

O původu prvků ve vesmíru

prof. Mgr. Jiří Krtička, Ph.D.

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky
Masarykova univerzita, Brno



Odkud pochází látka kolem nás?

Odkud pochází látka kolem nás?

Z čeho je svět kolem nás složen?

Odkud pochází látka kolem nás?

Z čeho je svět kolem nás složen?

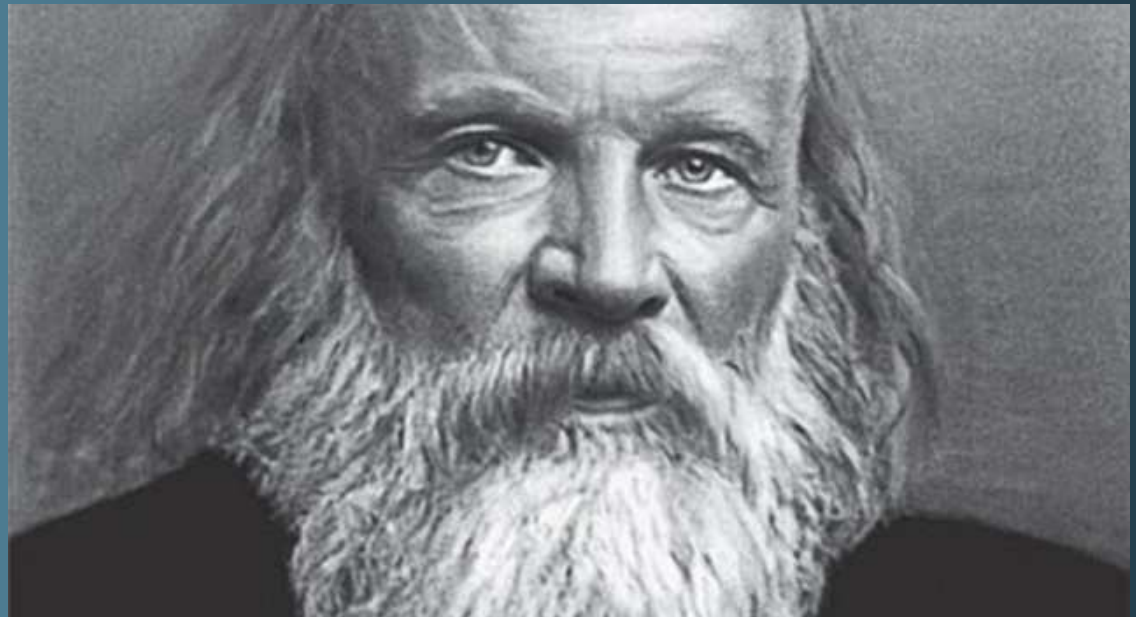
- Démokritos: svět je složen z atomů



Odkud pochází látka kolem nás?

Z čeho je svět kolem nás složen?

- Démokritos: svět je složen z atomů
- Mendělejev: periodická tabulka prvků – posloupnost podle atomární hmotnosti



Odkud pochází látka kolem nás?

Z čeho je svět kolem nás složen?

- Démokritos: svět je složen z atomů
- Mendělejev: periodická tabulka prvků – posloupnost podle atomární hmotnosti
- základní stavební kámen tvorby atomů: vodík

Kyslík a dusík v atmosféře



Uhlík



Železo



Voda: vodík a kyslík



Z čeho je svět kolem nás složen?

Látka kolem nás složená z atomů prvků
... jako jsou stavby z Merkuru složeny
z jednotlivých dílů



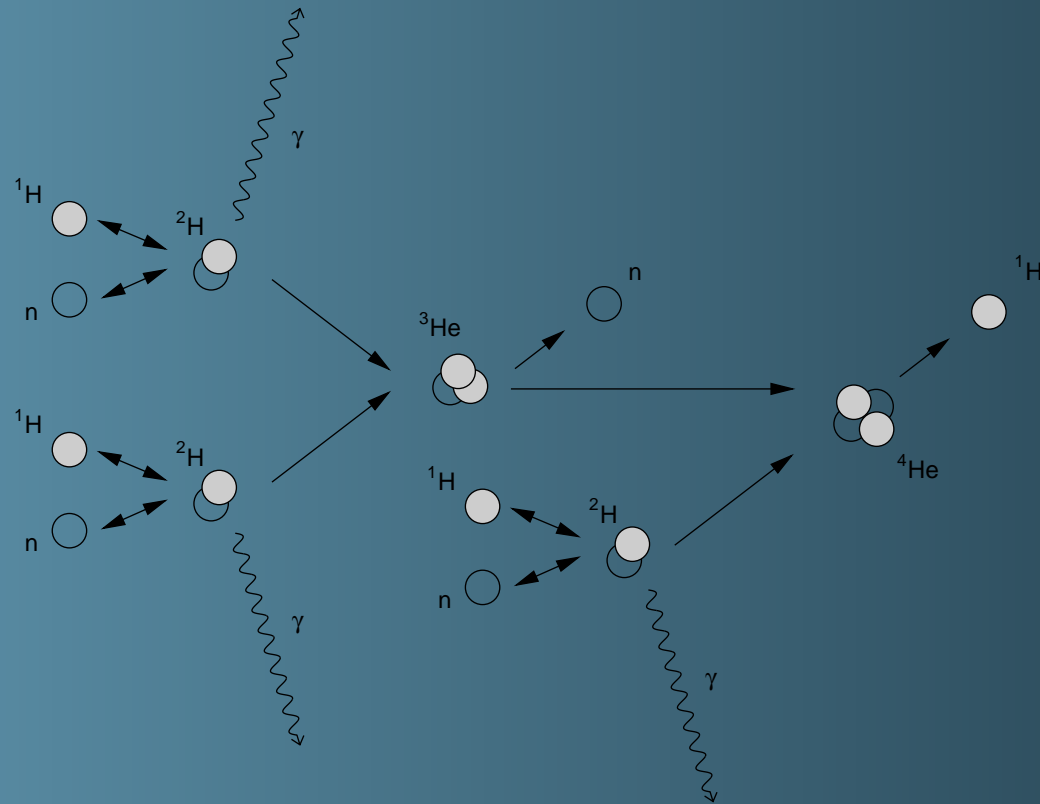
Prvky kolem nás



Kde jednotlivé atomy vznikly?

- vesmír vznikl během velkého třesku
- při velkém třesku vznikl prostor a čas
- vznikly v té době také atomy?

Jaderné reakce po velkém třesku



⇒ vznikl pouze vodík a helium

Odkud se vzaly těžší prvky?

- abychom vyrobili díly Merkuru, musíme zahřát železnou rudu na vysokou teplotu



Odkud se vzaly těžší prvky?

- abychom vyrobili díly Merkuru, musíme zahřát železnou rudu na vysokou teplotu
- na jak vysokou teplotu musíme zahřát látku, abychom mohli vytvářet atomy prvků?
⇒ milióny stupňů Celsia a vyšší
- kde jsou pece, ve kterých se taví prvky?

Odkud se vzaly těžší prvky?

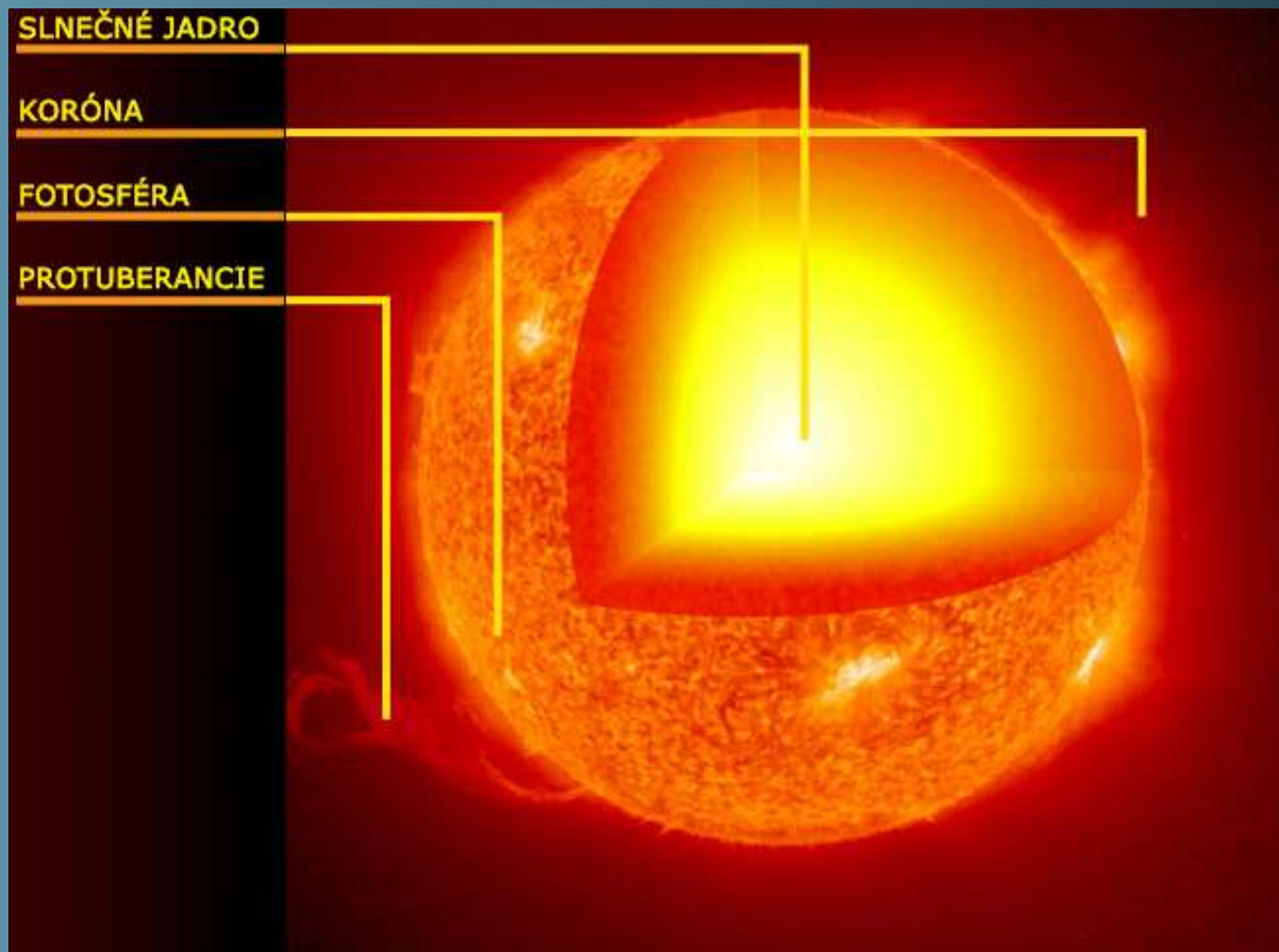
- abychom vyrobili díly Merkuru, musíme zahřát železnou rudu na vysokou teplotu
- na jak vysokou teplotu musíme zahřát látku, abychom mohli vytvářet atomy prvků?
 - ⇒ milióny stupňů Celsia a vyšší
- kde jsou pece, ve kterých se taví prvky?
 - ⇒ pouze nitra hvězd mají dostatečně vysokou teplotu!

Jaderné reakce v nitrech hvězd

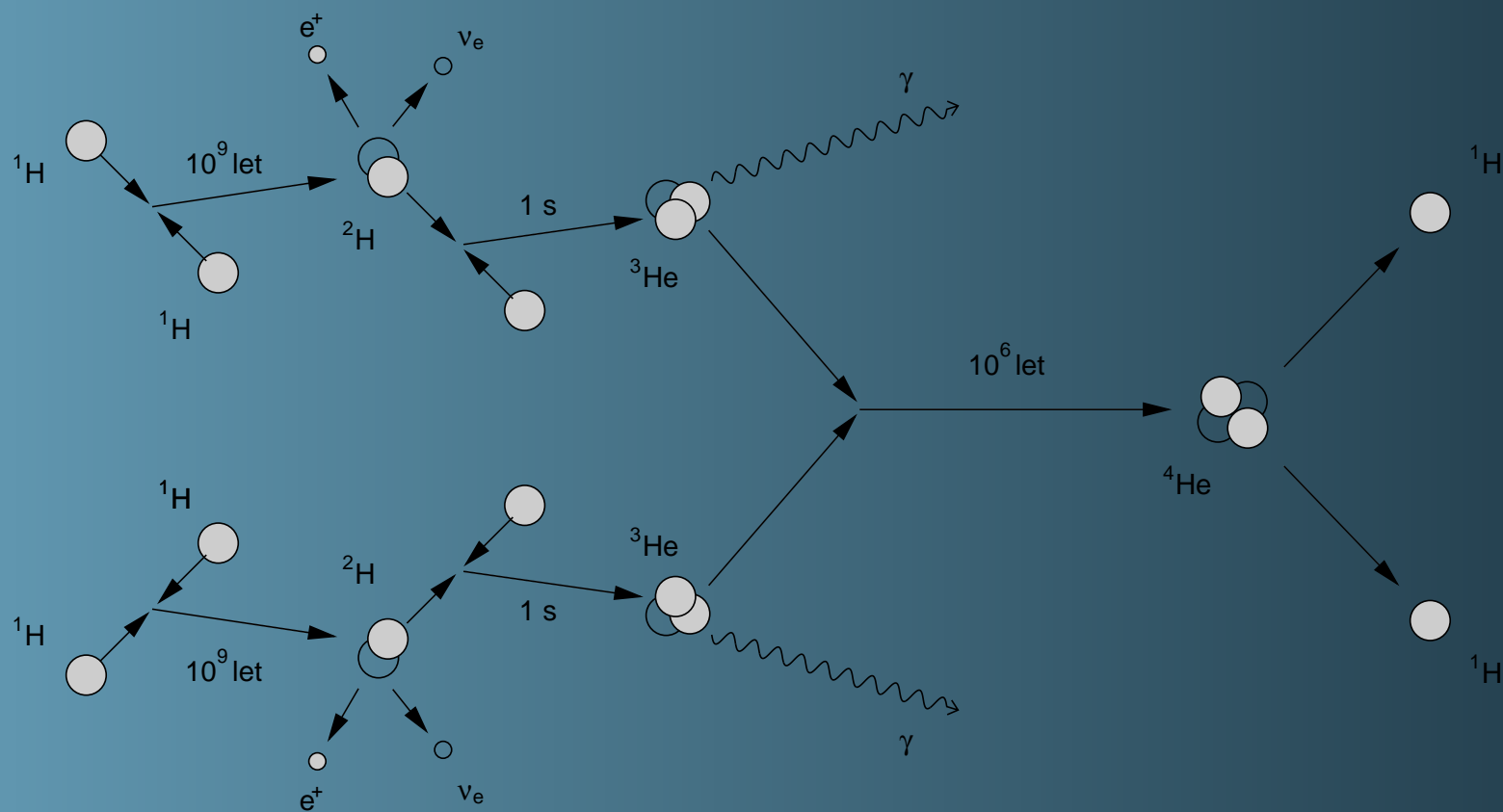
- plní dávný sen alchymistů o transmutaci prvků



Jaderné reakce v nitrech hvězd

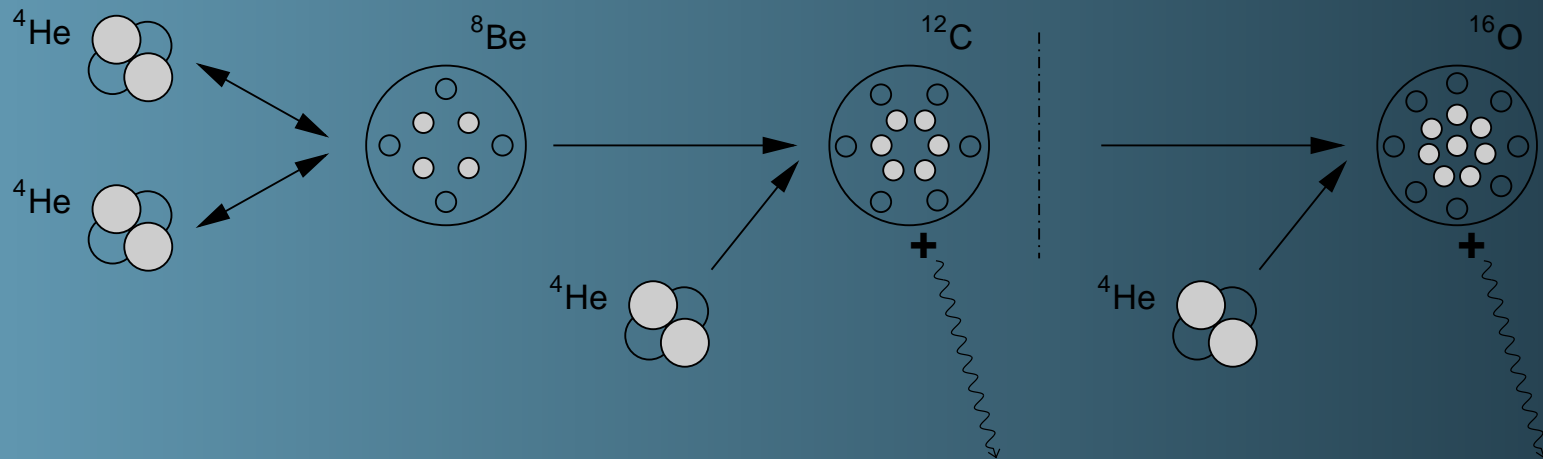


Vznik helia v nitru Slunce



Pozdní fáze vývoje

- vznik uhlíku a kyslíku



Jak hvězdy přicházejí o atomy?

⇒ musí existovat způsob, kterým hvězdy přicházejí o určitou část své hmoty

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

- rychlost látky musí být vyšší než úniková
- pro Slunce je úniková rychlost 620 km s^{-1}

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

- srovnání:

$$v_{\max} = 200 \text{ km hod}^{-1} \approx 9 \times 10^{-5} v_{\text{únik}}(\odot)$$



lokomotiva 380 (Škoda Plzeň)

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

- srovnání:

$$v_{\max} = 935 \text{ km hod}^{-1} \approx 4 \times 10^{-4} v_{\text{únik}}(\odot)$$



letoun L159 Alca (Aero Vodochody)

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

- srovnání: $v_{\max} \approx 10 \text{ km s}^{-1} \approx 10^{-2} v_{\text{únik}}(\odot)$



raketa Ariane 5 (ESA)

Jak uvolnit látku z povrchu hvězdy?

ztráta hmoty *samostatné* hvězdy

- ustálené proudění: *hvězdný vítr*
 - hvězdný vítr slunečního typu
 - hvězdný vítr urychlovaný zářivou silou
- explozivní procesy
 - výbuch supernovy

Porovnání s pozemským větrem

Země

hvězdy

Porovnání s pozemským větrem

	Země	hvězdy
směr proudění	po povrchu	od povrchu

Porovnání s pozemským větrem

	Země	hvězdy
směr proudění	po povrchu	od povrchu
rychlost	$\approx 1 \text{ m s}^{-1}$	$\approx 1000\,000 \text{ m s}^{-1}$

Porovnání s pozemským větrem

	Země	hvězdy
směr proudění	po povrchu	od povrchu
rychlost	$\approx 1 \text{ m s}^{-1}$	$\approx 1000\,000 \text{ m s}^{-1}$
teplota	$\approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$\approx 1000 \text{ }^\circ\text{C}$

Porovnání s pozemským větrem

	Země	hvězdy
směr proudění	po povrchu	od povrchu
rychlost	$\approx 1 \text{ m s}^{-1}$	$\approx 1000\,000 \text{ m s}^{-1}$
teplota	$\approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$\approx 1000 \text{ }^\circ\text{C}$
složení	N_2, O_2	H, He, těžší prvky

Má Slunce sluneční vítr?

- dva druhy ohonů komet



Má Slunce sluneční vítr?

- polární záře



Má Slunce sluneční vítr?

- družicová pozorování
 - proud částic od Slunce
 - rychlost $\sim 500 \text{ km s}^{-1}$
 - rychlost ztráty hmoty $2 \times 10^{-14} M_{\odot} \text{ rok}^{-1}$
 - příčina: rozpínání horké koróny

Úplné zatmění Slunce



Hvězdný vítr svítivých hvězd

- svítivé hvězdy ($L = 10^4 - 10^6 L_{\odot}$) mají zvláště silné hvězdné větry (Betelgeuze)

Hvězdný vítr svítivých hvězd

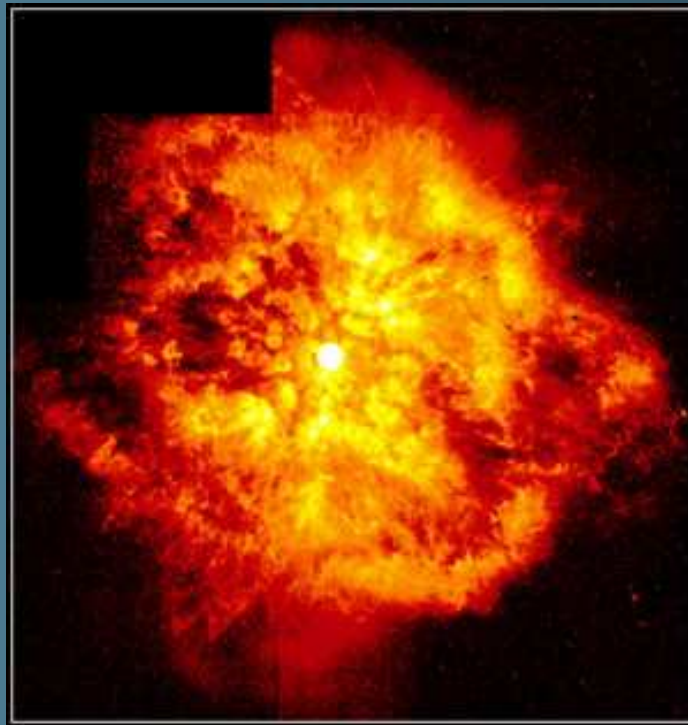
- svítivé hvězdy ($L = 10^4 - 10^6 L_{\odot}$) mají zvláště silné hvězdné větry



mlhovina v okolí Miry (*o* Cet)

Hvězdný vítr svítivých hvězd

- svítivé hvězdy ($L = 10^4 - 10^6 L_{\odot}$) mají zvláště silné hvězdné větry



mlhovina v blízkosti hvězdy WR 124

Hvězdný vítr svítivých hvězd

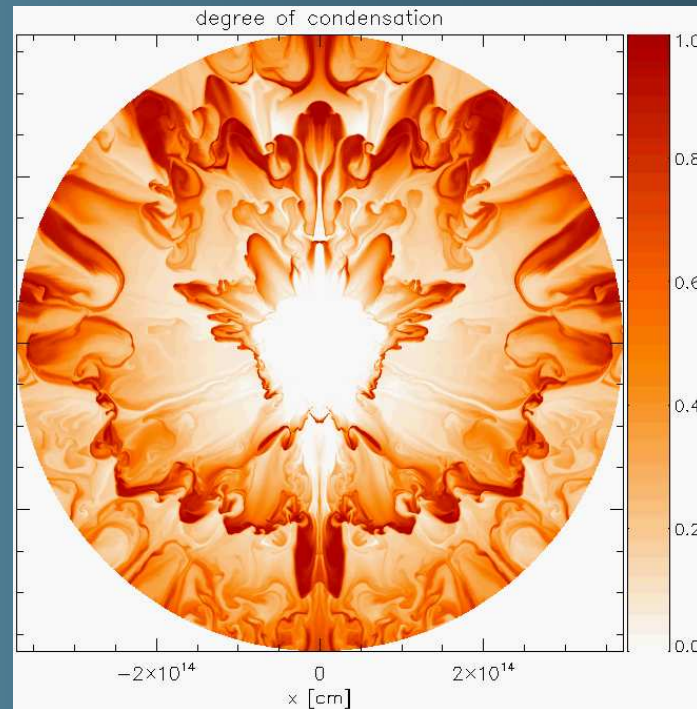
- svítivé hvězdy ($L = 10^4 - 10^6 L_{\odot}$) mají zvláště silné hvězdné větry



mlhovina Abell 39

Hvězdný vítr svítivých hvězd

- svítivé hvězdy ($L = 10^4 - 10^6 L_{\odot}$) mají zvláště silné hvězdné větry



počítačový model větru

Vítr svítivých hvězd

⇒ *zářením hnaný hvězdný vítr*

- typická rychlost ztráty hmoty $10^{-5} M_{\odot} \text{ rok}^{-1}$
- doba života svítivých hvězd $\sim 10^6$ let

⇒ významné obohacení prostředí mezi hvězdami o těžší prvky

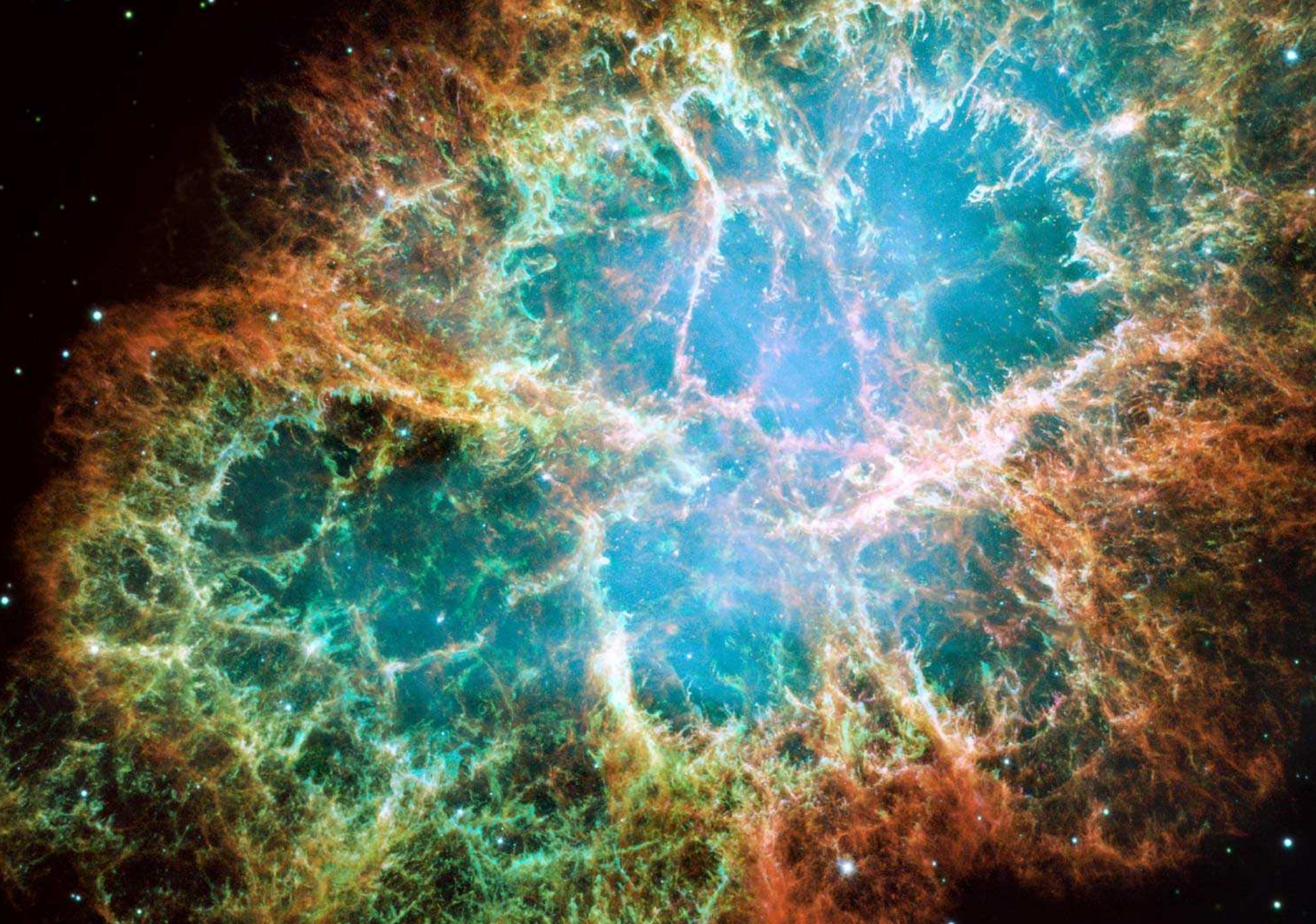
Supernovy

- konečná fáze vývoje některých hvězd
 - prudké zapálení jaderných reakcí v jádře hvězdy
- ⇒ exploze, zjasnění hvězdy



Supernovy

- konečná fáze vývoje některých hvězd
 - prudké zapálení jaderných reakcí v jádře hvězdy
- ⇒ exploze, zjasnění hvězdy
- odvržení obalu hvězdy do mezihvězdného prostředí

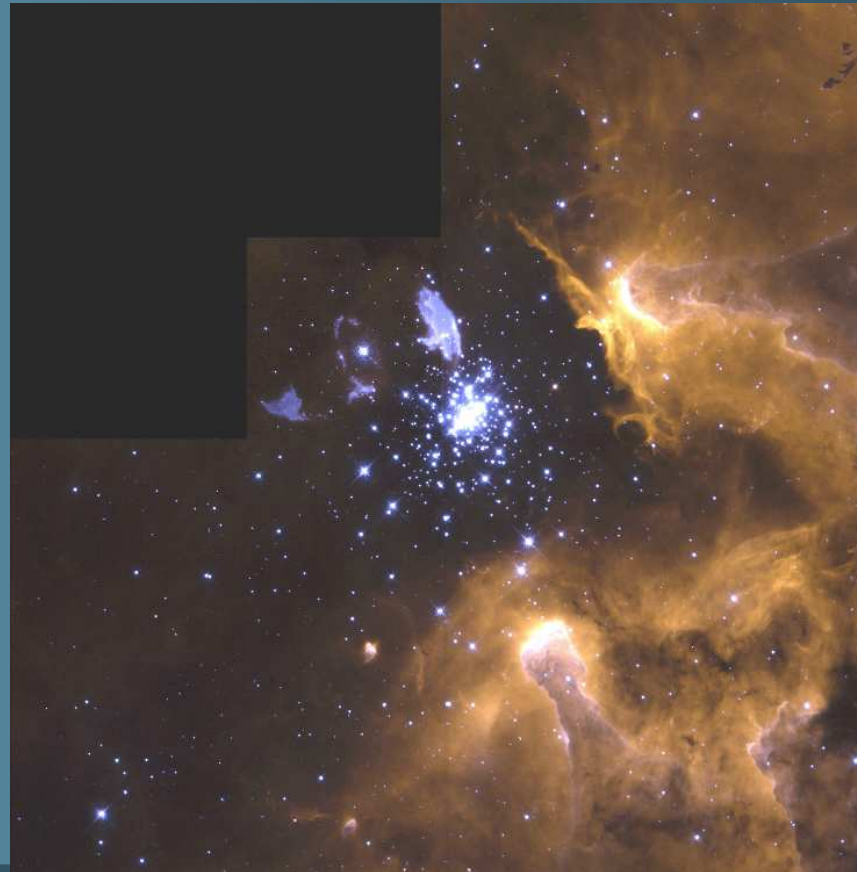


Supernovy

- konečná fáze vývoje některých hvězd
 - prudké zapálení jaderných reakcí v jádře hvězdy
- ⇒ exploze, zjasnění hvězdy
- odvržení obalu hvězdy do mezihvězdného prostředí
- ⇒ významné obohacení prostředí mezi hvězdami o těžší prvky

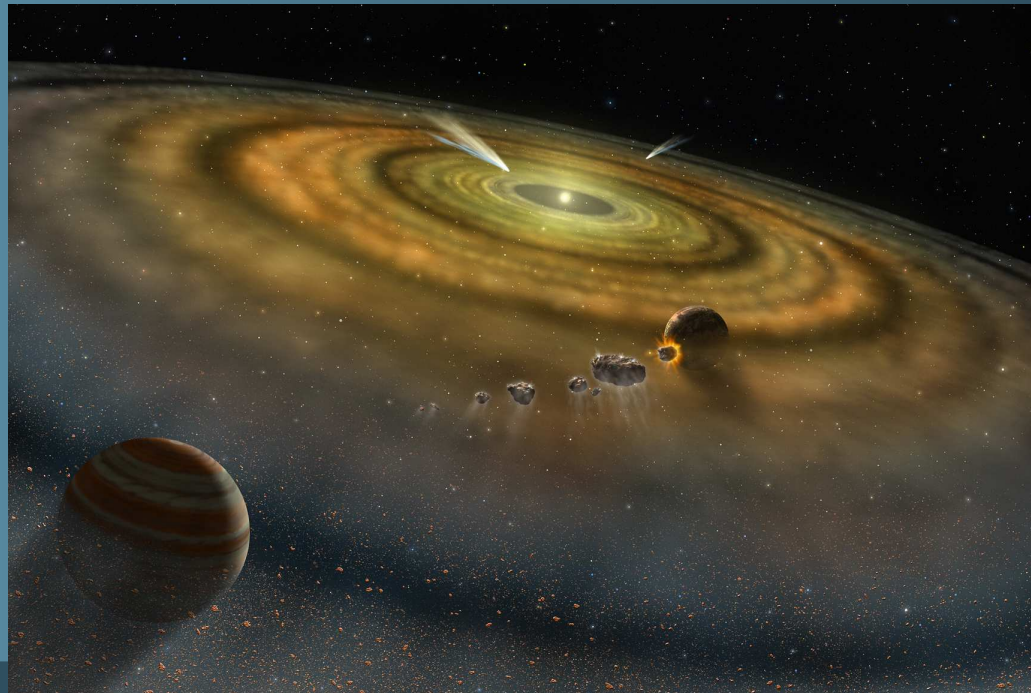
Mezihvězdná látka

- mezihvězdná látka obohacena o produkty jaderných reakcí



Mezihvězdná látka

- mezihvězdná látka obohacena o produkty jaderných reakcí
- z mezihvězdné látky vznikají další generace hvězd a planety



Původ látky kolem nás

- atomy jednotlivých prvků jsou základním stavebním kamenem látky kolem nás
- základní stavební kámen: vodík, vznikl během velkého třesku
- atomy těžších prvků vznikají v žhavých nitrech hvězd
- hvězdné větry a výbuchy supernov rozšívají atomy po celém vesmíru

