

Nukleär astrofysik

- Kosmologi
- Partikel- och kärnreaktioner ($t \sim 225$ s)
- Bildande av tyngre kärnor
- Kosmokronologi

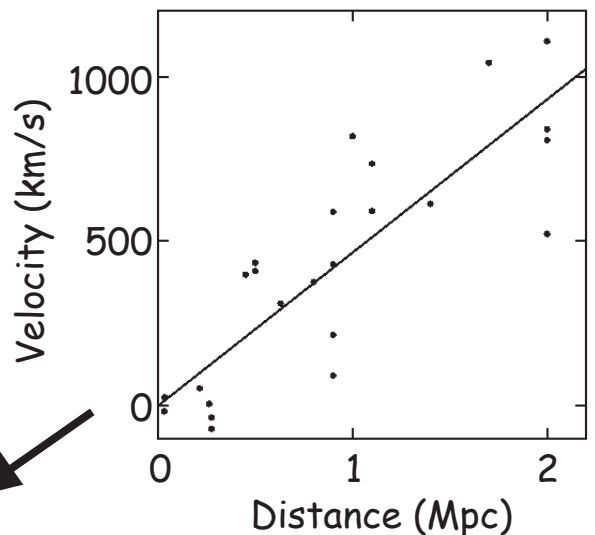
Big Bang hypotesen



Edvin Hubble

$$\frac{dR}{dt} = H_0 R(t)$$

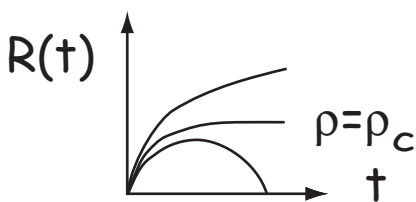
1929: $H_0 = 464 \left(\frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}} \right)$
 2000: $H_0 = 50-100$ "



Några obesvarade frågor

- Varför verkar universum bestå av materia?
 $N_p / N_\gamma \sim 10^{-9} \rightarrow$ För varje 10^9 \bar{p} fanns det $10^9 + 1$ p !!!

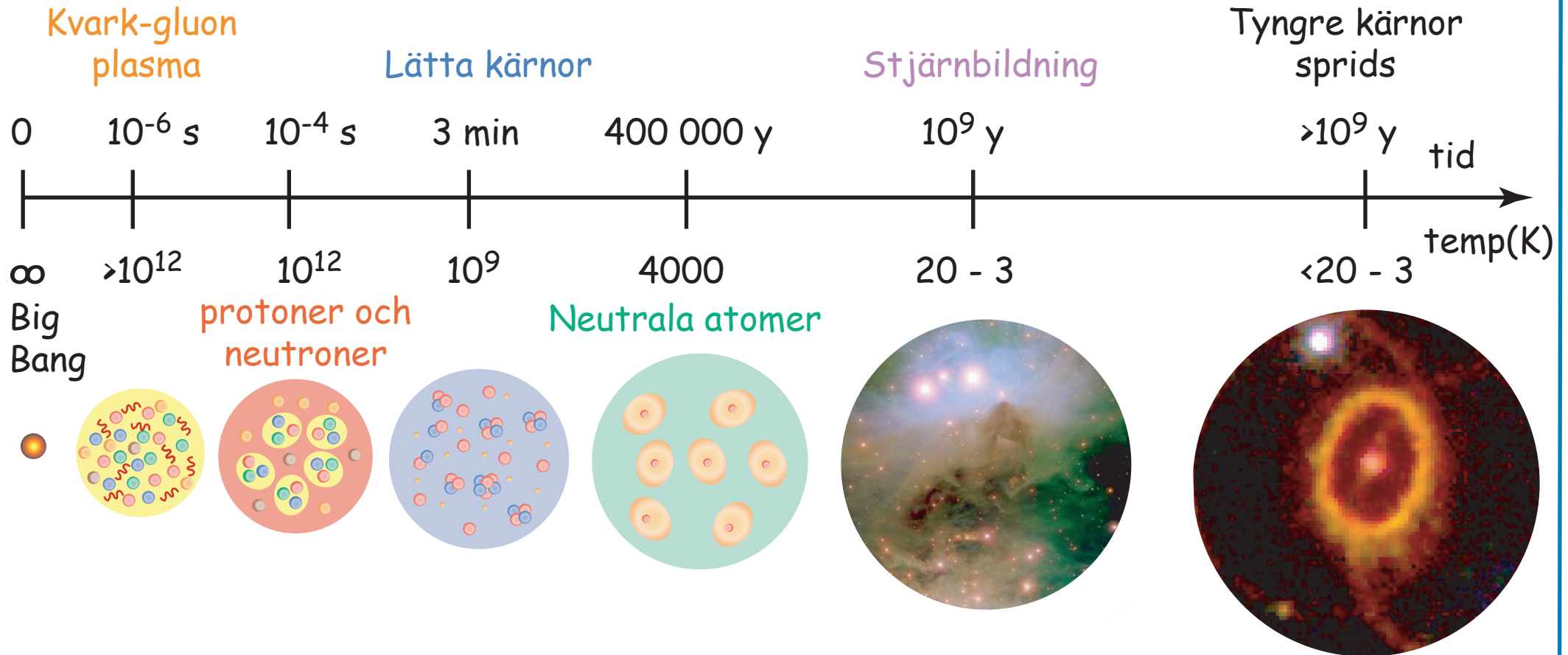
- Är universum krökt?, eller hur mycket materia finns det?



Vi tror att $0.01 < \rho/\rho_c < 2$
 Detta ger $\rho/\rho_c = 1 \pm 10^{-58}$ vid små t

- Hur gammalt är universum?

Big Bang

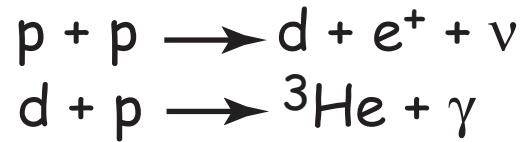


NU:
Bakgrundsstrålning: ~ 3 K
Universums ålder: $\sim 15 \cdot 10^9$ y

Stjärnfusion I: H förbränning

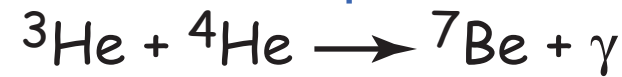
I solens inre:

Protoners medellivslängd: 10^{10} y
 Deuteroners medellivslängd: 1.6 s
 Temperatur: $\sim 1.5 \cdot 10^6$ K



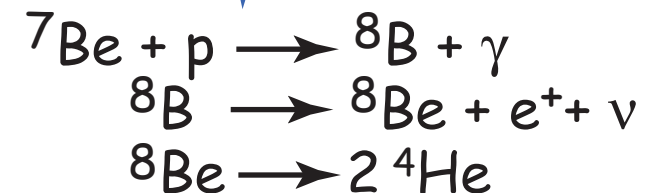
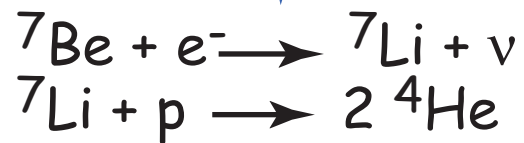
86 %

14 %

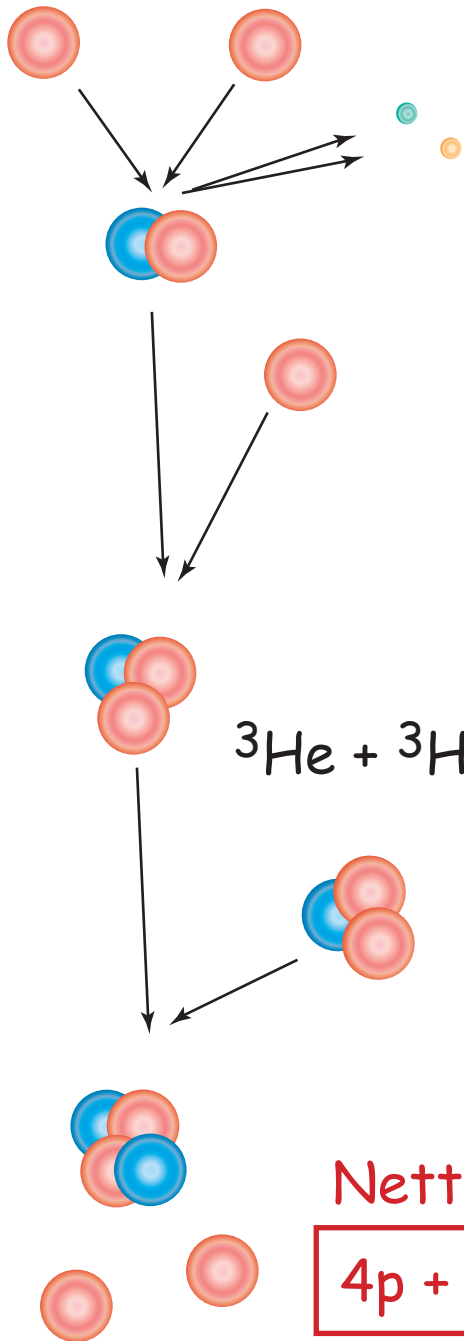


~ 14 %

0.02 %



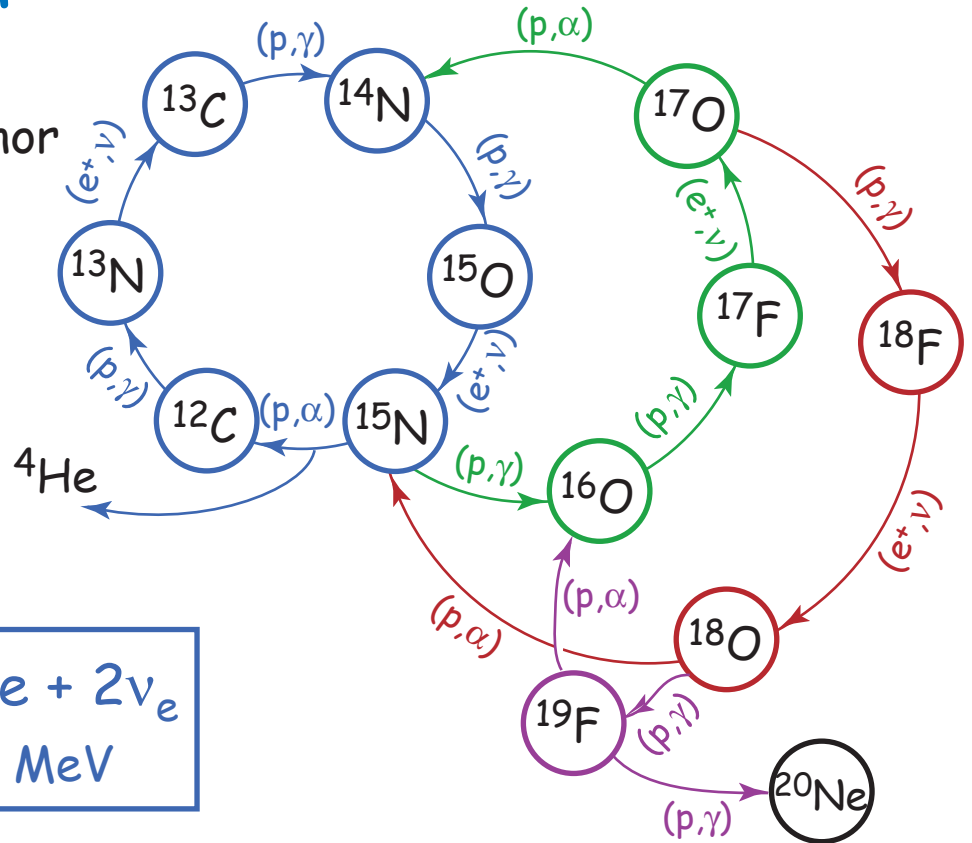
Nettoresultat:



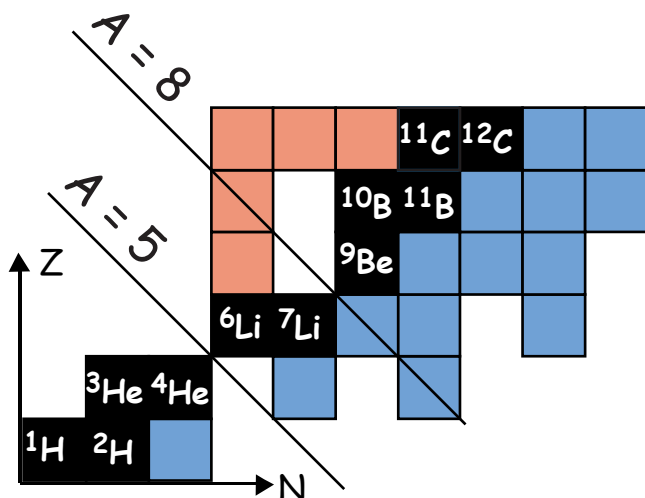
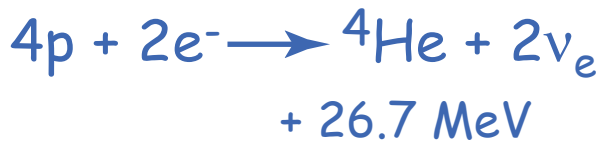
Stjärnfusion II: CNO cykeln

CNO cykeln

Sker i låg-T stjärnor om tunga element är närvarande. Dominerar för högre T än för pp-kedjor



Nettoresultat:



Massgapen

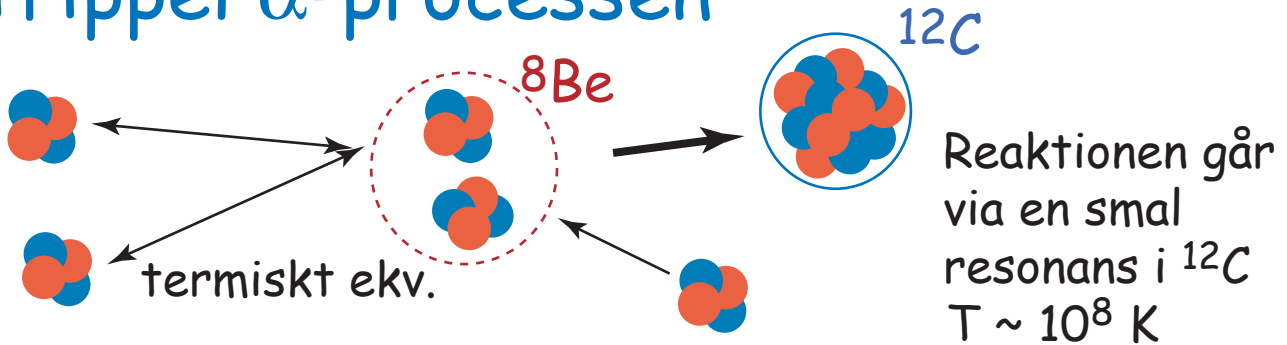
Det finns inga stabila element med $A=5$ eller $A=8$

Så, hur kan vi fortsätta efter att ha nått ^4He ?

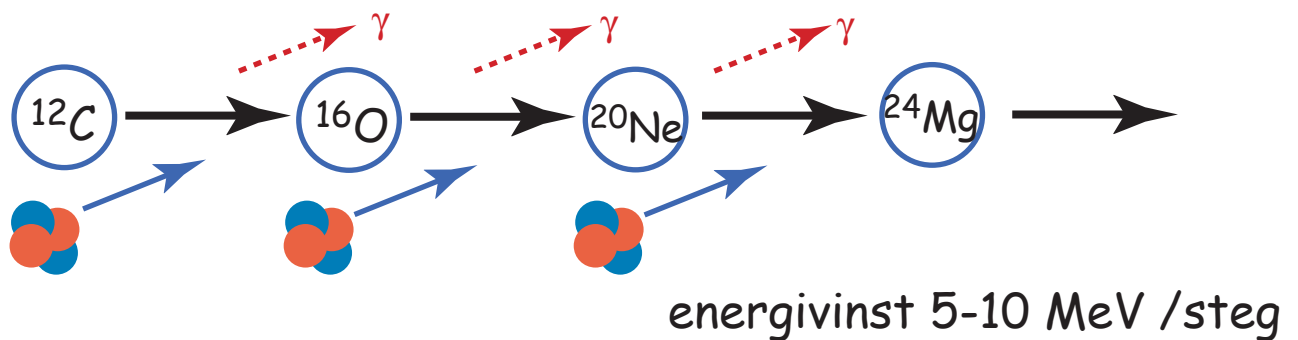
Stjärnfusion III: He förbränning

När H bränslet är slut, kommer temperaturen att öka och He förbränning blir möjligt

Trippel α -processen

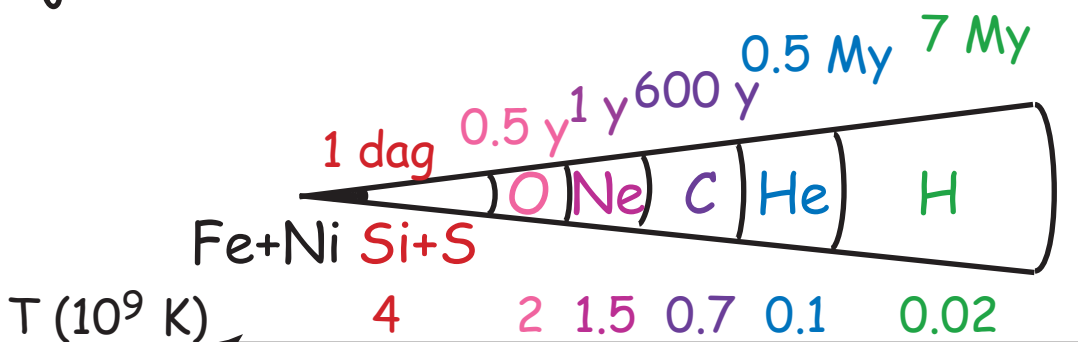


He-förbränning

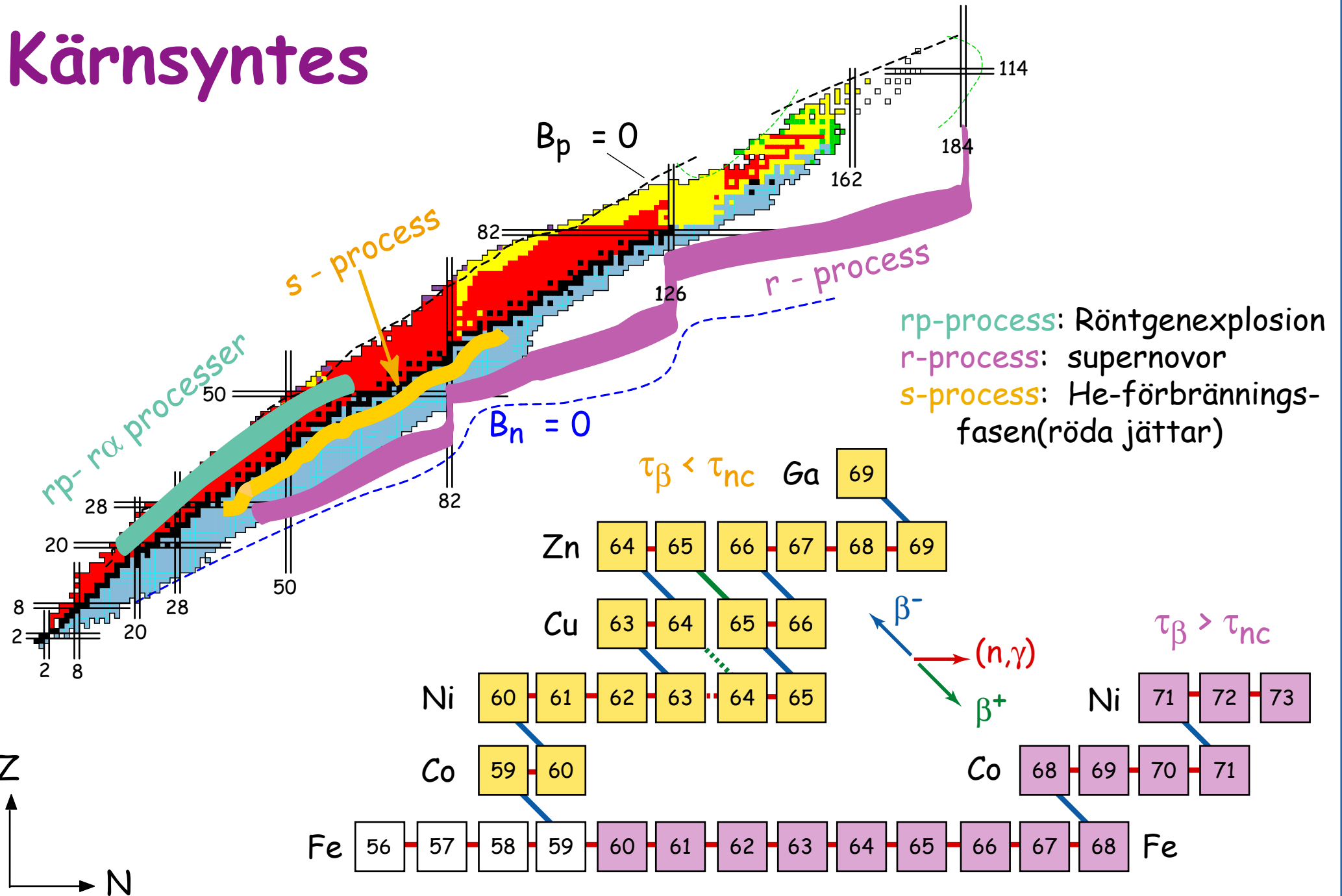


Explosiva förbränningsfaser

När He i stjärnans mitt är slut, tar C- O- och Si-förbränning vid med högre och högre T, om stjärnans massa > 8 solmassor



Kärnsyntes



Neutrinooscillationer

Antag att det finns 3 grundtyper av neutrinon $|v_1\rangle$, $|v_2\rangle$, $|v_3\rangle$.

Dessa är egentillstånd till massoperatoren med massorna m_1 , m_2 , m_3 .

Mixning innebär att t.ex. elektronneutrino $|v_e\rangle$ är en linjärkombination av de 3 masseegentillstånden.

Tvåkomponentmodellen (för enkelhets skull):

$$\square \quad |v_e\rangle = \cos\theta |v_1\rangle + \sin\theta |v_2\rangle$$

$$\square \quad |v_x\rangle = -\sin\theta |v_1\rangle + \cos\theta |v_2\rangle \quad (\theta = \text{mixningsvinkeln})$$

Vågfunktionen för elektronneutrino vid tiden t :

$$\square \quad |v_e\rangle_t = e^{-iE_1 t/\hbar} \cos\theta |v_1\rangle + e^{-iE_2 t/\hbar} \sin\theta |v_2\rangle$$

Om elektronneutrino rör sig med impulsen p fås:

$$\square \quad E_2 - E_1 = (p^2 c^2 + m_2^2 c^4)^{1/2} - (p^2 c^2 + m_1^2 c^4)^{1/2} \sim \Delta m^2 c^4 / 2pc$$

En kombination av ekvationerna ovan ger

$$\square \quad |v_e\rangle_t \sim (\cos^2\theta + \sin^2\theta e^{-ik\Delta m^2 t}) |v_e\rangle$$

$$\square \quad \square \quad \square \quad \square \quad - \cos\theta \sin\theta (1 - e^{-ik\Delta m^2 t}) |v_x\rangle$$

Slutsatsen blir att neutrino kommer att växla mellan att vara en $|v_e\rangle$ och en $|v_x\rangle$ om $\theta \neq 0$ och $\Delta m \neq 0$:

Några obesvarade frågor inom partikelfysiken

- Varför finns det tre generationer av elementarpartiklar?
- Varför bryter den svaga växelverkan mot paritets- och laddningskonjugerings-invarianserna?
- Varför kan den svaga växelverkan blanda olika generationer av kvarkar men inte av leptoner?
- Varför har partiklar massa? Finns det en Higgspartikel?
- Vilka kraftförmedlande bosoner finns det, och varför?
- Värdena hos de olika krafternas kopplingskonstanter?
- Kvantgravitation?