

8. týden

Vlastnosti pevných látek

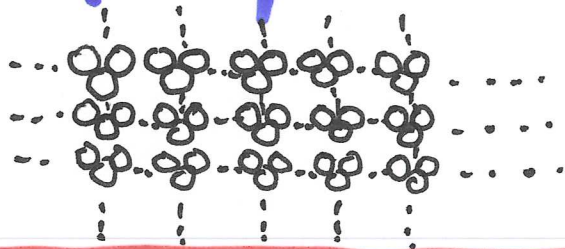
Pevná látka je soustava atomů nebo iontů nebo molekul, které účinkem různých mechanismů vzájemné přitažlivých sil drží pohromadě jako elektricky registrovatelný v makroskopickém měřítku.

Pevné látky jsou založeny na pojmu

dalekosáhlé uspořádání (long-range-order),

v němž jednotlivé atomy, ionty či molekuly vytvářejí

pravidelně se opakující struktury (kryštaly):



(1)

Existuje však i určitá skupina pevných látek, které za určitých fyzikálních podmínek (zejména při různých teplotách) **ztrácejí dalekosáhlé uspořádání** a stávají se

amorfními (beztvarými): např.

kryсталická H_2O (led) $\xrightarrow{\text{růst teploty}}$ kapalná H_2O (voda)

- **Vznik různých typů přitažlivých sil v krystalech:**

① Iontová vazba

Dochází k transferu elektronu z jednoho atomu do druhého, čímž vznikne kladně elektricky nabitý iont a záporně elektricky nabitý iont, a ty se pak vzájemně **přitahují** elektrostatickou silou:

přebytečný elektron



Na
($Z=11$)

chybějící elektron
(volný stav)



Cl
($Z=17$)

(2)



elst. přitač. síla

iont Na^+

iont Cl^-

Energie přitažlivých sil :

$$E = E_{\text{Coulomb}} + E_{\text{nerozlišitelnost}}$$

$$-\alpha \frac{e^2}{4\pi\epsilon r}$$

↑
Madelungova konstanta,
daná uspořádáním iontů
v daném krystalu

$$+\frac{B}{r^n}$$

↑
B ... neznámá konst.,
kterou nutno určit
tak, aby celková energie E
měla pro určité r
minimum

(3)

Parametry α a n , vystupující v (3) se získají
z experimentálního chování krystalů:

Např. pro NaCl : $\alpha = 1,76$
 $n = 9$

Z rovnice (3) spočítáme konstantu B :

$$\left(\frac{dE}{dr}\right)_{r=r_0} = \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon r_0^2} - \frac{nB}{r_0^{n+1}} = 0$$

$$B = \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon n} r_0^{n-1}$$

(4)

také dosazením do (3) dostaneme:

$$E = \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

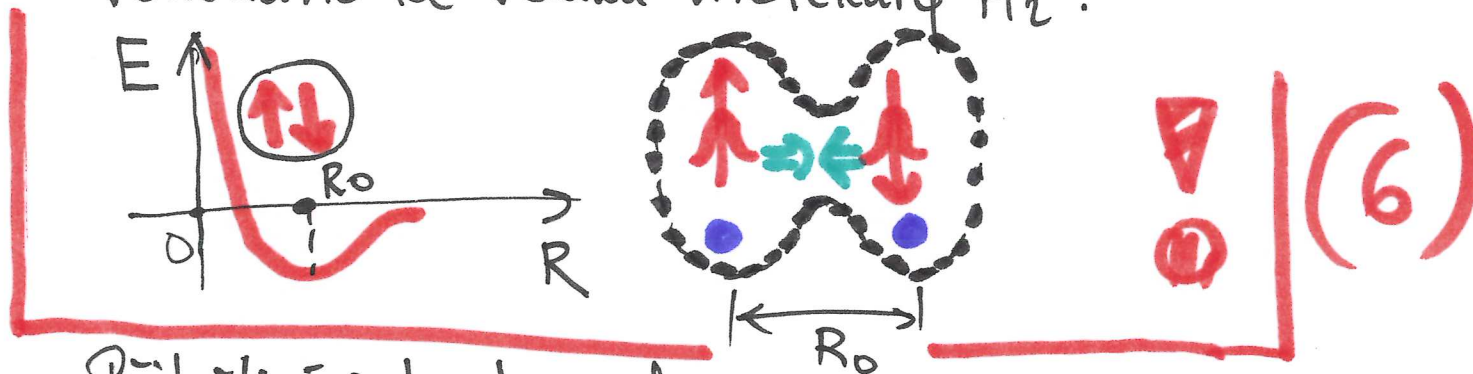
r_0 mřížková konstanta
(vzdálenost iontů v krystalu)

(5)

Mřížková energie krystalu .

② Kovalentní vazba

Je to zobecnění kvantového mechanismu vedoucího ke vzniku molekuly H_2 :

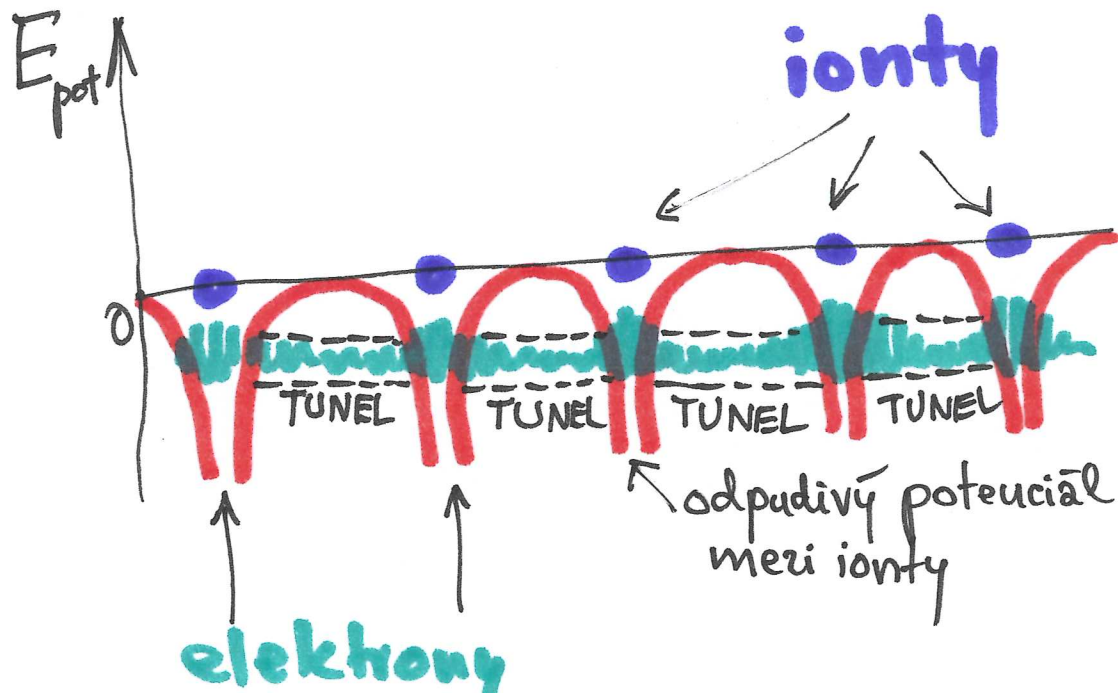


Přitažlivá interakce zde nevzniká v důsledku elektrostatického působení mezi náboji, ale je důsledkem řešení Schrödingerovy rovnice, respektujícímu **princip nerozlišitelnosti mikročástic**.

Typickým příkladem kovalentní vazby jsou krystaly tvořené atomy uhlíku C :

- ve sférickém uspořádání – diamant
- v plošném uspořádání – grafit.

③ Kovová vazba



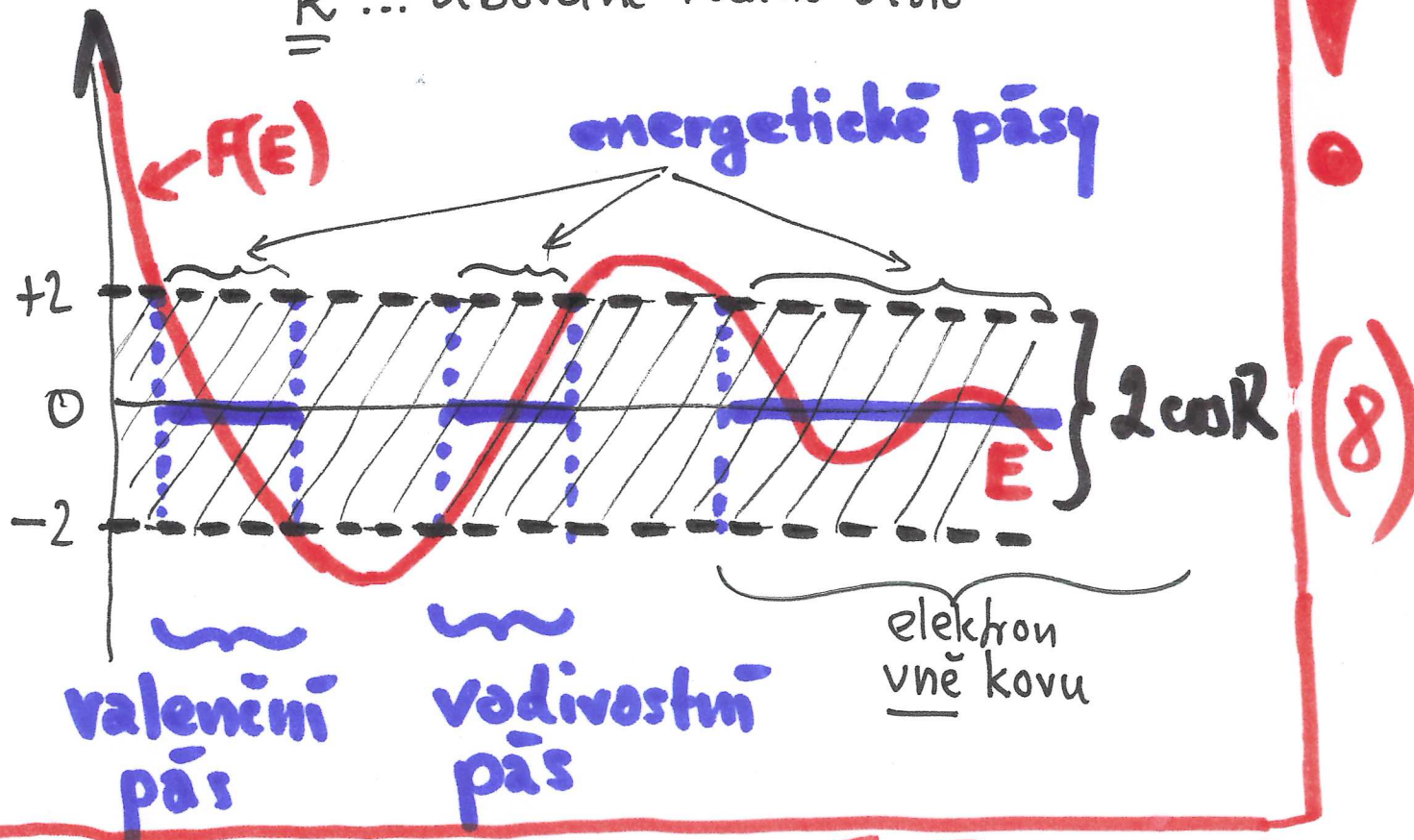
(7)

Klíčovým momentem je **tunelový jev**, který způsobí, že jednotlivé elektrony ztrácejí svou příslušnost k jednotlivým iontům a vzniká **společná vlna všech elektronů v krystalu**.

Řešením Schrödingerovy rovnice v tomto případě dostáváme následující podmínku pro možné hodnoty energie elektronů E :

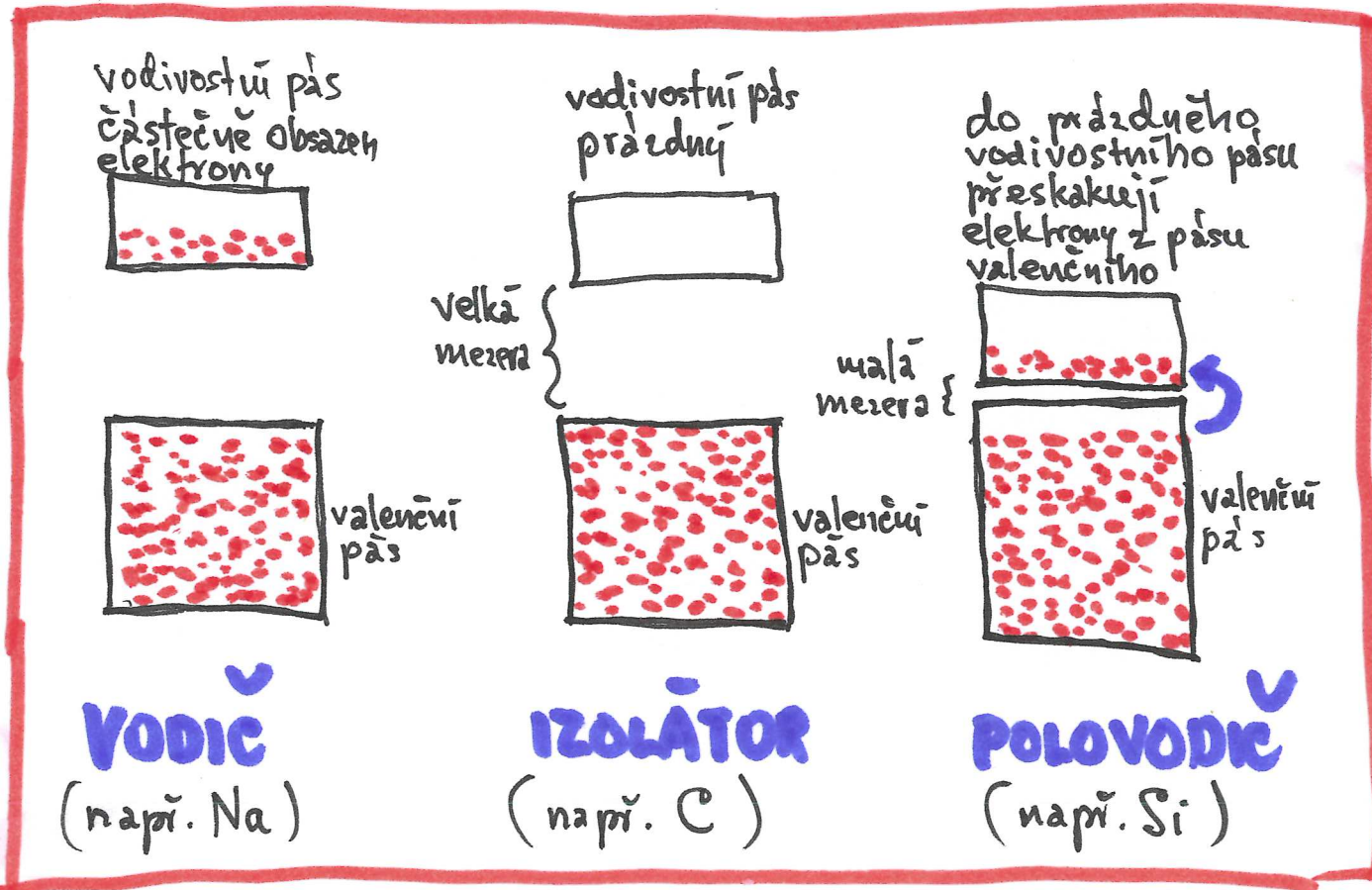
$$F(E) = 2 \cos R$$

R ... libovolné reálné číslo



PÁSOVÝ MODEL PEVNÉ LÁTKY

Vzájemná poloha a obsazenost valenčního a vodivostního pásu určuje fyzikální vlastnosti pevné látky:



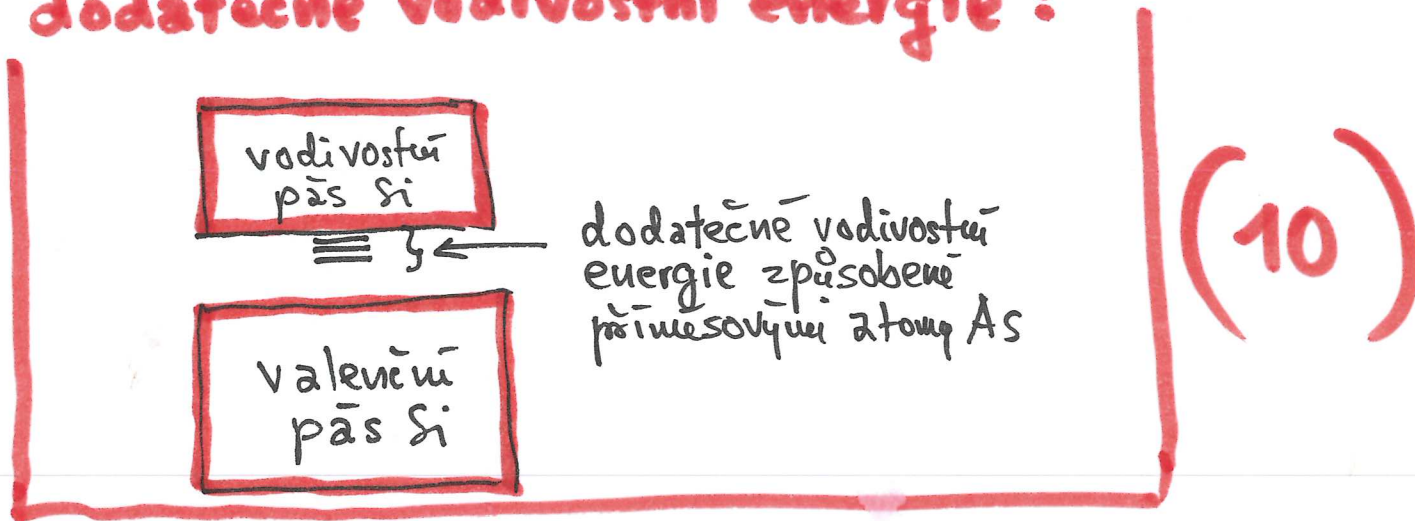
(9)



Vodivost polovodiče může být silně ovlivněna pomocí tzv. **příměsových atomů**, tj. jiných atomů než jsou ty, které tvoří daný krystal.

Přidejme např. do krystalu tvořeného atomy křemíku (Si), jež mají ve valenčním pásu 4 elektrony, několik atomů arsenu (As), které ve valenčním pásu mají 5 elektronů. Čtyři z 5 elektronů As jsou vázány kovalentními vazbami se 4 elektrony Si, ale pátý elektron As je volný, čímž silně zvyšuje vodivost polovodiče.

Příměs atomů As do krystalu Si tedy vytváří
dodatečné vodivostní energie:



Krystal Si s příměsí As se nazývá
polovodič typu n, neboť k vedení el. proudu
dochází prostřednictvím negativních nábojů
nadbytečných elektronů, tj. pátých elektronů v As.

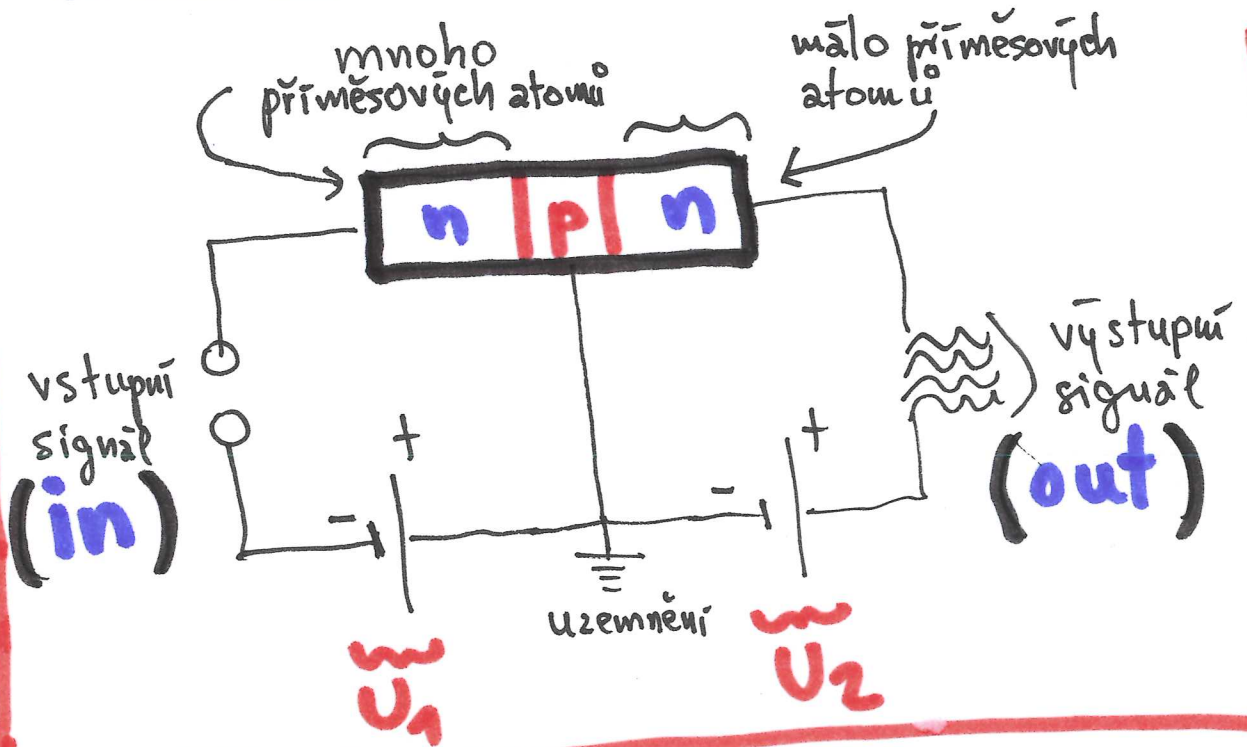
• Nyní uvažujme jiný příměsový atom v krystalu Si,
a sice galium (Ga). Tento atom má ve valenčním
pásmu 3 elektrony, tedy o jeden méně než mají atomy Si.
Ve struktuře krystalu s takovou příměsí pak vznikají
prázdné elektronové stavy, do nichž se přemísťují
jiné elektrony, uvolňující tak jiné elektronové stavy.
Ve vztahu k negativně nabitěmu okolí tak vznikají
pozitivně nabitě díry.

Krystal Si s příměsí Ga se proto nazývá
polovodič typu p.

Kombinace polovodičů **p a n** při vhodném
připojení k vnějšímu napětí dokáže vytvořit
zařízení, zvané **pn-přechodový**
transistor, který

slabý vstupní signál přemění
na silný výstupní :

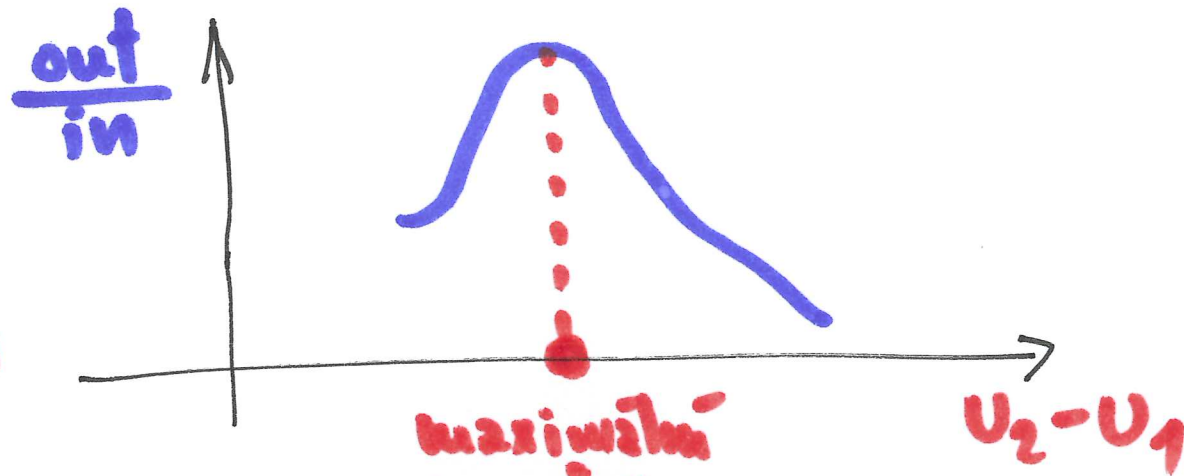
(11)



(12)



Složitá matematika řešení Schrödingerovy rovnice ukazuje **rezonanční** charakter podílu $\frac{\text{out}}{\text{in}}$ v závislosti na rozdílu $U_2 - U_1$:



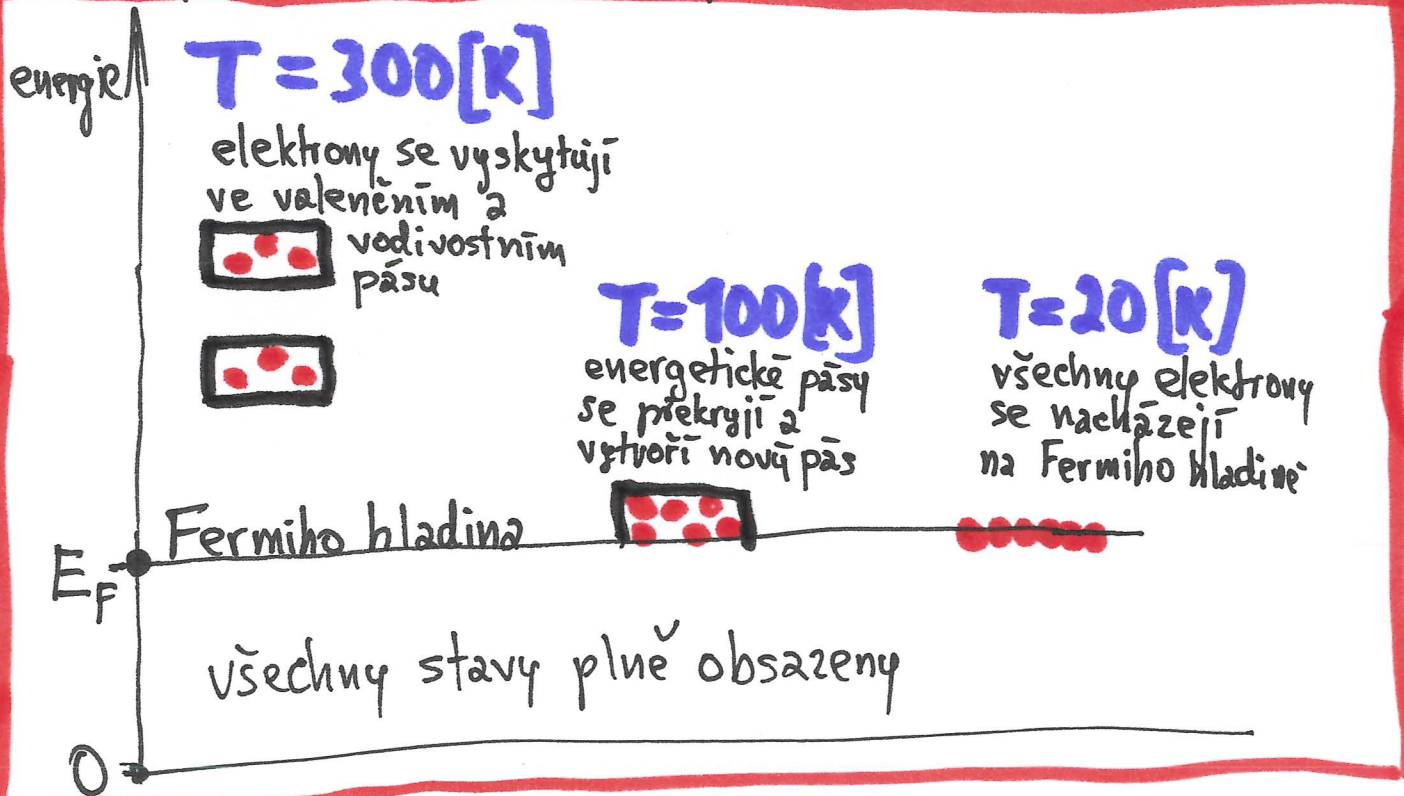
maximální
poměr
výstupního
signálu
ke vstupnímu

!

(13)

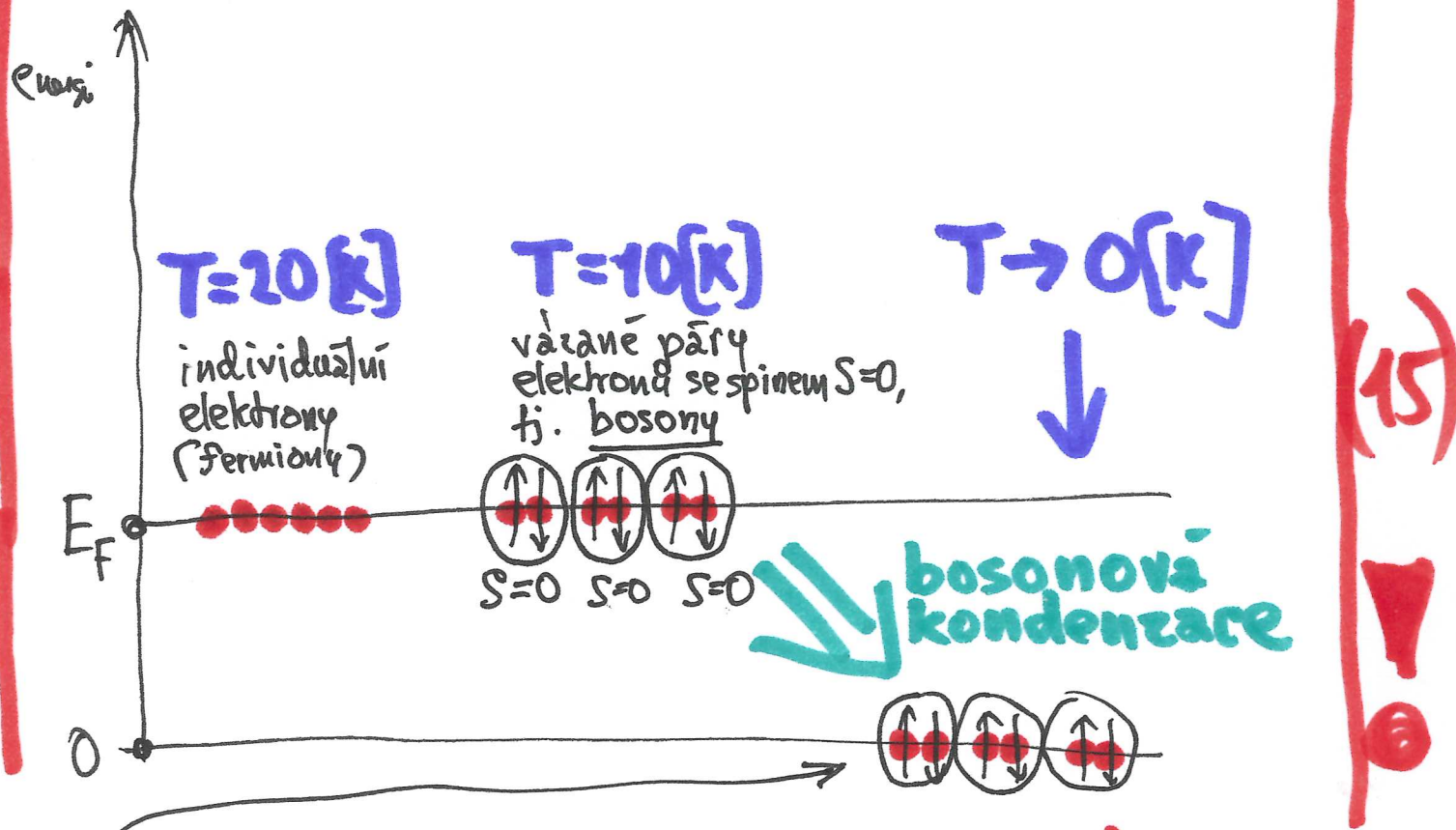
• Supravodič

Sledujme chování elektronů v normálním vodiči s postupně klesající teplotou:



Individuální elektrony normálního vodiče se pod Fermiho hladinu dostat nemohou, neboť tam je **obsazeno** a elektrony se řídí **Pauliho principem**, tj. v jednom stavu může být maximálně jeden elektron.

Klíčová otázka tedy je, co se bude dít při dalším snižování teploty:



Tyto vázané páry elektronů (= bosony) s nulovou energií mohou být uvedeny do pohybu libovolně malým vnějším základem (napětím). Přestává tudíž platit Ohmův zákon, látka se stává **supravodivou**.