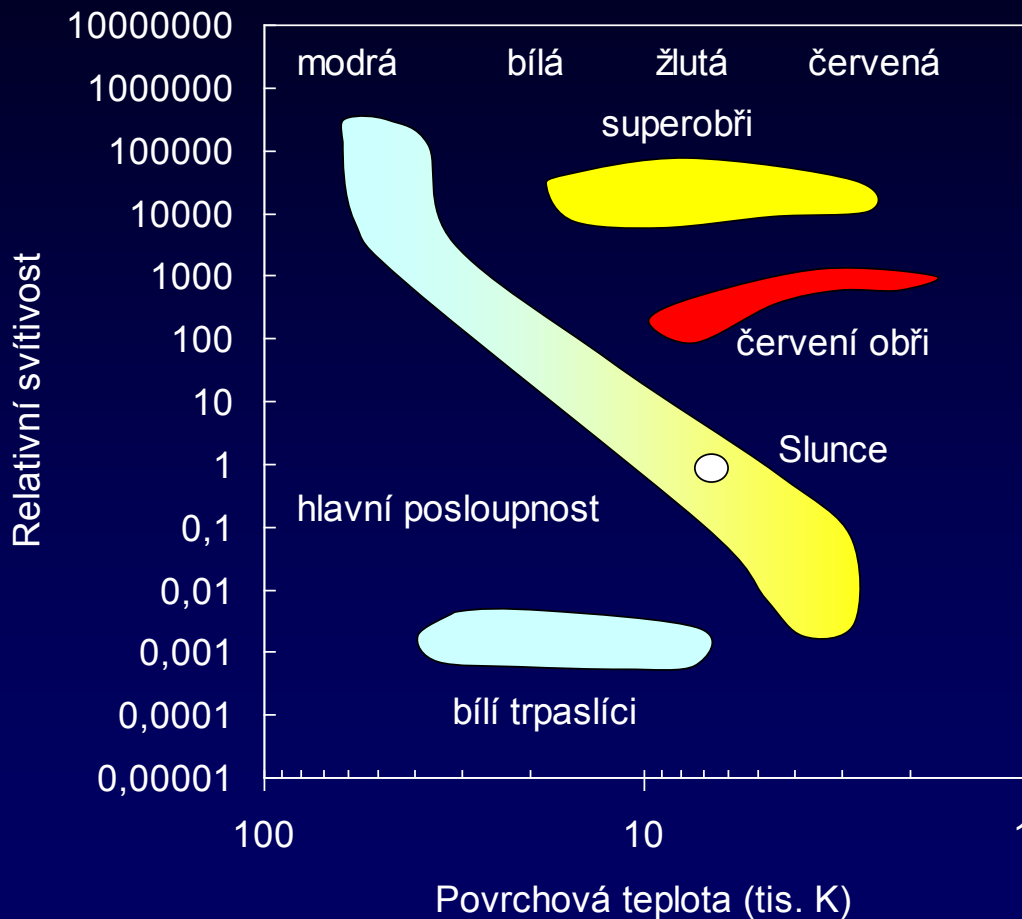
malé hvězdy



velké hvězdy




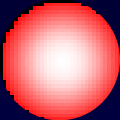


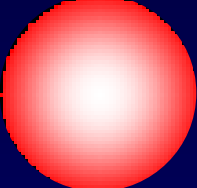

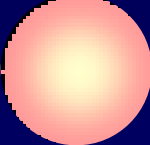
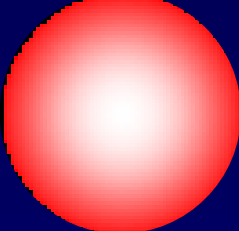

# Hlavní posloupnost



Záhy po zformování hvězdy dojde k vytvoření rovnováhy mezi gravitačními silami, které materiál hvězdy stahují do středu a tlakem záření a uvolňovaných částic, které vznikají při nukleosyntéze a směřují ven. Hvězda se nachází ve stabilním stavu. Hmotnosti hvězdy odpovídá relativní svítivost a povrchová teplota.

Hertzsprung-Russellův diagram vztahu mezi povrchovou teplotou a relativní svítivostí hvězd. 90% hvězd se nachází na hlavní posloupnosti. Většinu doby života tráví hvězdy v oblasti hlavní posloupnosti.

# Vývoj hvězd - přehled

Hvězda	Stabilní	Závěr	Konec	Výsledek
Malá				Bílý trpaslík
Střední				Neutronová hvězda
Obří				Černá díra

Jak ubývá „paliva“, tak postupně klesá intenzita nukleosyntézy a tlak záření a částic slábne až nakonec nejsou schopny vyrovnávat tlak gravitačních sil. Další osud hvězdy pak závisí na její hmotnosti.

# Vývoj hvězd – jedna hvězda

Předpokládaný časový vývoj hvězdy o hmotnosti 25 našich Sluncí.

