

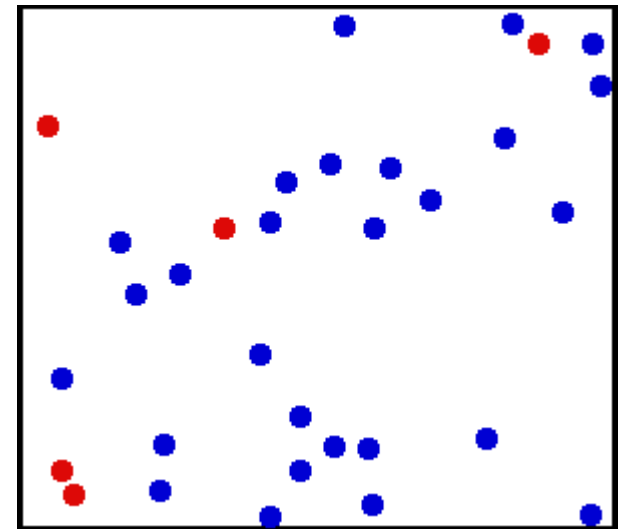
# Nedegenerovaná látka

- řídí se Maxwell-Boltzmannovým rozdělením

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

- ideální plyn – nízká hustota, vysoká teplota
- hvězdy na hlavní posloupnosti (např Slunce)
- zdrojem tlaku jsou srážky částic

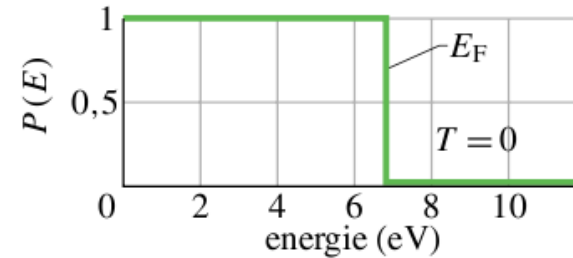
$$p = \frac{nkT}{V}$$



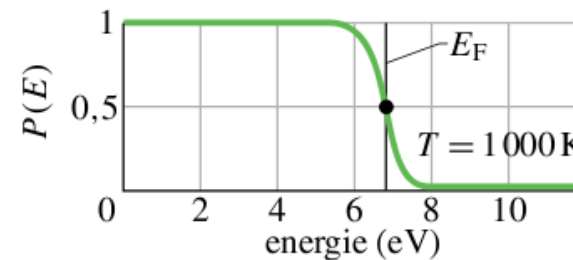
# Degenerovaná látka

- řídí se Fermi-Diracovým rozdělením

$$P = \frac{1}{e^{\frac{\Delta E}{kT}} + 1}$$



(a)



- látka, kde převládá tlak degenerace, důsledek existence Pauliho vylučovacího principu
- degen. plyn – vysoká hustota, nízká teplota

# Tlak degenerace

- nerelativist. plyn, 6-ti rozměrný fázový prostor

$$(2s + 1) \frac{\frac{4}{3} \pi p_F^3 V}{h^3} = n = NV$$

$$p_F = h \left( \frac{3N}{8\pi} \right)^{1/3} \quad E_F = \frac{p_F^2}{2m} = \frac{h^2}{2m} \left( \frac{3N}{8\pi} \right)^{2/3}$$

$$P = \frac{2}{3} N \varepsilon_s = \frac{2}{5} N E_F = \left( \frac{3}{8\pi} \right)^{2/3} \frac{h^2}{5m} N^{5/3}$$

# Pauliho vylučovací princip

- 2 částice, stav popsán vlnovými vektory  $\mathbf{v}_1$ ,  $\mathbf{v}_2$
- stav systému  $\Psi = |\mathbf{v}_1\rangle|\mathbf{v}_2\rangle$

- pro nerozlišitelné částice:

$$\Psi_b = |\mathbf{v}_1\rangle|\mathbf{v}_2\rangle + |\mathbf{v}_2\rangle|\mathbf{v}_1\rangle$$

$$\Psi_f = |\mathbf{v}_1\rangle|\mathbf{v}_2\rangle - |\mathbf{v}_2\rangle|\mathbf{v}_1\rangle$$

- pro částice ve stejném kvantovém stavu:

$$|\Psi_f|^2 = 0$$

# Elektronová degenerace

- jádra hvězd mimo hlavní posloupnost, bílí trpaslíci, plášť neutronových hvězd
- hustota typicky  $10^7 \text{ kg.m}^{-3}$
- rozměr bílých trpaslíků tisíce km
- s přibývající hmotou  $\rightarrow$  poloměr jde limitně k 0
- Chandrasekharova mez:  $M_{\text{Ch}} = 1.44 M_{\odot}$   
 $\rightarrow$  neutronová hvězda

# Neutronová degenerace

- neutronové hvězdy
- elektr. degen. železné jádro  $M > M_{Ch}$ ,  $E_f$  příliš velká, je výhodnější sloučení  $e$  a  $p$  (inverzní  $\beta$ )
- hustota typicky  $10^{17} \text{ kg.m}^{-3}$
- rozměr neutronových hvězd typicky 10 – 20 km
- LOV mez:  $M_{LOV} = 1.5 - 3 M_{\odot}$   
→ černá díra ?

# Kvarková degenerace

- zatím pouze hypoteticky - nitra neutronových hvězd, kvarkové hvězdy, podivné hvězdy
- rozpad neutronů na up, down kvarky, následně vznikají i strange kvarky
- kvarková hmota tvoří vlastně 1 velký hadron, silná interakce nahrazena gravitací
- jeden z kandidátů na temnou hmotu
- objeveno pár objektů podezřelých na kvarkovou/podivnou hvězdu

# Preonová degenerace

- čistá teorie (nyní spíše zavrhovaná)
- preony – elementární složky kvarků
- preonové hvězdy – hustota  $10^{23}$  kg.m<sup>-3</sup>
- většina preonových modelů nepotřebuje Higgsův boson
- paradox hmotnosti