



Sodobni materiali

Uporabne lastnosti

Uporabne lastnosti

Mehanske lastnosti

Termične lastnosti

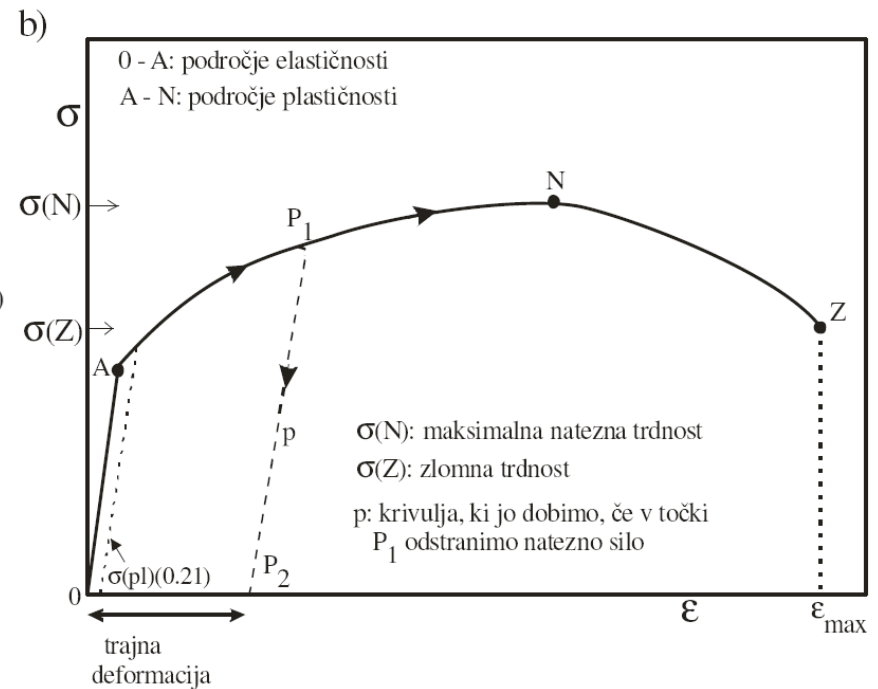
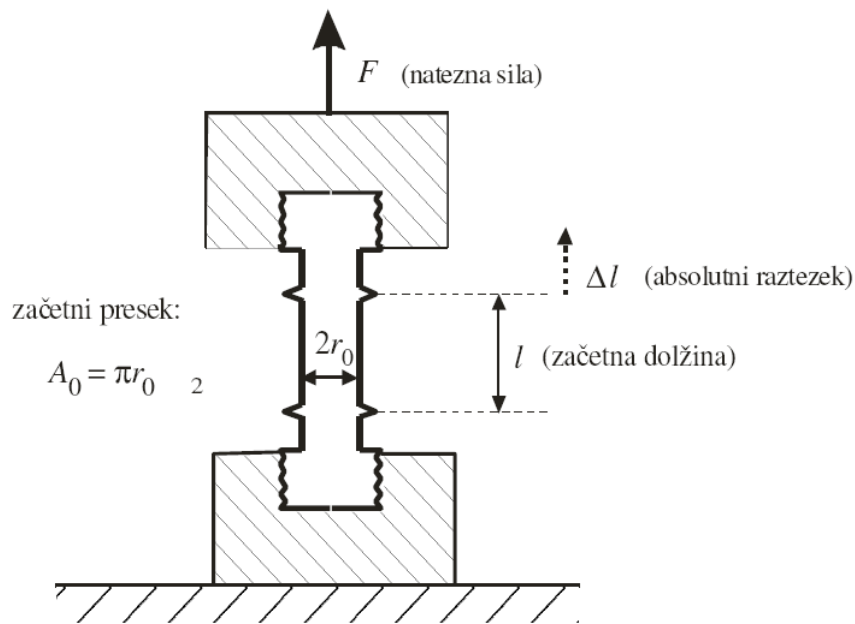
Električne lastnosti

Optične lastnosti

Magnetne lastnosti

Mehanske lastnosti

Osnovni preizkus za določevanje mehanskih lastnosti je natezni preizkus



Napetost $\sigma = F/A_0$ [N/m²]

relativni raztezek $\epsilon = \Delta l/l_0$

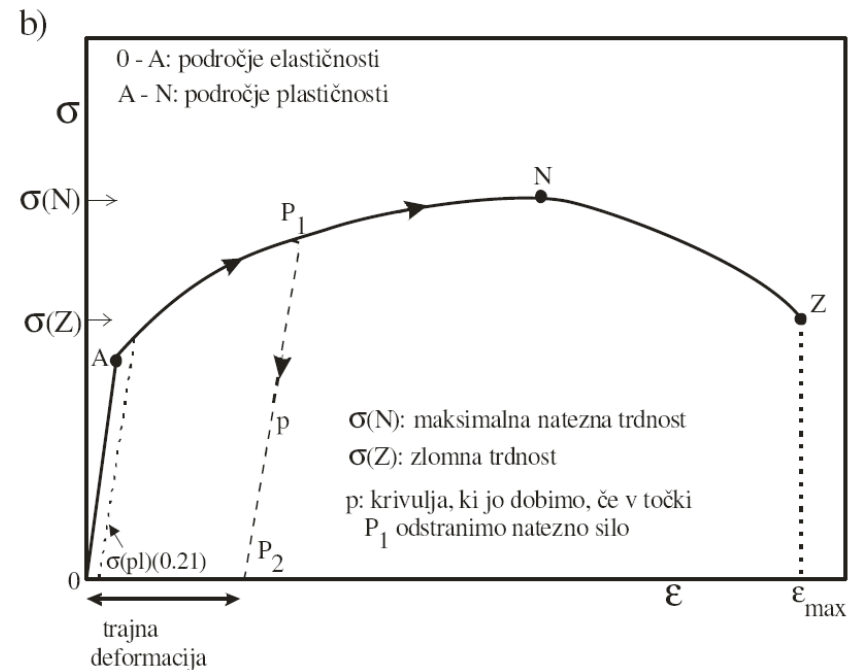
Mehanske lastnosti

Elastična deformacija

- Relativni raztezek (ε) je sorazmeren natezni napetosti (σ). Sorazmernostni koeficient E imenujemo *Youngov modul* ali modul elastičnosti

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{Hookov zakon}$$

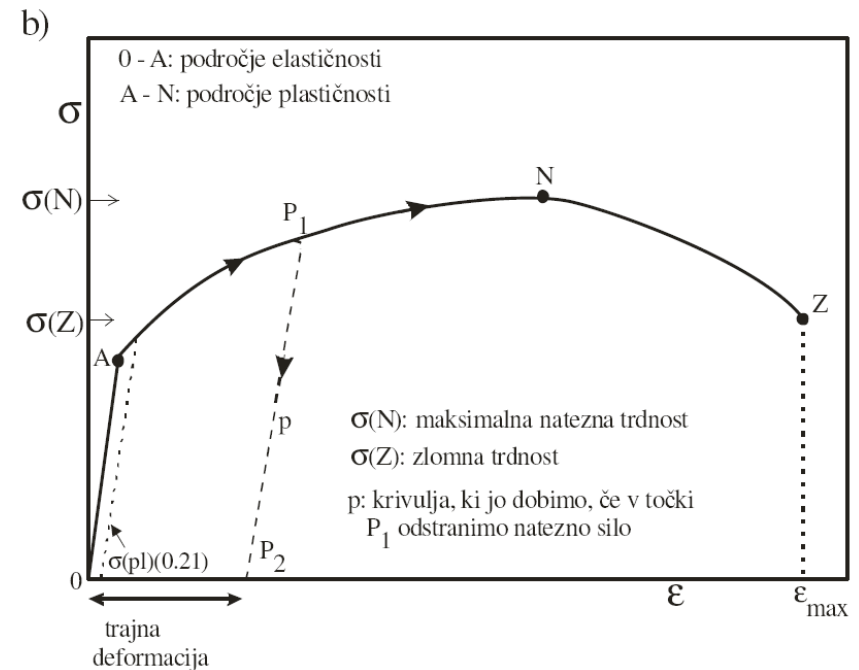
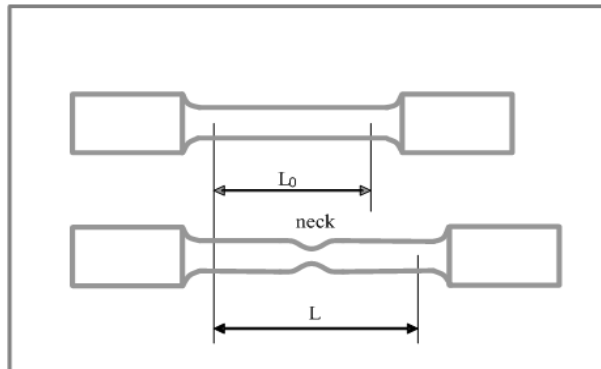
- Elastična deformacija je trenutna (brez časovnega zamika) in vzorec se trajno ne deformira
- Močna medatomska vez daje velik Youngov modul (in visoko tališče) – težje jih je elastično deformirati.



Mehanske lastnosti

Plastična deformacija

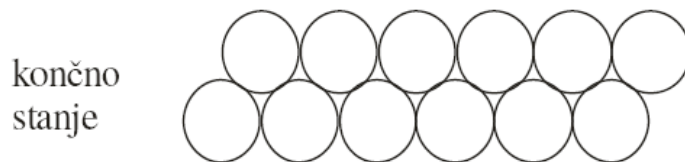
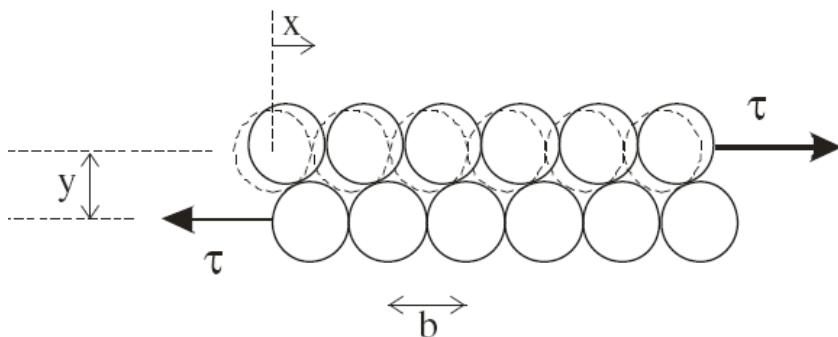
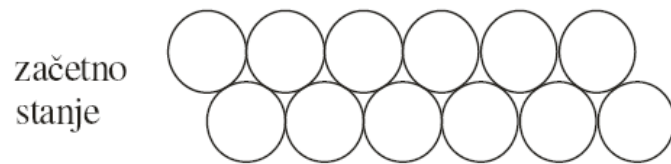
- Točka A, pri kateri pride do plastične deformacije se imenuje **meja plastičnosti**
- Po odstranitvi sile se vzorec ne zavzame začetne dolžine in je trajno deformiran
- Nad točko N, (**natezna napetost**), se presek vzorca (A_0) hitro zmanjša. Nastane vrat. Potrebna je manjša sila za nadaljnjo raztezanje



Mehanske lastnosti

Mikroskopski mehanizem plastične deformacije

Do deformacije pride, ko na atomske ravnine deluje strižna sila in povzroči zdrs ravnin



Vsi atomi v zgornji vrsti zdrsnejo preko atomov v spodnji vrsti.

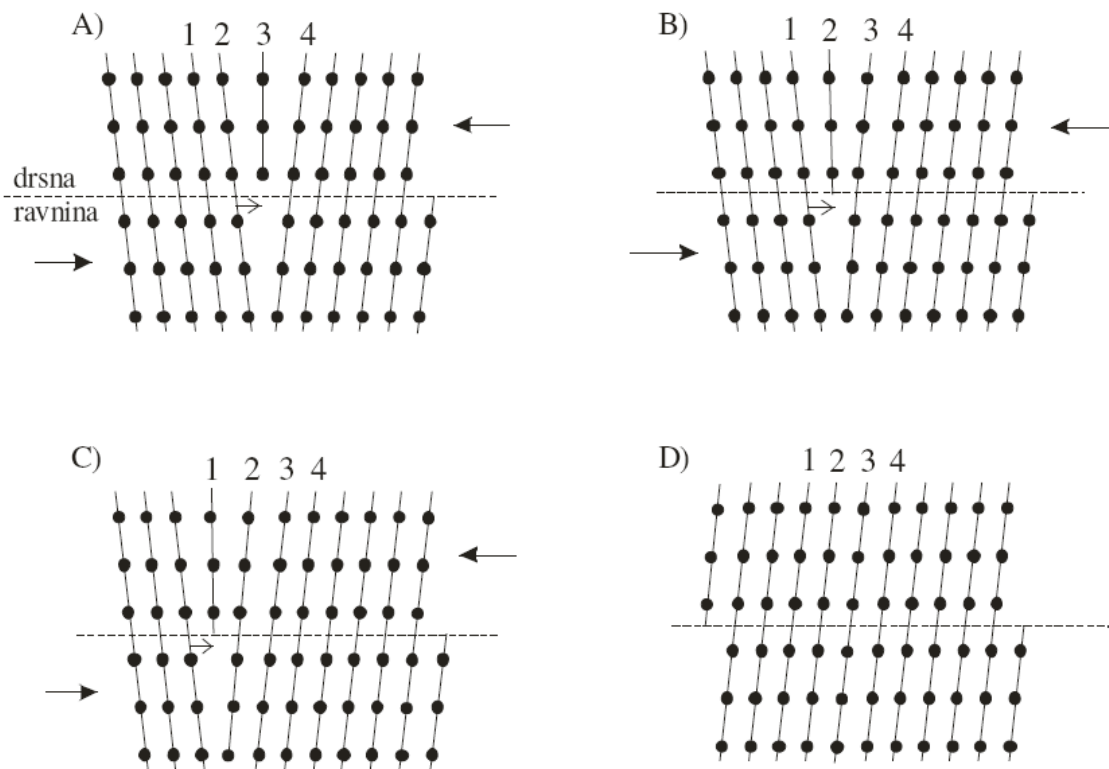
Teoretičen izračun, da pride do zdrsa:
za jeklo $\tau_{\max} = 7 \text{ GPa}$
za baker $\tau_{\max} = 4 \text{ GPa}$

Izmerjene vrednosti v področju MPA

Teoretični model je neustrezen!!
Predpostavlja idealen popoln kristal,
ki je termodinamsko nemogoč

Mehanske lastnosti

Zdrs po mehanizmu gibanja dislokacij



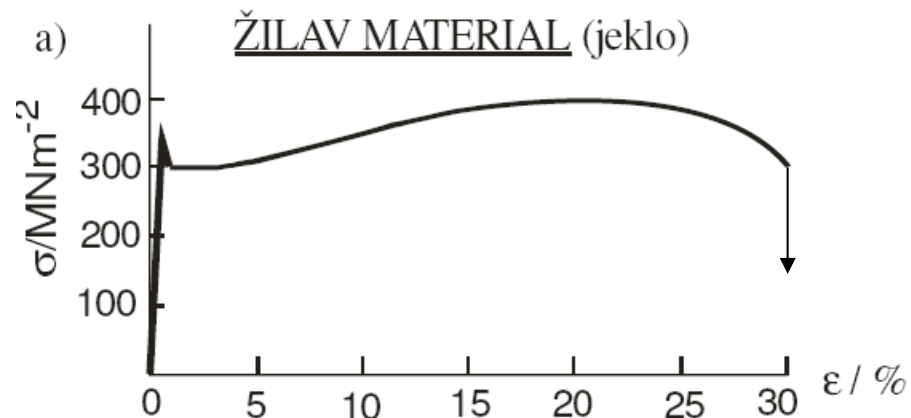
➤ Celoten proces deformacije (zdrsa) je razdeljen na veliko število manjših premikov, za katere je potrebna manjša sila.

➤ Ker so zdrsi usmerjeni je nateznotna krivulja (meja plastičnost) odvisna od smeri delovanja sile na ravnino

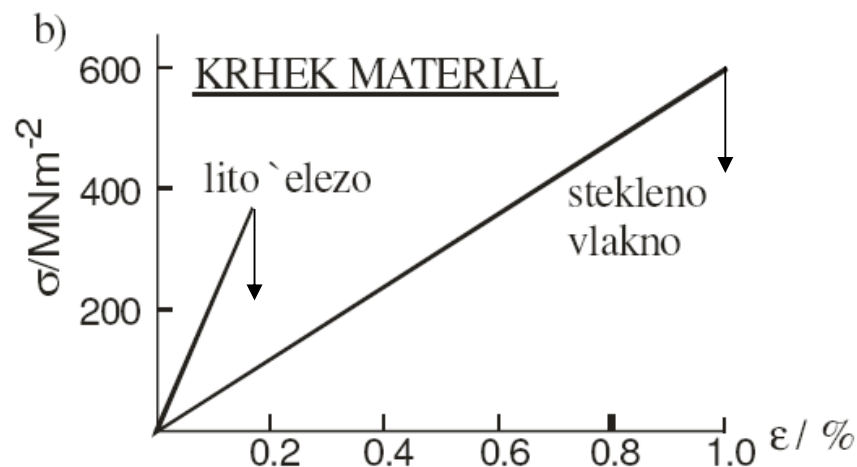
➤ Ko koncentracija dislokacij preseže kritično koncentracijo, se začnejo med seboj ovirati in onemogočati pri gibanju. Natezna trdnost materiala se poveča – *kovanje*

Ostale mehanske lastnosti

Žilavost ... sposobnost materiala za absorpcijo energije pred zlomom. Žilav material ima veliko površino pod natezno krivuljo



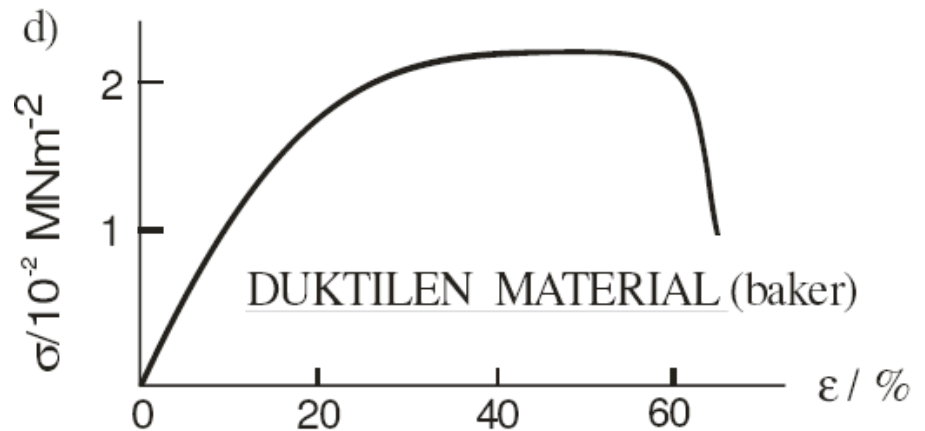
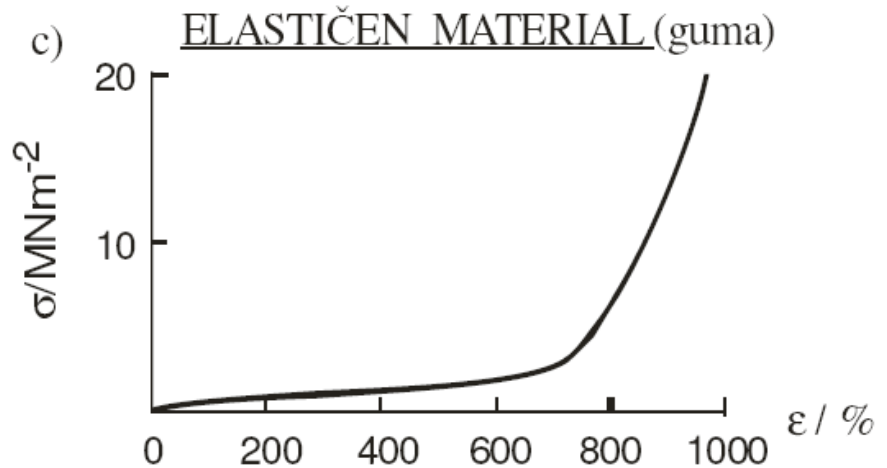
Krhek material se zlomi pred ali takoj po meji plastičnosti



Ostale mehanske lastnosti

Elastičnost je povezana z modulom elastičnosti. Čim manjši je modul elastičnosti tem bolj je material elastičen

Kovnost (duktilnost) je sorazmerna vrednosti relativnega raztezka pred zlomom nivoja plastične deformacije

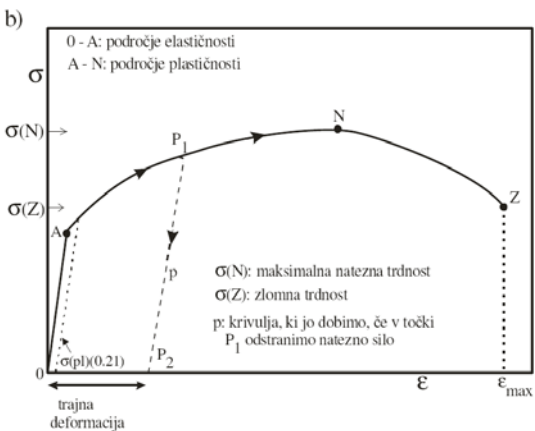


Ostale mehanske lastnosti

Natezna trdnost – točka N iz natesnostne krivulje

Zlomna trdnost – vrednost natezne napetosti pri zlomu

Trdota – odpornost materiala proti lokalni plastični deformaciji (abraziji, vtisu, obrabi)



nitrirana jekla
rezalna orodja

obdelovalna jekla

medenina, Al zlitine

plastika

10	diamant	C
9	korund	Al ₂ O ₃
8	topaz	Al ₂ SiO ₄ (F,OH) ₃
7	kvarc	SiO ₂
6	ortoklas	KAlSi ₃ O ₈
5	apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)
4	fluorit	CaF ₂
3	calcit	CaCO ₃
2	gips	CaSO ₄ ·2H ₂ O
1	talk	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂

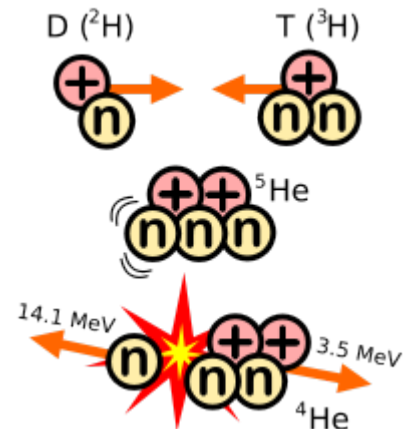
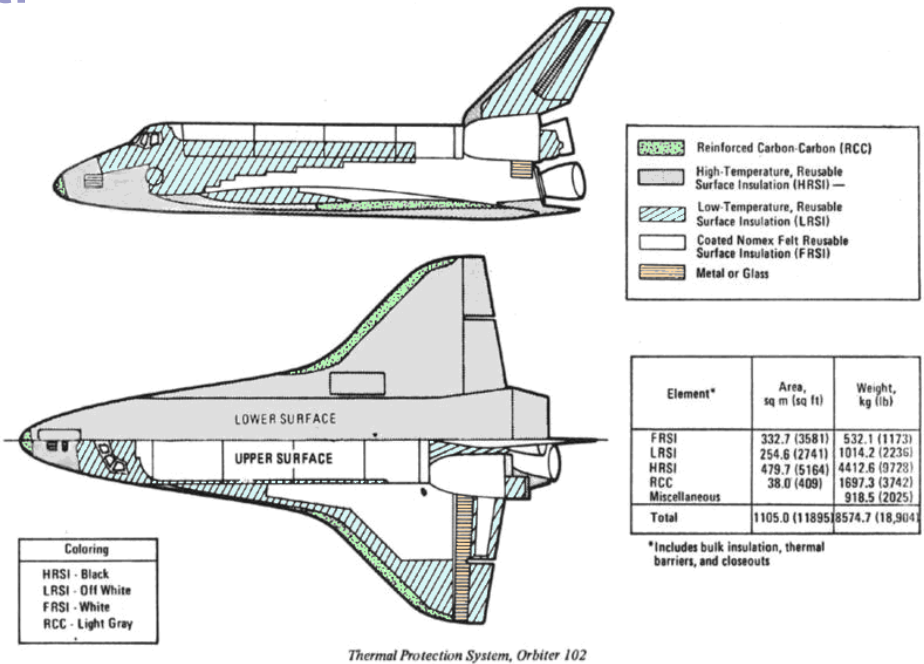
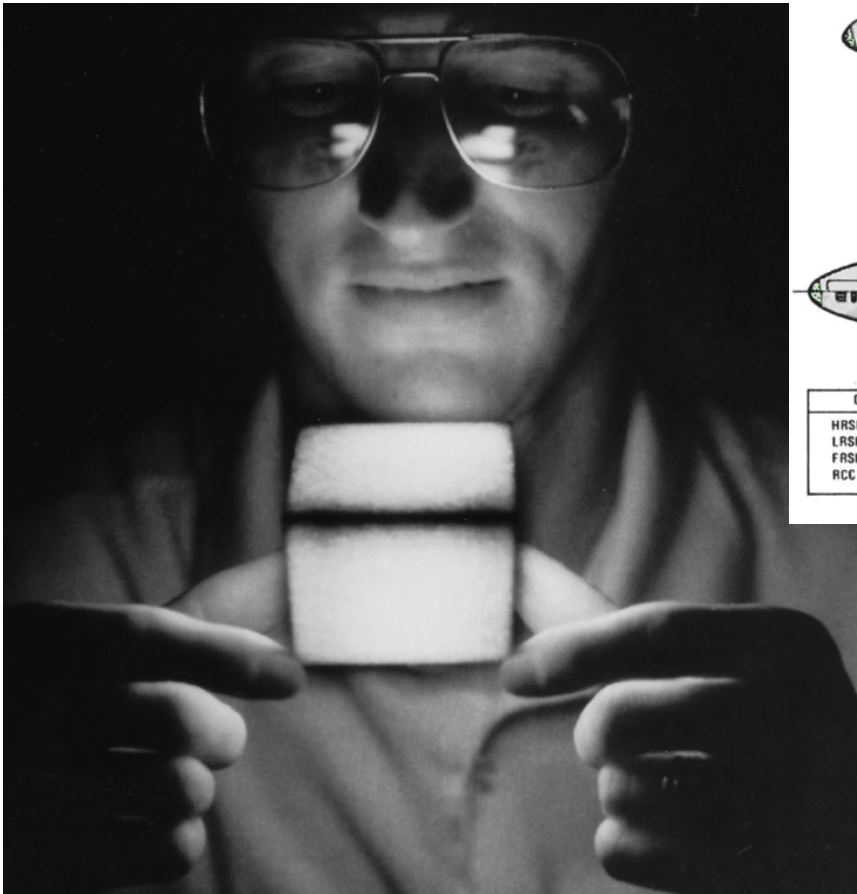
Električne lastnosti

Električen tok je rezultat premikanja električno nabitih delcev pod vplivom zunanega električnega polja. Pozitivno nabiti delci potujejo v smeri električnega polja negativno nabiti pa nasproti.

Jakost električnega toka je odvisna od števila prostih elektronov

Število prostih elektronov je odvisno od elektronske strukture materiala, ki jo določujejo elektronski energijski pasovi

Termične lastnosti



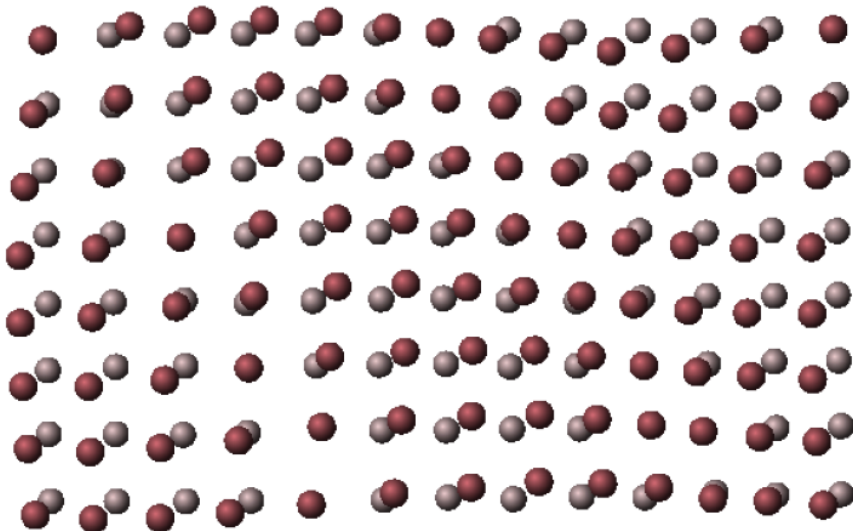
1GK

Toplotna kapaciteta

Količina toplotne energije (Q), ki jo material (1mol) absorbira, da se njegova temperatura poviša za 1K [$\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$]

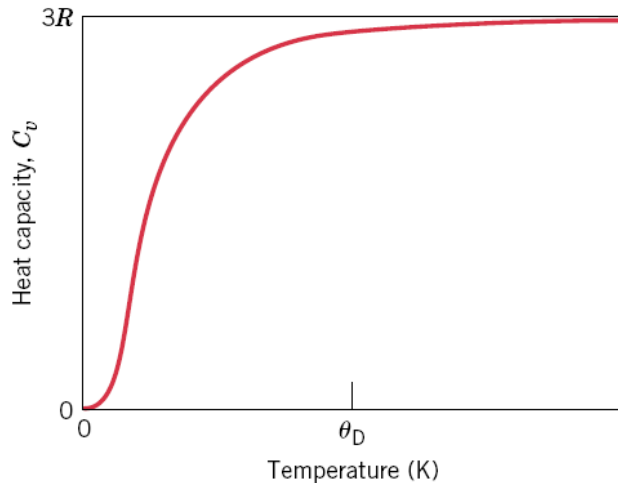
$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Material akumulira toploto s povečanjem vibracijske energije atomov. Vibracije atomov so sklopljene in potujejo v obliki valov preko kristala. Imajo točno določeno energijo in način nihanja. So kvantizirane.



En kvant vibracijske energije = **fonon**
En kvant elektromagnetne energije = foton

Toplotna kapaciteta



Toplotna kapaciteta ni temperaturno neodvisna. Pri nizkih temperaturah se s temperaturo viša nato pa, ko preseže Debyevo temperaturo se ustali pri vrednosti okoli $3R$ (R =plinska konstanta $8.31\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$)

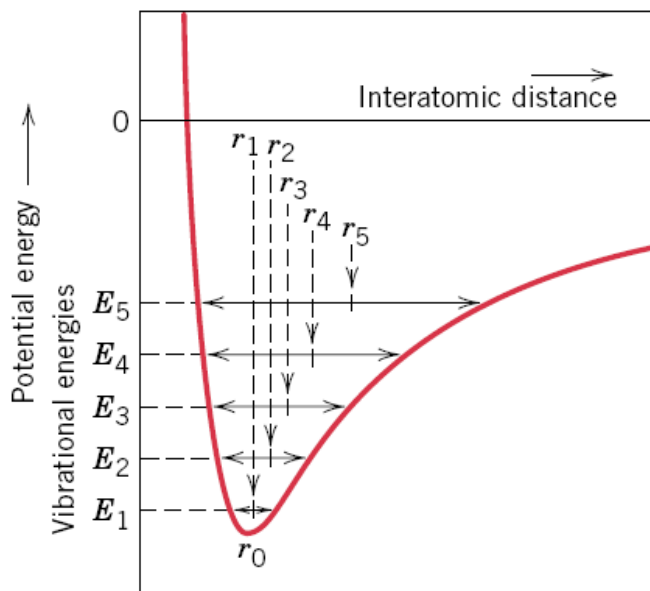
Debyeva temperatura je za večino materialov pod sobno temperaturo zato se Specifična toplotna kapaciteta materialov se ne razlikuje veliko. Dober približek je $25\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Termični raztezek

Materiali se med segrevanjem raztezajo in med ohlajanjem krčijo

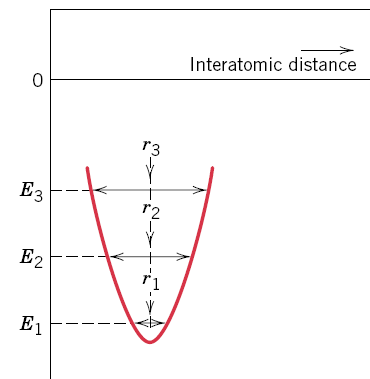
$$\frac{l_f - l_o}{l_o} = \alpha_l (T_f - T_o) \quad \frac{\Delta l}{l_o} = \alpha_l \Delta T$$

α_l ... linearni razteznostni koeficient



Pri segrevanju atomi v potencialni jami vse bolj vibrirajo. Ker je jama asimetrična se njihova ravnotežna razdalja večja, kar povzroči raztezek

Močnejše kot so medatomske vezi bolj globoka in ozka bo potencialna jama. Spremembe v ravnotežni razdalji bodo manjše zato bo α_l tudi manjši



Termični raztezek

Nehomogena porazdelitev toplote po vzorcu povzroči nehomogene raztezke. To v materialu generira termične napetosti, ki lahko privedejo do zloma. V duktilnih materialih se napetosti lahko relaksirajo s plastičnimi deformacijami v krhkih pa pride do zloma prej.

Zaradi podobnih efektov so na termične šoke občutljivi tudi spoji različnih materialov. Pomembno je kombinirati materiale s podobnim razteznostnim koeficientom (npr. Pyrex in kovar ne pa Pyrex in Al)

Materiali	α_l (10^{-6} K^{-1})
Kovar (Fe-Ni-Co)	5.1
Invar (Fe-Ni)	1.6
Pyrex (B-steklo)	3.3
Kvarčno steklo	0.4
Al	23,6
Fe	11,8
PE	~150

Toplotna prevodnost

Sposobnost materiala za prenos toplote iz območja z višjo na območje z nižjo temperaturo

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

q...toplotni tok [W/m²]

k...toplotna prevodnost [W/mK]

dt/dx...temperaturni gradient

K toplotni prevodnosti prispevajo fononi in tudi prosti elektroni

$$k = k_e + k_l$$

Fononi in elektroni migrirajo proti hladnejši strani. Elektroni na hladni strani prenesejo termično energijo na fonone. Višja je koncentracija prostih elektronov večji bo elektronski prispevek k toplotni prevodnosti

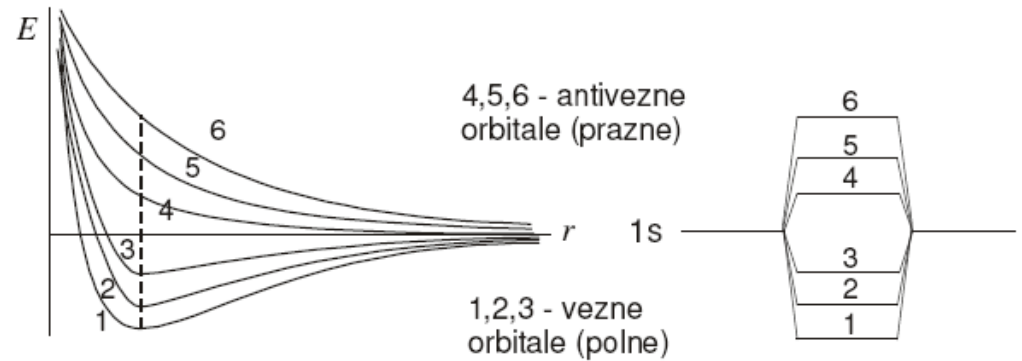
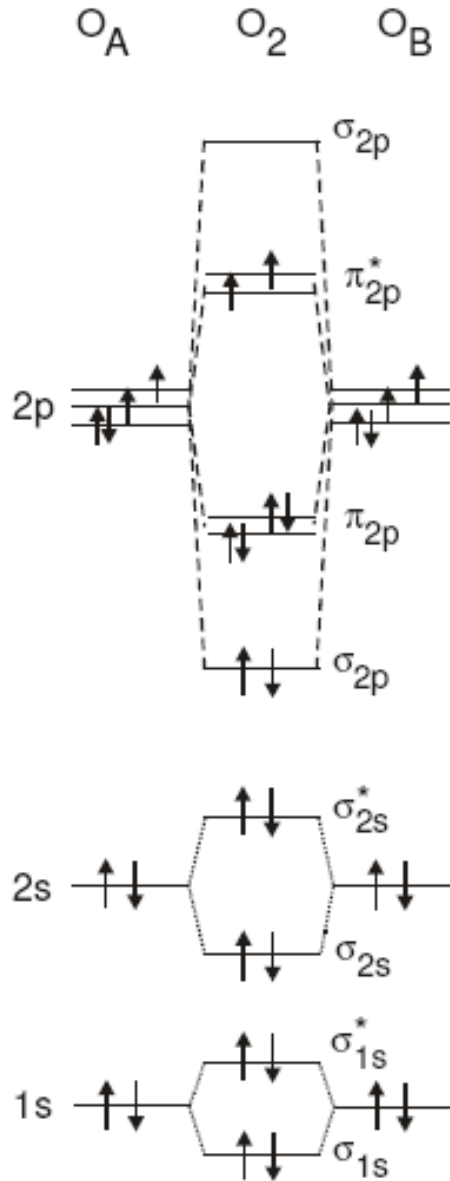
Kovine: velika koncentracija prostih elektronov, ki z veliko hitrostjo prenašajo termično energijo
k = 20-400W/mK

Keramika: malo ali skoraj nič prostih elektronov. Ta prispevek je zelo nizek.
k = 2-50W/mK
Nižji za amorfne materiale kot kristalinične

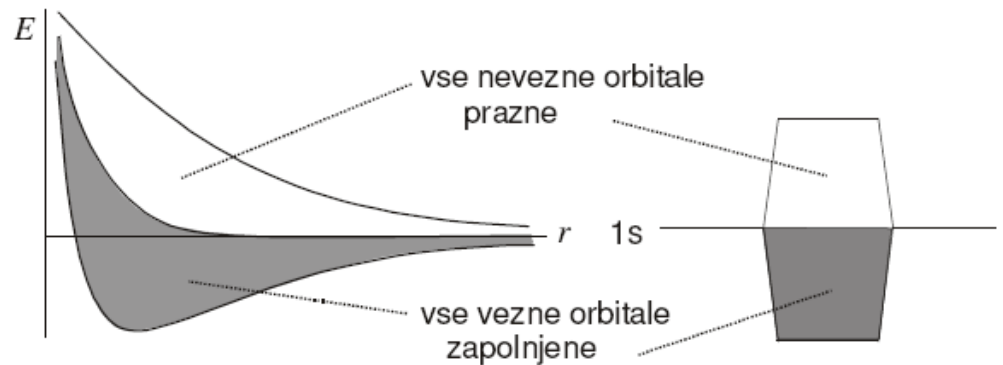
Polimeri: Nižji k zaradi počasnih vibracij dolgih molekul. Izolacijske sposobnosti povečamo z vključitvijo zračnih mehurčkov (polistiren). k = 0.3 W/mK

k(**zrak**) = 0.02 W/mK

Kovinska vez



Slika 1.12. Interakcija 2s orbital šestih litijevih atomov. Energije na desni ustrezajo energijam pri ravnotežnih medjedrnih razdaljah (minimumih) na levi.

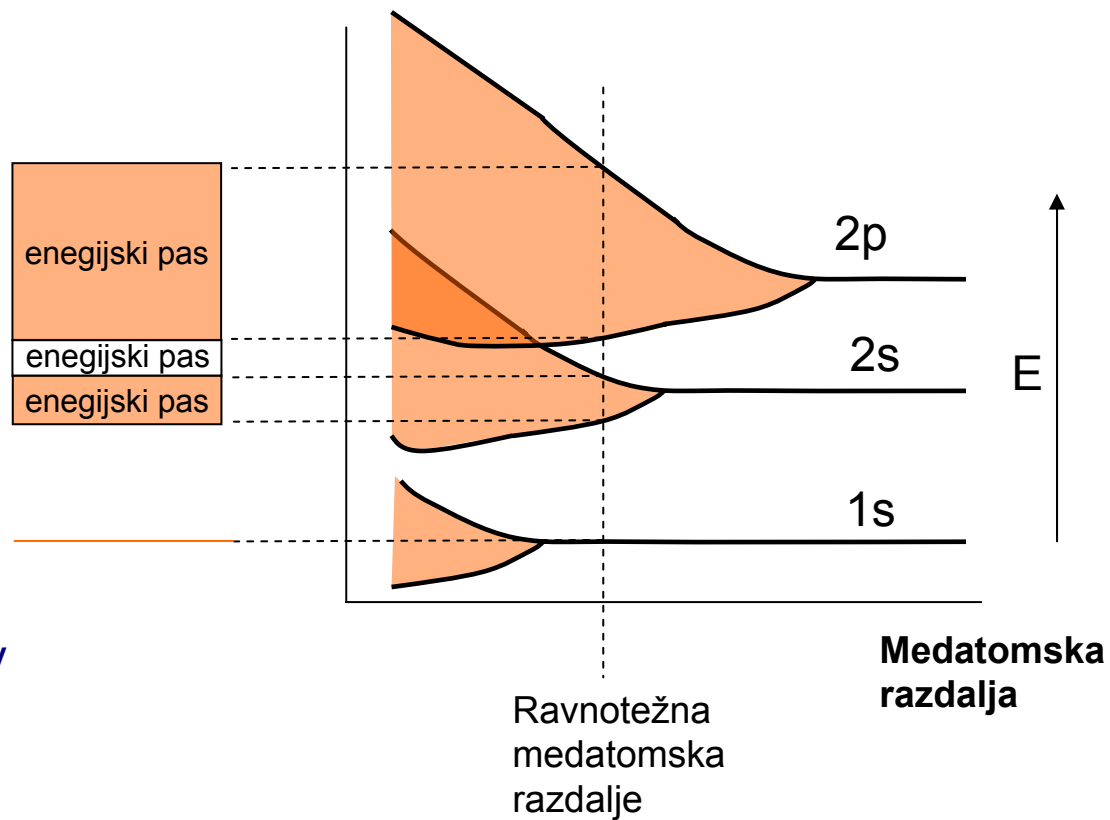


Slika 1.13. Interakcija zelo velikega števila litijevih atomov (na primer 1 mola). Energija bližnjih molekularskih orbital je tako zelo podobna, da lahko namesto o posameznih MO govorimo kar o pasu. Z elektroni je zapolnjena točno polovica energijskega pasu (t.j. vse vezne MO).

Električne lastnosti

Dovoljene energije elektronov

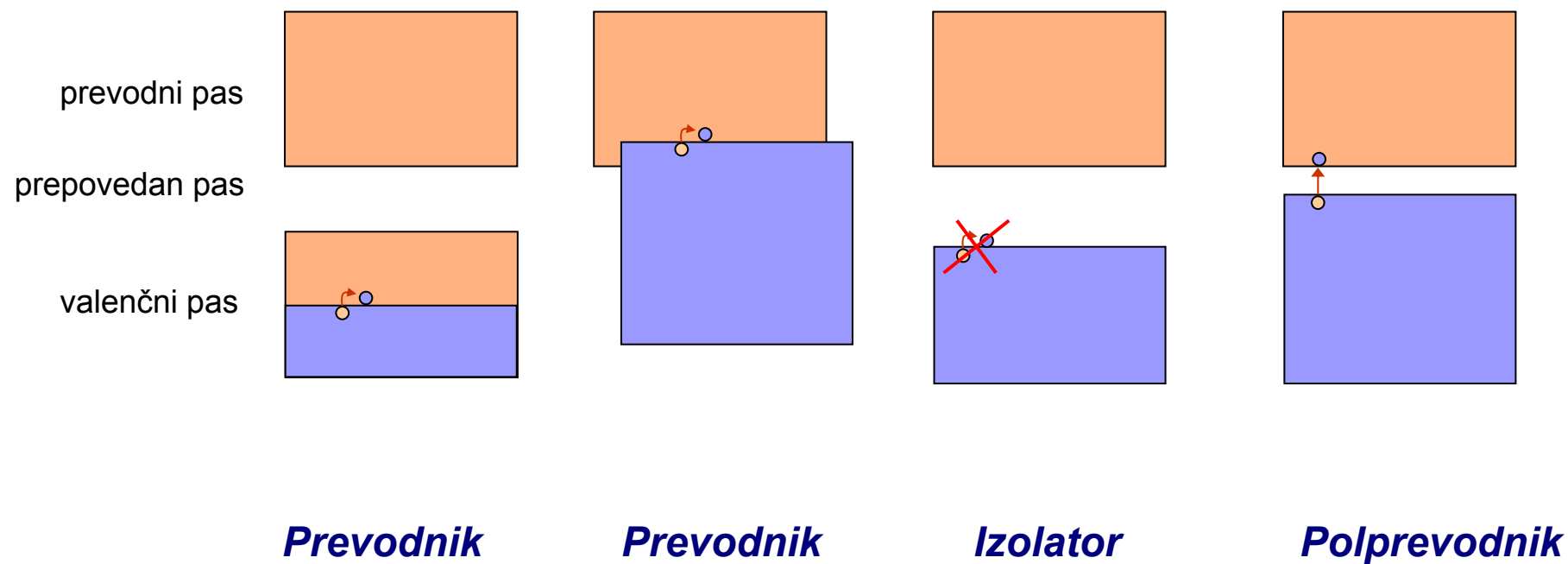
Nedovoljene energije elektronov



Struktura energijskih pasov in njihova zasedenost določajo ali bo material **prevodnik, polprevodnik ali izolator**

Električne lastnosti

Možne strukture elektronskih energijskih pasov in njihova zasedenost



Električne lastnosti - prevodniki

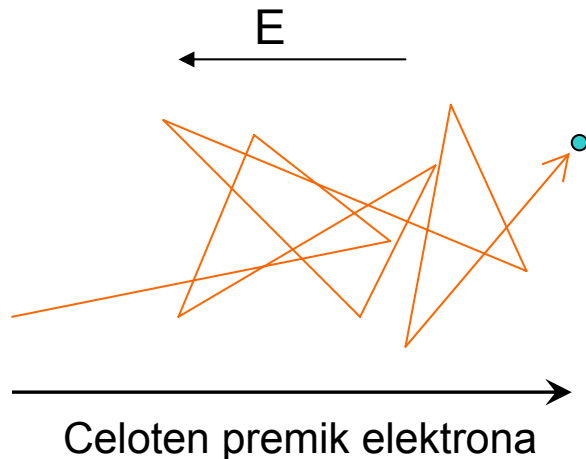
Električno prevodnost (σ) dolža tudi mobilnost elektronov (μ_e).

$$\sigma = ne_0\mu_e$$

$e_0 \dots 1.6 \cdot 10^{-19}$ C (naboj elektrona)

$n \dots$ število prostih elektronov

Omejena mobilnost elektronov je posledica njihovega sipanja na strukturnih defektih in termičnih vibracijah gradnikov (fononih)



Kako se kovinam spreminja prevodnost z višanjem temperature???

Prevodnost kovin s temperaturo pada zaradi zmanjšanja mobilnost elektronov

Električne lastnosti - kovine

Kovina specifična prevodnost

$\sigma [(\Omega\text{m})^{-1} = \text{S/m}]$

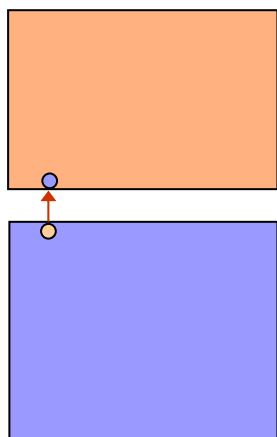
srebro	$6,8 \cdot 10^7$
baker	$6,0 \cdot 10^7$
zlato	$4,3 \cdot 10^7$
aluminij	$3,8 \cdot 10^7$
železo	$1,0 \cdot 10^7$
platina	$0,9 \cdot 10^7$
nerjavno Fe	$0,2 \cdot 10^7$

Specifična prevodnost je definirana kot prevodnost vodnika s dolžino 1m in presekom 1m^2

Upornost je recipročna vrednost prevodnost

$\rho [\Omega]$

Električne lastnosti - polprevodniki



Pri prehodu elektrona v prevodni pas dobimo prosti elektron in elektronsko luknjo. V prisotnosti zunanega električnega polja sta gibljiva oba in oba prispevata k prevodnosti.

Elektroni in elektronske luknje (p) so nosilci naboja

Lastna prevodnost: $\sigma = ne_o\mu_e + pe_o\mu_p$

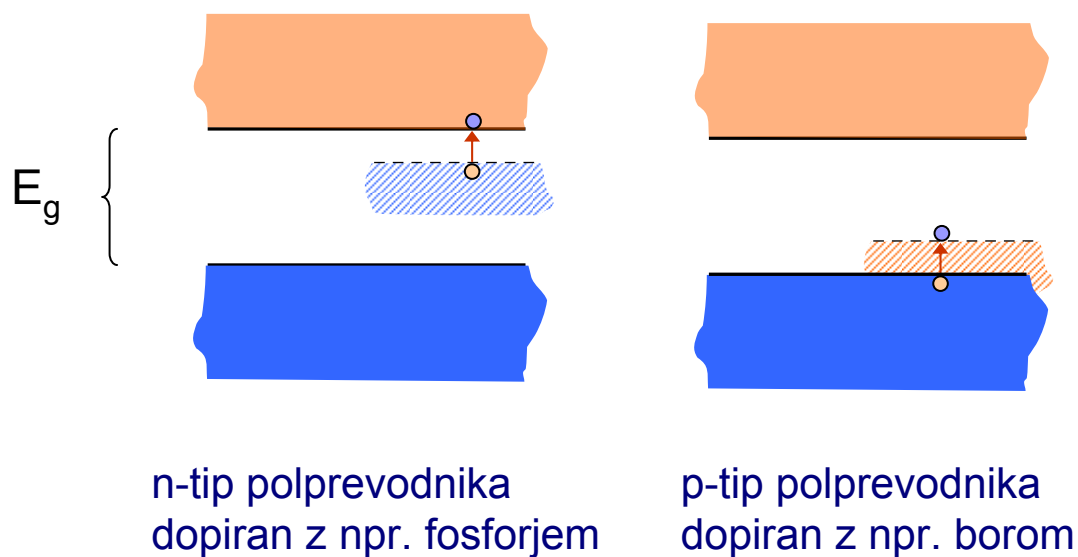
Ker je število elektronov enako številu lukenj lahko zapišemo:

$$\sigma = n_i e_o (\mu_e + \mu_p)$$

Material	specifična prevodnost $\sigma [(\Omega\text{m})^{-1} = \text{S/m}]$	širina prepovedanega pasu [eV]
Si	$4 \cdot 10^{-4}$	1,11
Ge	2.2	0,67
GaAs	10^{-6}	1,42
InSb	$2 \cdot 10^4$	0,17

Električne lastnosti - polprevodniki

Primesni polprevodniki (ekstrinskični) – dopirani z elementi III. ali V. skupine

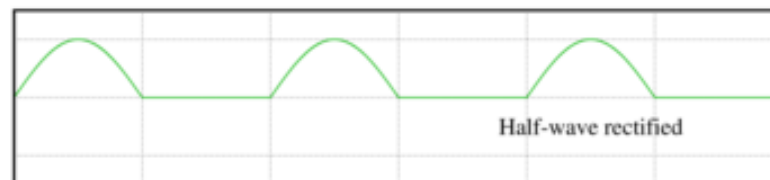
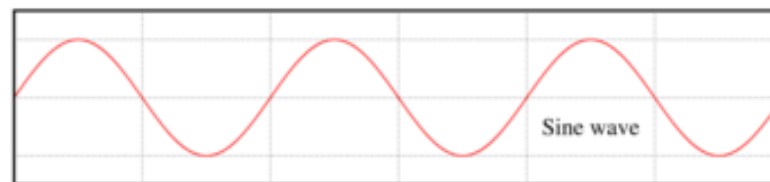
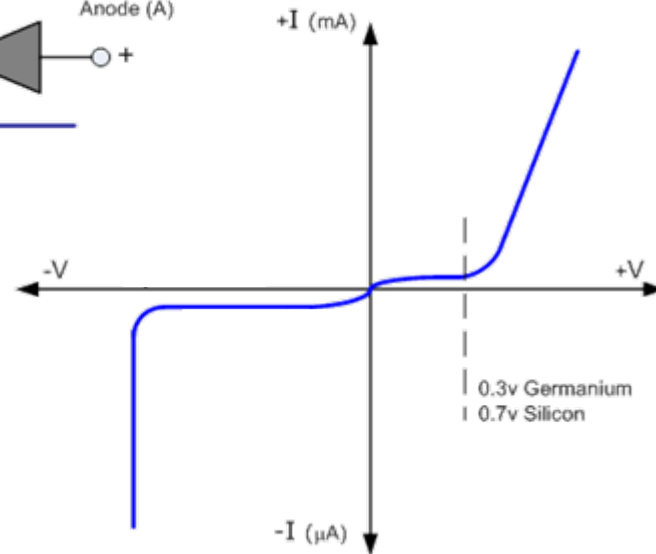
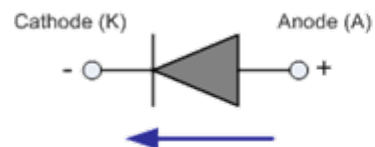
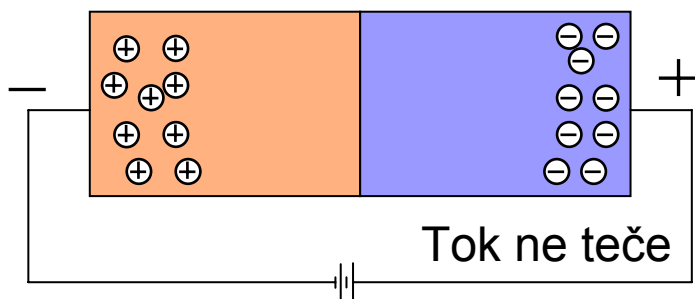
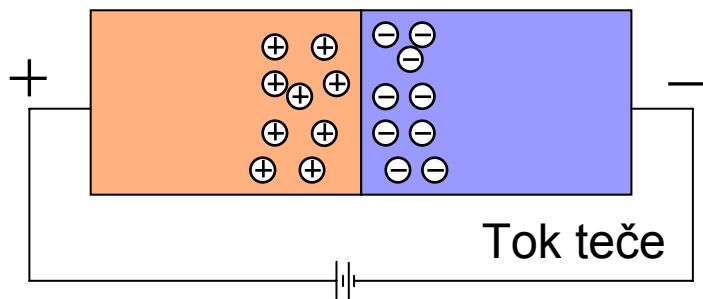
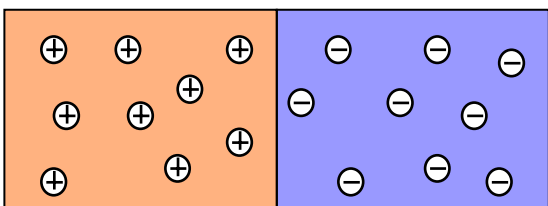


Prevodnost polprevodnikov se s temperaturo večja, ker se viša koncentracija prostih nosilcev naboja – več elektronov prehaja na višje nivoje

$$P_e = \exp (- E_g / 2kT)$$

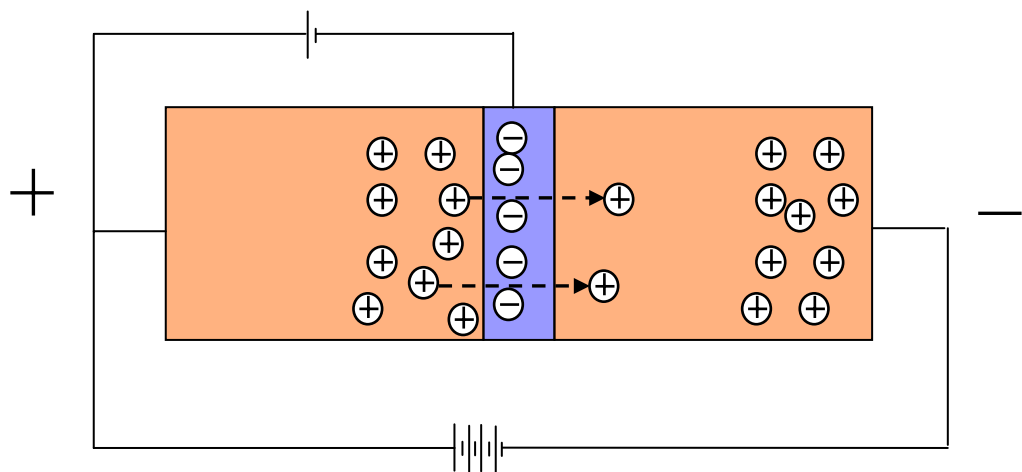
Polprevodniške komponente

Dioda – tokovni usmernik



Polprevodniške komponente

pnp-tranzistor

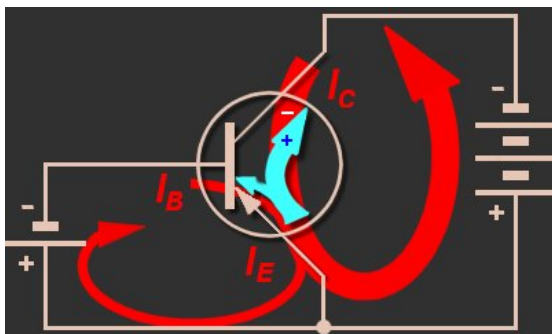


Je kombinacija pn and np diode

Sloj n polprevodnika je ozek in nosilci se ne rekombinirajo v celoti.

Vhodni signal modulira električni tok skozi tranzistor

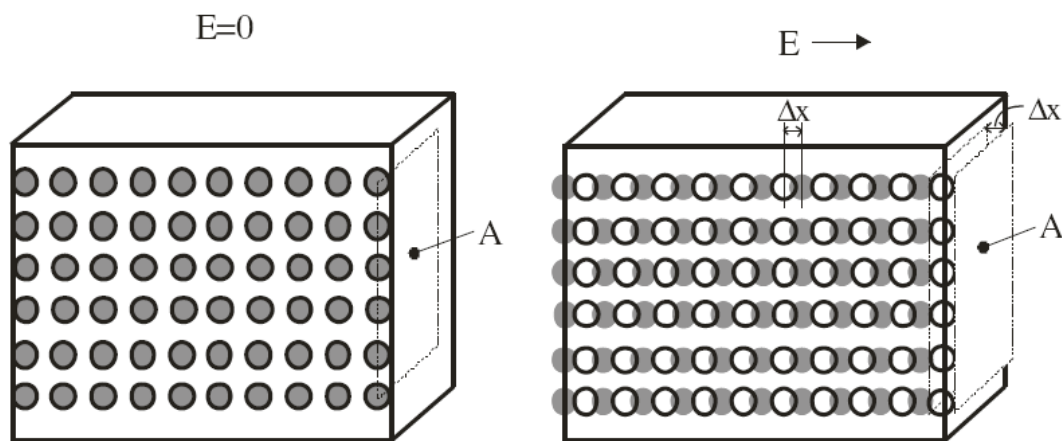
Z napetostjo preko tranzistorja ojačamo vhodni signal.



Električne lastnosti – izolatorji (dielektriki)

V sistemih z vezanimi nosilci naboja zunanje električno polje ne povzroči električnega toka ampak dielektrično polarizacijo. Nosilci naboja se razmaknejo dokler se premikanje ne ustavi zaradi kohezivnih (privlačnih) sil med njimi.

Dobimo dipole (p)



○ pozitivni naboj

● negativni naboj

Dipol:

$$p = q \cdot \Delta x$$

Polarizacija:

$$P = n \cdot p = n \cdot q \cdot \Delta x$$

Električne lastnosti – dielektriki

Polarizacija je urejanje permanentnih in induciranih dipolov ali molekul pod vplivom zunanega električnega polja. Razlikujemo tri osnovne tipe:

Elektronska polarizacija:

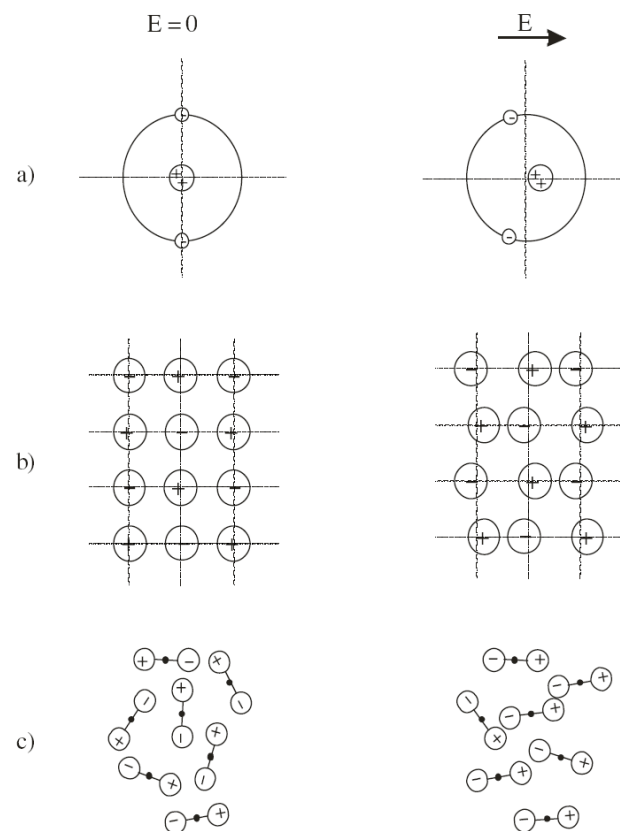
Razmik težišča elektronskega oblaka in jedra atoma. Posledica elektronske polarizacije je lomni količnik.

Ionska polarizacija:

Samo v ionskih materialih – razmik anionov in kationov

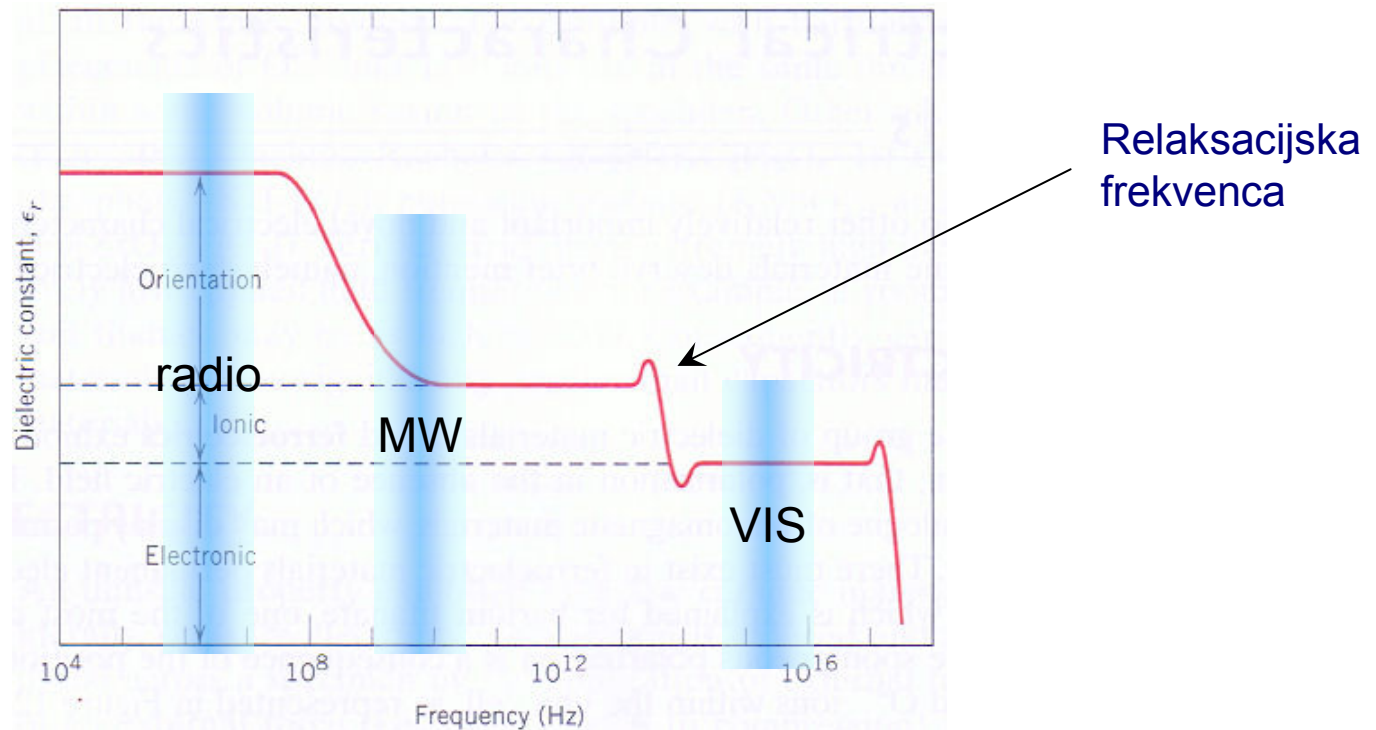
Orientacijska polarizacija:

V materialih s permanentnim dipolnim momentom
- Rotacija in urejanje diplov



Električne lastnosti – dielektriki

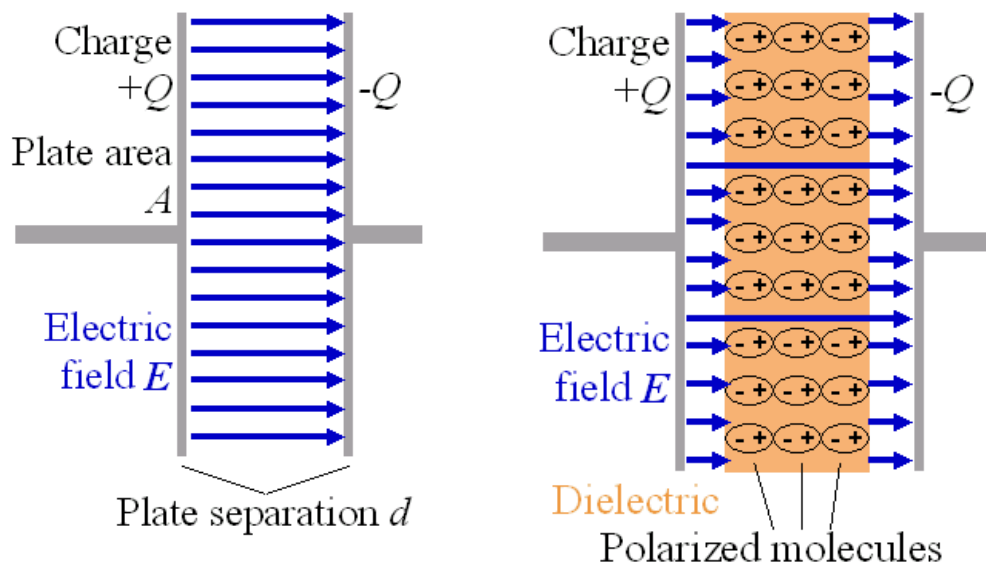
Če je masa dipola velika ne bo mogel slediti visokofrekvenčnemu zunanjemu električnemu polju. Polarizacija je zato frekvenčno odvisna.



$$P_{\text{tot}} = P_{\text{or}} + P_{\text{ion}} + P_{\text{elec}}$$

Električne lastnosti – dielektriki

Dielektričnost: pod vplivom el. polja se ena plošča kondenzatorja nabije pozitivno druga pa negativno. Količina imenovana kapaciteta (C) se nanaša na količino naboja (Q) na ploščah.



$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon \frac{A}{d} \quad [F = C/V]$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{A}{d}$$

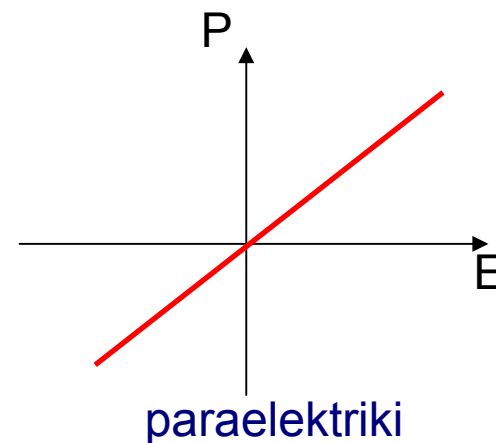
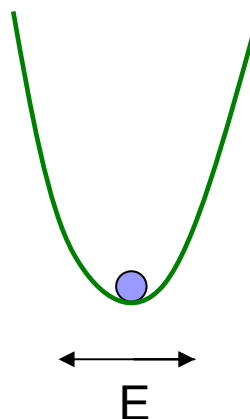
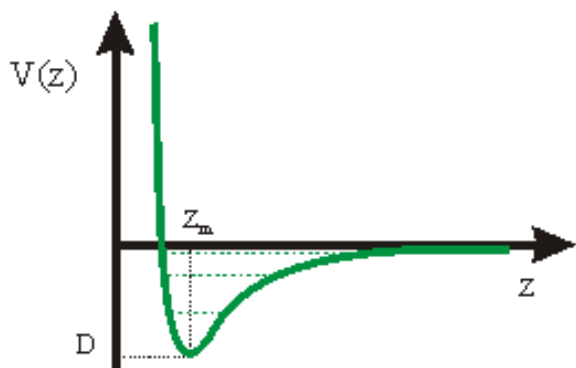
$\epsilon_0 \dots 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m; influenčna konstanta oziroma dielektričnost vakuumu

$\epsilon_r \dots$ relativna dielektrična konstanta

Dielektričnost pove kolikokrat je električno polje v materialu gostejše od polja v vakuumu oziroma kolikokrat več naboja kondenzator akumulira

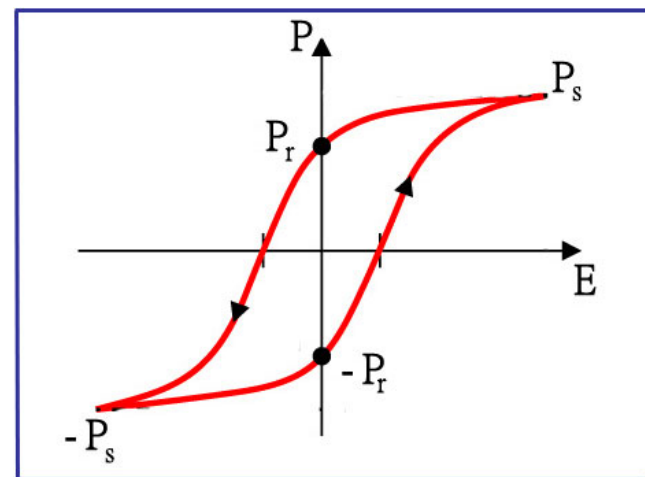
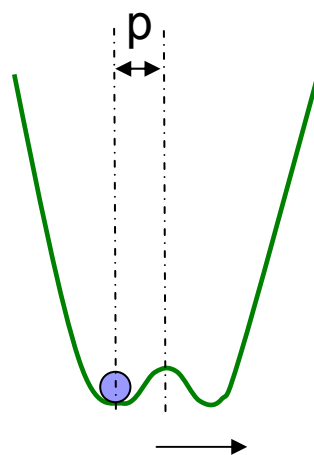
Električne lastnosti – dielektriki

Feroelektričnost

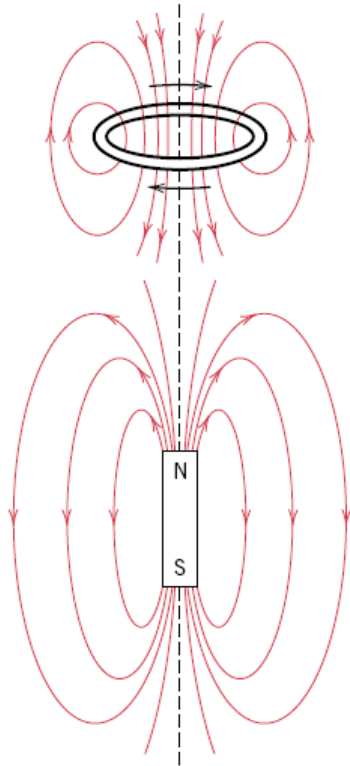


Značilnosti feroelektrikov:

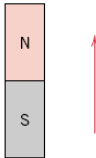
- Samo ne-centrosimetrične strukture
- Spontana polarizacija
- Preklop polarizacije
- Feroelektrična histereza



Magnetne lastnosti



- Magnetne sile nastanejo zaradi premikanja električno nabitih delcev - električen tok
- Magnetni dipoli v materialih so analogni električnim dipolom. Predstavljamo si jih lahko kot male magnetne palice s severnim in južnim polom.
- Magnetno polje na njih učinkuje analogno kot električno polje učinkuje na električne dipole.



$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H$$

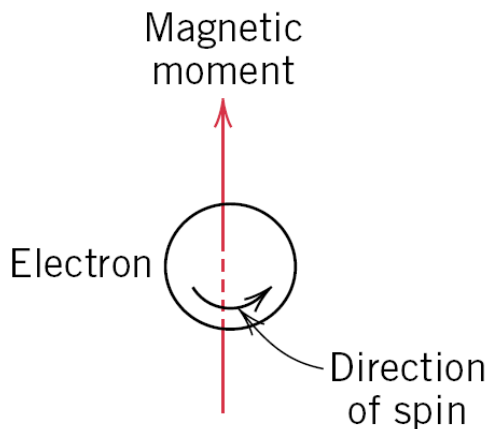
B...gostota magnetnega polja v materialu (T)

H... jakost zunanega magnetnega polja (Oe)

μ ...permeabilnost

μ_0 ...permeabilnost vakuumu ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

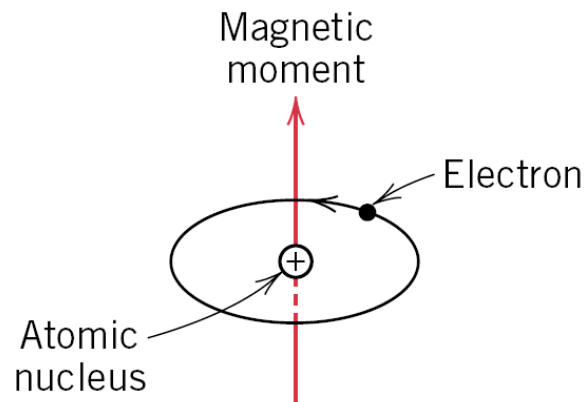
Magnetne lastnosti



Spinski magnetni moment

En elektron ima spinski magnetno moment enega Bohr magnetona ($\pm \mu_B$)
 $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$

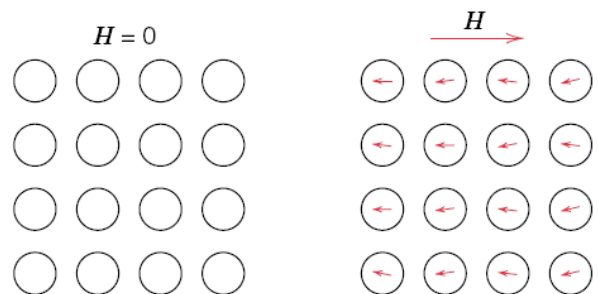
- Spinski in orbitalni magnetni momenti se lahko med seboj izničijo
- Magnetni moment atoma (iona) je vsota neizničenih orbitalnih in spinskih magnetnih momentov
- Posledica: Delci s polno zasedenimi orbitalami ne morejo biti permanentno namagneteni (Ar, Ne, NaCl, Al₂O₃)



Orbitalni magnetni moment

Ima velikost $m_l \mu_B$ pri čemer je m_l magnetno kvantno število

Magnetne lastnosti



(a)



Diamagnetizem: zelo šibka oblika magnetizma.

- Ni permanenten in obstaja samo v prisotnosti zunanega magnetnega polja.
- Moment je usmerjen v nasprotno smer zato hoče diamagneten material “pobegniti” iz magnetnega polja
- $\mu_r < 1$

Paramagnetizem: posamezni gradniki strukture imajo magnetni moment vendar so ti naključno orientirani in se v celoti izničijo.

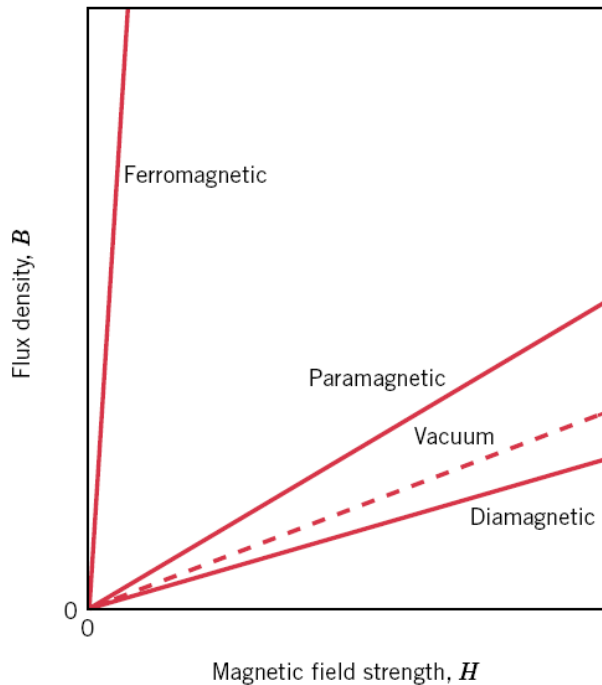
Material nima makroskopskega permanentnega magnetnega momenta.

Pod vplivom zunanega magnetnega polja se dipoli uredijo in povečajo B

$\mu_r > 1$

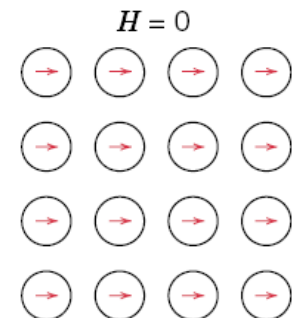
Magnetne lastnosti

V vsakdanjem jeziku diamagnetne in paramagnetne materiale opisujemo kot **nemagnetne materiale**, ker se njihova permeabilnost zelo malo razlikuje od permeabilnosti vakuuma

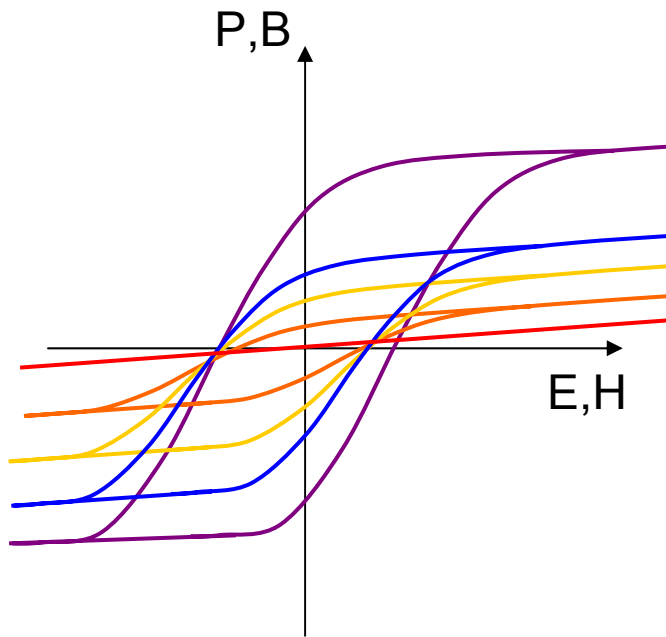


Ferromagneti so permanentno namagneteni materiali

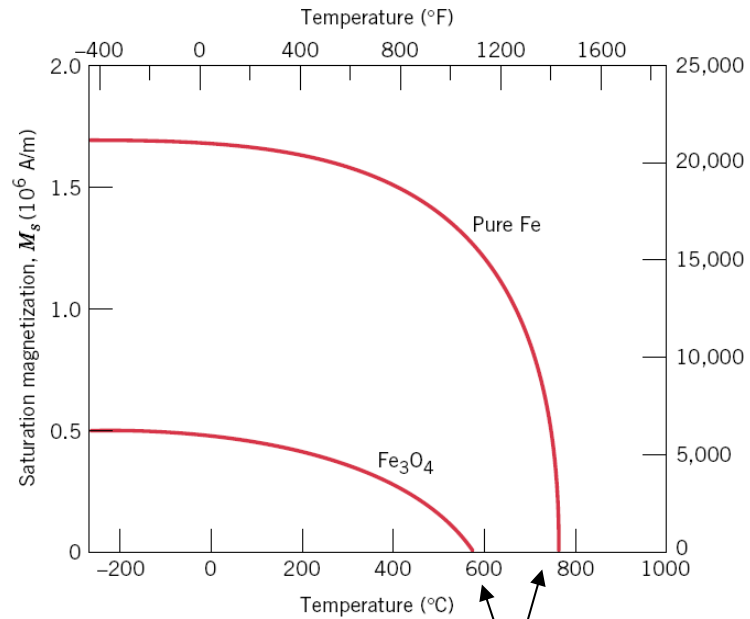
- So posledica nesparjenih elektronov prehodnih elementov (in nekaterih redkih zemelj – npr. Gd).
- Dominanten je prispevek spinskega magnetnega momenta
- Sklopitev magnetnih momentov povzroči visoko permeabilnost (tudi do 10^6)
- Magnetni momenti ostanejo sklopljeni tudi ob odsotnosti polja, zaradi česar so permanentno namagneteni.



Temperaturna odvisnost feromagnetov in feroelektrikov

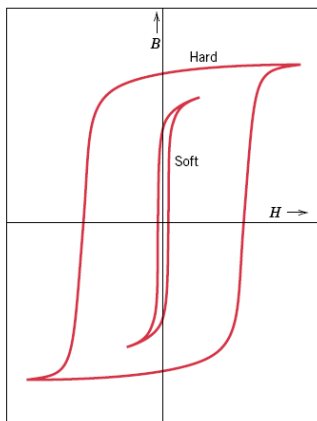


$T < T < T < T < T$



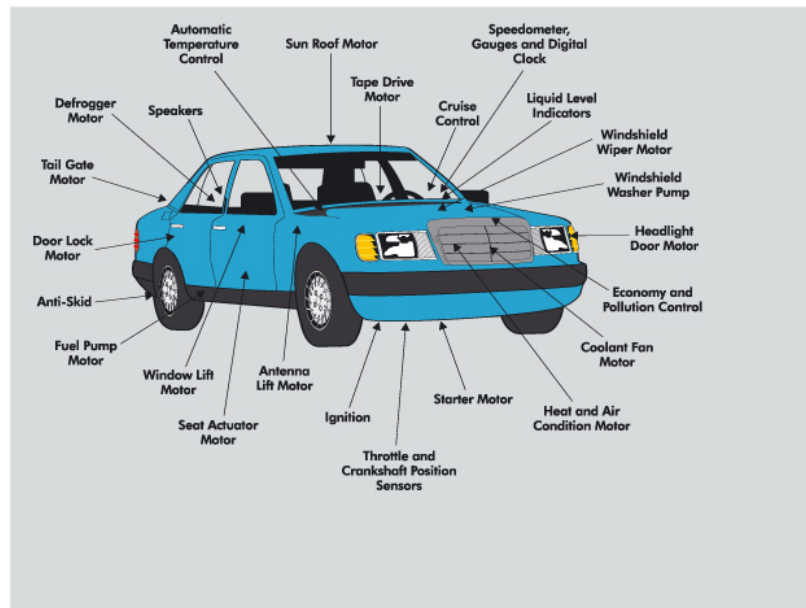
Curie temperature

Trdi magneti



Trdne magnetne uporabljamo v aplikacijah, kjer potrebujemo permanentna magnetna polja
 Trdi magneti imajo visoko koercitivnost in visoko remanentno polarizacijo – torej visoko upornost proti razmagnetanju

Example of the use of up to 100 magnets in high-quality cars



Magnetni materiali

Volframovo jeklo

Koercitivnost [Oe]

5,900

Al-Ni-Co zlitina

125,000

Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)

240,000

SmCo

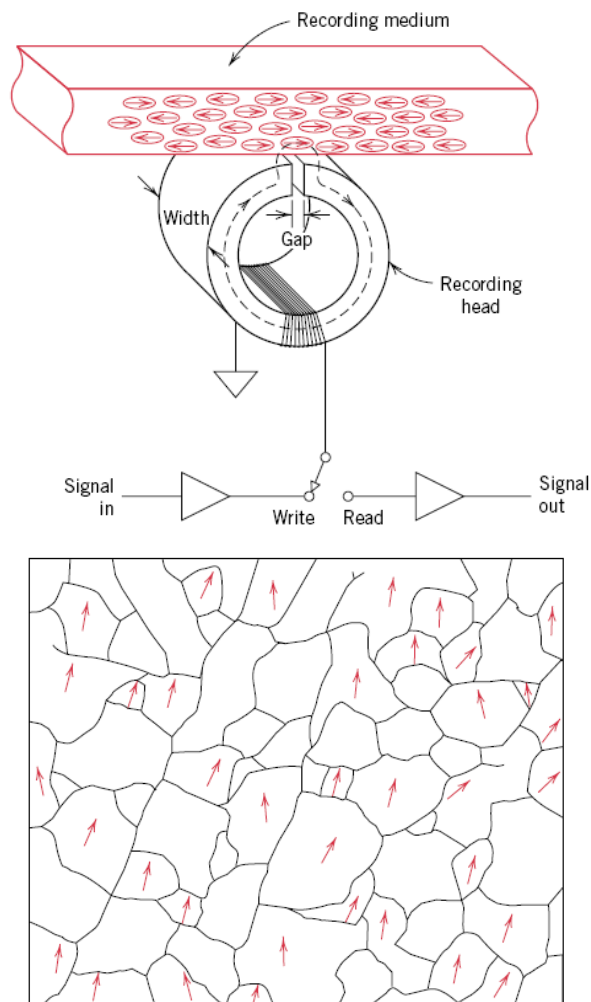
720,000

Nd-B-Fe

848,000

Aplikacije: elektromotorji – veliko ustrežnejši kot elektromagneti, se ne grejejo in ne porabljajo el. energije, so manjši in permanentni
Ostale aplikacije: zvočniki, slušalke, avtomobilska industrija

Magnetni zapis



Sekundarne spominske enote, ki ne potrebujejo vira energije (trakovi ali diski).

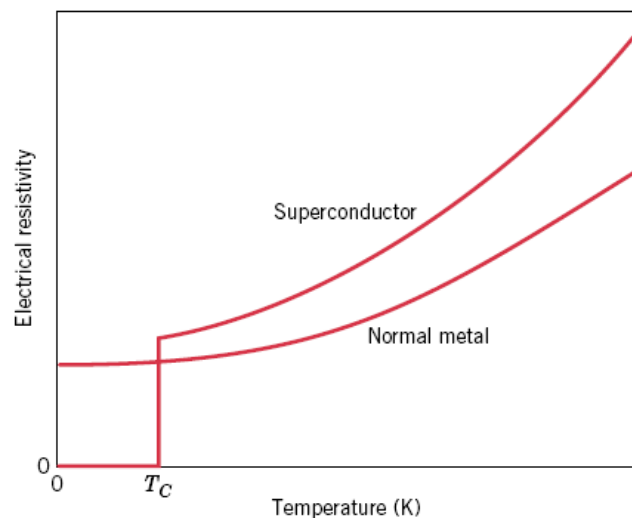
Zapis: Ko steče tok skozi tuljavo z navitjem, se generira magnetno polje, ki lokalno namagnetni magnetni film. Električen signal (nosilec informacije) torej generira magnetni signal, ki se zapiše na film.

Branje: Ko tuljava drsi po filmu preko namagnetenega področja se inducira električni tok. Takšen signal elektronika prevede v informacijo.

Trakovi: Fe_2O_3 ali Cr_2O_3 gostota zapisa 10^5 bit/mm²
Diski: CoCrTa ali CoPtCr gostota zapisa 10^8 bit/mm²

V novejših enotah se izrablja efekt magnetoupornosti

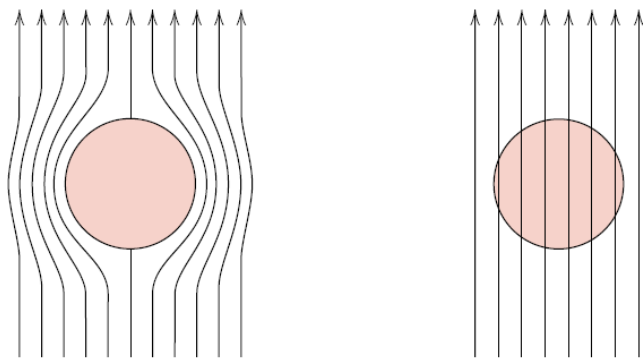
Superprevodniki



Superprevodnost je elektronski pojav vendar tesno povezan z magnetnimi efekti. Uporabljajo se doseganje visokih magnetih polj.

Pri ohlajanju superprevoden material izgubi vso električno upornost. Superprevodno stanje obstaja dokler temperatura, magnetno polje ali električen tok ne presežejo kritične vrednosti

Mehanizem: sklopitev elektronov in njihovo koordinirano gibanje skozi material povzroči "neskončno" mobilnost – nič sipanja na fononih



Meissnerjev efekt: V superprevodnem stanje material postane popolnoma diamagneten; povsem izpodrine magnetno polje – možna levitacija na magnetnem polju

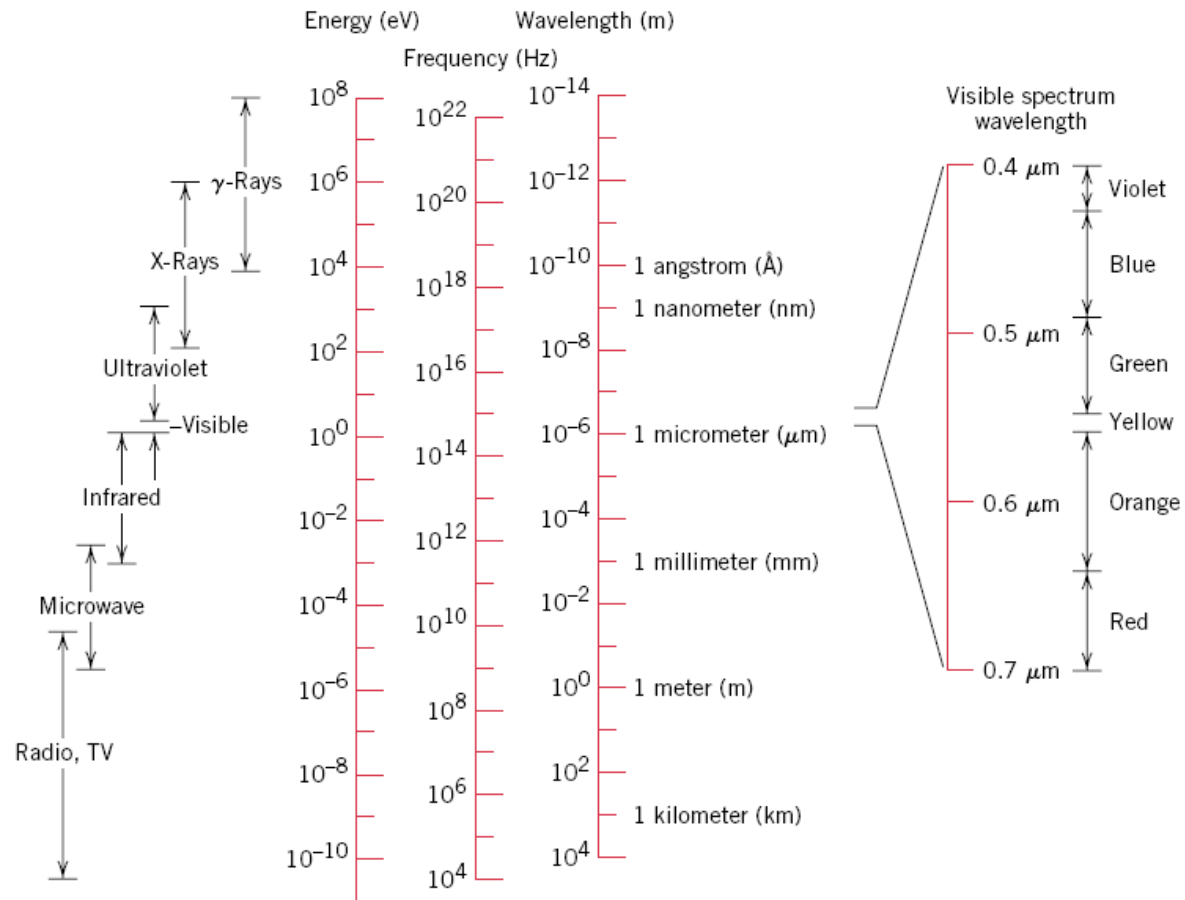
Superprevodniki

<i>Materiali</i>	<i>T_c [K]</i>
Wolfram	0,02
Aluminij	1,18
Svinec	7,19
Nb ₃ Ge zlitina	23,0
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	92
HgBa ₂ Ca ₂ CuO ₈	153

Aplikacije:

- Superprevodni magneti za visoka magnetna polja: za MRI in MRS v medicinske in znanstvene namene
- Prenos električnega toka brez upornostnih izgub
- Magneti za visokoenergetske pospeševalnike
- Za hitra stikala in prenos signala v zmogljivih računalnikih
- Hitri levitacijski vlaki

Optične lastnosti



Optične lastnosti

Ko se svetloba sreča z materijo

$$I_o = I_T + I_A + I_R \quad \text{ali} \quad T + A + R = 1$$

transmitanca ($T = I_T / I_o$),

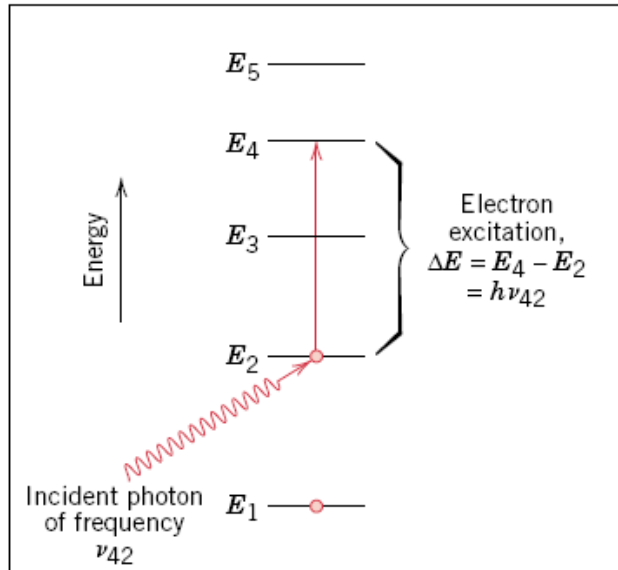
absorbanca ($A = I_A / I_o$)

reflektanca ($R = I_R / I_o$)

Materiali so lahko

- prozorni (transparentni) – večina svetlobe prehaja
- prosojni (translucent) – svetloba difundirano prehaja, v materialu se siplje
- neprozorne (opaque) – večina svetlobe se absorbira

Absorpcija svetlobe



Elektron absorbira energijo fotona in preide na višji energijski nivo

Absorbira se lahko samo foton s točno določeno energijo, ki ustreza razliki med diskretnimi elektronskimi nivoji

$$\Delta E = hc/\lambda$$

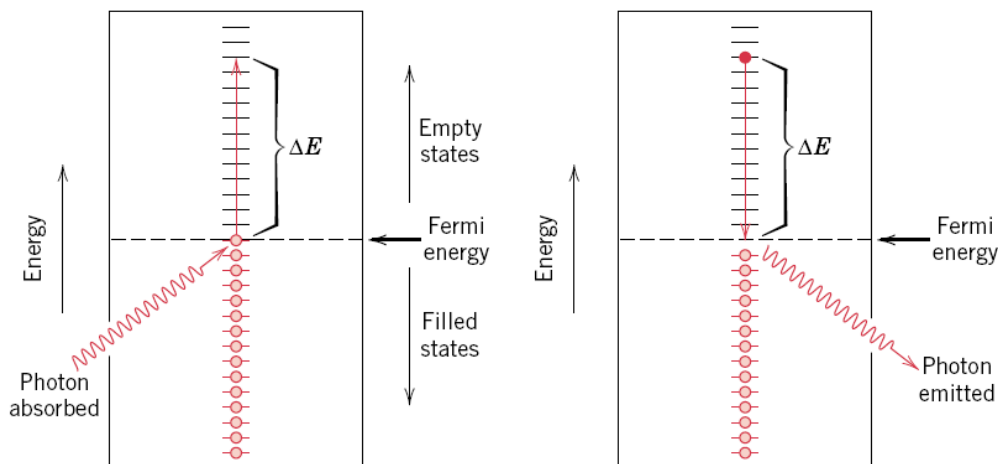
h...Planckova konst. ($6,63 \cdot 10^{-34}$ Js)

c...svetlobna hitrost ($3 \cdot 10^8$ m/s)

Po nekem kratkem času elektron pade nazaj na osnovni nivo in emitira foton

Optične lastnosti so zelo odvisne od elektronske strukture materialov

Absorpcija kovin



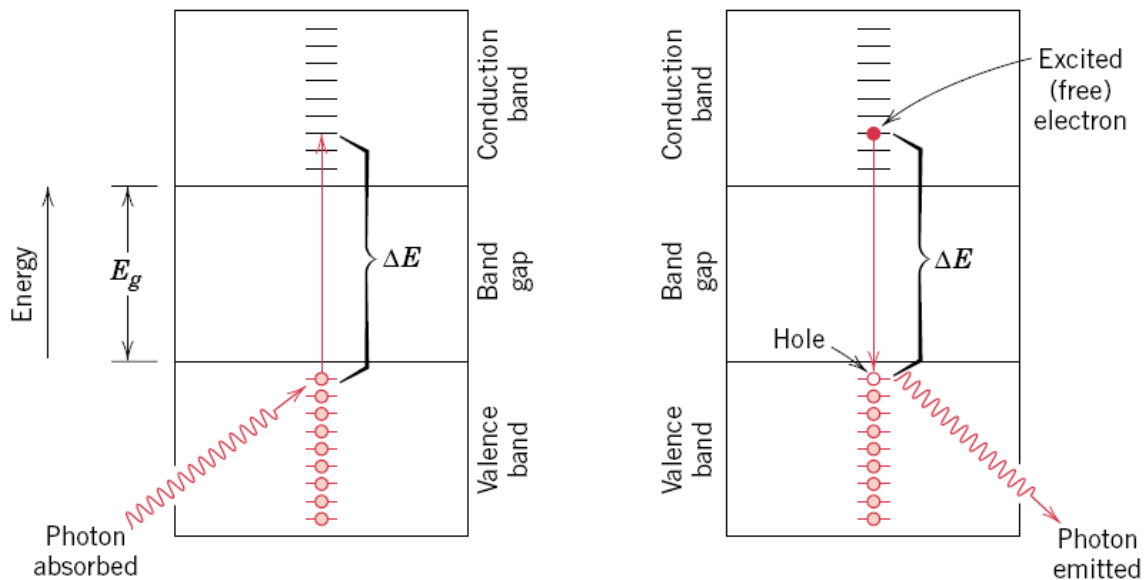
- Elektroni v delno zapolnjenem valenčnem pasu lahko absorbirajo praktično vse frekvence iz vidnega spektra svetlobe zaradi goste skoraj kontinuirne porazdelitve energijskih nivojev.
- Vsa svetloba se absorbira v zunanji $0.1\mu\text{m}$ plasti kovine zato so kovine neprozorne

Kovinski sijaj se pojavi zaradi re-emitiranja fotonov pri relaksaciji vzbujenih elektronov. Temu pravimo REFLEKSIJA (odboj)

Delež odbite svetlobe pri kovinah je od 0.90 do 0.95.

Če so frekvence emitiranih fotonov porazdeljene preko celega spektra bomo dobili karakterističen bel sija (Al, Ag). V primeru Au in Cu fotoni z nizkimi valovnimi dolžinami manjkajo v refleksijskem spektru zato je sijaj rdeče oranžen oz. rumen.

Absorpcija nekovin



Absorbira se lahko samo svetloba z energijo večjo od E_g

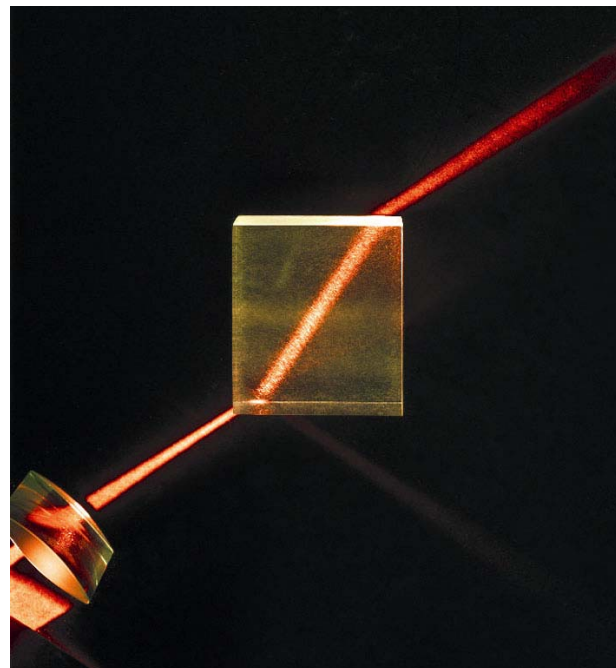
$$hc/\lambda > E_g$$

Absorbirana svetloba se mora tudi re-emitirat – barva

Minimalna valovna dolžina (λ_{\min}) vidne svetlobe je $\sim 400\text{nm}$, maksimalna (λ_{\max}) je ~ 700
Izračunamo lahko, da nekovinski materiali z E_g nad 3.1eV in pod 1.8eV ne bodo absorbirali vidne svetlobe torej bodo brezbarvni oziroma transparentni.

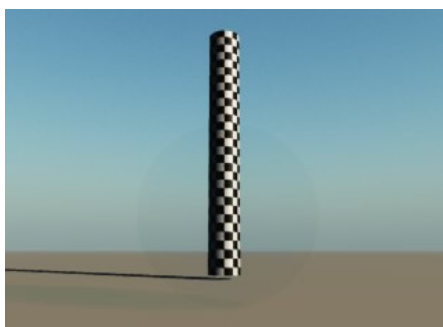
Nekovine, ki absorbirajo vidno svetlobo, so obarvane

Optične lastnosti nekovin (transparentnih)



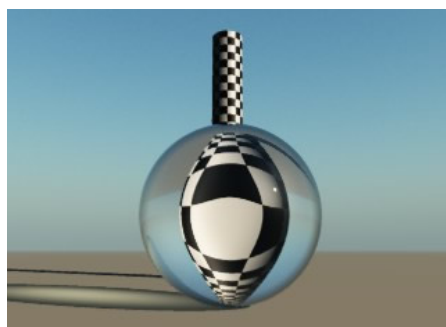
Optične lastnosti nekovin (transparentih)

Lom svetlobe - refrakcija



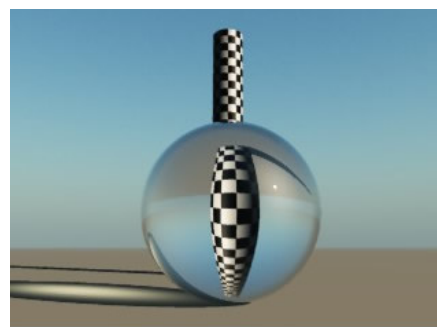
Vacuum

$n=1,00$



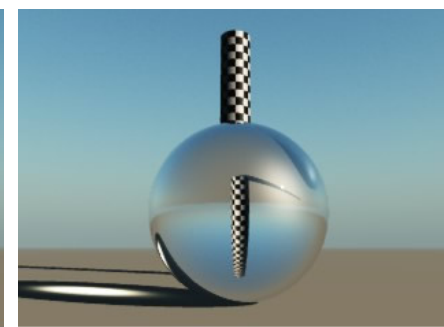
Ice

$n=1,31$



Glass

$n=1,66$

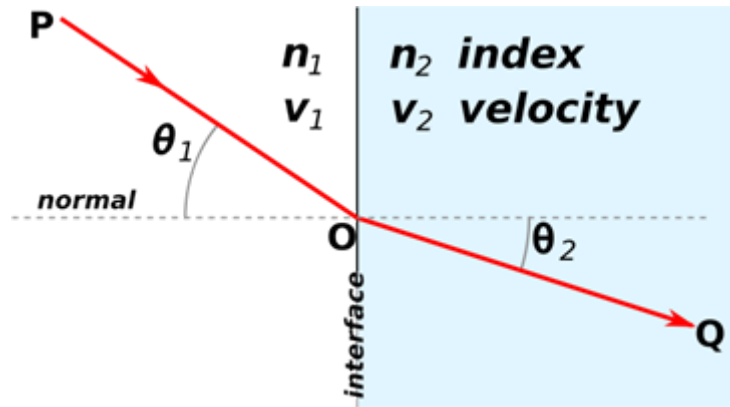


Diamond

$n=2,417$

Lom svetlobe

Lom svetlobe - refrakcija



Edini aktiven polarizacijski mehanizem v VIS področju je elektronski

Lomni količnik je neposredno povezan z elektronsko polarizacijo

Svetloba se lomi tako, da je kot θ v materialu z večjim lomnim količnikom (n) manjši

Lomni količnik definiramo kot razmerje hitrosti širjenja svetlobe v vakuumu in mediju

$$n = c/v$$

Hitrost širjenja svetlobe v mediju je odvisna od njegove dielektričnosti in permeabilnosti

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad \text{torej} \quad n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

Ker je permeabilnost večine transparentnih nekovin ≈ 1 lahko zapišemo

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

Odboj svetlobe

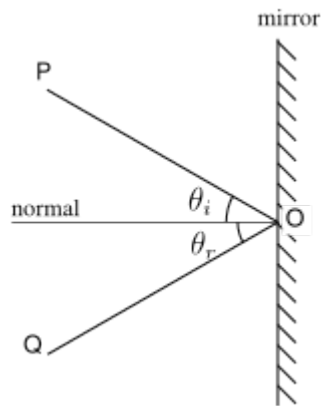
Odboj svetlobe - refleksija

Tudi odboj svetlobe (R...reflektanca) na transparentni materialih je odvisen od njihovega lomnega količnika

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

Silikatna stekla $R \approx 0.05$



$$\theta_i = \theta_r$$



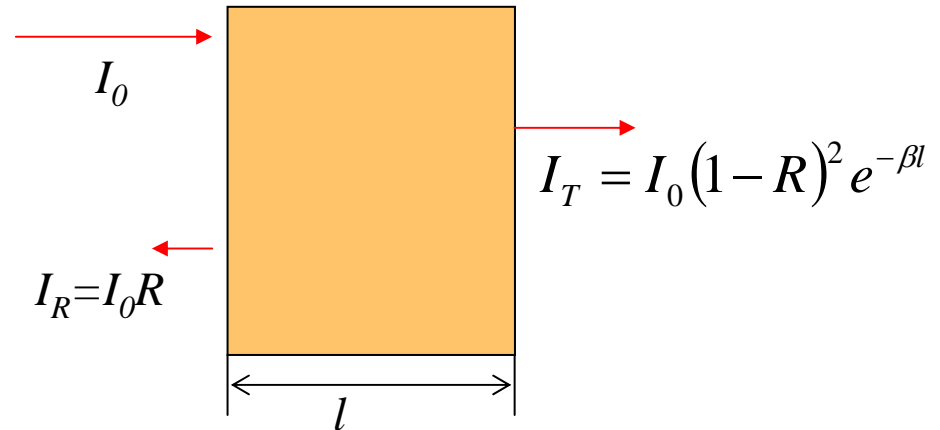
Transmisija svetlobe

$$I_0 = I_T + I_A + I_R \quad \text{ali} \quad I_0 = 1 - I_A - I_R$$

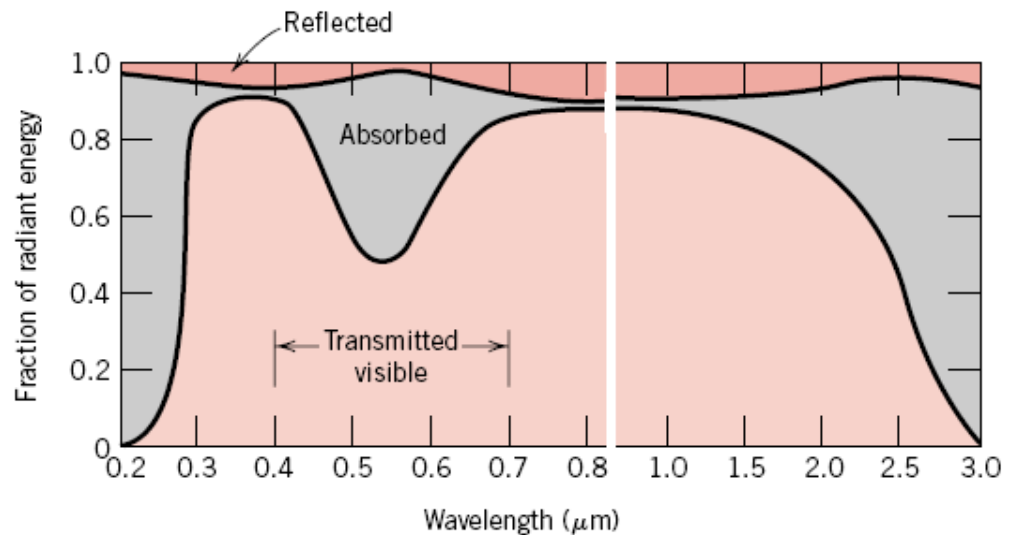
R...reflektanca

β ...absorpcijski koeficient

β je odvisen od narave materiala
in se spreminja s frekvenco

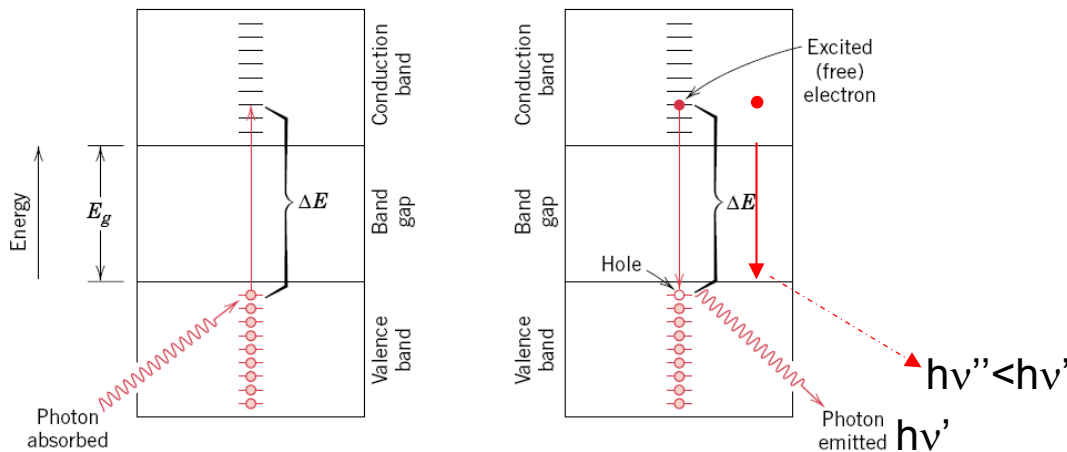


Delež absorbirane, odbite in
prepuščene svetloe skozi
zeleno steklo



Barva

- Barva je posledica neenakomerne intenzitete valovnih dolžin v prepuščeni svetlobi
- Pri selektivni absorpciji fotonov v polprevodnikih (1.8-3.1eV)
 - Pri re-emitiranju fotonov, ki nimajo nujno iste energije kot absorbirani.

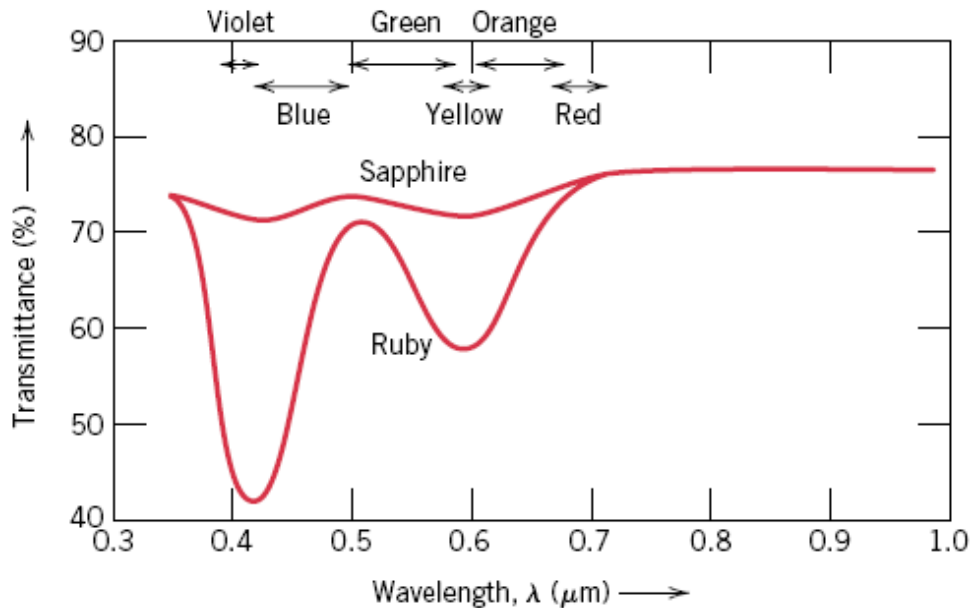


Primer CdS - $E_g=2.4\text{eV}$

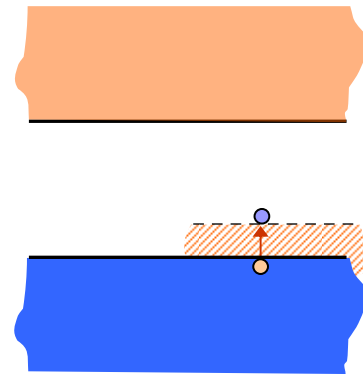
- Absorbira svetlobo z energijo nad 2.4eV – moder in vijoličen spekter.
- Re-emitiran del svetlobe ima drugačno energijo.
- V prepuščeni svetlobi je intenziteta modre in vijolične manjša zato ima CdS rumeno-oranžno barvo

Barva

Safir – brezbarven monokristal Al_2O_3
Rubin – temno rdeč monokristal Al_2O_3



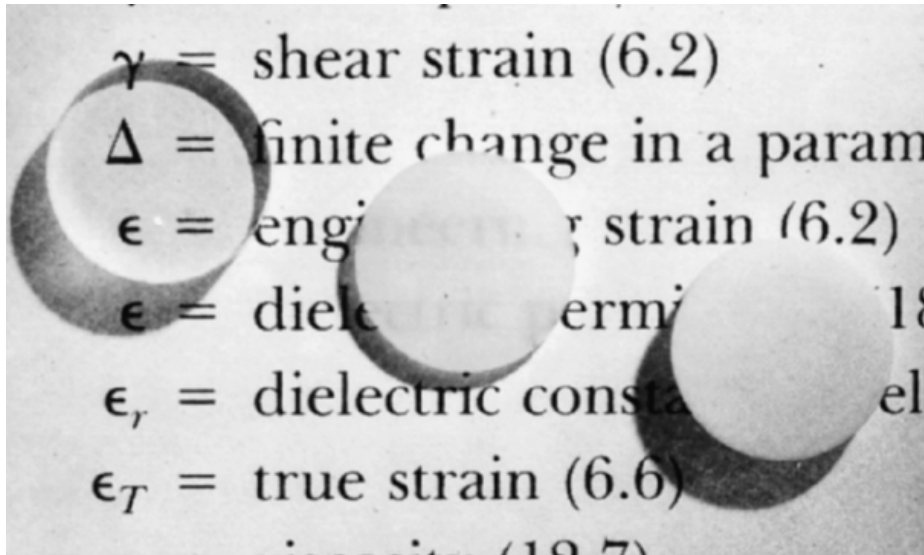
Prisotnost dopantov omogoči absorpcijo vidne svetlobe



Obarvanje stekel, emajlov in keramičnih prevlek:

- | | |
|------------------|-----------------|
| Cu^{2+} | zeleno-modra |
| Co^{2+} | modro-vijolična |
| Cr^{3+} | zelena |
| Mn^{2+} | rumena |
| Mn^{3+} | rožnata |

Prosojnost in neprozornost



Monokristal (safir) neporozna keramika 5% poroznosti

Primeri faznih mej:

- meje med zrni v keramiki
- meje med porami in zrni
- meje med dvema tekočinama v emulziji
- meje med plinom in tekočino v oblaku
- meja med trdnim delcem in tekočino v suspenziji

Prosojnost je posledica sipanja svetlobe na faznih mejah

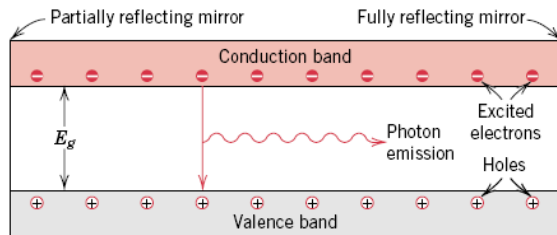
$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

n_1 in n_2 sta lomna količnika obeh faz

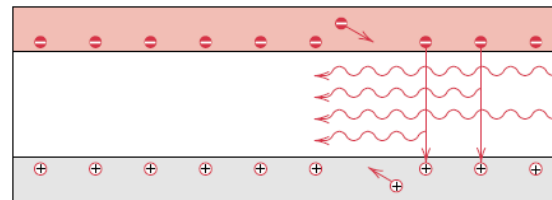
Na mejah med zrni iste snovi sta lomna količnika različna zaradi različne orientacije kristalitov

Laser

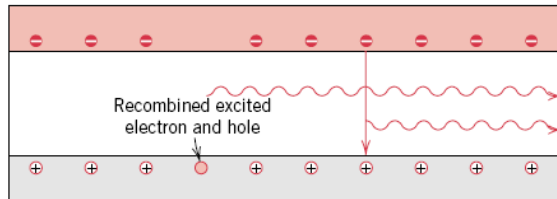
L.A.S.E.R. = light **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation
= ojačitev svetlobe s stimulirano emisijo sevanja



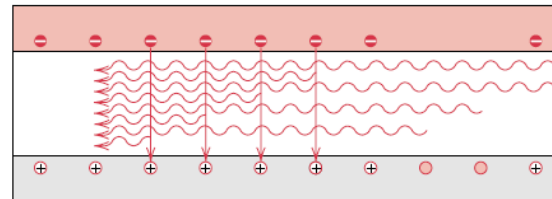
(a)



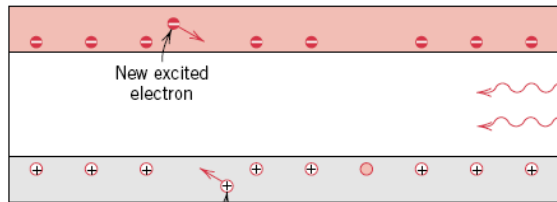
(d)



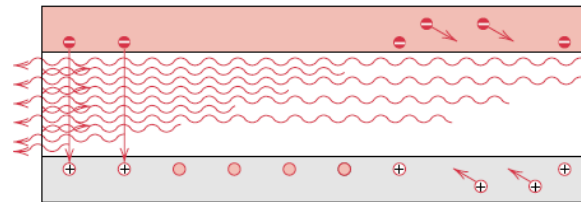
(b)



(e)



(c)



(f)

- Vzbujanje elektronov v prevodni pas (s svetlobo ali elektriko)
- Spontana relaksacija in emisija fotona
- Foton stimulira novo relaksacijo
- Nastane nov koherenten foton z enako energijo
- Skupaj se širita proti posrebneni površini in sprožata plaz stimuliranih relaksacij
- Odboj na posrebneni površini in nadaljevanje procesa proti prosojni površini
- Izhod iz materiala v obliki svetlobnega žarka, ki je v fazi in ima diskretno valovno dolžino

Laser

Table 19.2 Characteristics and Applications of Several Types of Lasers

<i>Laser</i>	<i>Type</i>	<i>Common Wavelengths (μm)</i>	<i>Max. Output Power (W)^a</i>	<i>Applications</i>
He-Ne	Gas	0.6328, 1.15, 3.39	0.0005–0.05 (CW)	Line-of sight communications, recording/playback of holograms
CO ₂	Gas	9.6, 10.6	500–15,000 (CW)	Heat treating, welding, cutting, scribing, marking
Argon	Gas ion	0.488, 0.5145	0.005–20 (CW)	Surgery, distance measurements, holography
HeCd	Metal vapor	0.441, 0.325	0.05–0.1	Light shows, spectroscopy
Dye	Liquid	0.38–1.0	0.01 (CW), 1×10^6 (P)	Spectroscopy, pollution detection
Ruby	Solid state	0.694	(P)	Pulsed holography, hole piercing
Nd-YAG	Solid state	1.06	1000 (CW), 2×10^8 (P)	Welding, hole piercing, cutting
Nd-Glass	Solid state	1.06	5×10^{14} (P)	Pulse welding, hole piercing
Diode	Semiconductor	0.33–40	0.6 (CW), 100 (P)	Bar-code reading, CDs and video disks, optical communications

^a “CW” denotes continuous; “P” denotes pulsed.

Optična vlakna

Skoraj vse komunikacijske povezave danes potekajo po optičnih vlaknih

Električen kabel – prenašalec informacije elektron

Optično vlakno – prenašalec informacije foton (EM valovanje)

Prednosti optičnih vlaken:

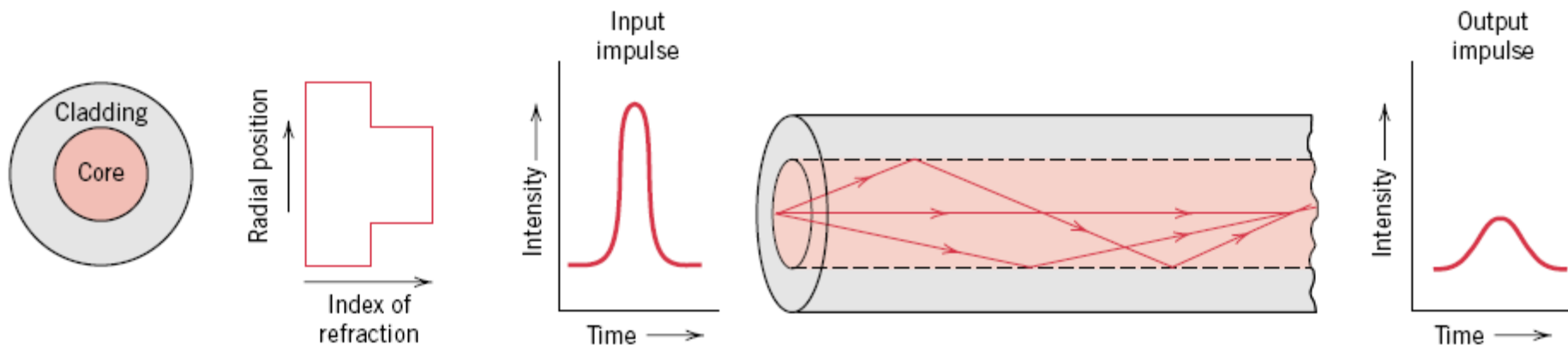
- hitrost prenosa
- gostota informacijskega zapisa
- razdalja prenosa
- manj napak med prenosom
- nič EM motenj z optičnim vlaknom

Dva optična vlakna lahko preneseta 24,000 telefonskih klicev hkrati

Vlakna teže 0.1kg sta glede na količino prenešenih podatkov ekvivalenta 30 ton bakra



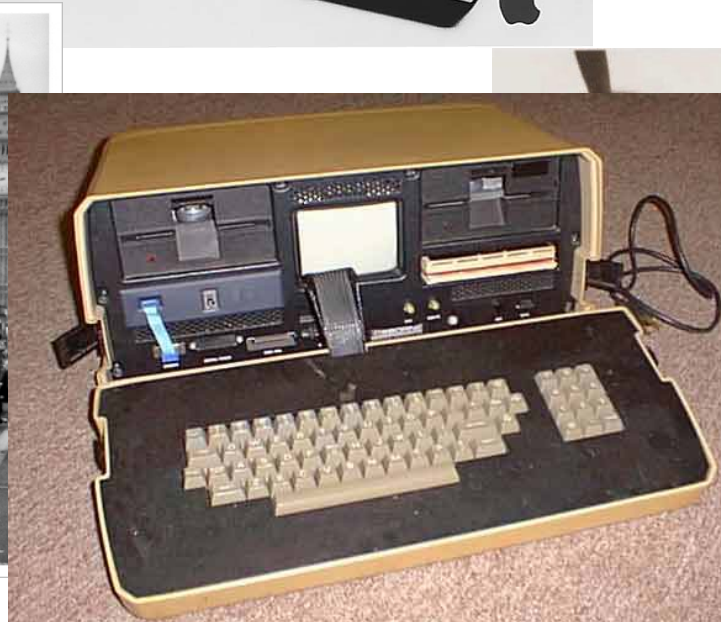
Optična vlakna



- Optično vlakno je sestavljeno iz jedra in plašča.
- Jedro in plašč imata različne lomne količnike
- Signal se razširja po jedro in se na fazni mejim z plaščem popolno odbija
- Popoln odboj nastopi, ko signal, ki potuje po optično gostejše materialu (višji n), na prestopi fazne meje ampak se v celoti odbije. Pogoj zato je, da je vstopni kot večji od kritičnega kota

$$\Theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

- Idealno tak signal potuje brez izgub vendar v realnih optičnih vlaknih nastanejo izgube zaradi nečistoč, napetosti, napak vlaknu itd...
- V tehnološkem postopku izdelave se ti defekti poskušajo znižati na minimum



©GSP

