

Struktura a vlastnosti kovů I.

Vlastnosti fyzikální (teplota tání, měrný objem,
moduly pružnosti)

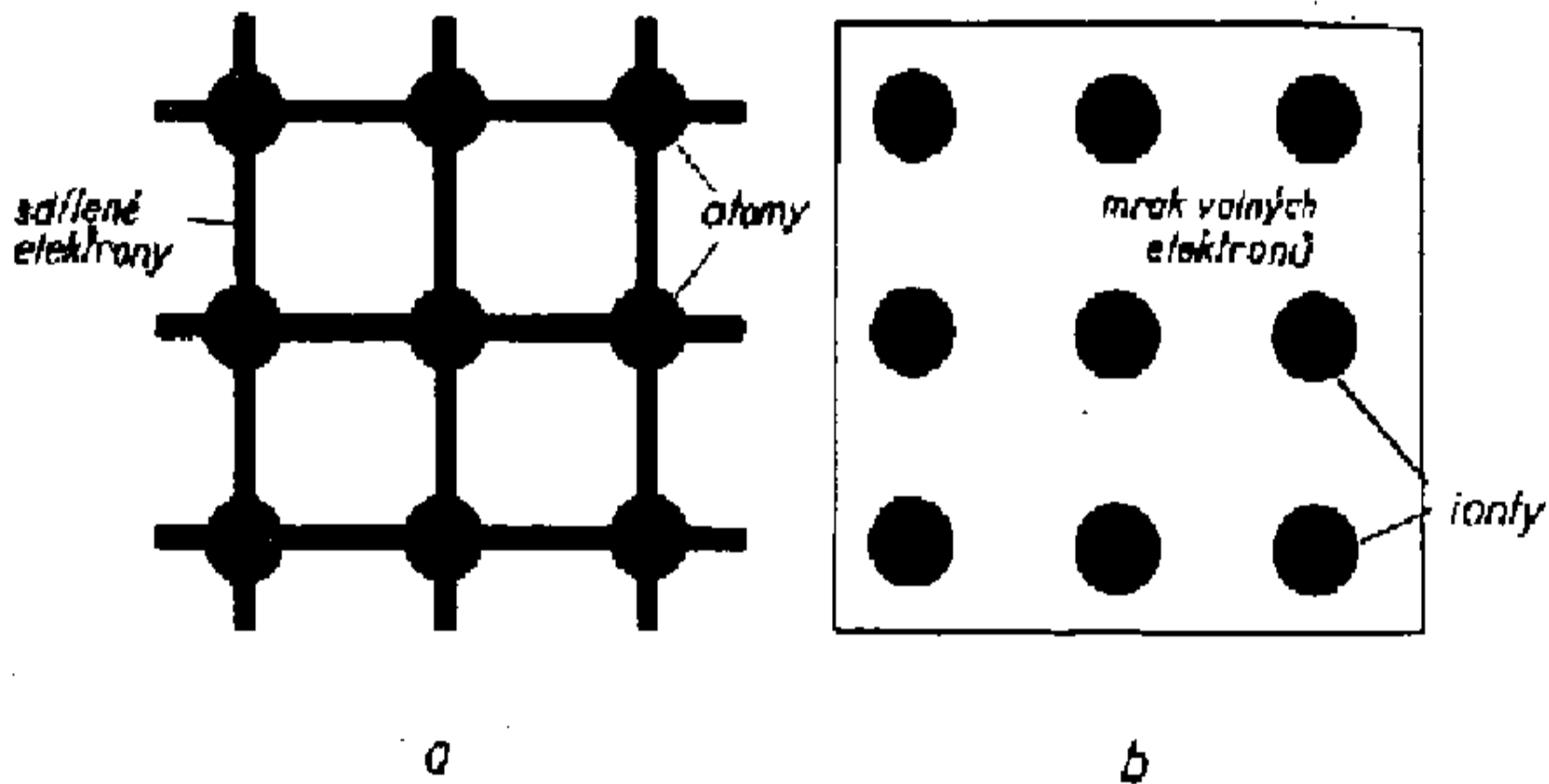
Vlastnosti elektrické (vodivost, polovodivost,
supravodivost)

Vlastnosti magnetické (feromagnetika,
antiferomagnetika)

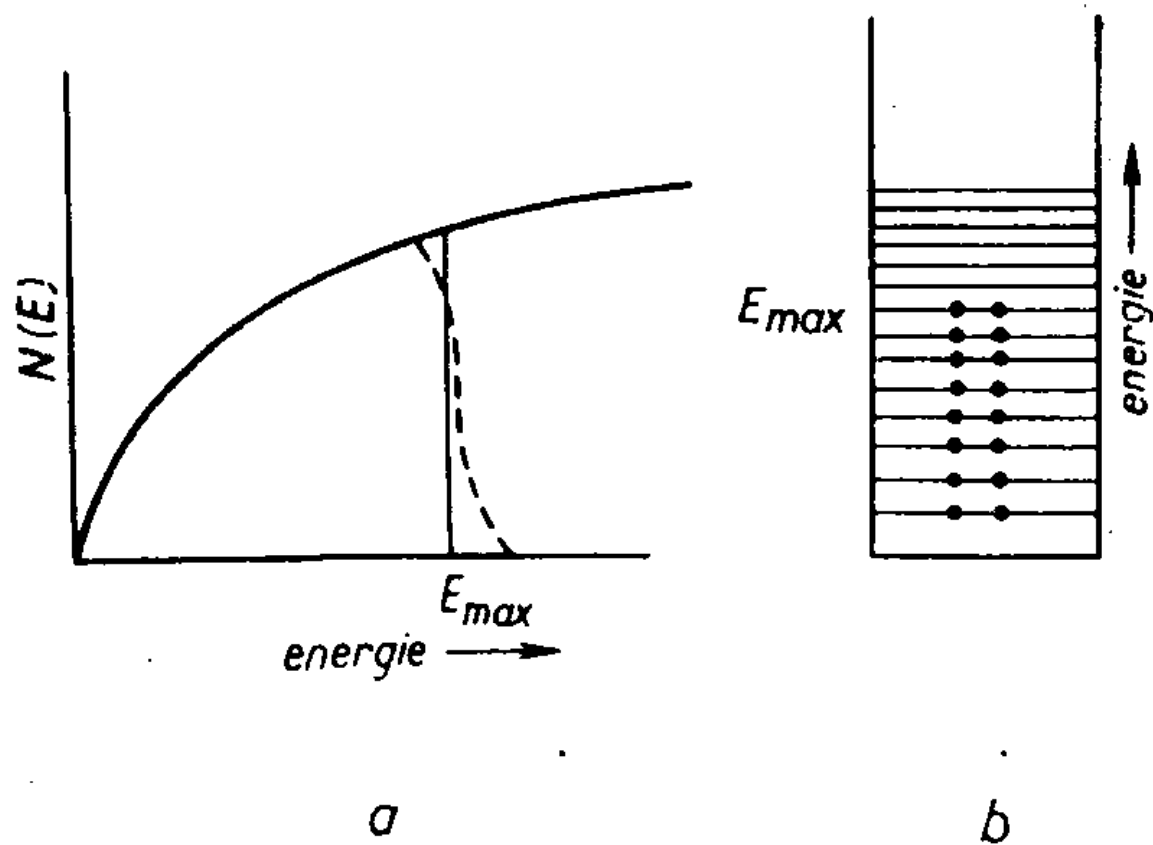
Vlastnosti mechanické (pružnost, pevnost)

Vlastnosti fyzikální

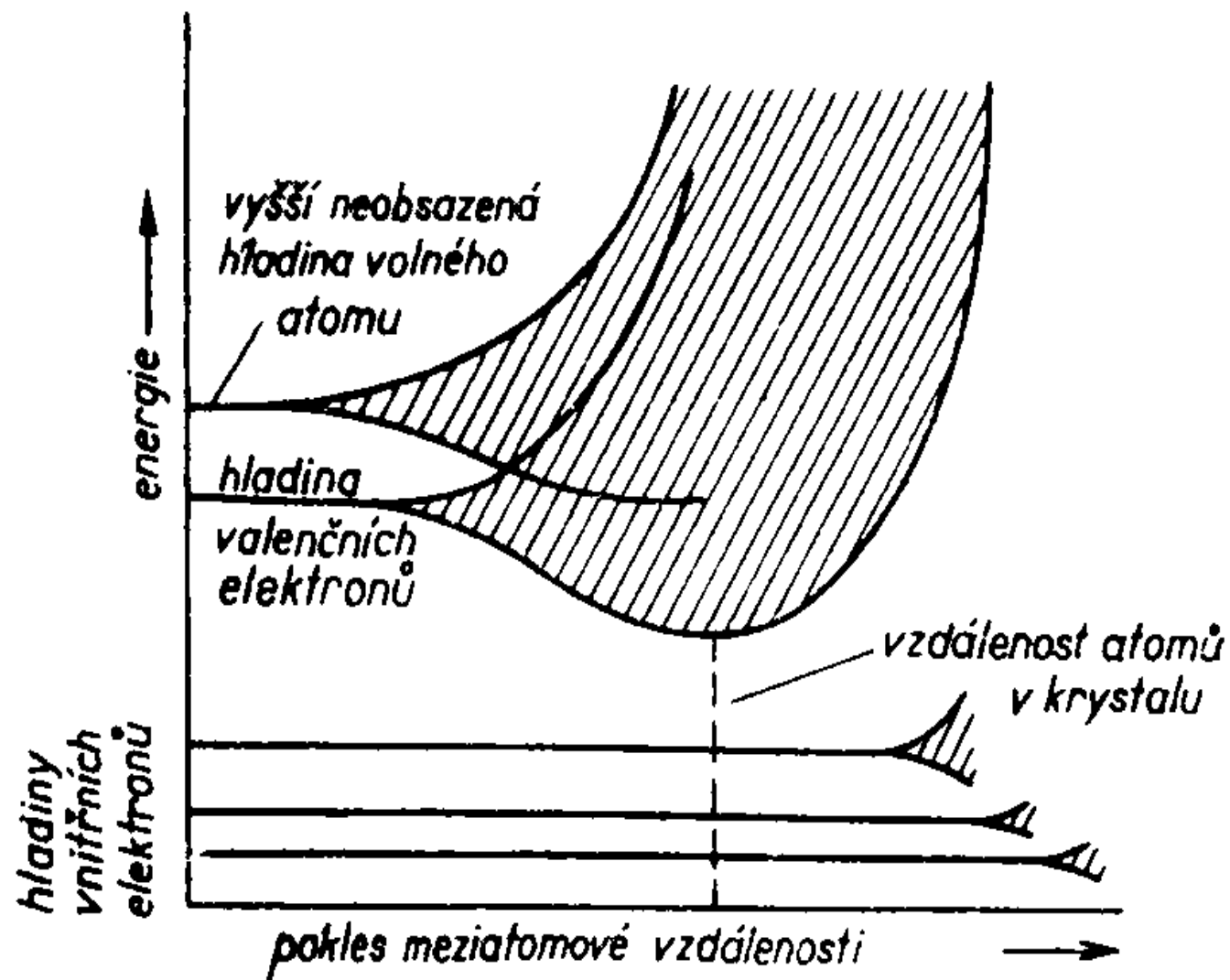
- Teplota tání
 - Měrný objem
 - Modul pružnosti v tahu
 - Modul pružnosti ve smyku
 - Délková roztažnost a objemová stlačitelnost
-



Obr. 1. Schematické znázornění: a) kovalentní a b) kovové vazby.



Obr. 5. a) Závislost hustoty energetických hladin na jejich energii. b) Zaplňování energetických hladin elektrony při teplotách blízkých absolutní nule. Při obvyklých teplotách jsou některé elektrony tepelně excitovány do hladin s vyšší energií, než je E_{max} . Na obr. 5.a) naznačeno přerušovanou čarou.



Obr. 4. Rozšíření energetických hladin atomů v krystalu kovu.

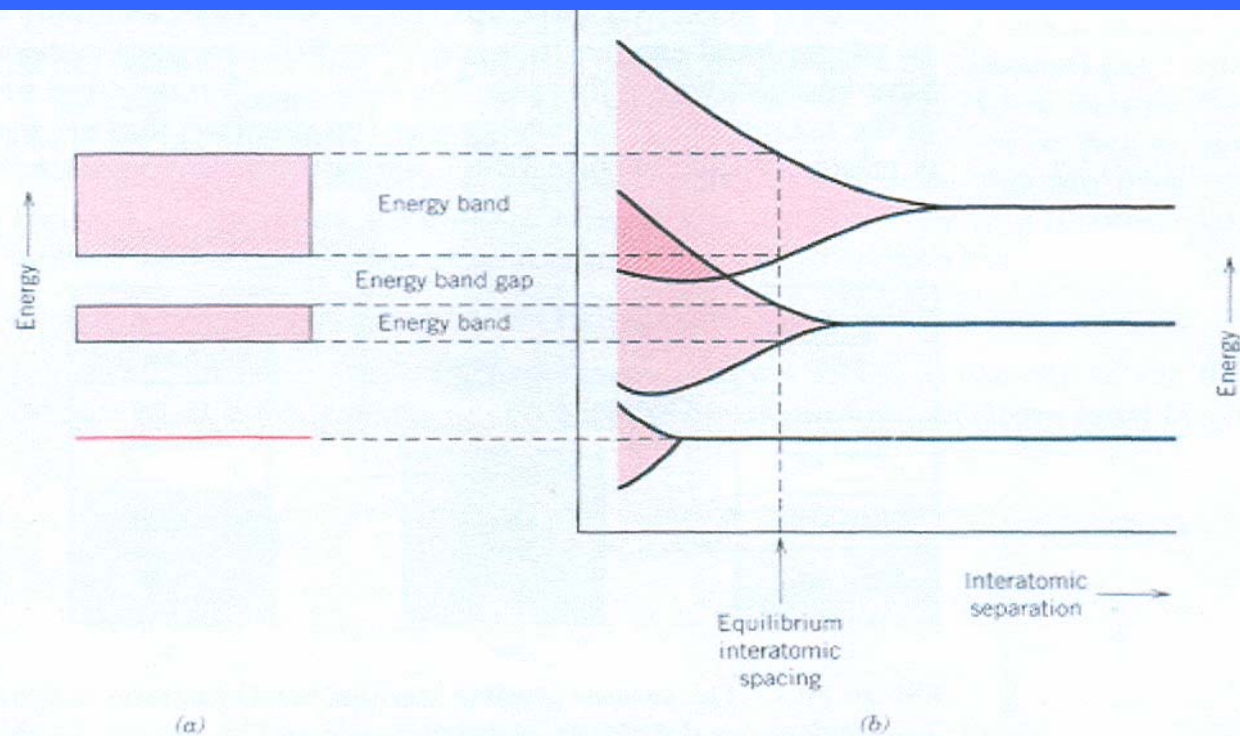


FIGURE 19.3 (a) The conventional representation of the electron energy band structure for a solid material at the equilibrium interatomic separation. (b) Electron energy versus interatomic separation for an aggregate of atoms, illustrating how the energy band structure at the equilibrium separation in (a) is generated. (From Z. D. Jastrzebski, *The Nature and Properties of Engineering Materials*, 3rd edition. Copyright © 1987 by John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

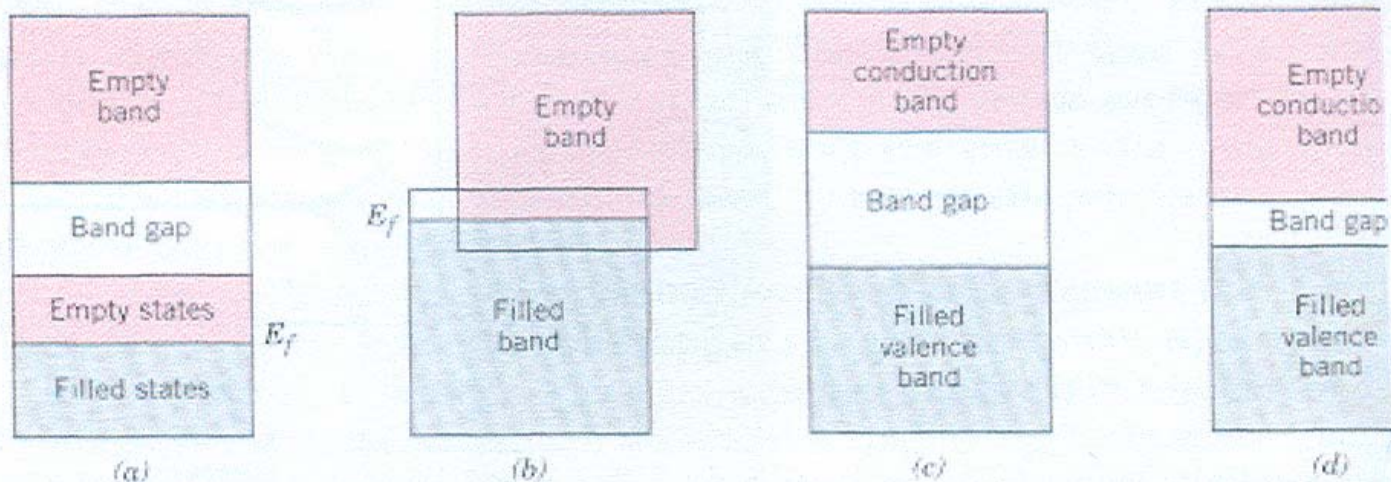
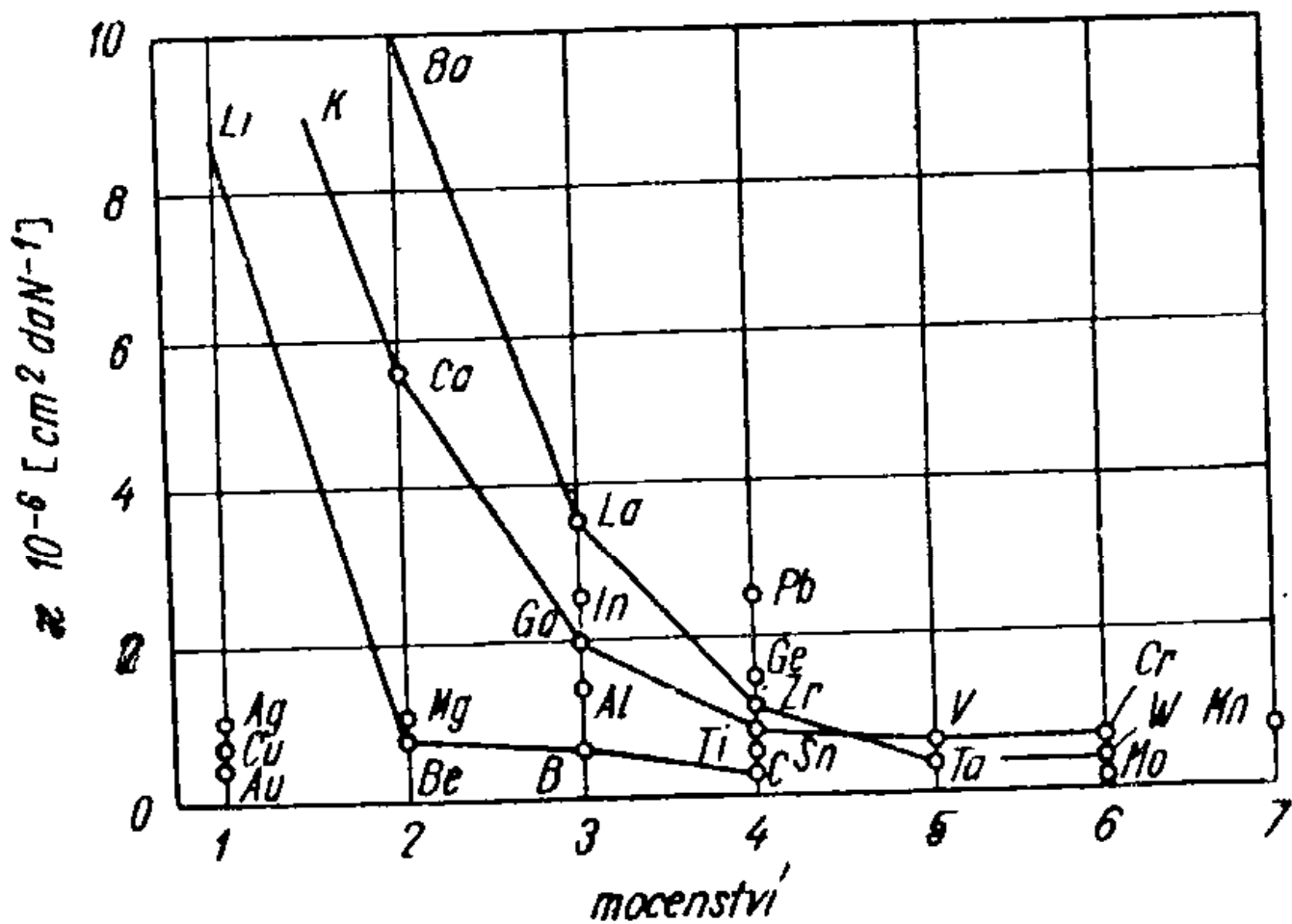
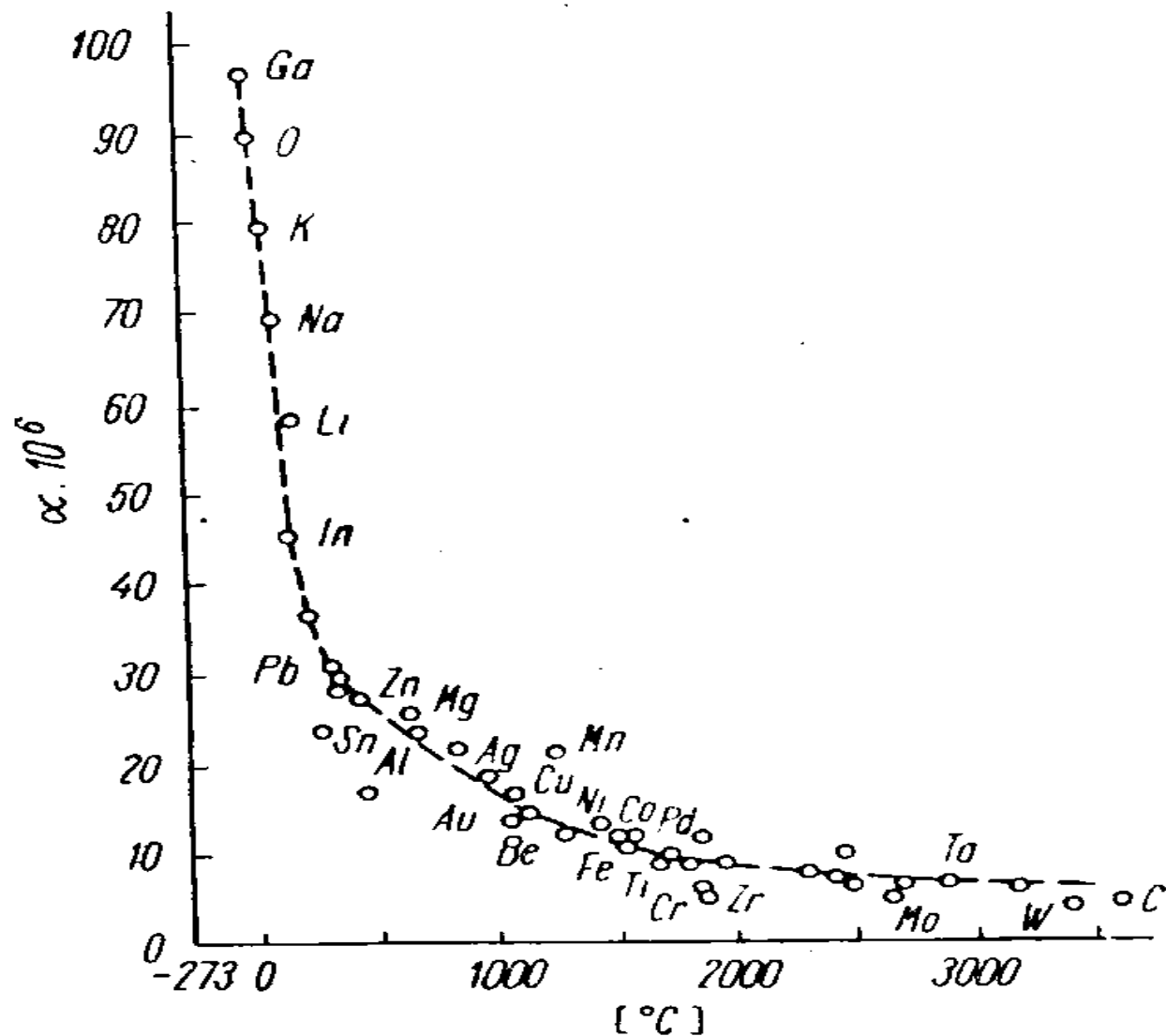


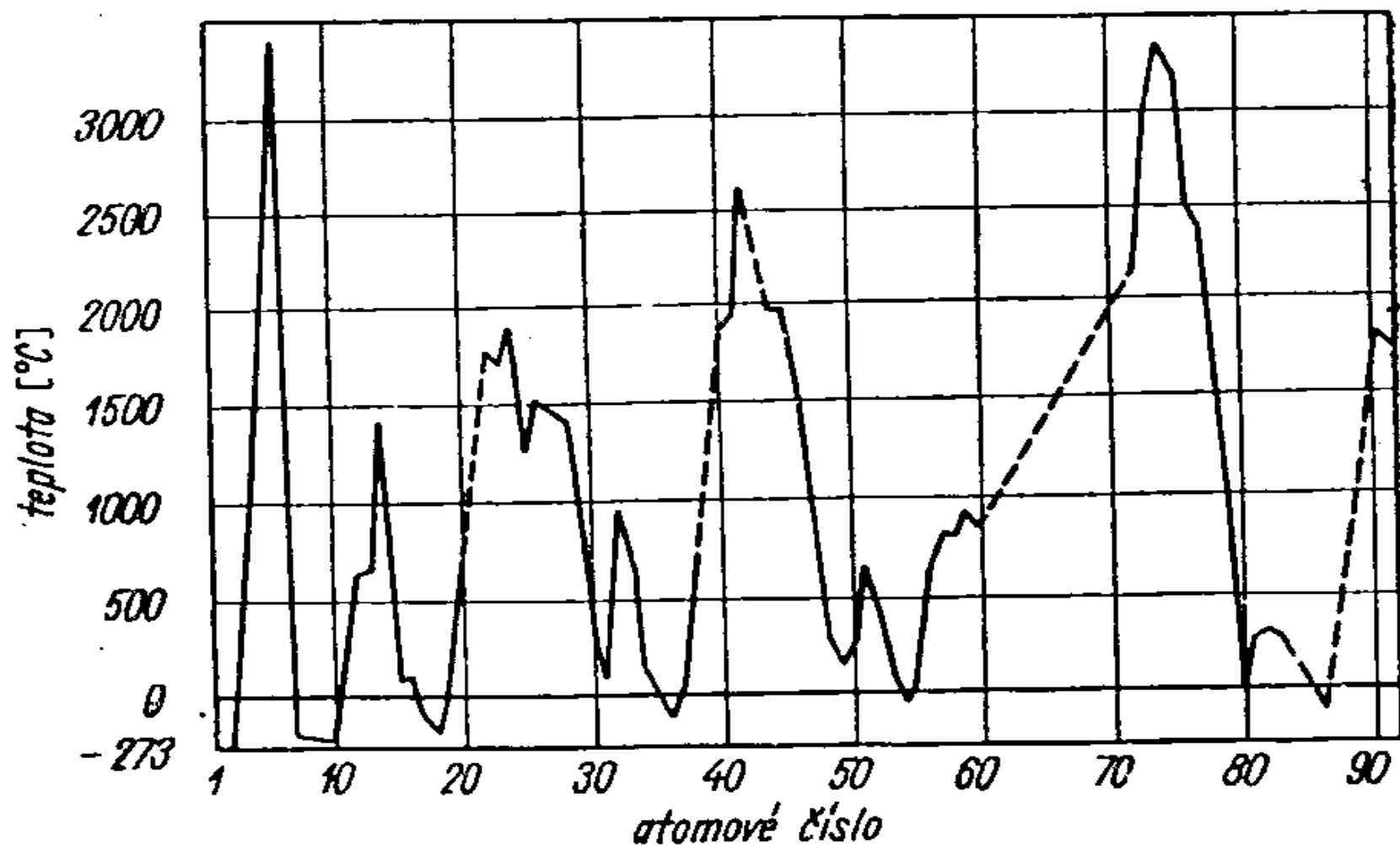
FIGURE 19.4 The various possible electron band structures in solids at 0 K. (a) The electron band structure found in metals such as copper, in which there are available electron states above and adjacent to filled states, in the same band. (b) The electron band structure of metals such as magnesium, wherein there is an overlap of filled and empty outer bands. (c) The electron band structure characteristic of insulators; the filled valence band is separated from the empty conduction band by a relatively large band gap (>2 eV). (d) The electron band structure found in the semiconductors, which is the same as for insulators except that the band gap is relatively narrow (<2 eV).



Obr. 3-1. Objemová stlačitelnost κ některých kovů jako funkce mocenství. Prvky stejných period jsou spojeny čarou



Obr. 3-2. Závislost součinitele délkové roztažnosti α na teplotě tání některých kovů



Obr. 3-3. Závislost teploty tání prvků ve °K na atomovém čísle

Vlastnosti elektrické

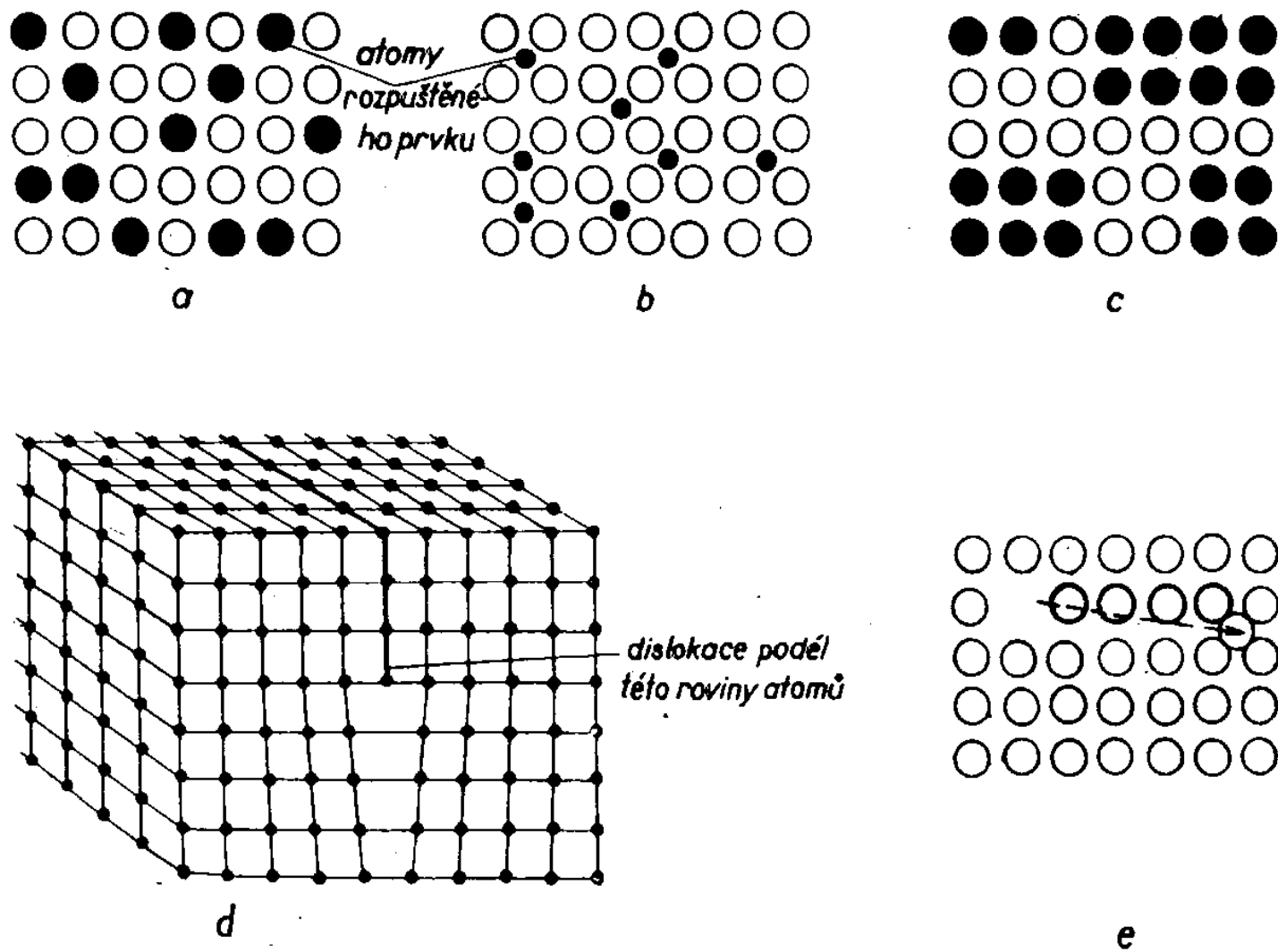
■ Vodivost kovů

■ Experimentální fakta:

- - Nad Debyeovou teplotou roste odpor kovů lineárně s teplotou
- - Za nízkých teplot, ale $T > 20\text{K}$, je odpor mnoha kovů úměrný T^5
- - U většiny kovů odpor klesá, zvyšuje-li se tlak
- - Odpor kapalin je vyšší než odpor pevných látek
- - Matthiessenovo pravidlo: měrný odpor $\rho = \rho_0 + \rho(T)$, kde
- ρ_0 roste s rostoucím množstvím příměsi a $\rho(T)$ závisí jen na teplotě
- - Vizmutová anomálie: při tání a s telurem při legování
- - Odpor slitin vykazuje výrazná minima odpovídající uspořádaným fázím
- - Wiedemannův-Franzův zákon: nad Debyeovou teplotou je poměr tepelné a elektrické vodivosti u všech kovů přibližně konstantní a úměrný absolutní teplotě
- - U některých kovů se objevuje supravodivost při teplotách blízko absolutní nuly

Modely vodivosti

- Modely vodivosti
 - Drude-Lorenz(1900,1905):Volné elektrony - interakce s mřížkou atomů - ustálený stav toku elektronů (klasická statistika)
 - Sommerfeld (1928): (Fermi-Diracova statistika)
 - Při vedení elektřiny se uplatňují jen elektrony s energií blízkou Fermiho energii – velká střední volná dráha elektronů
 - Bloch (1930): Pásová teorie – příčina odporu=odchylky od periodičnosti potenciálového pole : 1. kmity mřížky, 2. mřížkové poruchy, 3. příměsi, 4. hranice zrn
 - Fermiho energie a změna obsazení stavů s teplotou
 - Fonony, vakance a intersticiály, dislokace, vrstevné chyby a hranice zrn
 - Kvalitativní rozbor vlastností měrného odporu
-



Obr. 8. Schéma: a) substitučního tuhého roztoku, b) intersticiálního tuhého roztoku, c) směsi fází, d) dislokace a e) páru vakance — intersticiální atom.

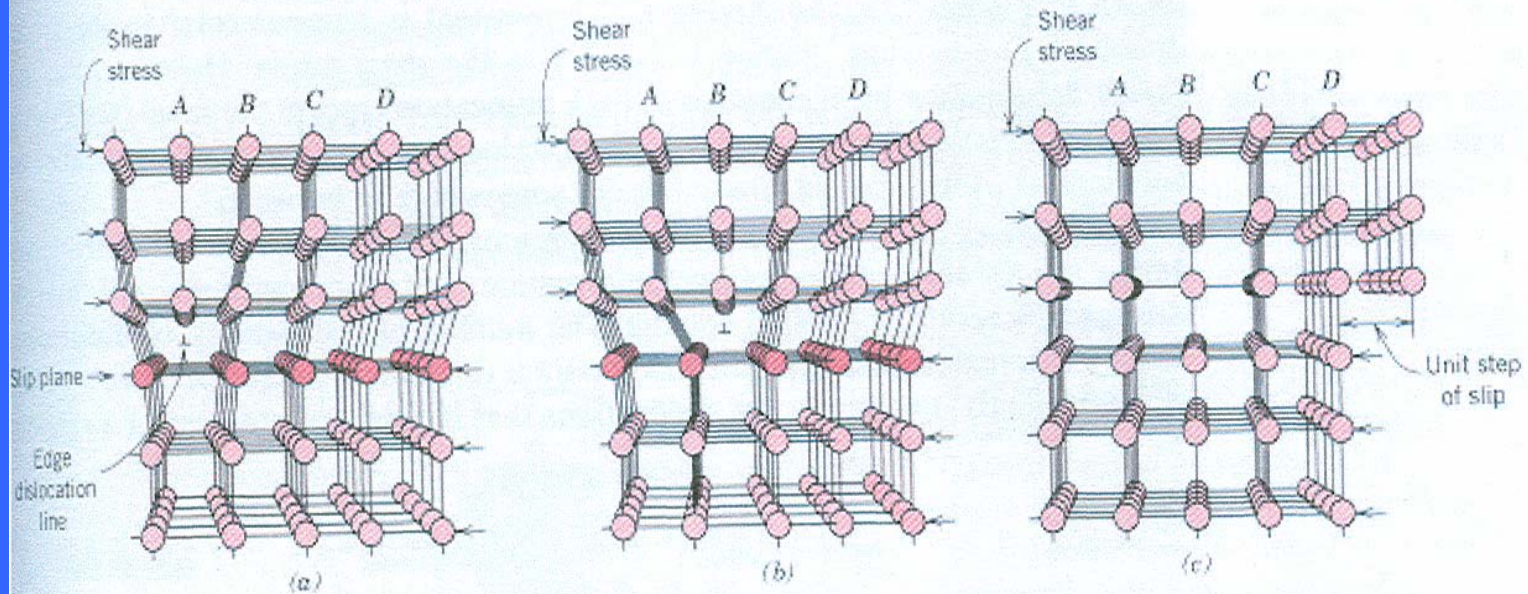


FIGURE 7.1 Atomic rearrangements that accompany the motion of an edge dislocation as it moves in response to an applied shear stress. (a) The extra half-plane of atoms is labeled *A*. (b) The dislocation moves one atomic distance to the right as *A* links up to the lower portion of plane *B*; in the process, the upper portion of *B* becomes the extra half-plane. (c) A step forms on the surface of the crystal as the extra half-plane exits. (Adapted from A. G. Guy, *Essentials of Materials Science*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976, p. 153.)

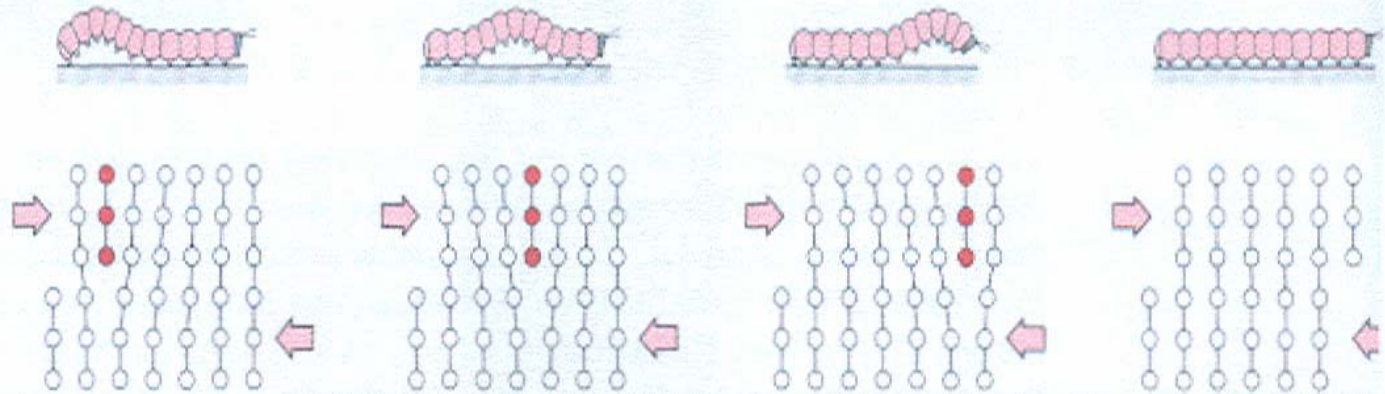


FIGURE 7.3 Representation of the analogy between caterpillar and dislocation motion.

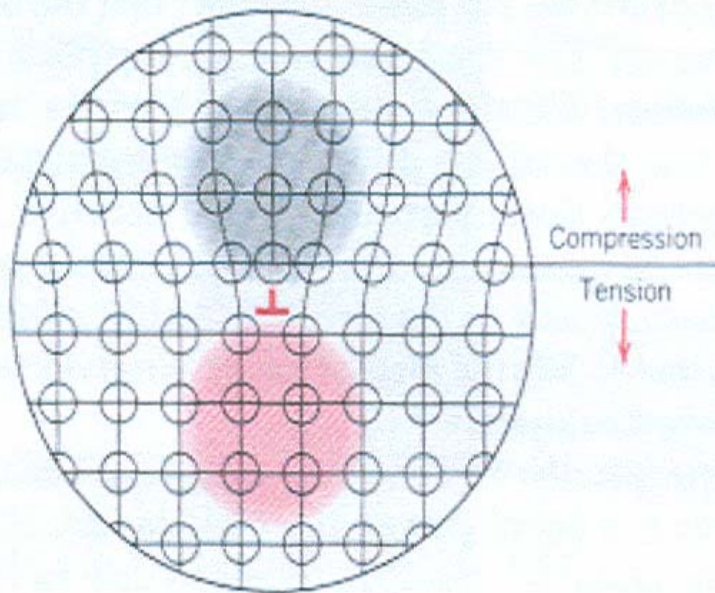
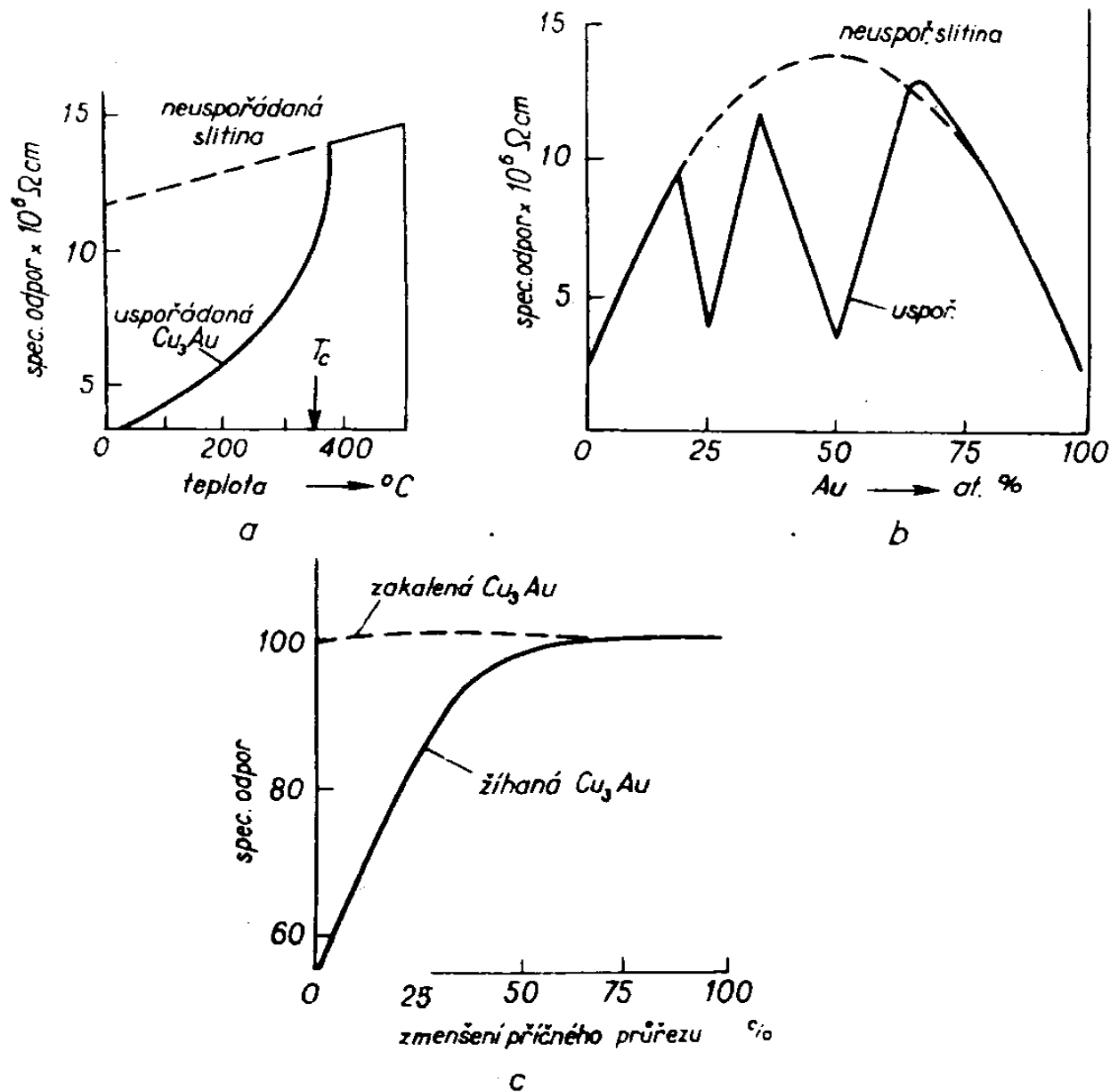
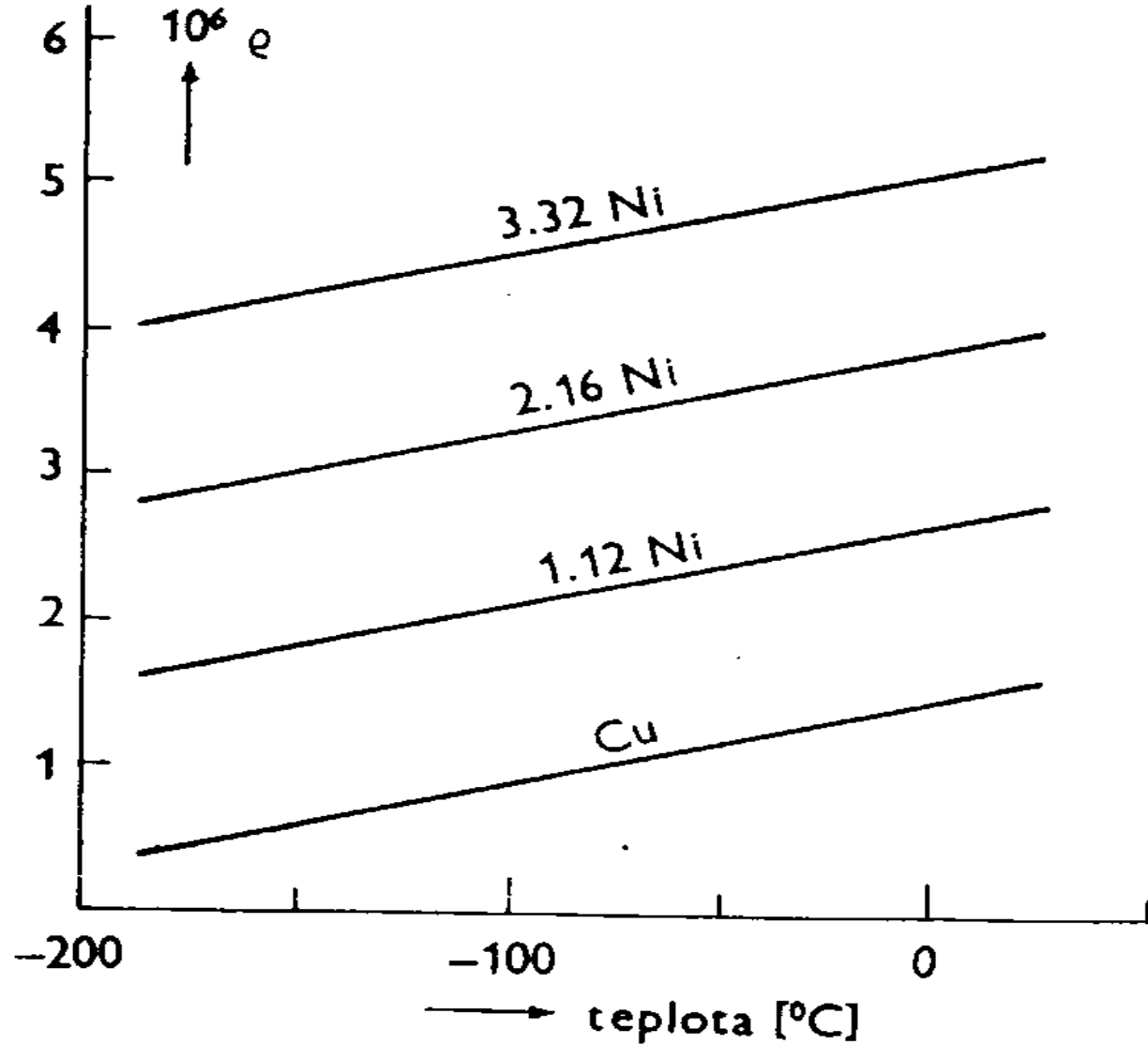


FIGURE 7.4 Regions of compression (dark) and tension (colored) located around an edge dislocation. (Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 85. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

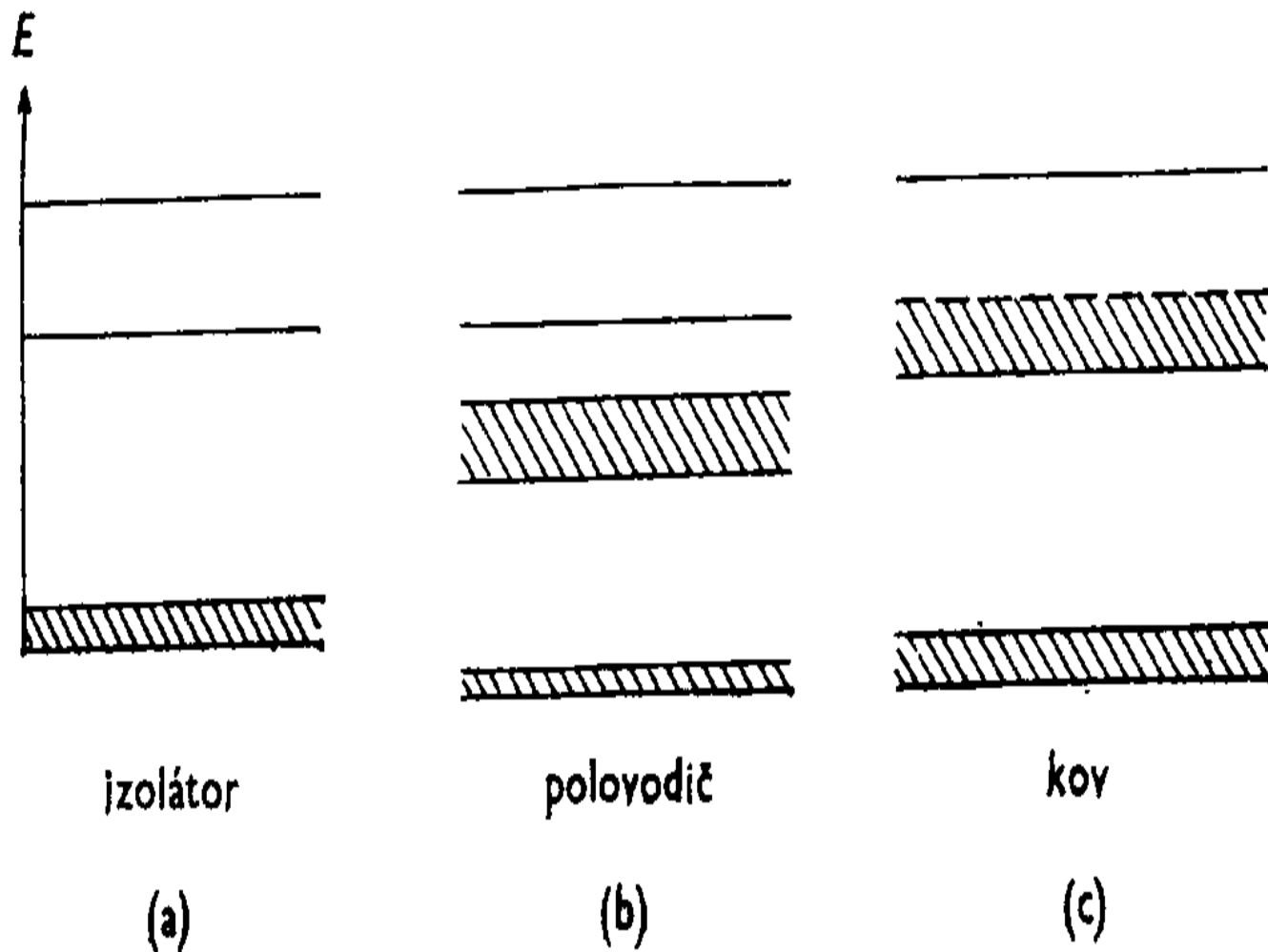


Obr. 60. a) Vliv teploty. b) Vliv složení. c) Vliv deformace na odpor slitin mědi a zlata [podle Barrett: Structure of Metals (1952)].



Obr. 11.4. Teplotní závislosti měrného odporu ρ [$\Omega \text{ cm}$] mědi a tří slitin měď-nikl. Čísla udávají atomová procenta.

(J. O. Linde, cit. 9.)



Obr. 10.7. Rozdělení elektronů při teplotě $T = 0$ v izolátoru, ve vlastním polovodiči a v kovu. Vyšrafované oblasti jsou obsazeny elektrony.

Polovodiče

Polovodiče

- Elektrony a díry, jejich pohyblivost
 - Energie Fermiho, valenční a vodivostní pás
 - Model izolátoru a vlastního polovodiče
 - Model příměsového polovodiče
-

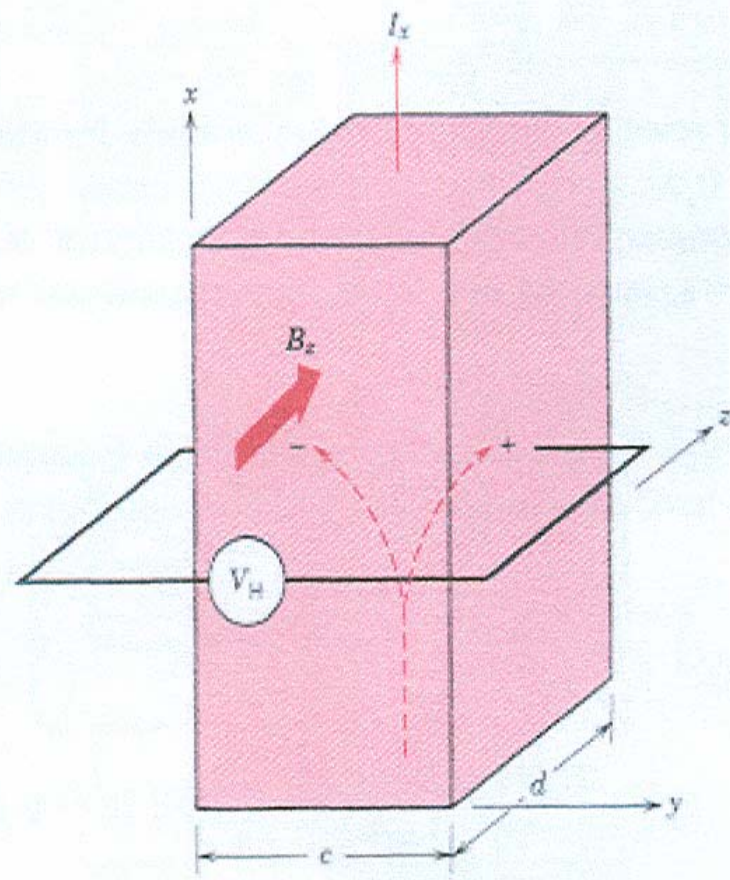
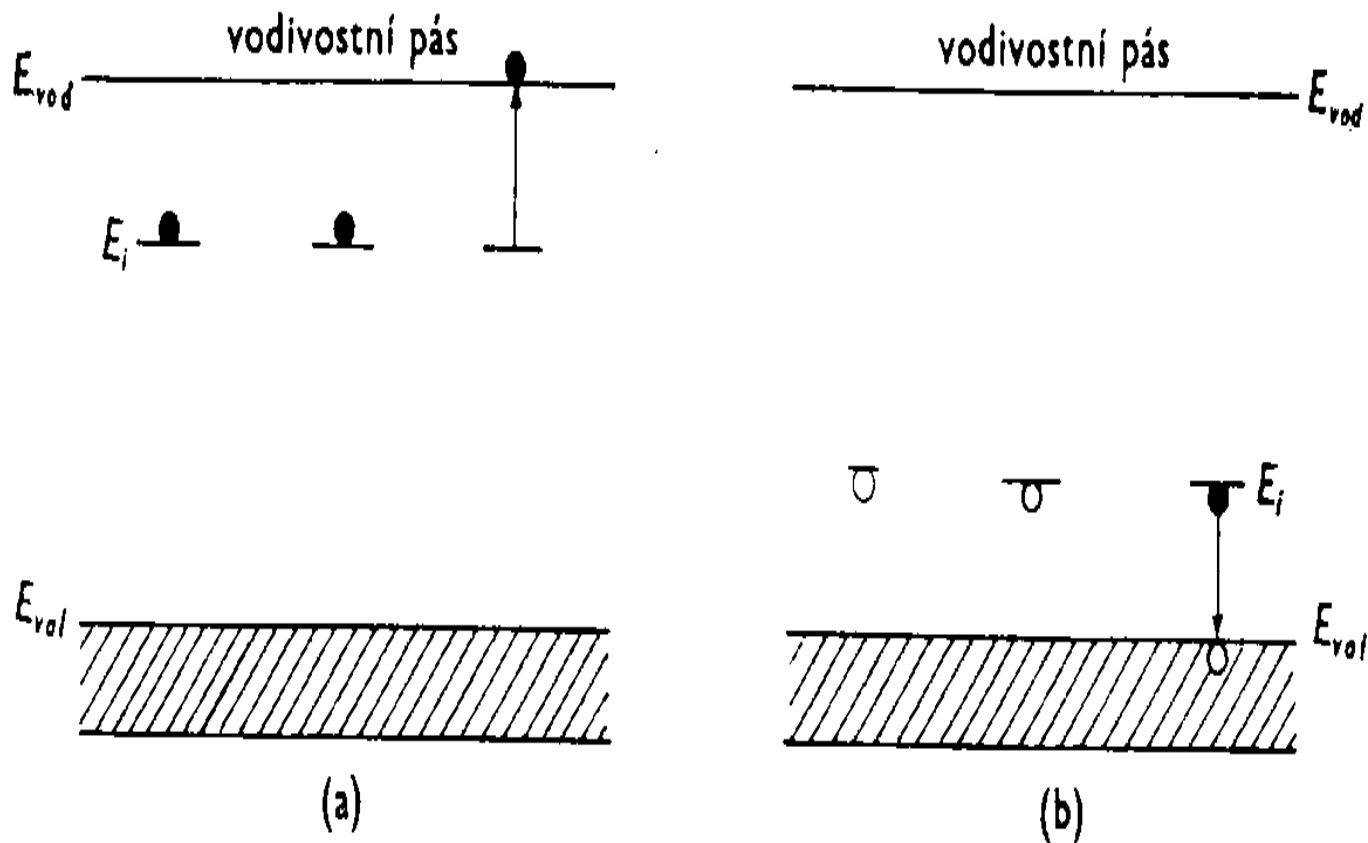


FIGURE 19.18 Schematic demonstration of the Hall effect. Positive and/or negative charge carriers that are part of the I_x current are deflected by the magnetic field B_z and give rise to the Hall voltage, V_H .



Obr. 12.3. a) Donorové hladiny. Jedna z nich je ionizována. Ve vodivostním pásu se tak objeví volný elektron. b) Akceptorové hladiny. Jedna z nich je ionizována (tj. obsazena elektronem z valenčního pásu). Ve valenčním pásu se objeví volná díra. *Príměsový polov.*

Supravodiče

- Nízkoteplotní ($T < 23 \text{ K}$) – kovy, slitiny, intermetalika
 - Vysokoteplotní ($T > 77 \text{ K}$) – směsné oxidy
-

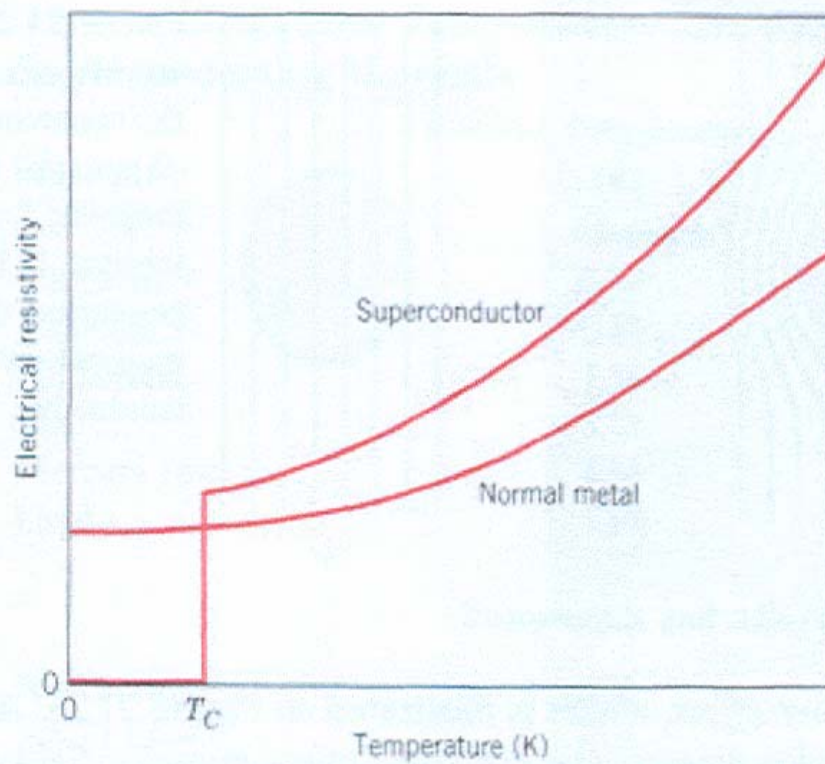
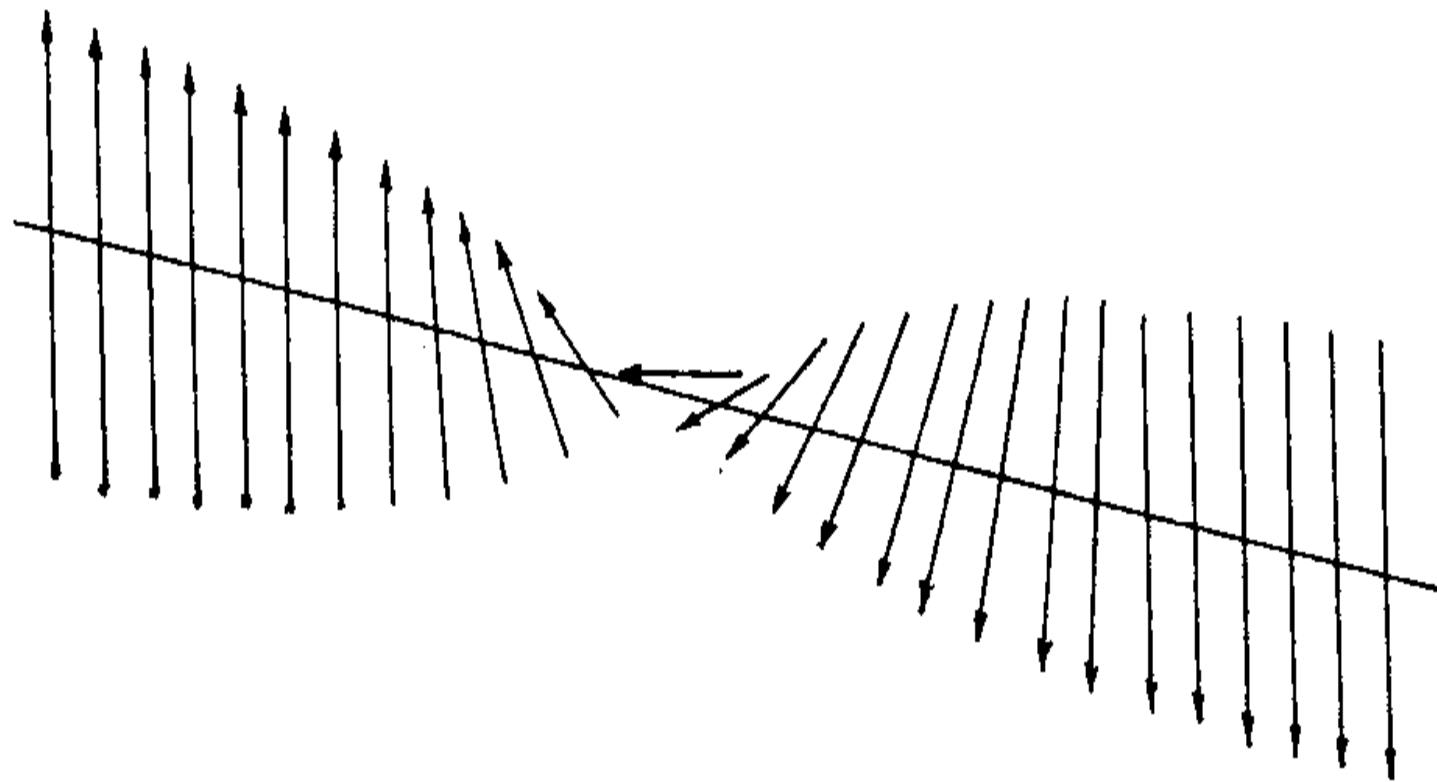


FIGURE 21.21 Temperature dependence of the electrical resistivity for normally conducting and superconducting materials in the vicinity of 0 K.

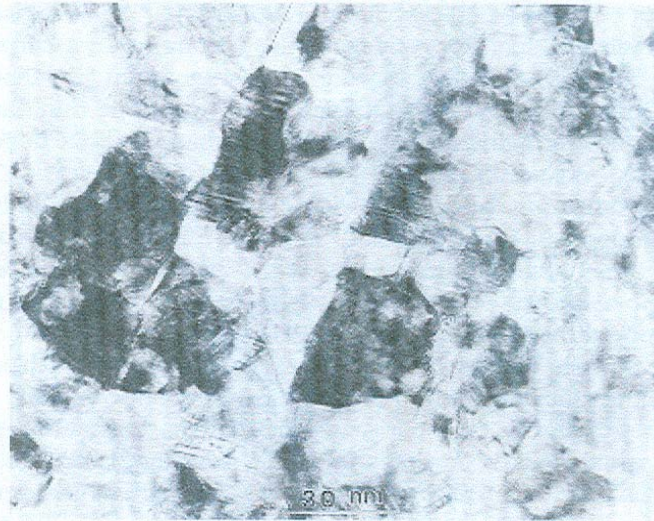
Vlastnosti magnetické

■ Feromagnetismus

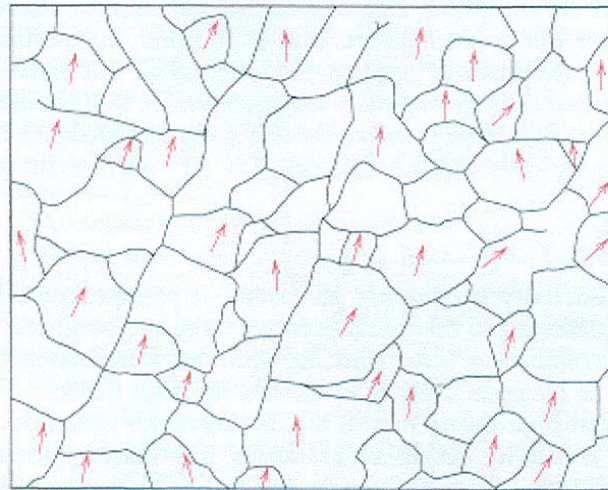
- Feromagnetické jsou čisté prvky: Fe, Co, Ni, Gd, Dy, slitiny, oxidy
- Kritická (Curieova feromagnetická, Néelova antiferomagnetická) teplota
- Weiss (1907):
 - - Makroskopický vzorek obsahuje určitý počet „domén“, spontánně zmagnetovaných, jejichž magnetické momenty se vektorově sčítají a výsledek je spontánní magnetizace vzorku
 - - Spontánní magnetizace v doméně je způsobena „molekulárním polem“, které orientuje atomové dipóly souhlasně
- Weissovo „molekulární pole“ a experiment
- Heisenberg (1928): výměnná interakce mezi elektrony – vysoká hodnota pole (výměnný integrál)
- Hranice domén – Blochovy stěny – Bitterovy obrazce



Obr. 19.10. Schematické znázornění Blochovy stěny s úhlem 180° .



(a)



(b)

FIGURE 21.20 (a) A high-resolution transmission electron micrograph showing the microstructure of a cobalt-chromium-platinum thin film that is used as a high-density magnetic storage medium. The arrow at the top indicates the motion direction of the medium. 500,000 \times . (b) A representation of the grain structure for the electron micrograph in (a); the arrows in some of the grains indicate the texture, or the direction of easy magnetization. (From M. R. Kim, S. Guruswamy, and K. E. Johnson, *J. Appl. Phys.*, Vol. 74, No. 7, p. 4646, 1993. Reprinted with permission.)

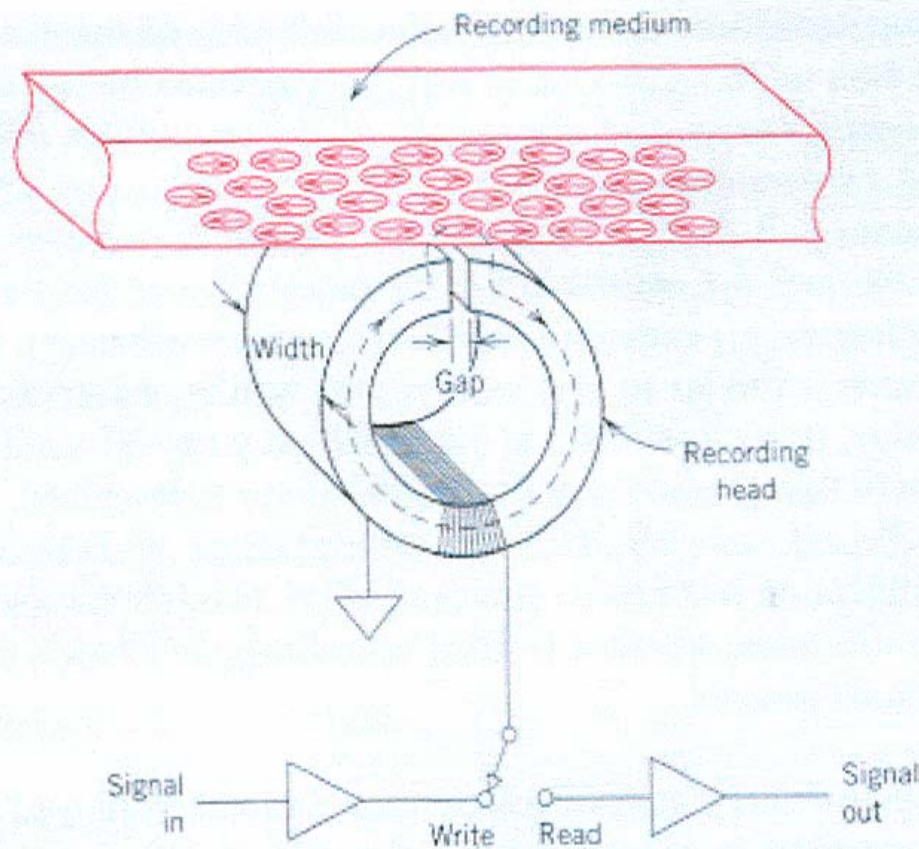
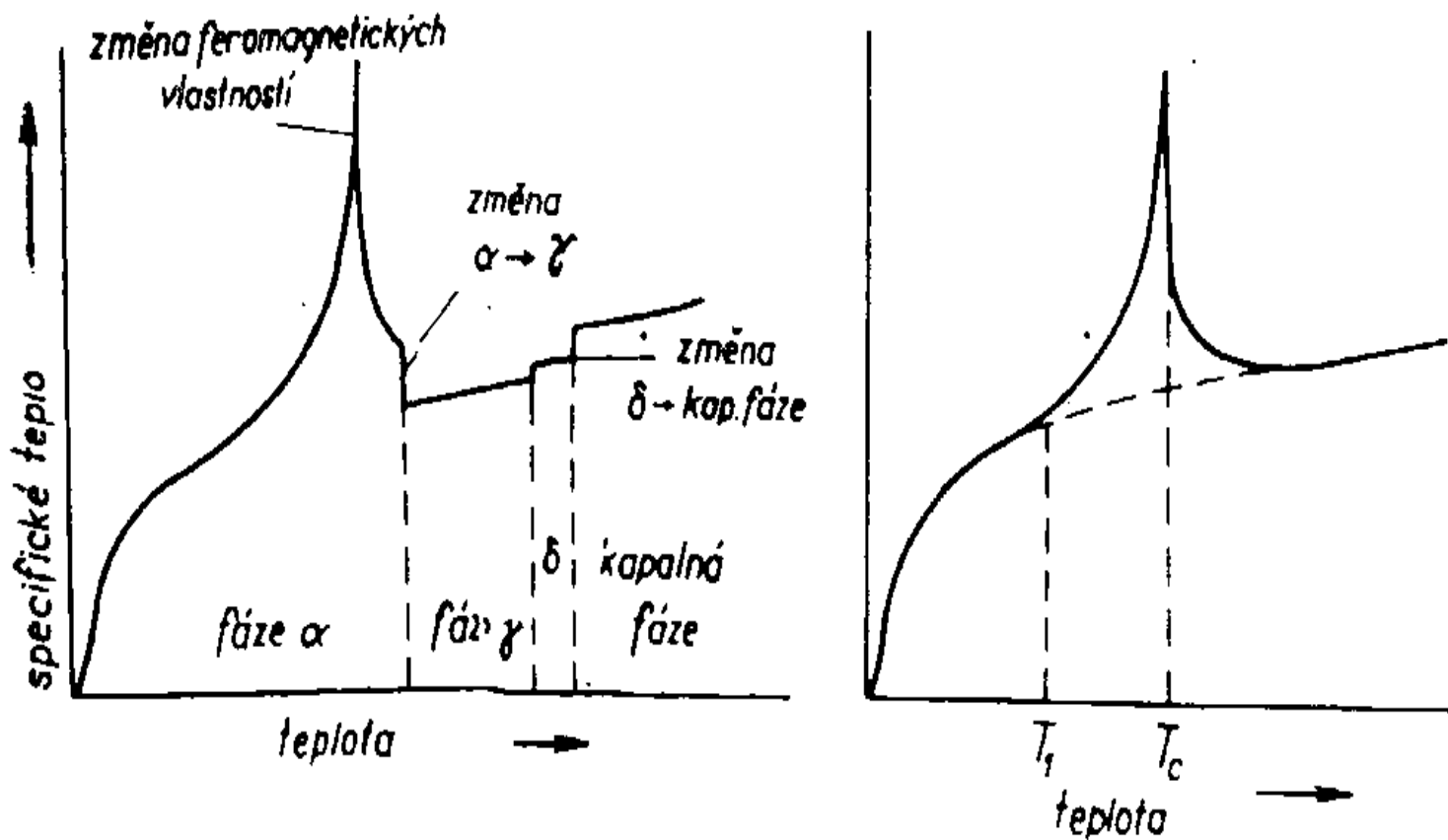
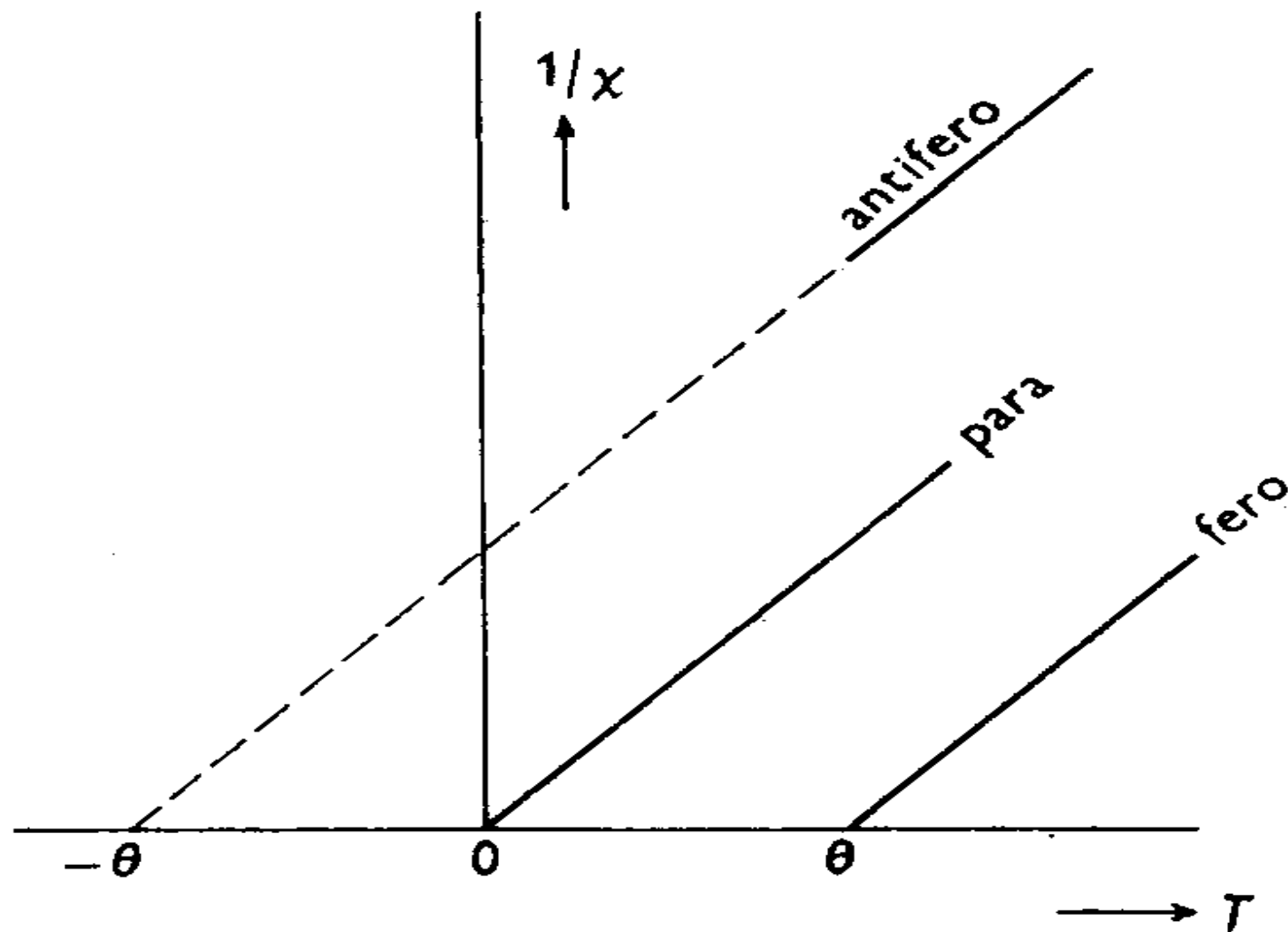


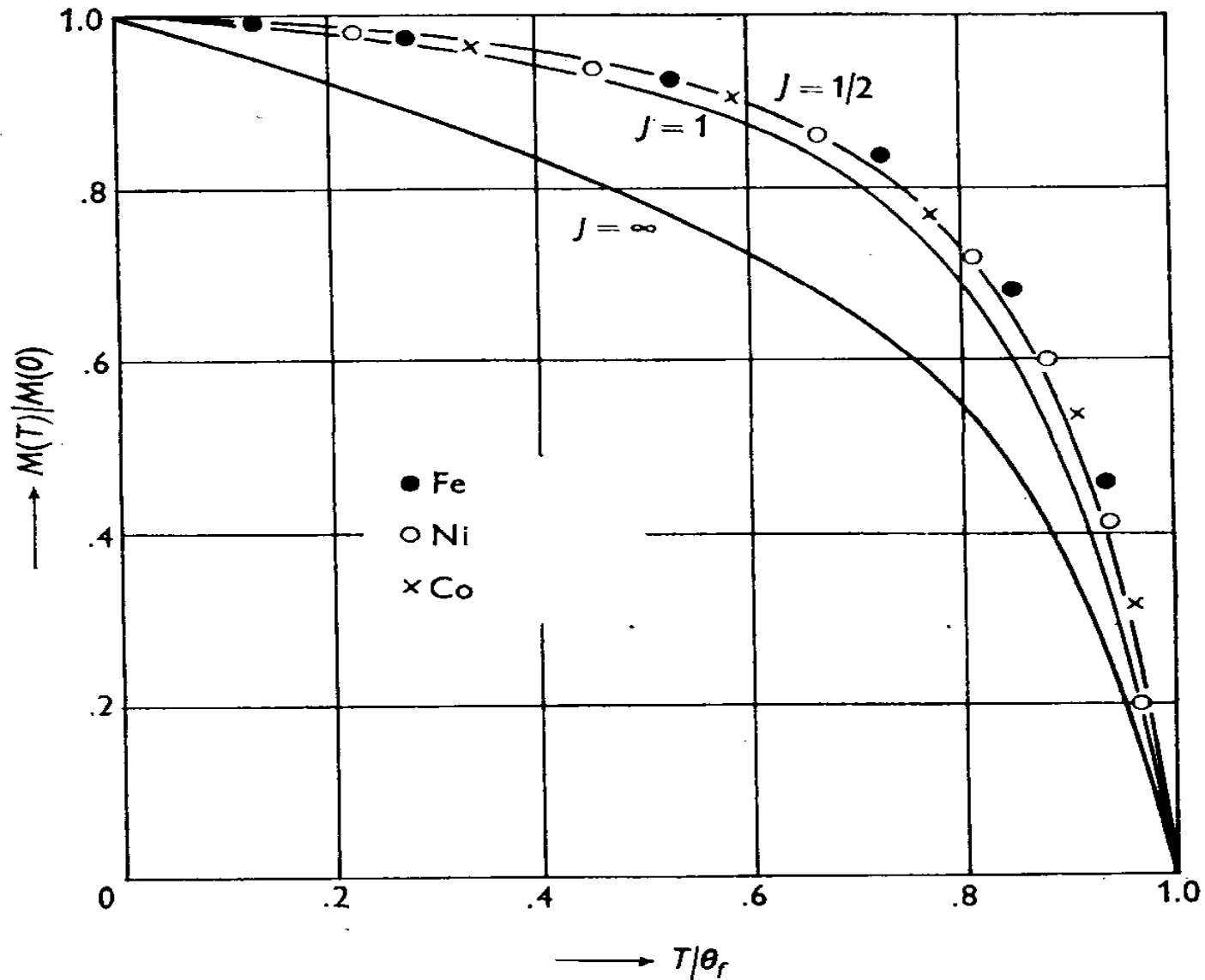
FIGURE 21.18 Scherr representation showing information is stored and retrieved using a magnetic storage medium. (From Lemke, *MRS Bulletin* No. 3, p. 31, 1990. Reprinted with permission.)



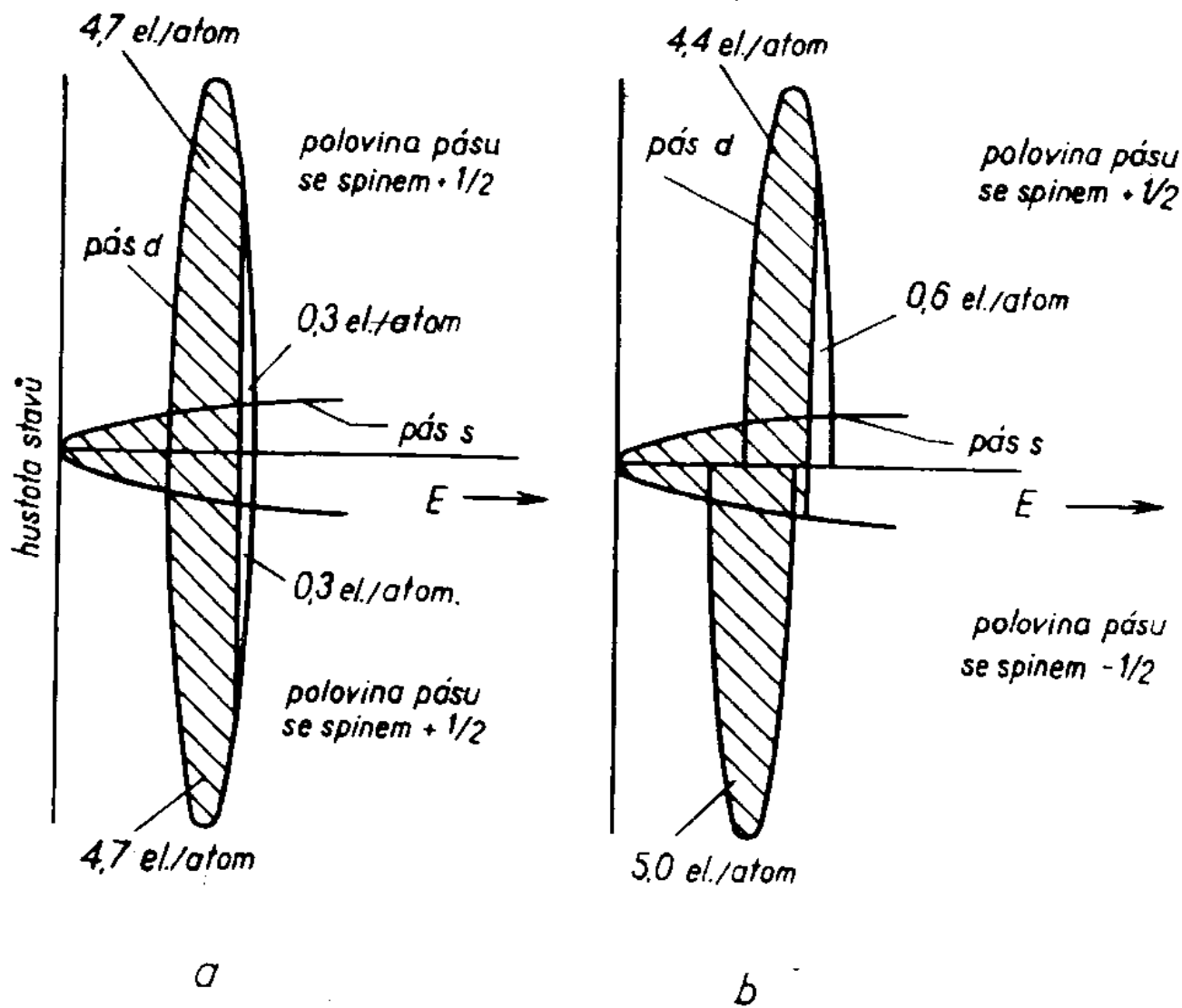
Obr. 35. Vliv fázové změny v pevném stavu na tvar teplotní závislosti specifického tepla.



Obr. 19.13. Reciproká susceptibilita v závislosti na teplotě u paramagnetické, feromagnetické a antiferomagnetické látky nad kritickou teplotou.



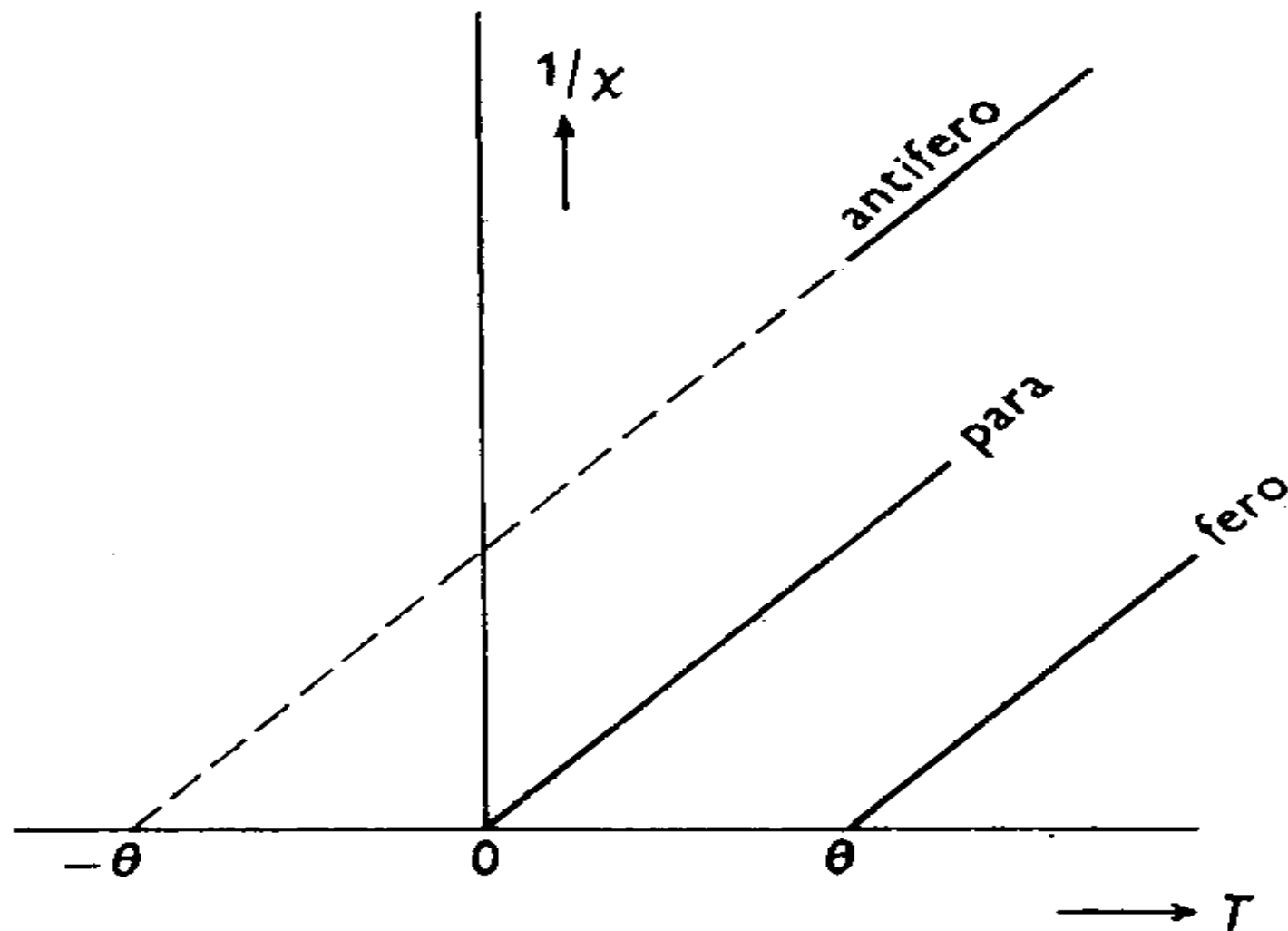
Obr. 19.3. Spontánní magnetizace u Fe, Ni a Co jako funkce teploty. Křivky pro $J = \frac{1}{2}$, $J = 1$ a $J = \infty$ byly získány užitím rovnic (19.10) a (19.11).



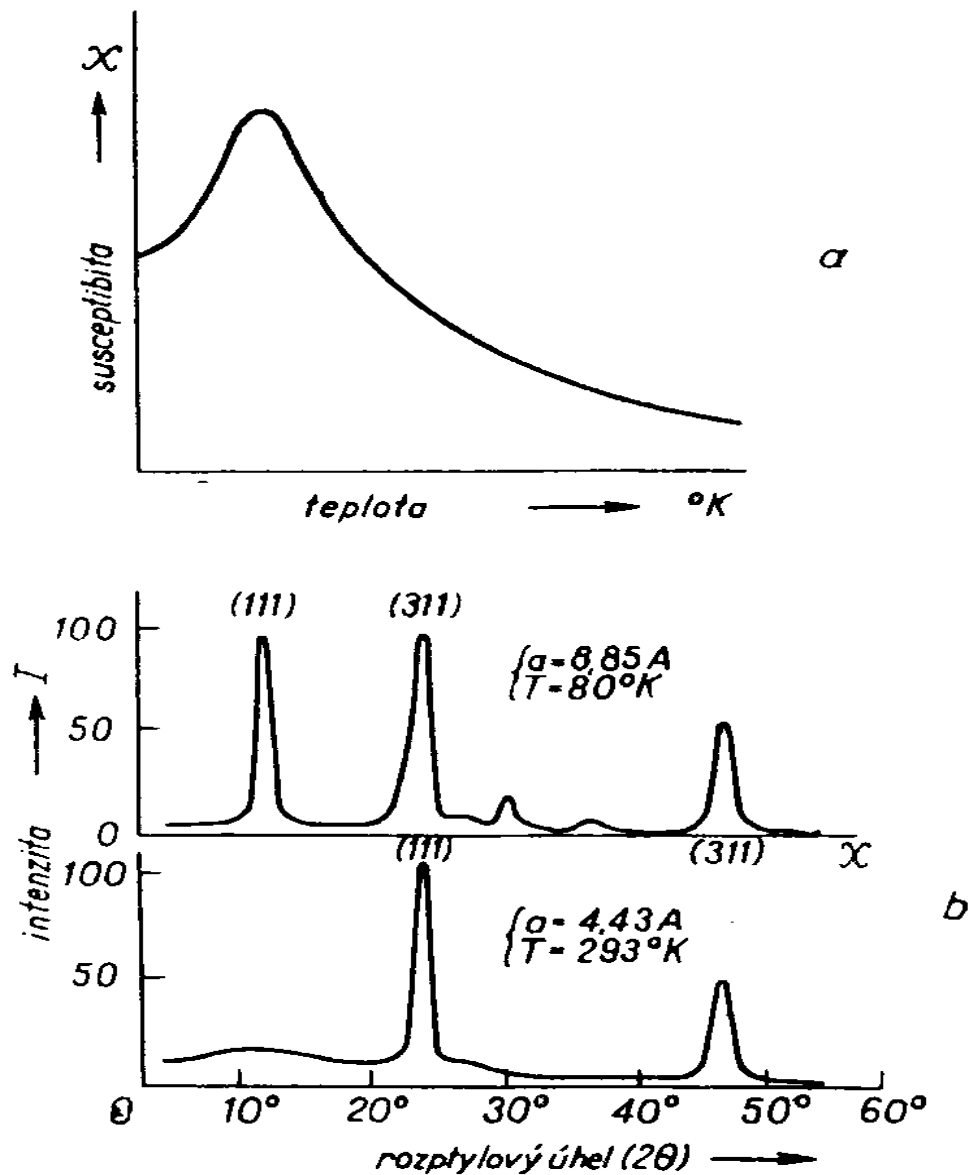
Obr. 64. Schematické znázornění a) paramagnetického niklu, b) feromagnetického niklu (podle Raynor: Structure of Metals).

Vlastnosti magnetické

- Antiferomagnetismus
 - Záporná hodnota výměnného integrálu – antiparalelní orientace sousedních spinů
 - Susceptibilita polykrystalického antiferomagnetika
 - v závislosti na teplotě – maximum
 - Néelova teplota
 - Model dvou podmřížek
 - Příklady: Cr, MnO, MnF₂
-



Obr. 19.13. Reciproká susceptibilita v závislosti na teplotě u paramagnetické, feromagnetické a antiferomagnetické látky nad kritickou teplotou.



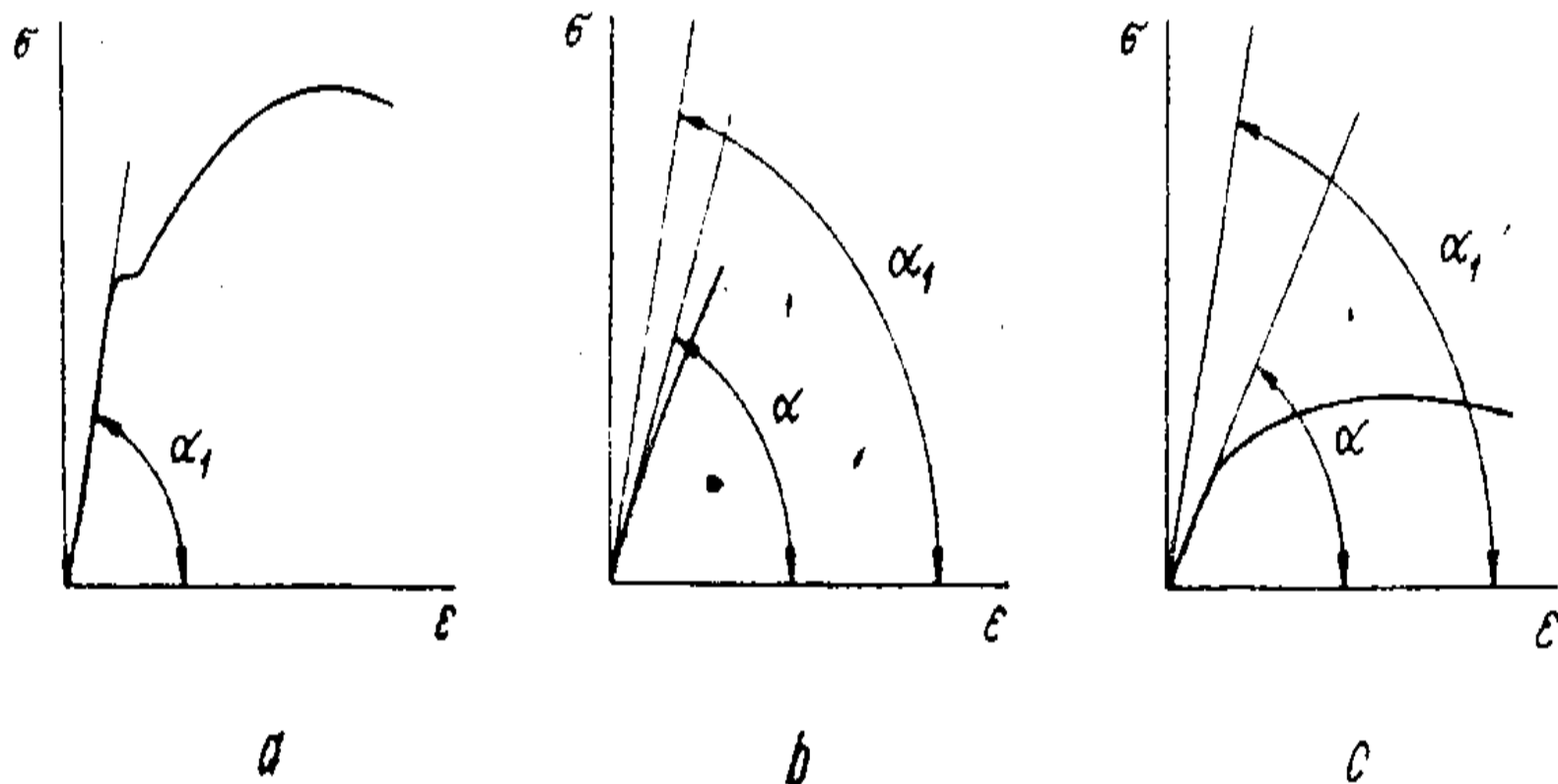
Obr. 62. a) Změna magnetické susceptibility s teplotou pro antiferomagnetický materiál. b) Neutronový difraktoqram na antiferomagnetickém prášku MnO nad kritickou teplotou pro uspořádání a pod ní [podle Shull, *Smact. Phys. Rev.* 76 (1949) 1256].

Vlastnosti magnetické

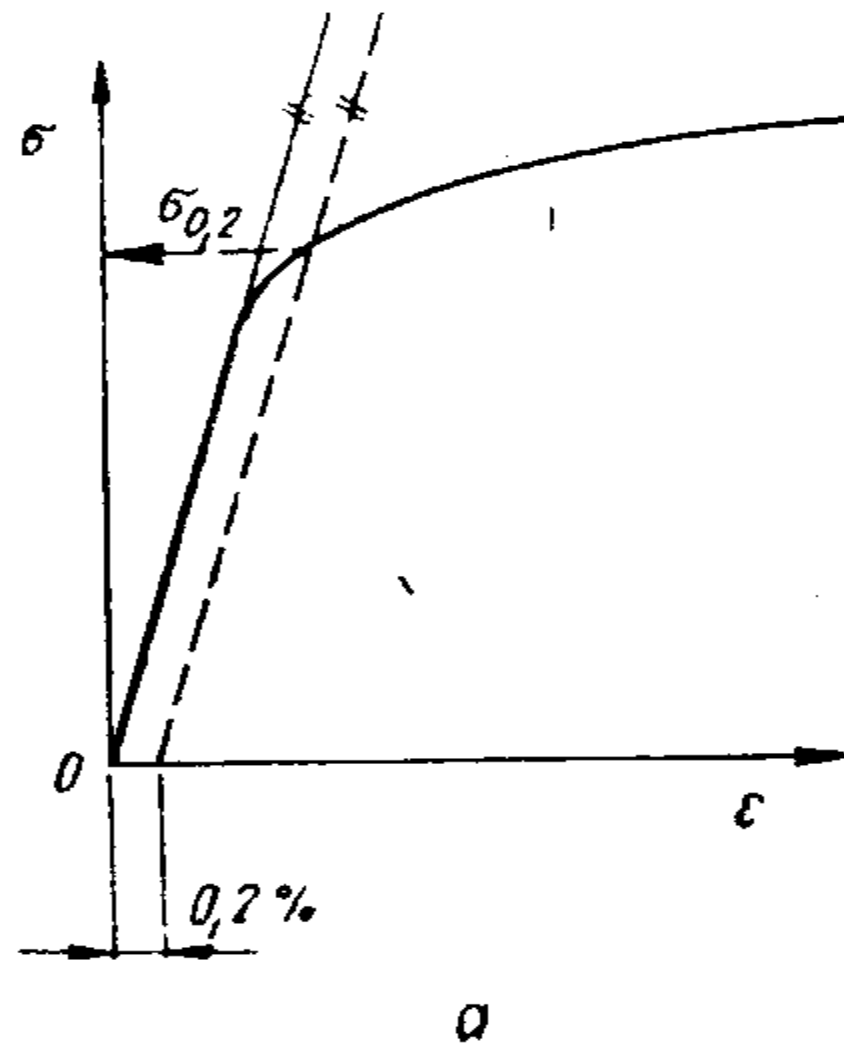
- Ferimagnetismus
 - Magnetit: $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ – struktura spinelu MgAl_2O_4
 - Odpor feritů pro ss-proud je o 4-11 řádů vyšší než odpor Fe
-

Vlastnosti mechanické

- Pružná deformace
 - Napětí, prodloužení
 - Hookeův zákon: $\sigma = E \cdot \varepsilon$, mez pružnosti σ_E
 - pro pevnostní výpočet součástí
 - Vnější síly vychylují atomy z rovnovážných poloh –
 - porušení rovnováhy – reakce: návrat do původních poloh
 - po odlehčení
 - Modul pružnosti v tahu (tlaku) E , ve smyku G :
 - Pro většinu kovů $G = 0,373 E$ ($\mu=0,33$ – Poissonovo číslo)
-



Obr. 3-41. Příklady typických pracovních diagramů
 a) měkká ocel, b) šedá litina, c) hliník



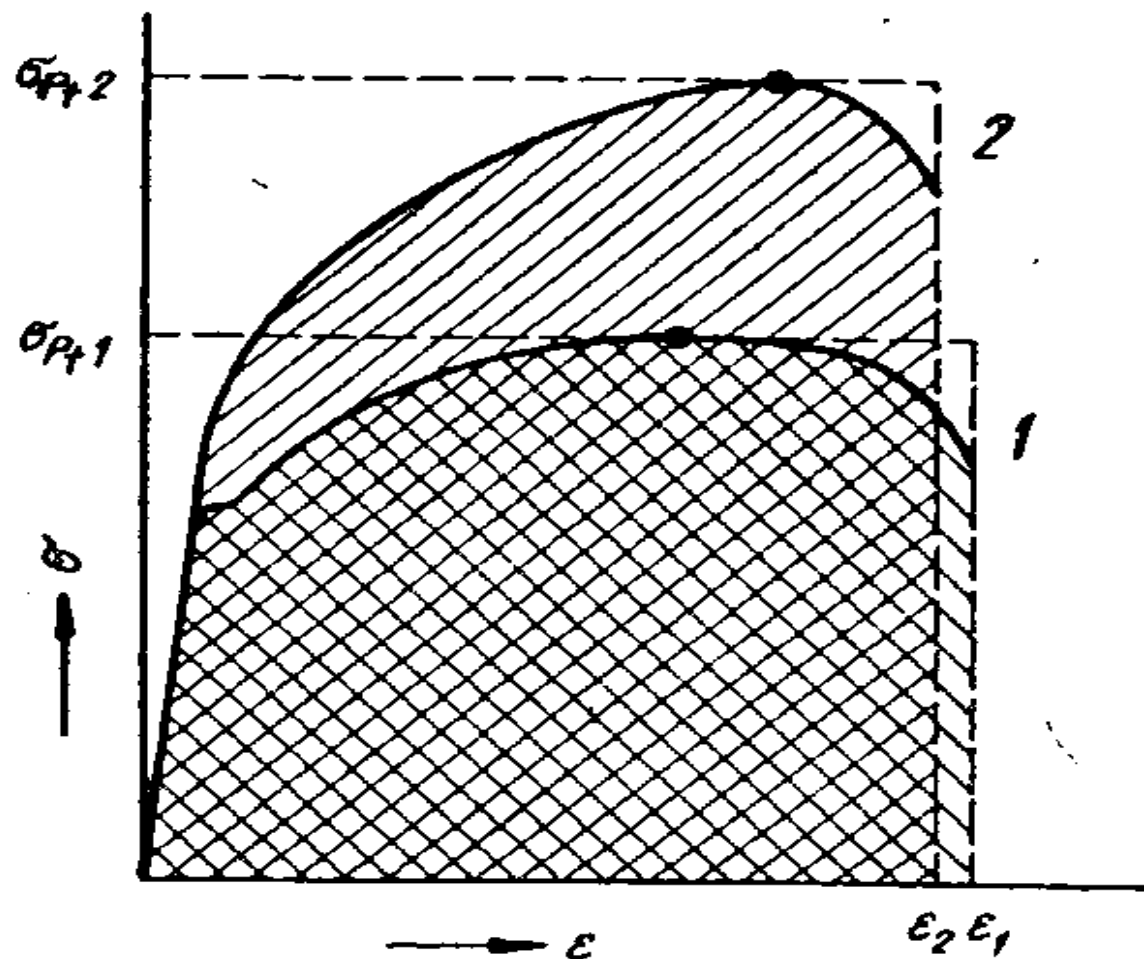
a

Obr. 3-43a.
Stanovení $\sigma_{0,2}$ graficky z pracovního diagramu

Vlastnosti mechanické

■ Trvalá deformace

- Trvalé změny tvaru těles – posunutí atomů o vzdálenost větší než mřížková konstanta – skluz, skluzové roviny, dvojčata, dvojčatění, kritické smykové napětí (teoretická pevnost), mez pevnosti σ_{Pt}
- Teoretická ($G/2\pi$) a experimentální pevnost – dislokace
- Frankův-Readův zdroj (1950), whiskery
- Deformace účinkem napětí za vysokých teplot – creep
- Opakovaná deformace účinkem napětí – cyklická únava
- Ohřev polykrystalů po deformaci: zotavení, rekrytalizace
- Tvrdost, křehkost, tvárnost (kujnost)
- Viz: zkoušení kovů



Obr. 3-40. Rozdíl houževnatostí ocelí o prakticky stejné tažnosti
 1 - měkká uhlíková ocel, 2 - austenitická ocel

FIGURE 7.11 Alteration of the grain structure of a polycrystalline metal as a result of plastic deformation. (a) Before deformation the grains are equiaxed. (b) The deformation has produced elongated grains. 170 \times .
(From W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 140. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



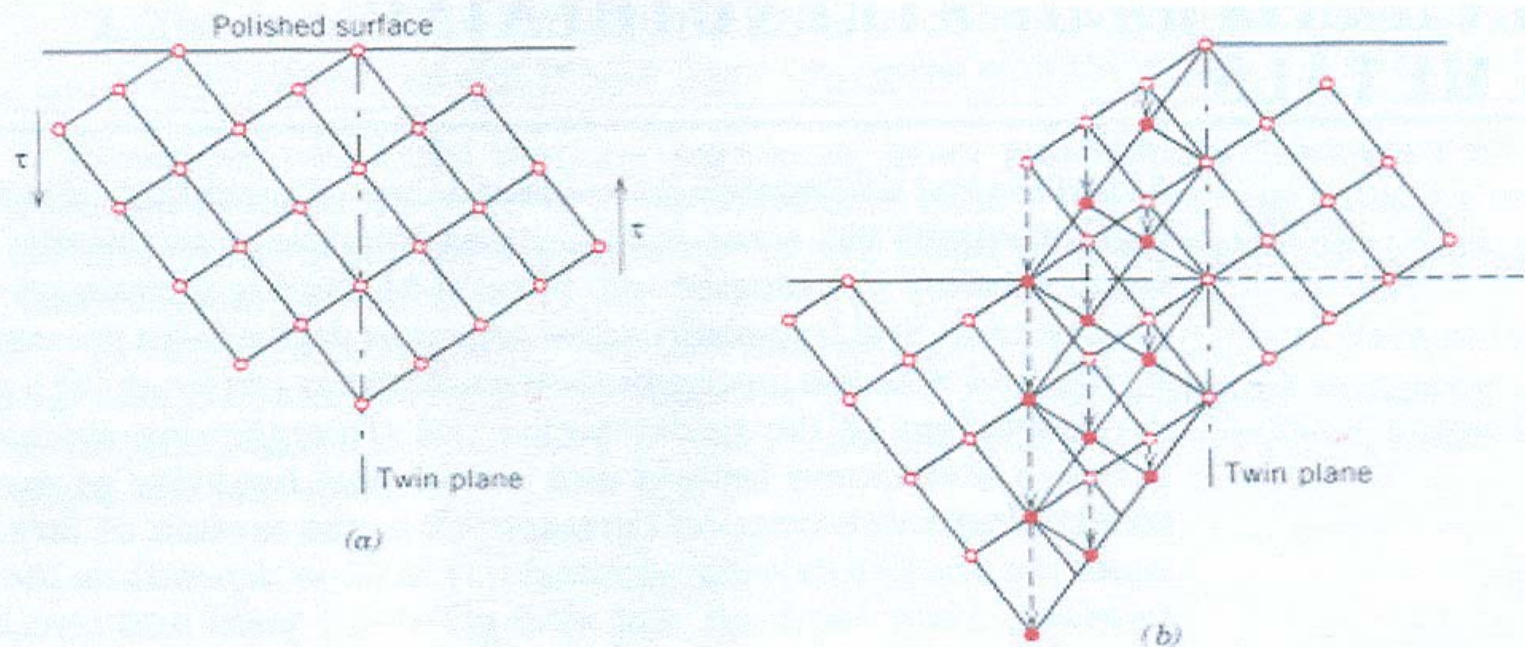


FIGURE 7.12 Schematic diagram showing how twinning results from an applied shear stress τ . In (b), open circles represent atoms that did not change position; dashed and solid circles represent original and final atom positions, respectively. (From G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, 3rd edition. Copyright © 1986 by McGraw-Hill Book Company, New York. Reproduced with permission of McGraw-Hill Book Company.)

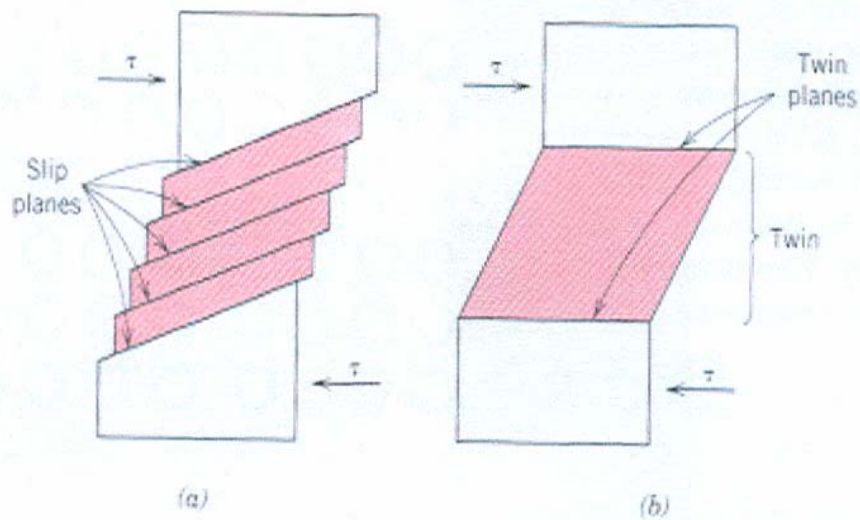
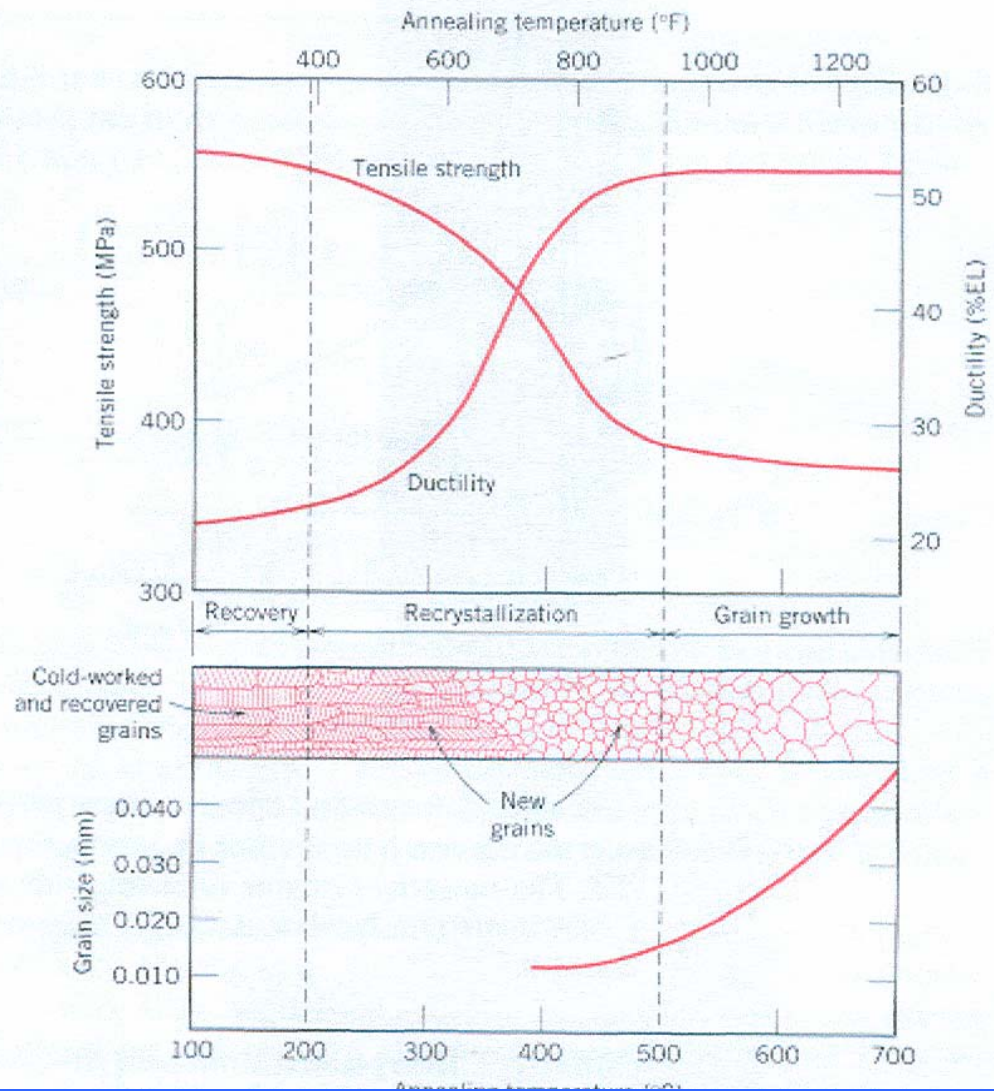
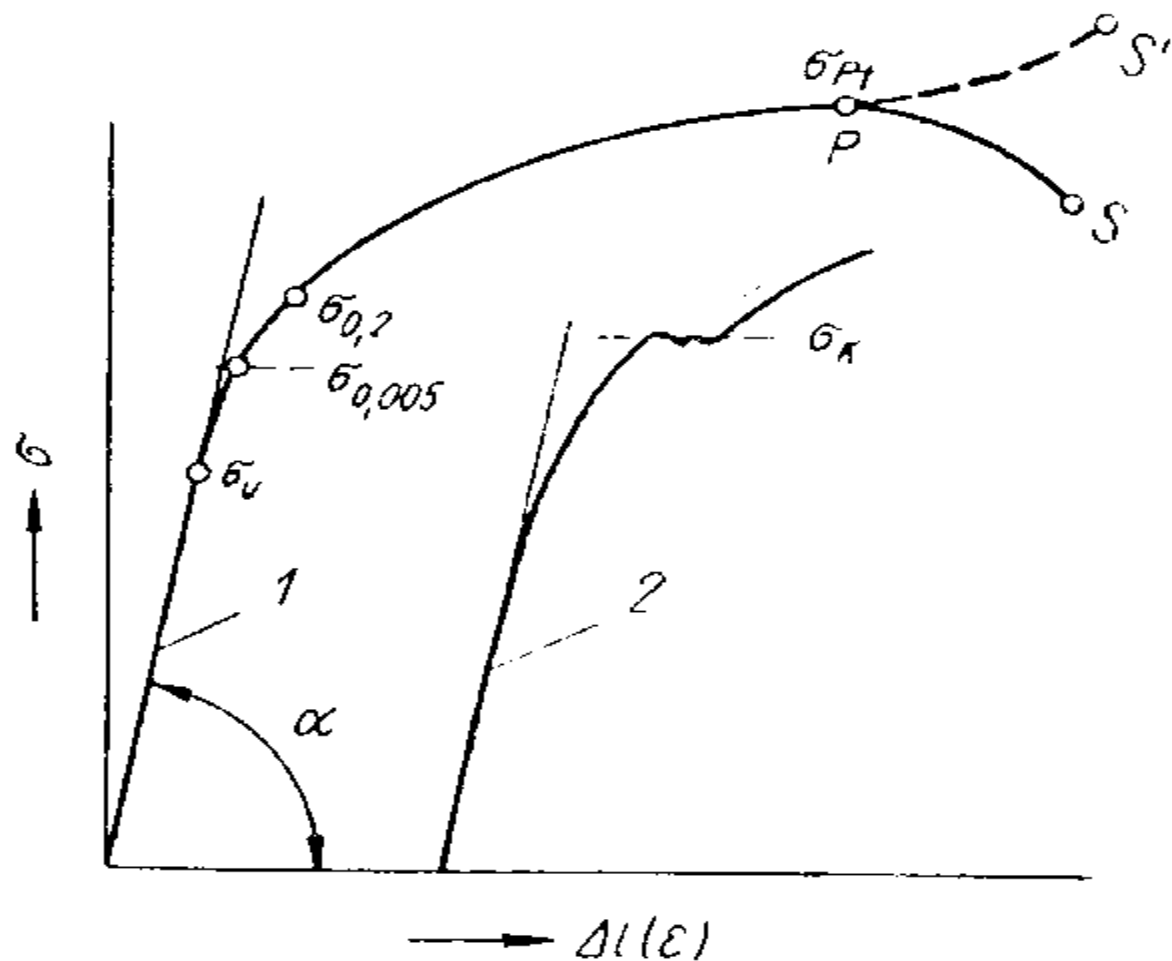


FIGURE 7.13 For a single crystal subjected to a shear stress τ , (a) deformation by slip; (b) deformation by twinning.

FIGURE 7.22 The influence of annealing temperature on the tensile strength and ductility of a brass alloy. Grain size as a function of annealing temperature is indicated. Grain structures during recovery, recrystallization, and grain growth stages are shown schematically. (Adapted from G. Sachs and K. R. Van Horn, *Practical Metallurgy, Applied Metallurgy and the Industrial Processing of Ferrous and Nonferrous Metals and Alloys*, American Society for Metals, 1940, p. 139.)





Obr. 3-38. Pracovní diagram zkoušky tahem měkké oceli

1 - bez výrazné meze kluzu, 2 - s výraznou mezí kluzu