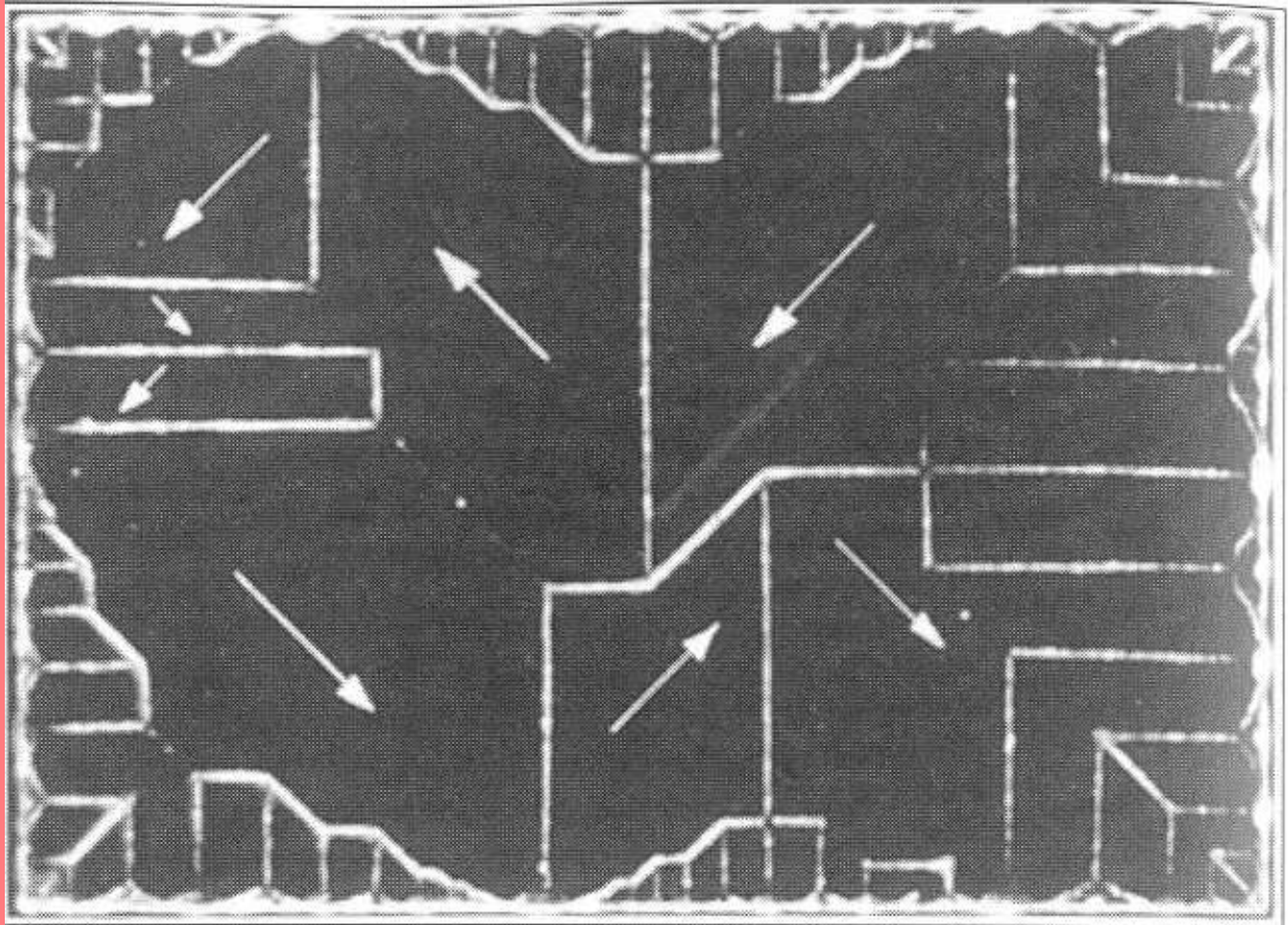


Magnetické pole v látce



C. Kittel: *Úvod do fyziky pevných látek*,
Academia, Praha, 1985

látka do magnetického pole

přitahována silně **feromagnetická**

přitahována slabě **paramagnetická**

odpuzována **diamagnetická**

magnetický moment elektronu

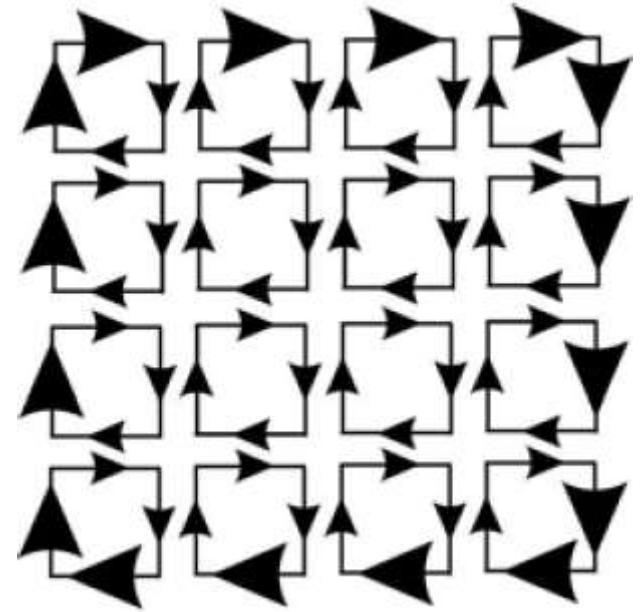
$$\vec{m} = -\frac{e}{2m_e} \vec{L}$$

spinový magnetický moment
elektronu (kvantový jev)

$$\vec{m}_s = -\frac{e}{m_e} \vec{L}_s$$

magnetizace

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}}{V} \quad \vec{M} = \frac{d\vec{m}}{dV}$$



Ampère – hypotéza o existenci molekulárních a atomárních proudů:

Lze tvrdit, že magnetické pole vytvořené homogenně zmagnetovaným tělesem bude totožné s polem vhodně zvolených makroskopických plošných proudů tekoucích po povrchu tělesa.

Magnetická susceptibilita a permeabilita

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M$$

solenoid $B_0 = \mu_0 \frac{IN}{l}$

jádro solenoidu $B_M = \frac{\mu_0 N_M I_M}{l}$

$$M = \frac{N_M I_M S}{V} = \frac{N_M I_M}{l}$$

$$\vec{B}_M = \mu_0 \vec{M}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + I_M)$$

$$\oint_C (\vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}) \cdot d\vec{l} = \oint_C \vec{B}_0 \cdot d\vec{l} + \oint_C \mu_0 \vec{M} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 I_M$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} - \oint_C \mu_0 \vec{M} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + I_M) - \mu_0 I_M$$

$$\oint_C (\vec{B} - \mu_0 \vec{M}) \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B} - \mu_0 \vec{M}}{\mu_0} \quad \text{intenzita magnetického pole}$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad \text{Ampérův zákon}$$

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad \text{magnetická susceptibilita látky}$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}$$

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \quad \text{permeabilita látky}$$

$$\text{relativní permeabilita} \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\mu_r = (1 + \chi_m)$$

Diamagnetismus

inertní plyny, velký počet kovů, většina organických látek, voda

$$\chi_m < 0 \quad \mu_r \doteq 1$$

$$-\chi_m \ll 1 \quad \mu < \mu_0$$

supravodič, Meissnerův jev

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/424-meissneruv-jev>

<https://www.fzu.cz/aktuality/supravodivost-levitace>

- všechny látky
- slabý: překryt, pokud je látka paramagnetická nebo feromagnetická
- Langevin:
způsoben elektromagnetickou indukcí v uzavřených proudových drahách elektronů v atomech

$$|\chi_m| < 10^{-6} \quad \text{vizmut: } \chi_m = -14 \cdot 10^{-6}$$

P. Curie: susceptibilita diamagnetických látek nezávisí na teplotě

Paramagnetismus

kyslík, sodík, hliník, platina

$$\chi_m > 0$$

$$\mu_r \doteq 1$$

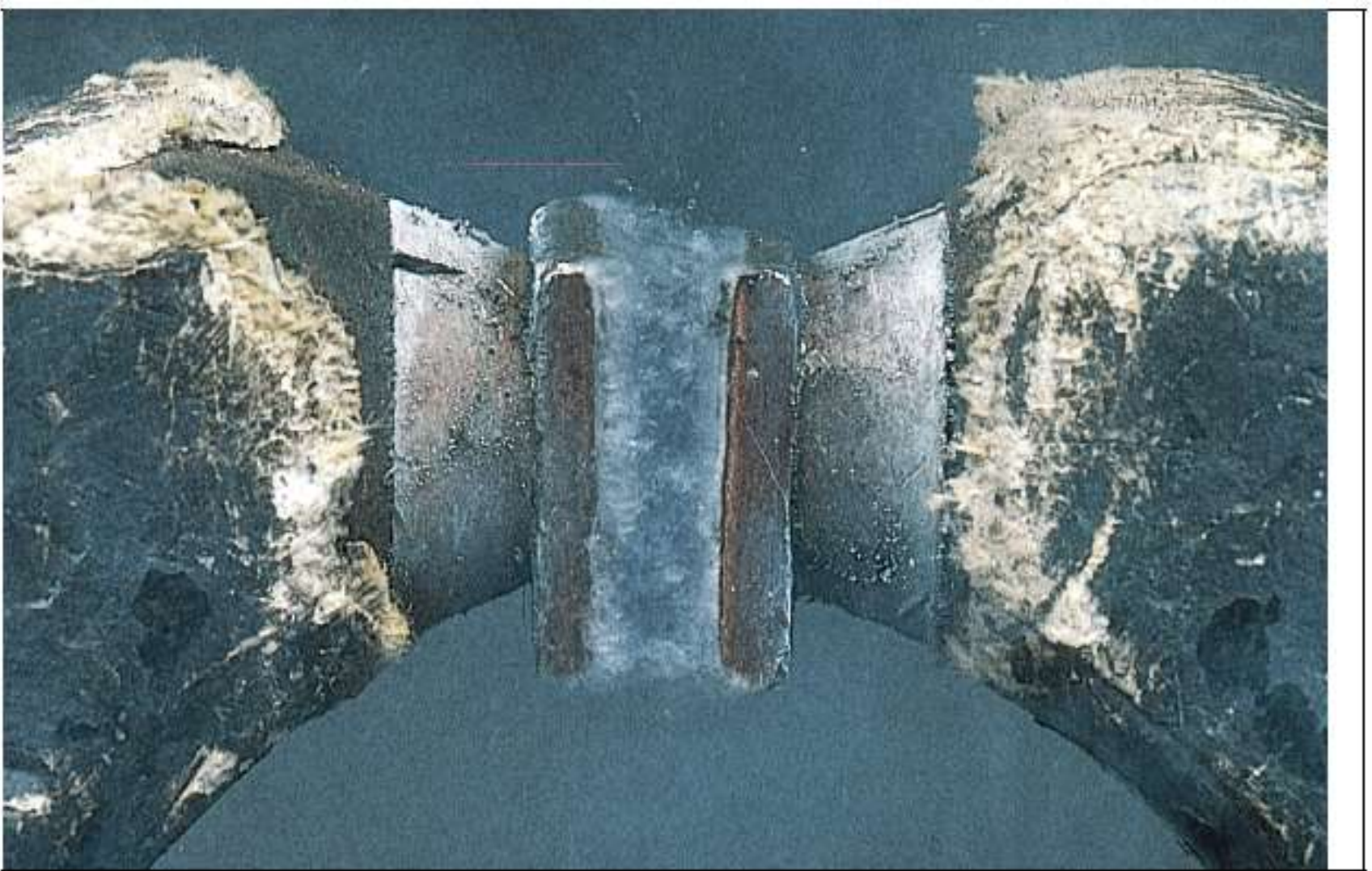
$$\chi_m \ll 1$$

$$\mu > \mu_0$$

$$\chi_m = \frac{C}{T} \quad \text{Curieův zákon}$$

- nenulový magnetický moment (spinové a orbitální magnetické momenty elektronů se nevykompenzují)
- nepřítomnost vnějšího magnetického pole: jednotlivé atomové magnetické momenty orientovány náhodně
- vnější magnetické pole: magnetické momenty do směru vnějšího magnetického pole výsledný nenulový magnetický moment
- orientace opačná než u diamagnetizmu

$$\chi_m \geq 10^{-6}; \text{ někdy } \chi_m \approx 10^{-3}$$



Kapalný kyslík se vznáší mezi dvěma čely magnetu, neboť je paramagnetický a je do magnetického pole vtahován.

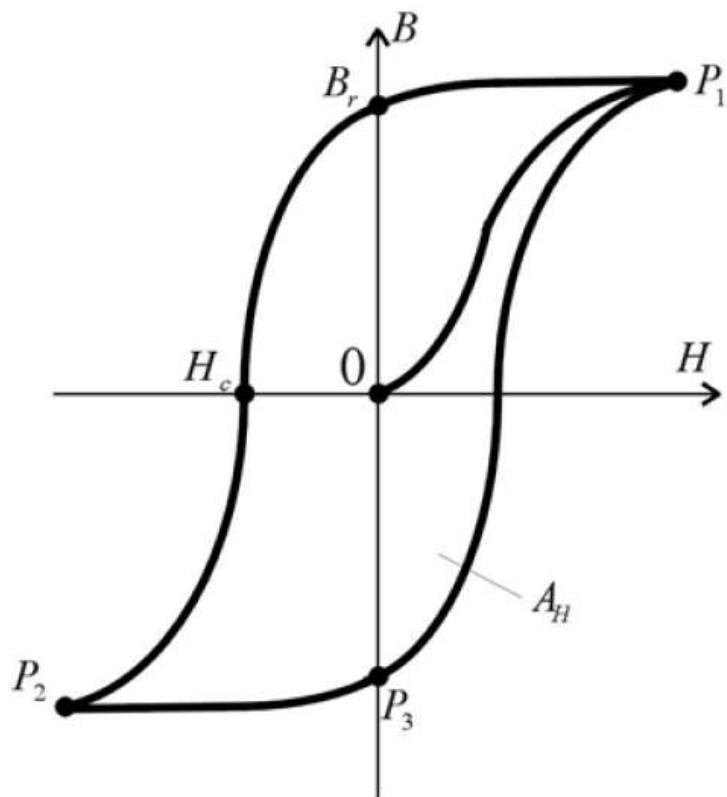
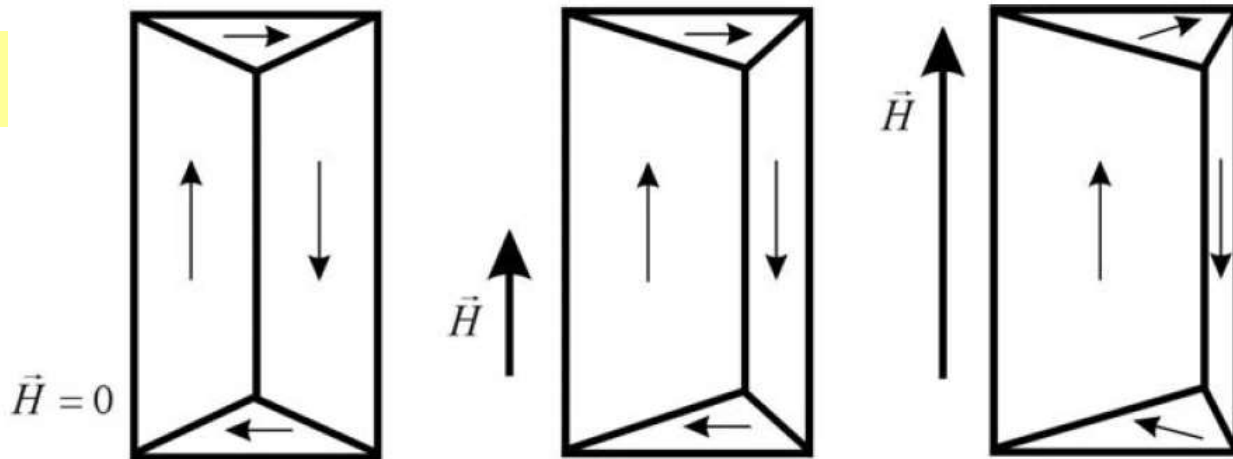
Halliday, Resnik, Walker: Fyzika

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek>

Feromagnetismus

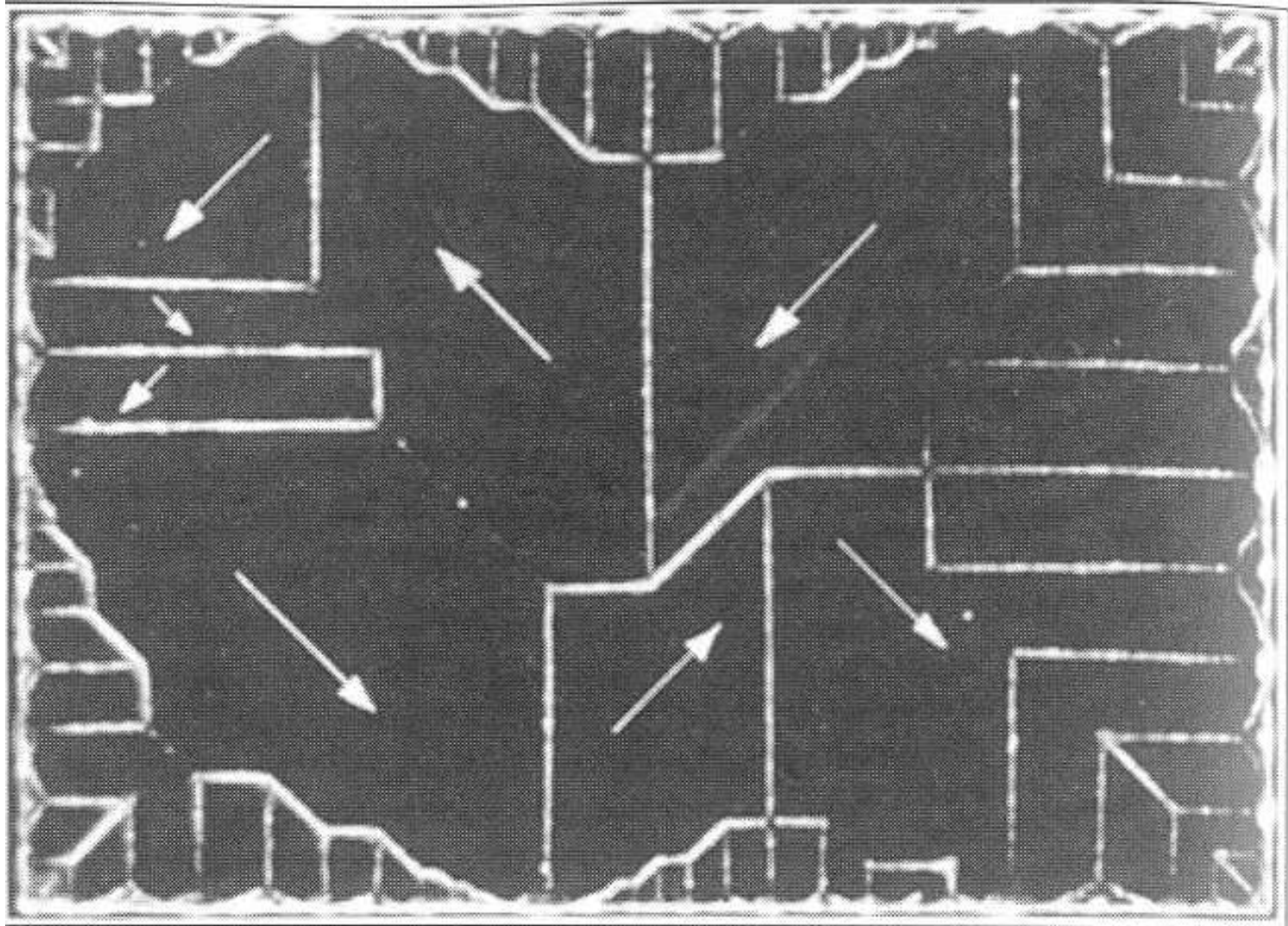
$$\chi_m > 0 \quad \mu_r \gg 1$$

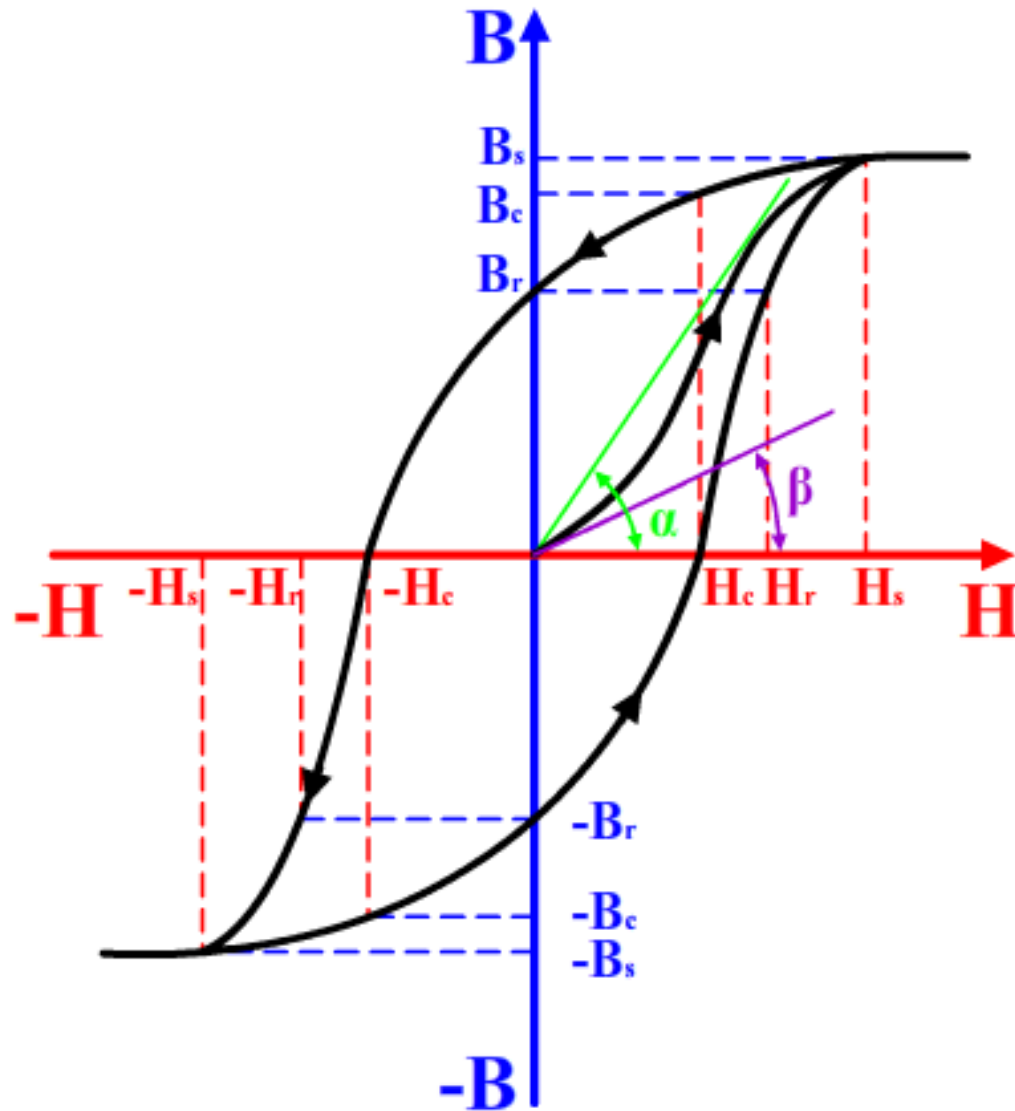
$$\chi_m \gg 1 \quad \mu \gg \mu_0$$



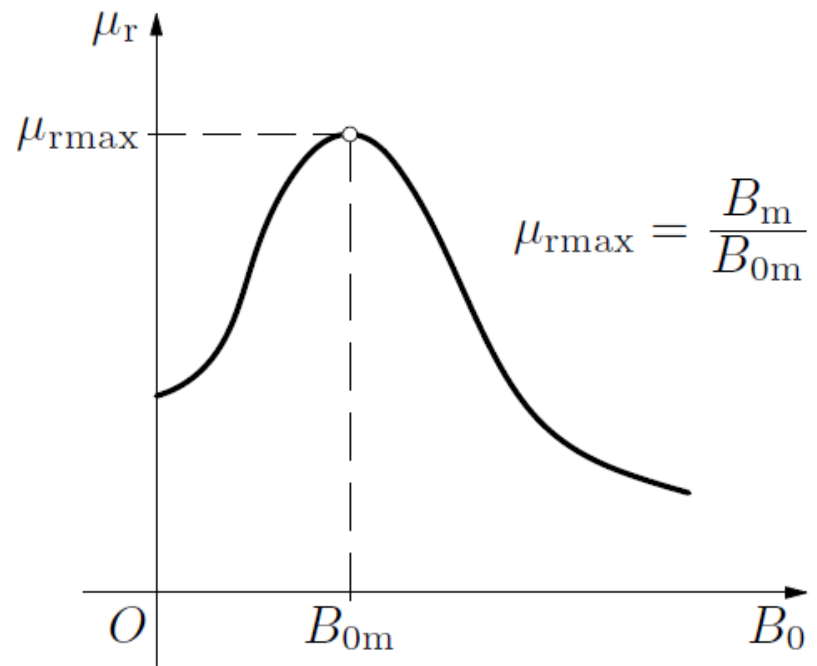
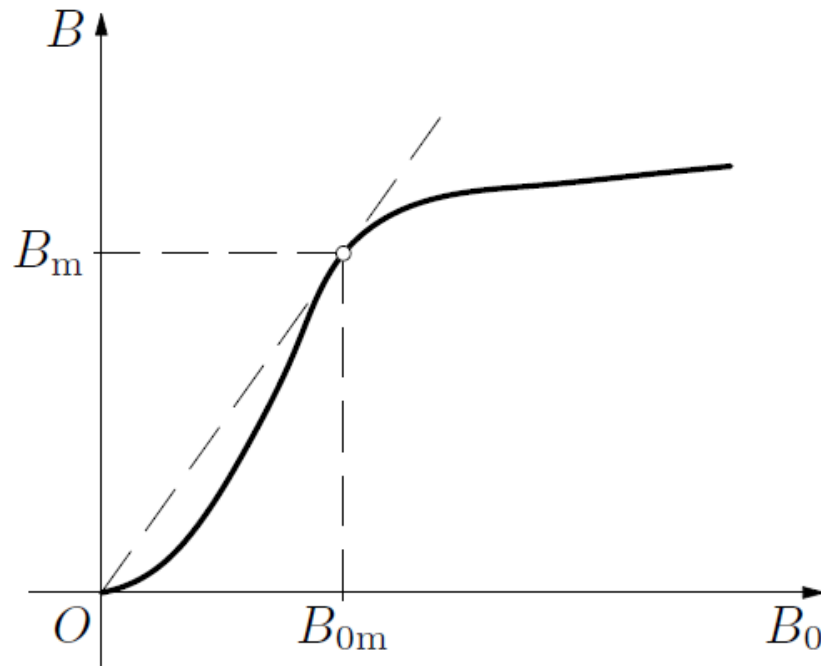
hystereze domény
Blochovy stěny

železo, kobalt, nikl, gadolinium,
dysprozium a slitiny těchto i některých
jiných (i neferomagnetických) prvků





http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/animace%20SWF/4_Magneticke_materialy.swf

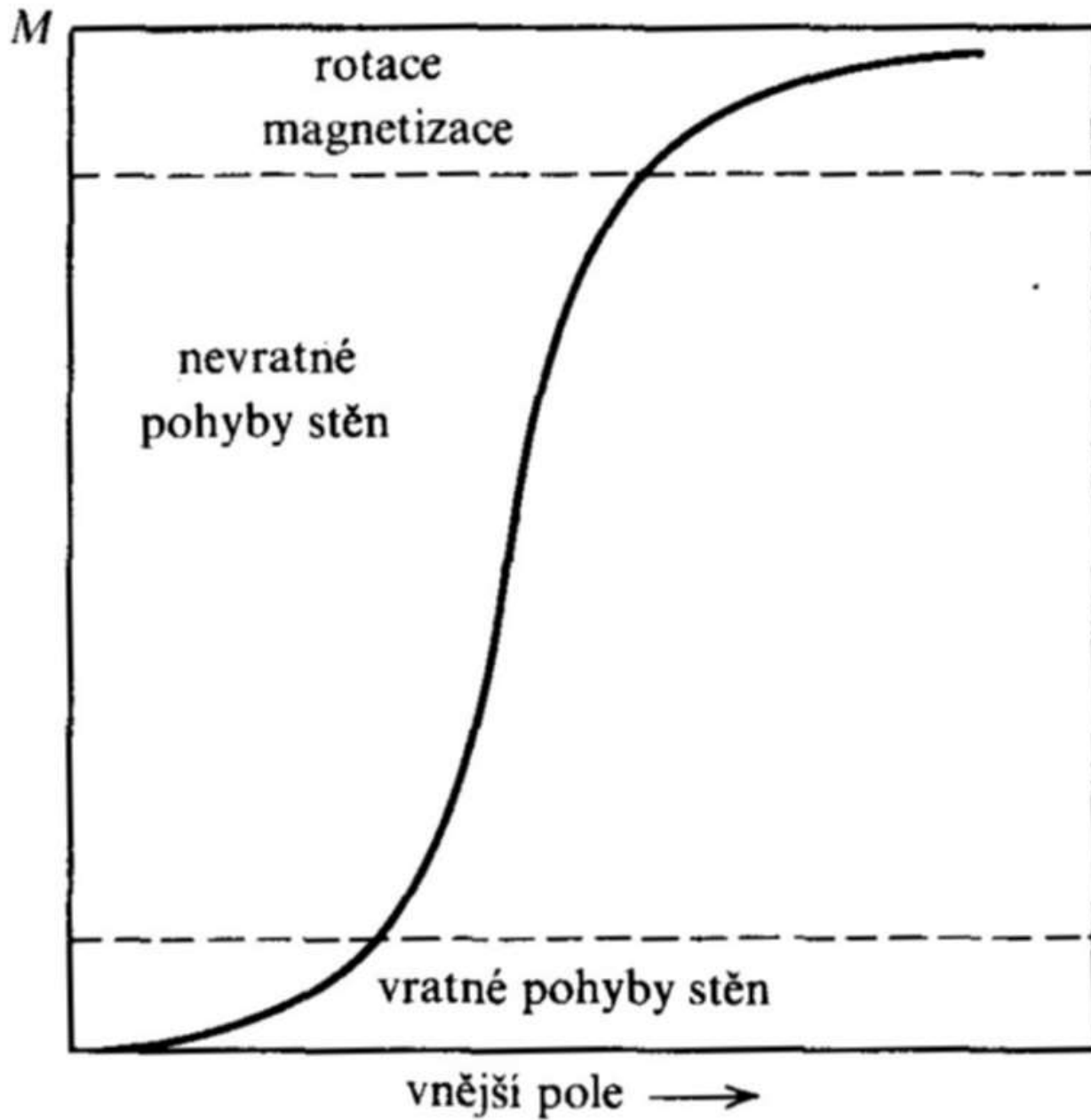


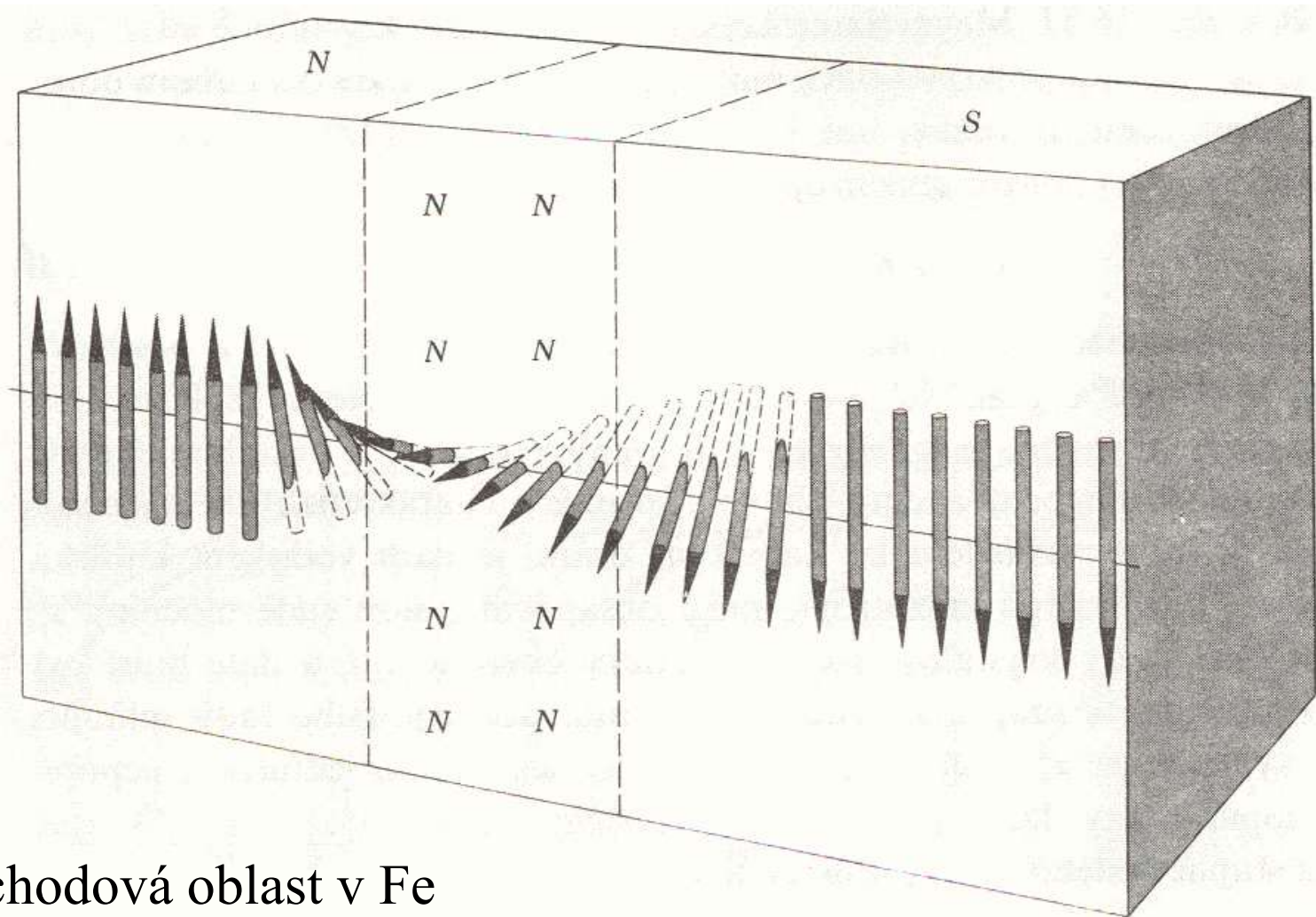
$$B_0 = \mu_0 H$$

Vybíral, B.: **Magnetické pole v látce** (kategorie A),

<http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/studijni-texty>

http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/animace%20SWF/4_Magneticke_materialy.swf





přechodová oblast v Fe

$\sim 300 a$

bcc: $a = 0,287 \text{ nm}$

$300 a \doteq 85 \text{ nm}$

C. Kittel: *Úvod do fyziky pevných látek*,
Academia, Praha, 1985

<https://fyzikalnipokusy.cz/1723/curieova-teplota-feromagnetik>

Curie Effect Magnetic Heat Engine
<http://www.youtube.com/watch?v=RWrTvB-oK94>

<http://www.aldebaran.cz/animace/index.html>

Magnetická lavina. Feromagnetika jsou známa tím, že je pro ně výhodné, aby dva sousední magnetické momenty (zpravidla spiny) zaujímaly shodnou polohu. Za nízkých teplot proto magnetické momenty vytvářejí tzv. Weissovy domény – oblasti shodně orientovaných momentů. Za vysokých teplot dominuje chaotické uspořádání. Při postupném zvyšování teploty dojde k fázovému přechodu mezi oběma fázemi při tzv. Curieově teplotě. Na animaci vidíte uspořádanou nízkoteplotní fázi, ve kterém se posouvá hranice mezi dvěma Weissovými doménami s opačně orientovanými magnetickými momenty. Vzniká tak efekt laviny, která způsobuje překlápění momentů a postupnou změnu orientace momentů v celém krystalu.

