

Geochemie

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

www.sci.muni.cz/~jzeman



Hmota a záření

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

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

kde ΔE je energie záření, které se uvolní při přeměně Δm 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

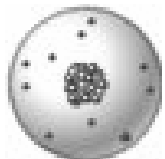
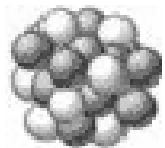

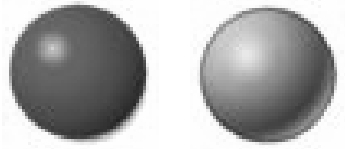
$$\Delta E = h \nu$$

kde h je Planckova konstanta a ν 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 ⁻
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 ²)		
kvarky	<i>u</i> (up) 2/3 0,005 	<i>c</i> (charm) 2/3 1,5 	<i>t</i> (top) 2/3 175 
	<i>d</i> (down) -1/3 0,01 	<i>s</i> (strange) -1/3 0,2 	<i>b</i> (bottom) -1/3 4,7 
leptony	<i>e</i> ⁻ (elektron) -1 0,000511 	<i>μ</i> ⁻ (muon) -1 0,106 	<i>τ</i> ⁻ (tau) -1 1,7771 
	<i>ν</i> _e (e neutrino) 0 < 7×10 ⁻⁹ 	<i>ν</i> _μ (μ neutrino) 0 < 0,0003 	<i>ν</i> _τ (τ neutrino) 0 <0,03 

Stabilní jsou pouze částice I. generace.
Konverze jednotek: 1 GeV/c² = 1,783 10⁻²⁷ 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 na	základní částice
gravitační	graviton (?)	všechny	leptony
slabá	w^+ , w^- , z^0	všechny	
elektromagnetická	foton	bez neutrin všechny	kvarky
silná	gluon	všechny	

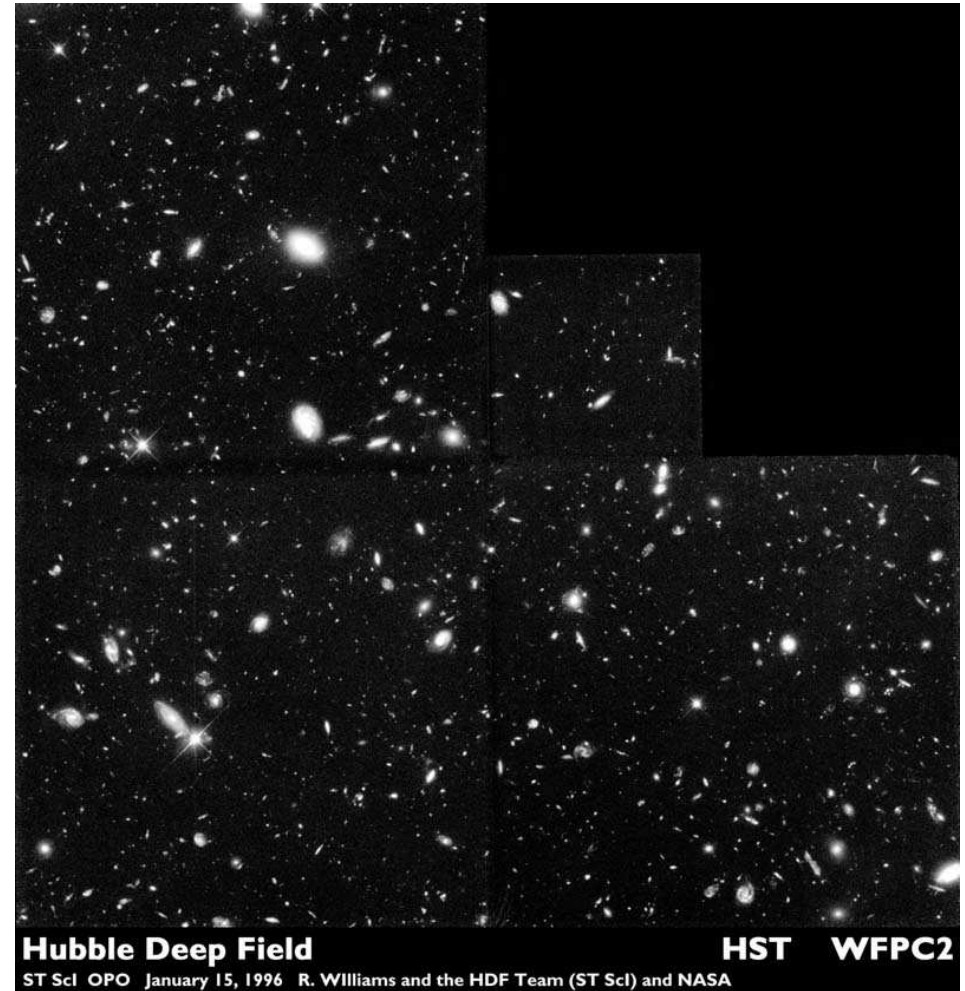
Složené částice

baryon	kvarky	náboj	hmotnost (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

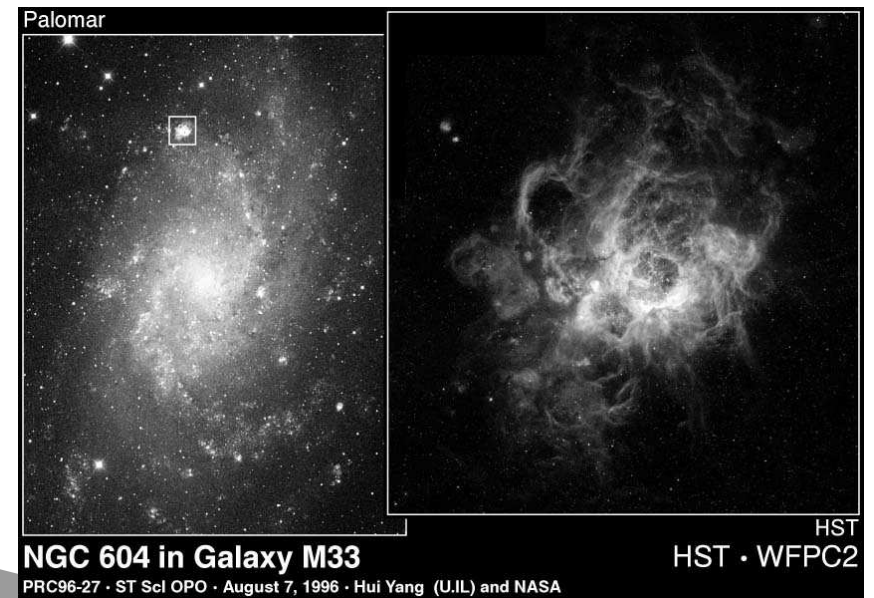
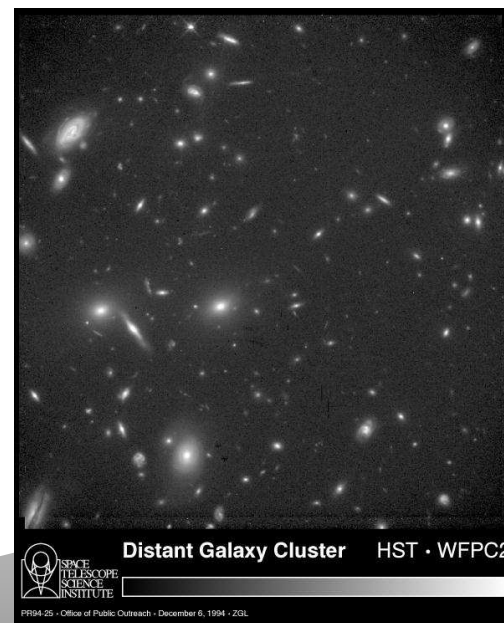
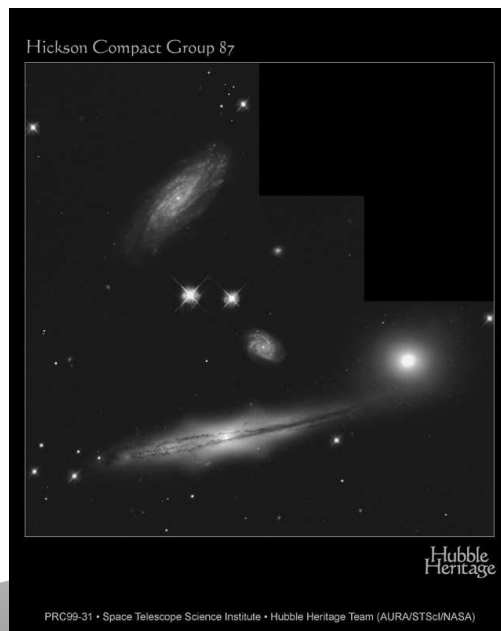
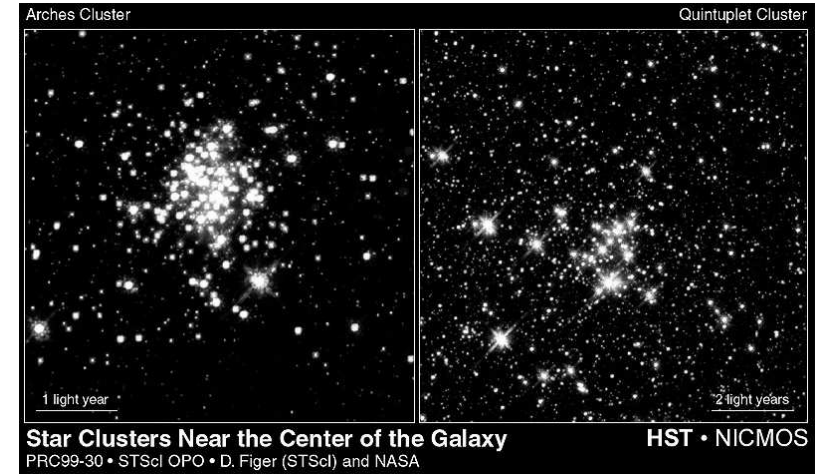
Vznik Vesmíru

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*.



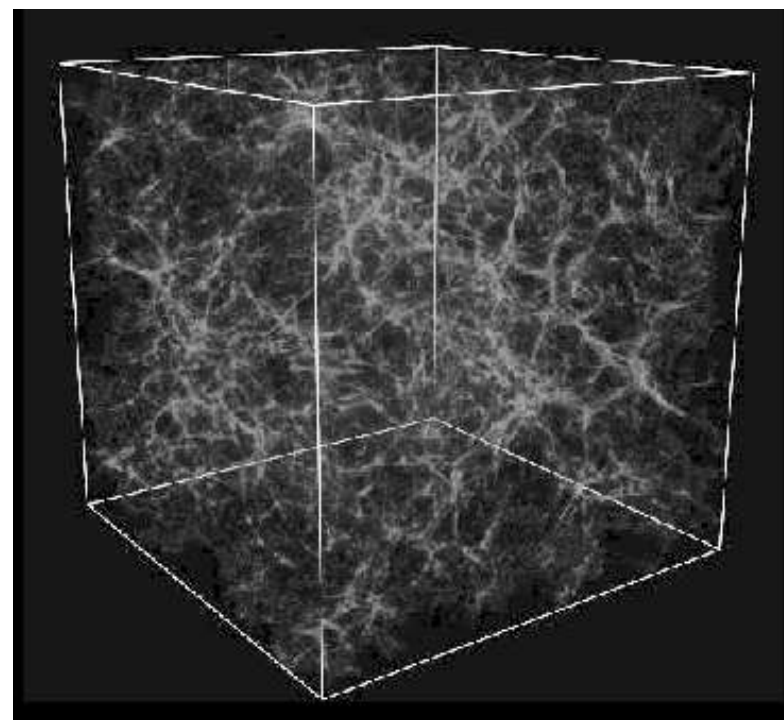
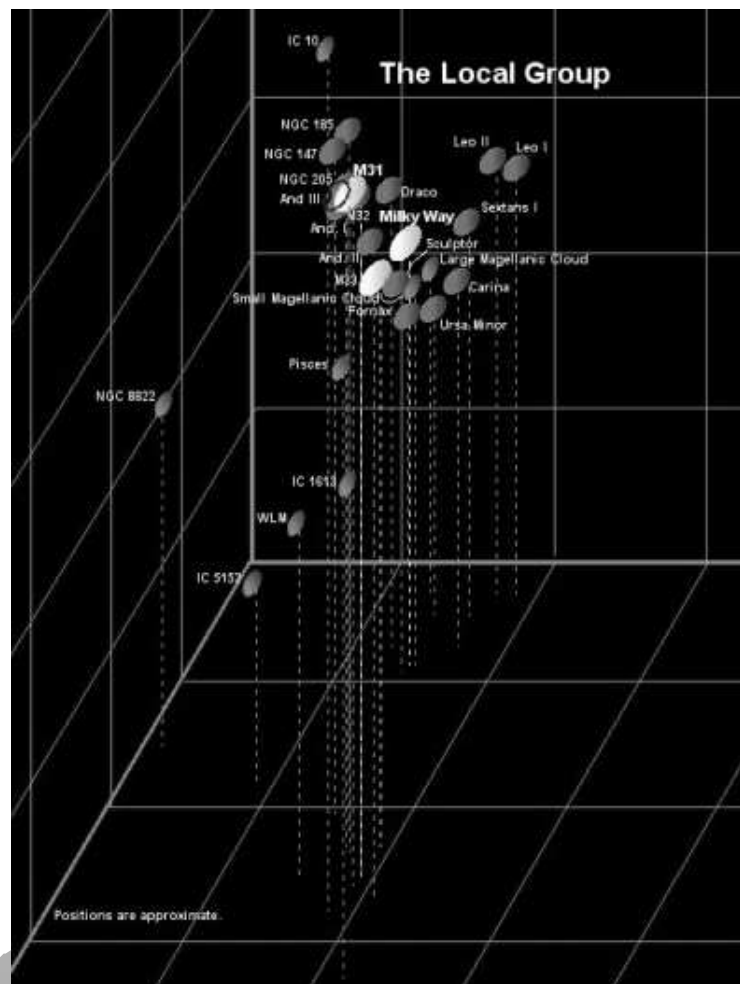
Struktura

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.



Velkorozměrná struktura

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

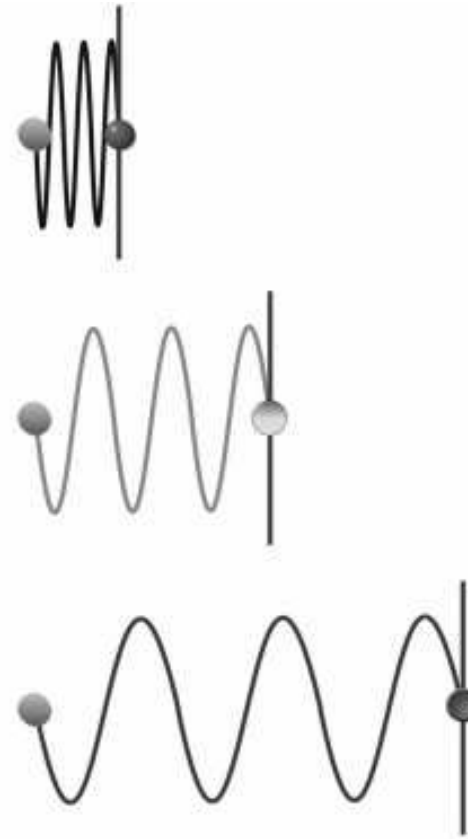
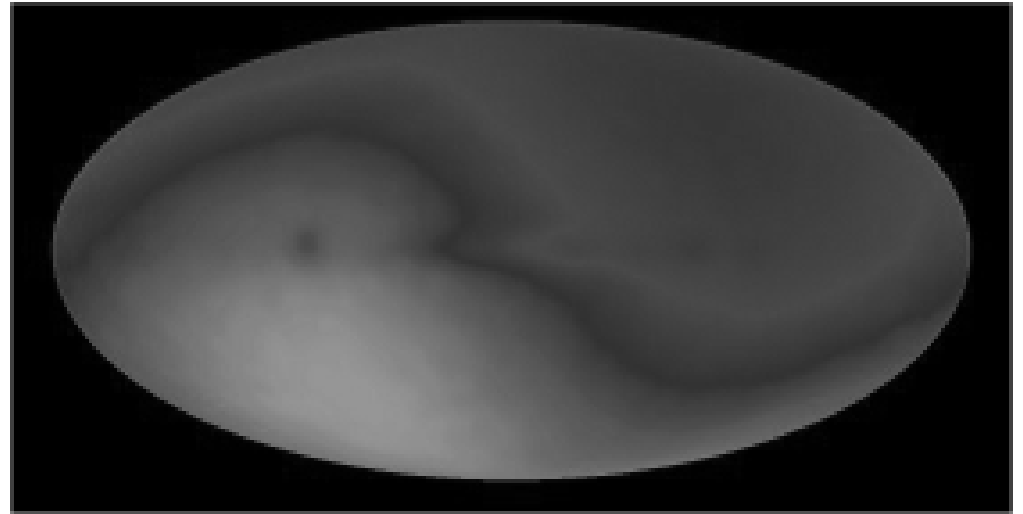


Skupiny a superskupiny galaxií pak vytvářejí velkorozměrnou strukturu Vesmíru. Na obrázku je počítačová simulace velkorozměrné struktury Vesmíru, v níž je hmota rozmístěna velmi nerovnoměrně jakoby na hranicích „mýdlkových bublin“.

Pozadí

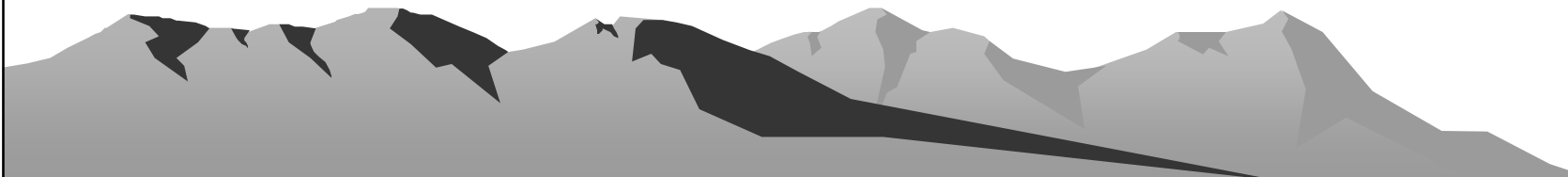
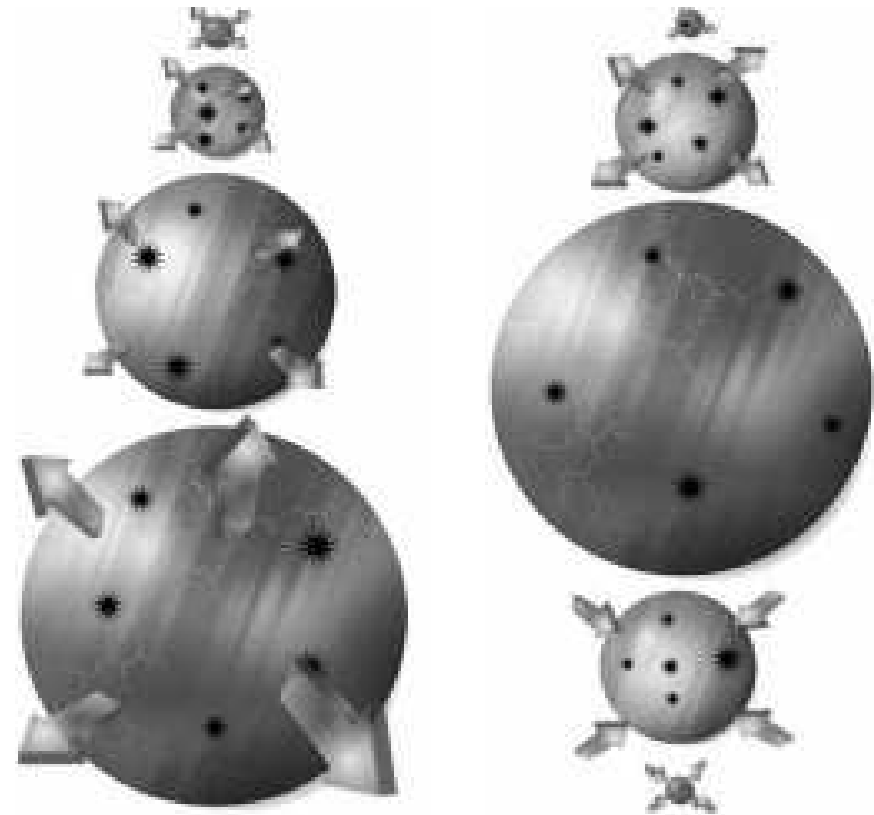
Vesmír se mění. Dvacátá léta – Edwin Hubble: všechny objekty se vzájemně vzdalují.

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



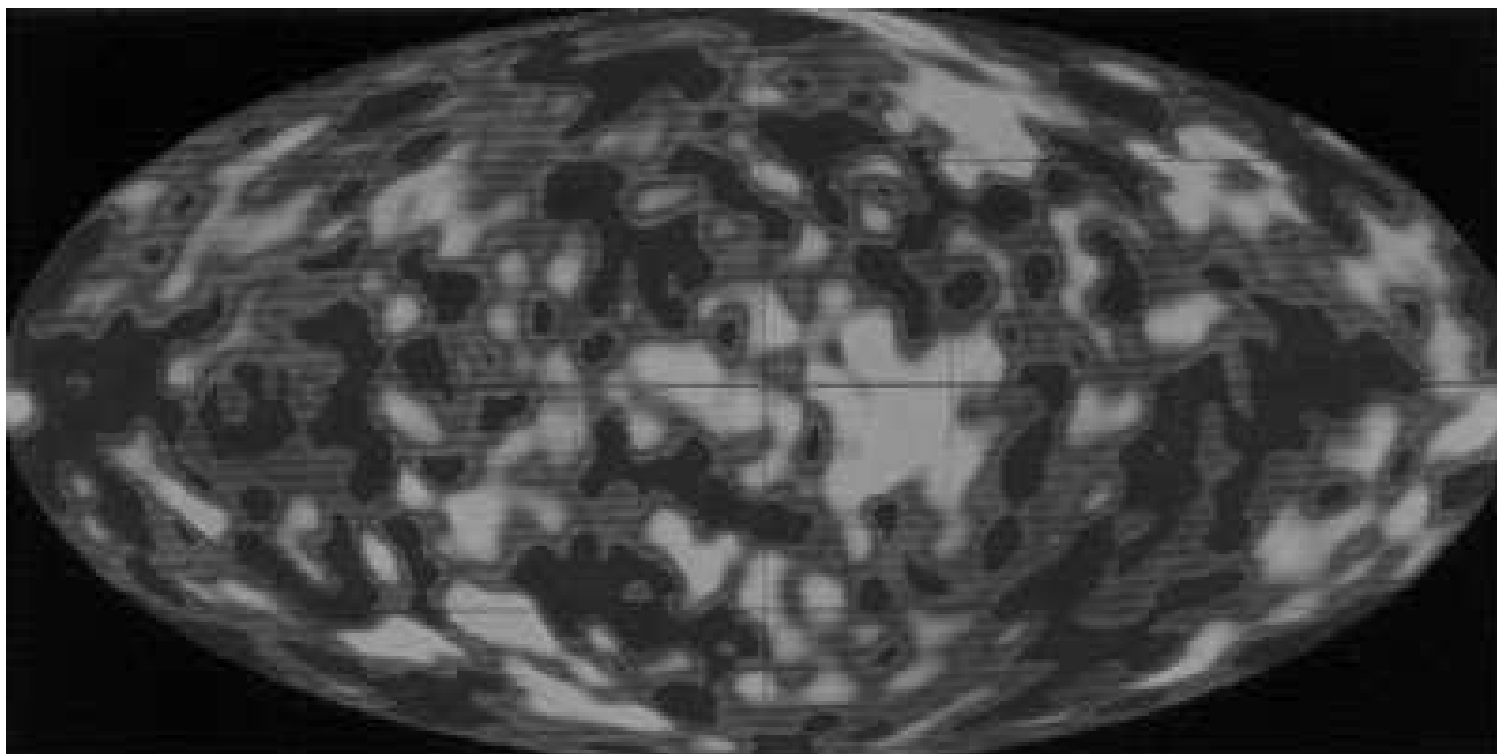
Vývoj

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	éra hmoty – současnost	



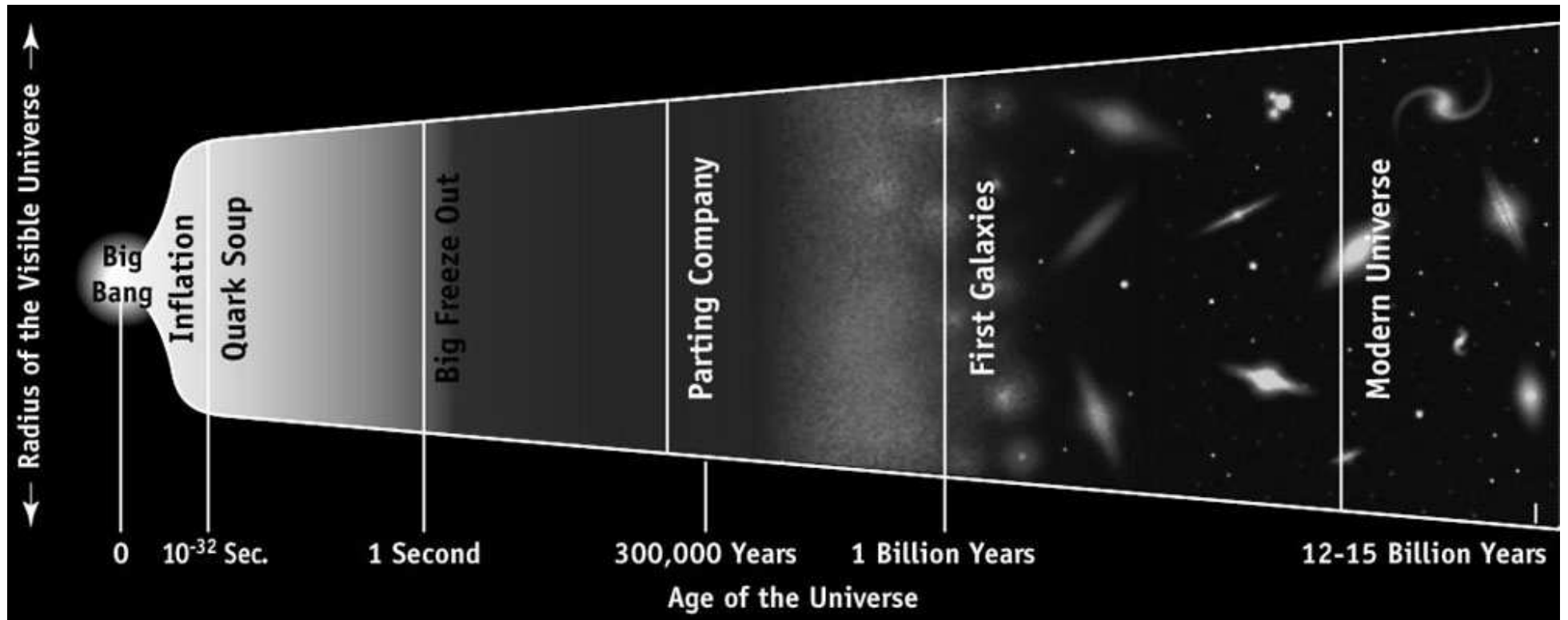
COBE

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.

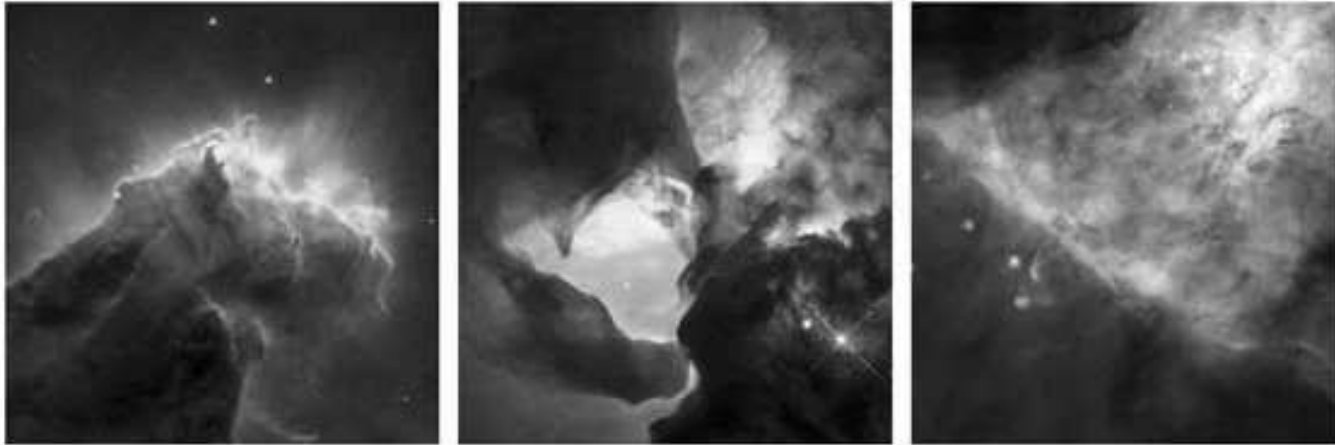


Ranný Vesmír jak jej zachytil COBE (Cosmic Background Explorer). Z nehomogenně distribuovaných atomů vodíku a helia pravděpodobně vznikla první generace hvězd gravitačním stažením.

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 prachovitými 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.

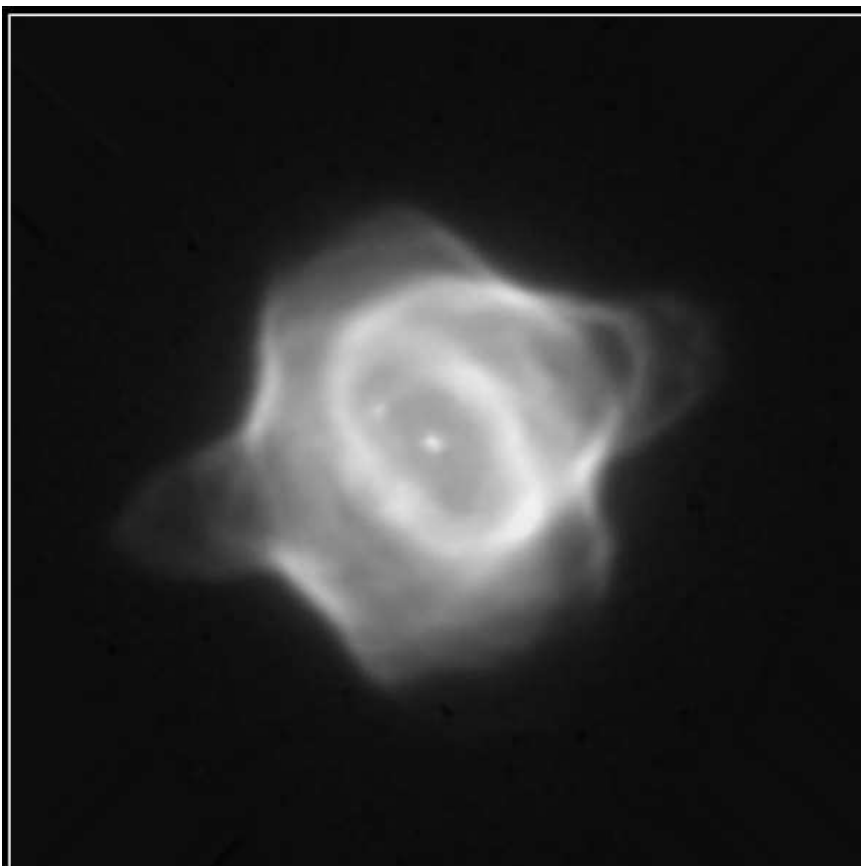
Zrození hvězd



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

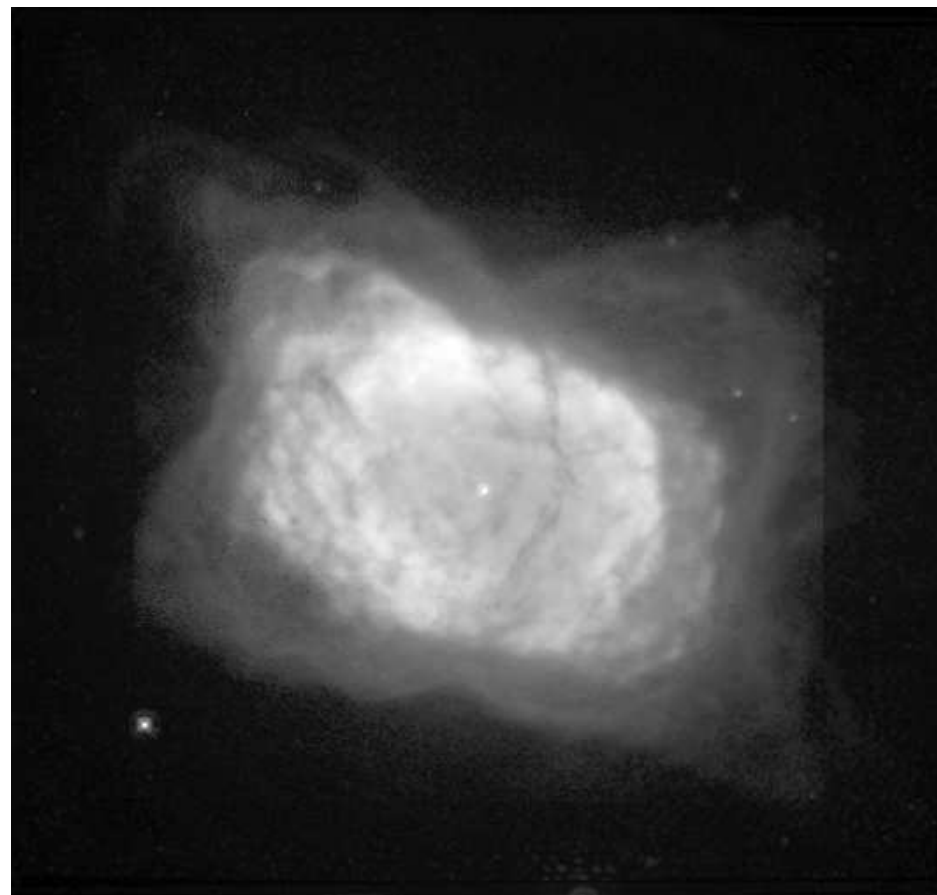
NASA, N. Walborn (STScI), J. Maiz-Apellániz (STScI), and R. Barbá (La Plata Observatory, Argentina) • STScI-PRC01-21

Smrt hvězd



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

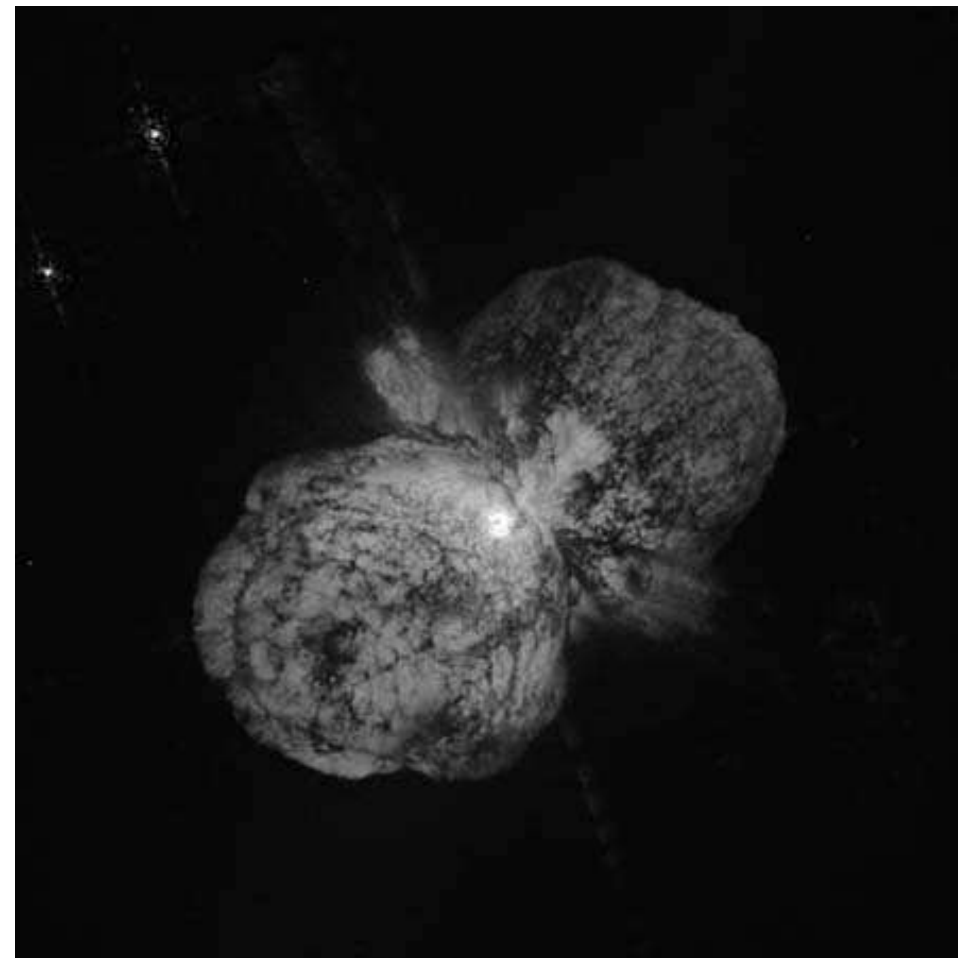
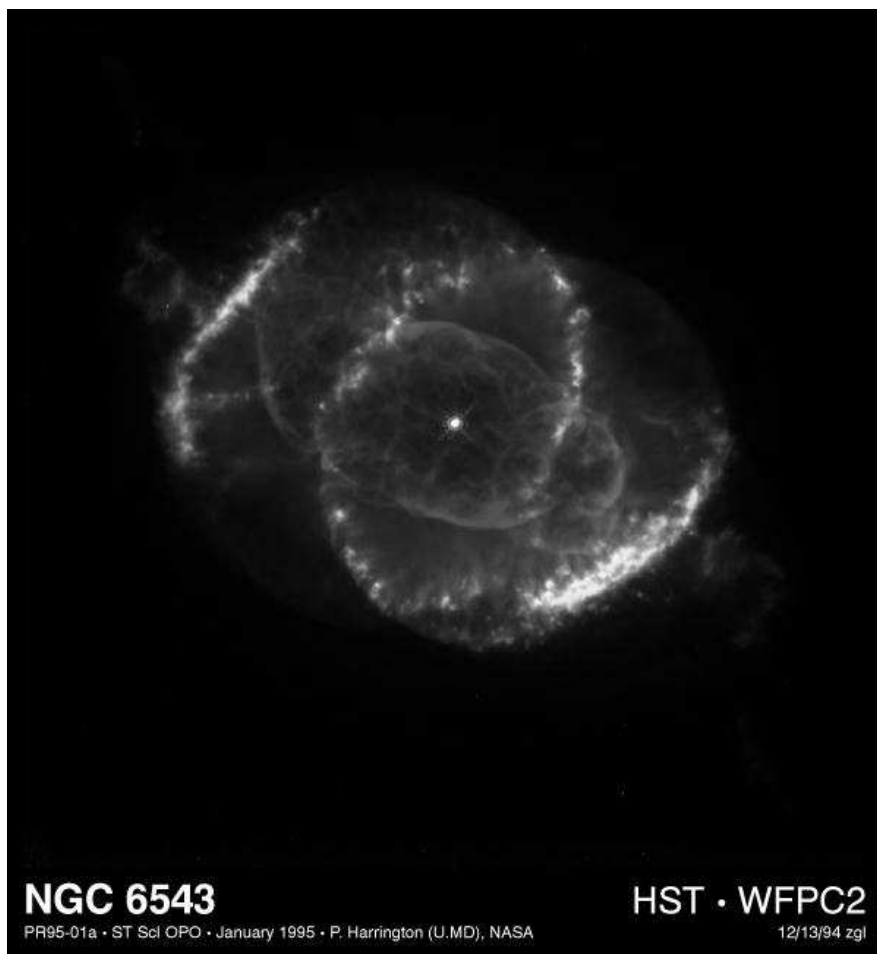
HST • WFPC2



Planetární nebula NGC 7027

Konečná stádia života hvězdy s průměrnou hmotností.

Smrt hvězd



Chemické složení – jak zjistíme

nepřímo ze spektrálních
údajů

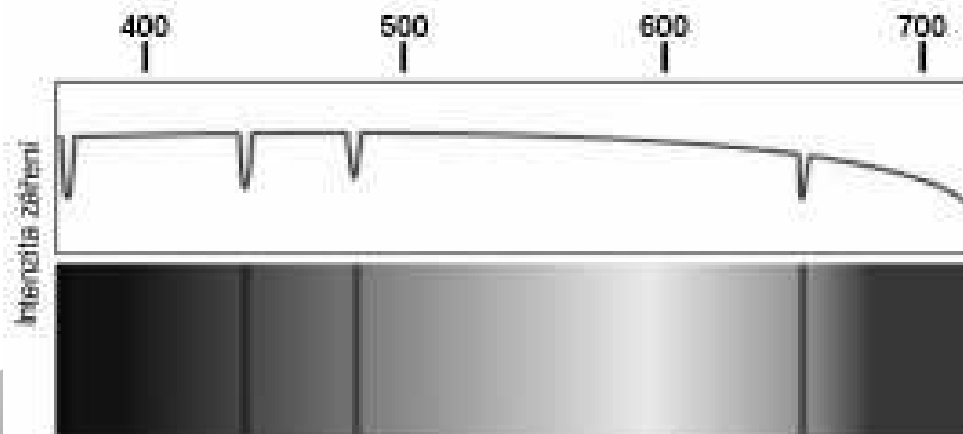
Emisní spektrum



Absorpční spektrum



Intenzita záření



Chemické složení

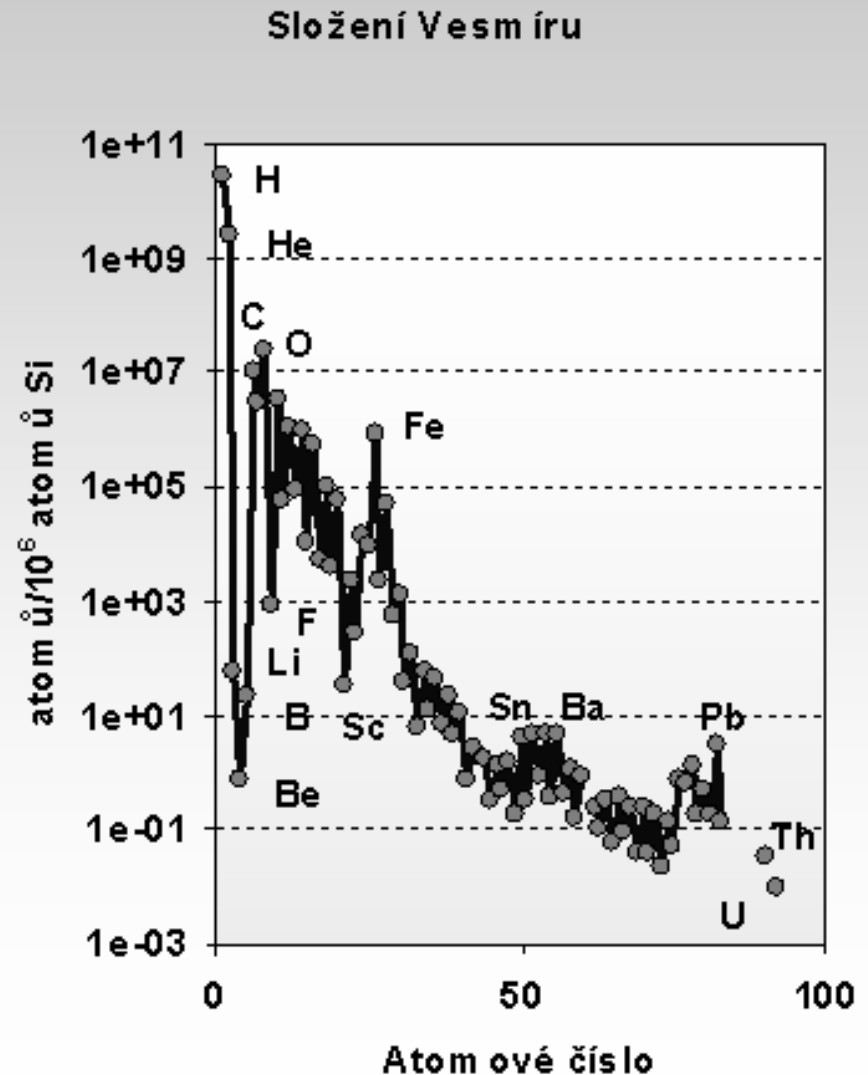
Základní charakteristika:

- 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:

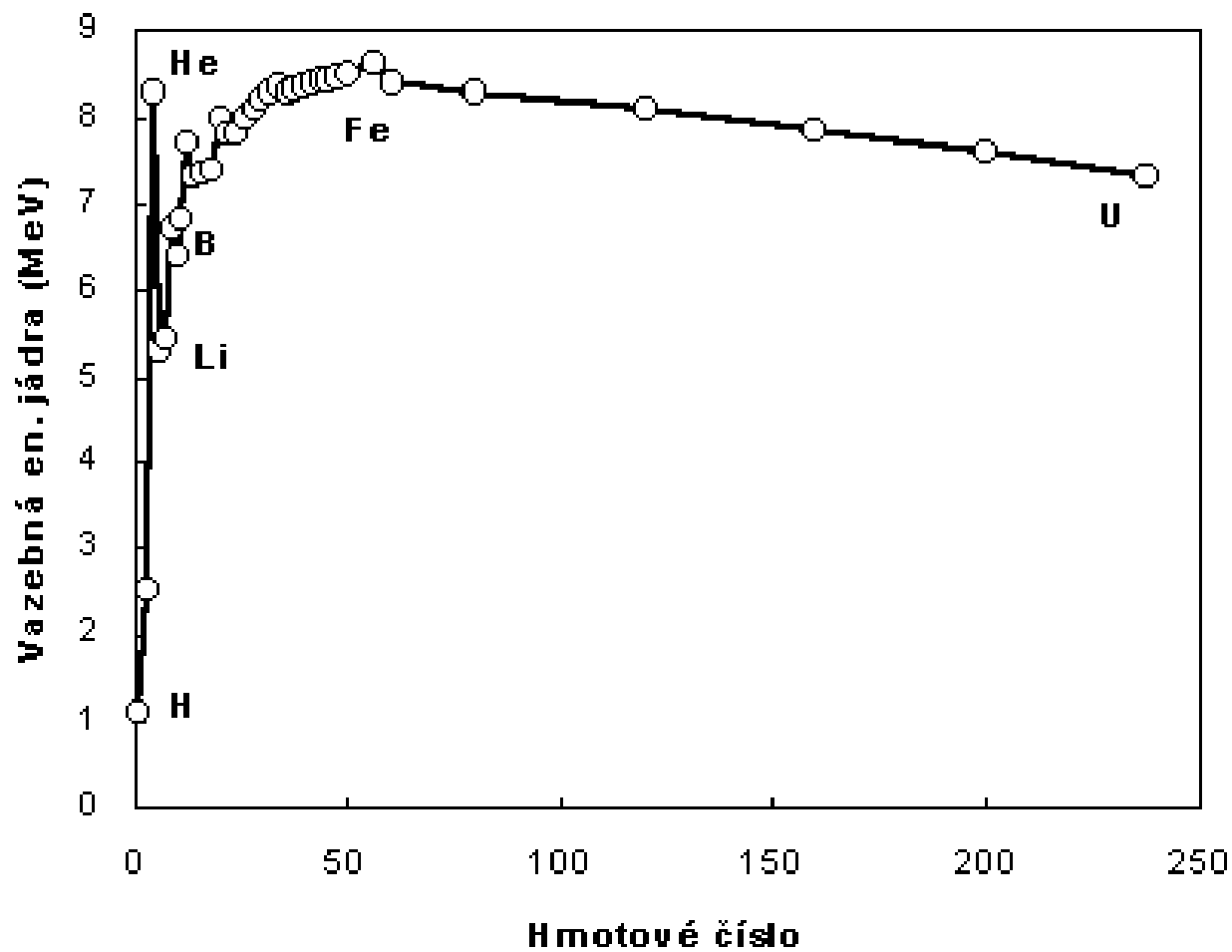
Li, Be, B, jejichž zastoupení je výrazně nižší – obecně je možných několik vysvětlení: buď jsou uvedené prvky meziproduktem při niksintéze těžších prvků a po jejich vzniku jsou zase spotřebovávány nebo vznikly po spolu s H a He po Velkém třesku a v současnosti již ve Vesmíru nevznikají, nebo je to způsobeno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

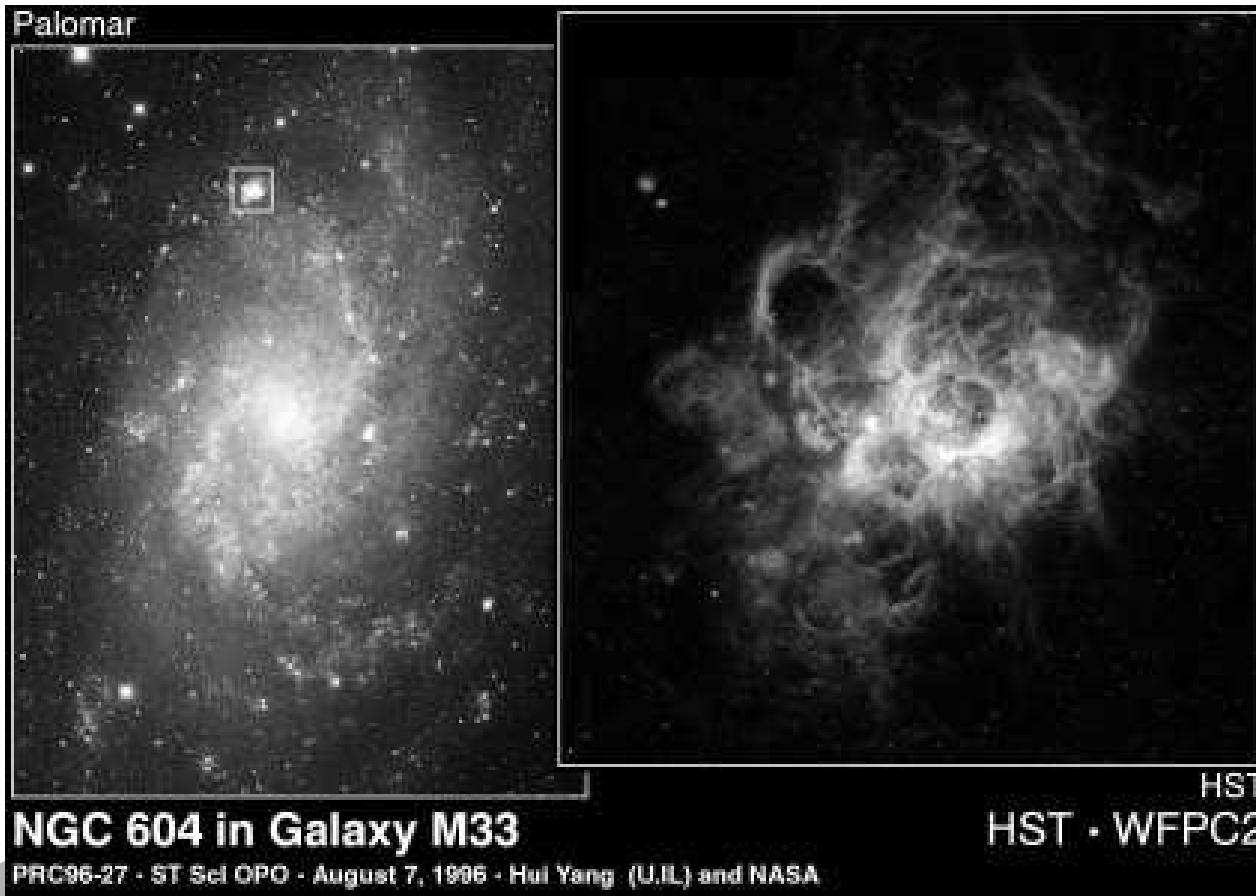


Energie jader



Vnitřní vývoj hvězd

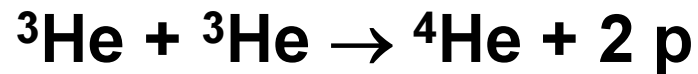
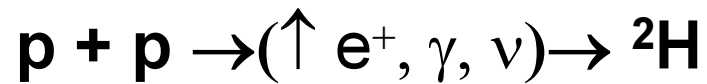
Hvězdy vznikají při gravitačním stažení vesmírných plynů a prachových částic (v ranném Vesmíru pouze atomů vodíku a helia). Pokud je hmotnost takového objektu dostatečná, pak dojde k jeho zahřátí na teploty milionů K a nastartování termojaderné (nukleární) syntézy.



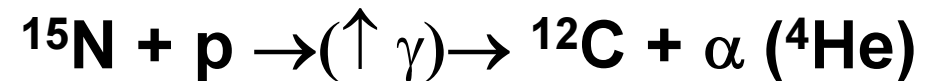
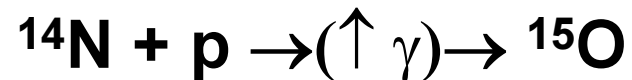
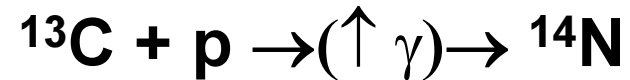
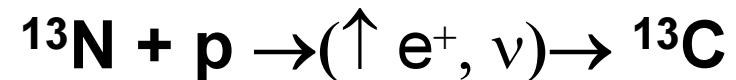
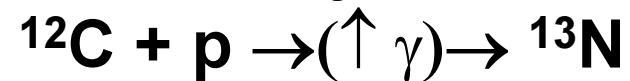
Snímek z Hubblova teleskopu zachycuje oblast velké mlhoviny NGC 604 (vpravo) v sousední galaxii M33 (vlevo). Tato mlhovina je vzdálena 2,7 milionu světelných let a leží v souhvězdí Trojúhelníka. Je to oblast vzniku nových hvězd v jednom z ramen spirální galaxie M33.

Nukleární reakce – lehké hvězdy

p-p proces (hoření vodíku – 10 milionů K):

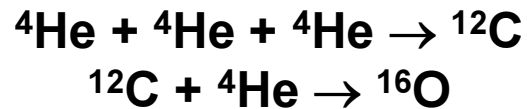


CNO cyklus:

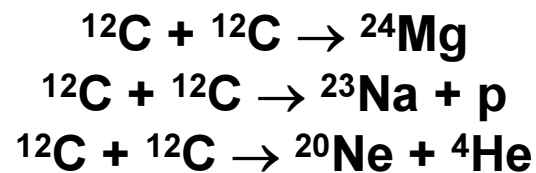


Nukleární reakce – těžké hvězdy

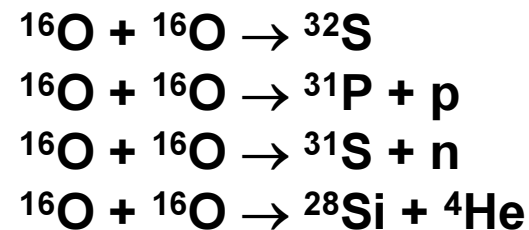
další prvky (hoření helia – 100 milionů K):



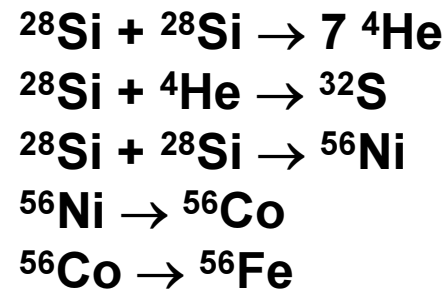
hoření uhlíku – 500 milionů K



hoření kyslíku – 1 miliarda K

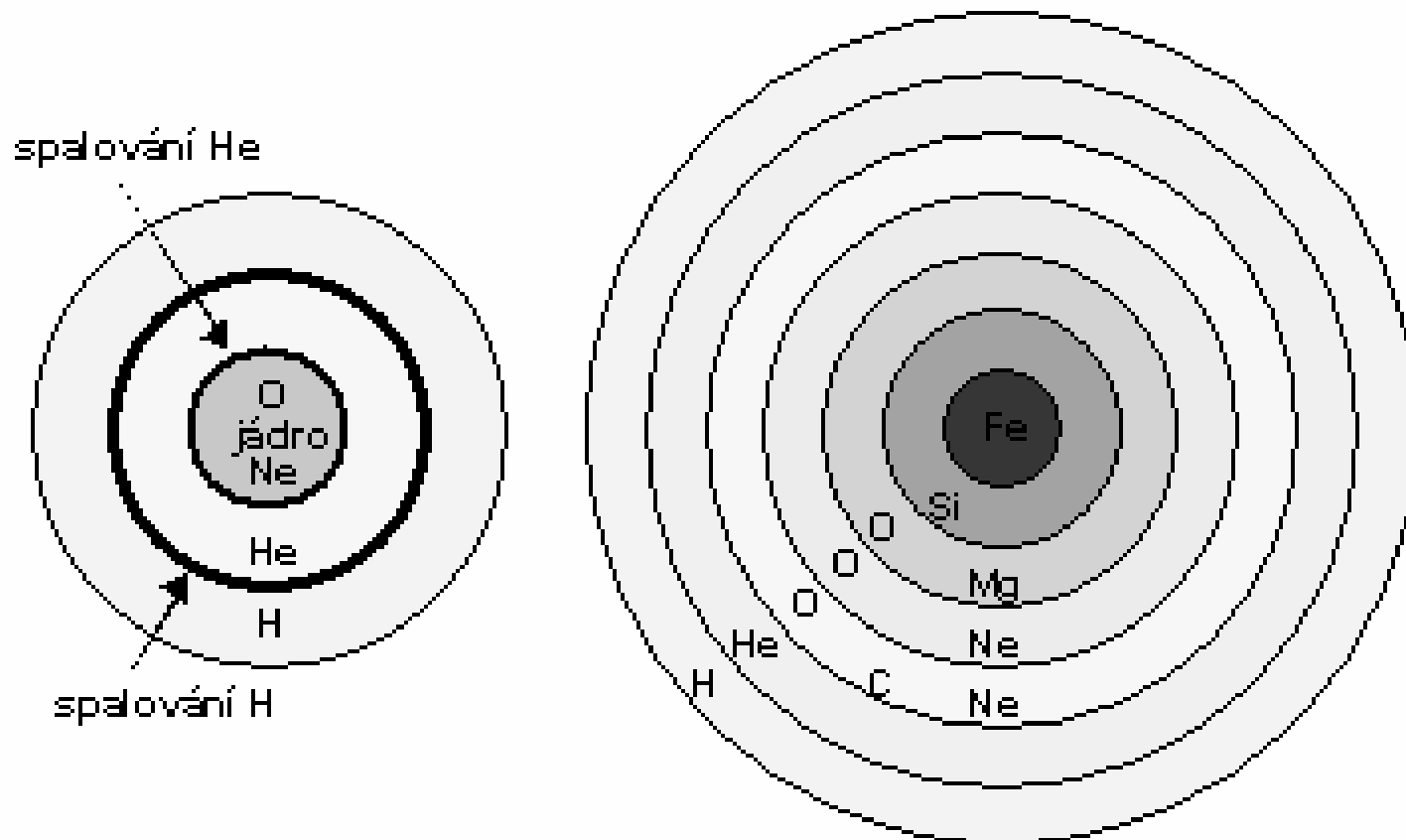


hoření křemíku – *e-proces* (equilibrium)

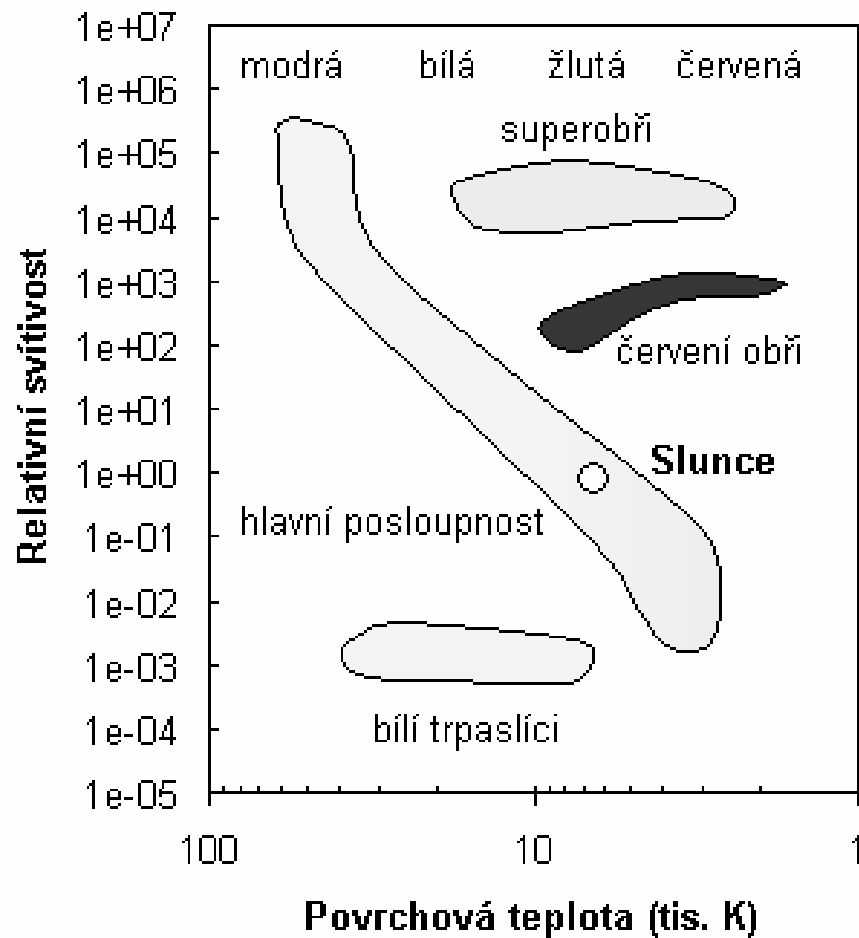


Těžké prvky - vznik

- pomalý záchyt neutronů – *s-proces* (slow)
- rychlý záchyt neutronů – *r-proces* (rapid) – následně β^- rozpad
- záchyt protonů – *p-proces*












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 slábné 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.

