

Tēma 6

SVARĪGĀKĀS MATERIĀLU ĪPAŠĪBAS, TO SAISTĪBA AR UZBŪVI. ELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS. OPTISKĀS ĪPAŠĪBAS. TERMISKĀS ĪPAŠĪBAS

Dažādu materiālu elektrisko, optisko un arī termisko īpašību atkarību no materiāla struktūras nosaka pietiekami sarežģīti fizikas likumi un kopsakarības, kas arī prasa samērā plašu matemātiskā aparāta izmantošanu. Mūsu ievadkurss šo likumsakarību iztirzāšanu neparedz, atstājot to fizikas kursa ziņā. Materiālu elektriskas, optiskas un arī termiskas īpašības mēs aplūkosim vienkāršotā veidā, tomēr daudz nekaitējot norišu būtības izpratnei.

6.1. ELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS

6.1.1. IEVADS

Elektriskās īpašības raksturo materiāla reakciju uz elektriskā lauka iedarbību.

Viens no svarīgākiem elektrisko īpašību raksturojumiem ir tā spēja vadīt elektrisko strāvu. Sakarību starp cauri materiāla paraugam plūstošas elektriskās strāvas stiprumu I (pēc būtības strāvas plūsmas ātrumu) un parauga galiem pielikto spriegumu U (6.1.1.att.) nosaka *Oma* likums:

$$U = IR \quad (6.1.1)$$

kur, R – ir materiāla parauga **pretestība strāvas plūsmai**.

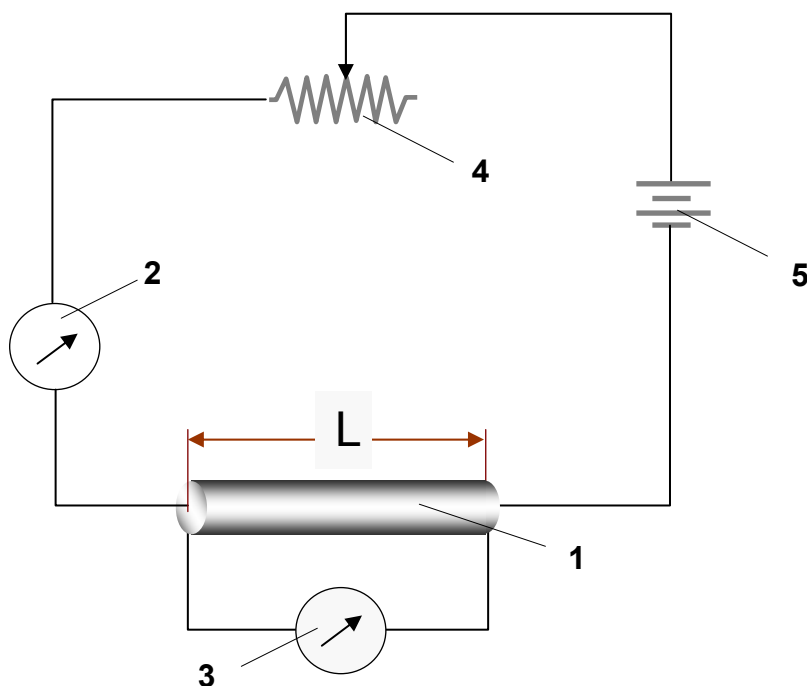
Minēto lielumu mērvienības ir šādas: U - [v, volts], I - [a, ampers] un R - [Ω , oms].

Parauga pretestība ir atkarīga ne tikai no materiāla struktūras, bet arī no tā ģeometriskiem rādītājiem. Lai pēdējos izslēgtu, izmanto **īpatnējās pretestības** lielumu ρ :

$$\rho = R (S/L) \quad (6.1.2)$$



kur S – parauga šķērsgriezuma laukums, L – parauga garums. Īpatnējās pretestības mērvienība ir [$\Omega \text{ m}$].



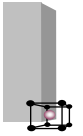
6.1.1. att. Elektrovadītspējas mērīšanas shēma.: 1 – paraugs, 2 – ampērmetrs, 3 – voltmetrs, 4 – maiņpretestība, 5 – strāvas avots

Bieži materiālu spēju vadīt strāvu raksturo ar tādu parametru kā **elektrovadītspēja** - σ . Elektrovadītspēja ir lielums, kas ir apgriezts lielums īpatnējai pretestībai:

$$\sigma = 1/\rho \quad (6.1.3)$$

Elektrovadītspējas vērtības dažādiem materiāliem atrodas plašās robežās: no 10^{-17} līdz $10^8 \Omega \text{ m}$ (6.1.1. tabula).

Svarīgākā loma strāvas vadīšanas procesā ir **elektroniem**. Mums jau zināms, ka metālos atomu ārējo čaulu elektroni nav cieši saistīti. Tāpēc tie viegli veido strāvas plūsmu. Šie brīvie elektroni tad arī nosaka metālu lielo elektrovadītspēju (6.1.1. tabula). Šādus materiālus sauc par **strāvas vadītājiem**. Strāvas vadītāju (metālu) atomu elektronu joslu uzbūve ir specifiska. Lai elektroni veidotu strāvas plūsmu nepieciešama niecīga enerģija (6.1.2. att.).



Daudzu materiālu (keramika, stikls, polimēri un daudzi citi) elektrovadītspēja ir neliela ($<10^{-9} \Omega\text{m}$). Tas tāpēc, ka to sastāvā ieejošo atomu elektronu aizpildīto valences zonu no vadītspējas zonas atdala plaša aizliegtā zona (6.1.2. att.). Tādus materiālus sauc par **dielektriķiem** (strāvas nevadītājiem).

Starpstāvokli starp strāvas vadītājiem un dielektriķiem ieņem **pusvadītāji**, kuru atomu aizliegtā zona ir ievērojami šaurāka. Neraugoties uz to, ka pusvadītāju loma mūsdienu elektronikā ir nepārvērtējama, pusvadītāju elektrisko īpašību iztīrīšana nav šī ievadkursa uzdevums.

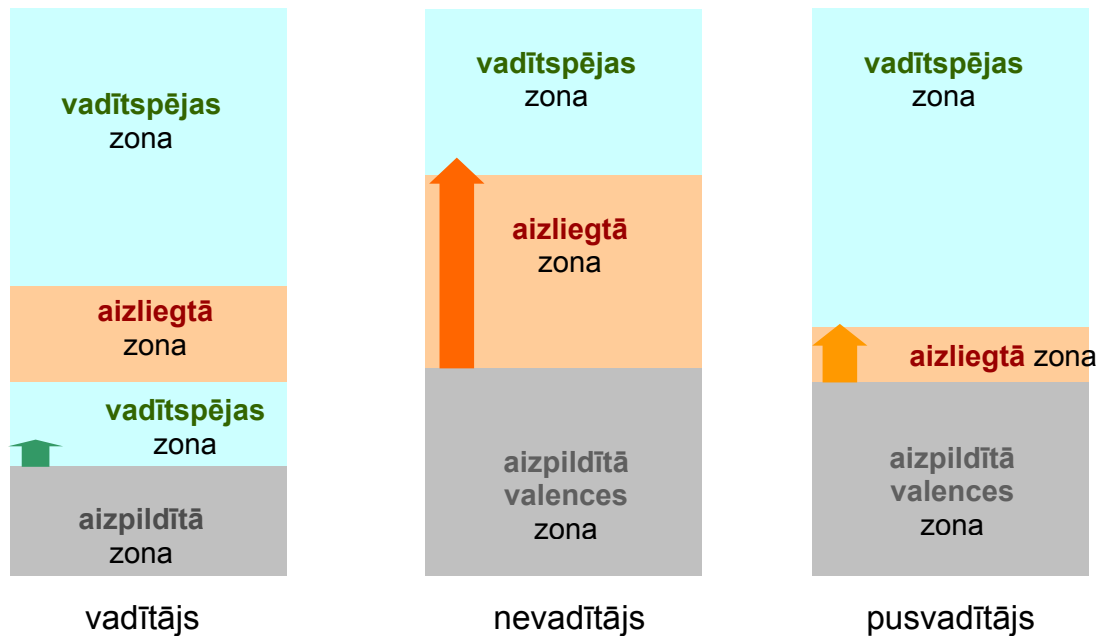
6.1.1. tabula

Dažu materiālu elektrovadītspējas σ vērtības istabas temperatūrā

Materiāla veids	σ ($\Omega\text{ m}$) ⁻¹	Materiālu grupa
Ag	$6,8 \times 10^7$	strāvas vadītāji
Cu	$6,0 \times 10^7$	
Au	$4,3 \times 10^7$	
Al	$3,8 \times 10^7$	
Fe	$1,0 \times 10^7$	
Pt	$0,94 \times 10^7$	
tērauds	$0,6 \times 10^7$	
nerūs. tērauds	$0,2 \times 10^7$	
grafīts	$3,0 \times 10^4$	
Ge	2,2	pusvadītāji
Si	$4,0 \times 10^{-4}$	
betons	10^{-9}	dielektriķi
Na stikls	$10^{-9} - 10^{-11}$	
porcelāns	$10^{-10} - 10^{-12}$	
B stikls	10^{-13}	
Al ₂ O ₃	$< 10^{-13}$	
kvarca stikls	$< 10^{-18}$	
FF*	$10^{-9} - 10^{-10}$	
PMMA*	$< 10^{-12}$	
PA*	$10^{-12} - 10^{-13}$	
PS*	$< 10^{-14}$	
PE*	$10^{-15} - 10^{-17}$	
PTFE*	$< 10^{-17}$	

* - polimēri

Dažu strāvas vadītāju, nevadītāju un pusvadītāju elektrovadītspējas σ vērtības dotas
6.1.1.



6.1.2. att. Strāvas vadītāja, dielektriķa un pusvadītāja atomu elektronu joslu uzbūves shēma

6.1.2. STRĀVAS VADĪTĀJI

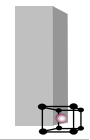
Svarīgākie strāvas vadītāji ir metāli

Metālu īpatnējā pretestība ir atkarīga no metāla dabas, metālā ieejošo piemaisījumu koncentrācijas, ka arī metāla parauga deformācijas lieluma. Palielinoties piemaisījumu koncentrācijai un deformācijas lielumam metāla pretestība pieaug.

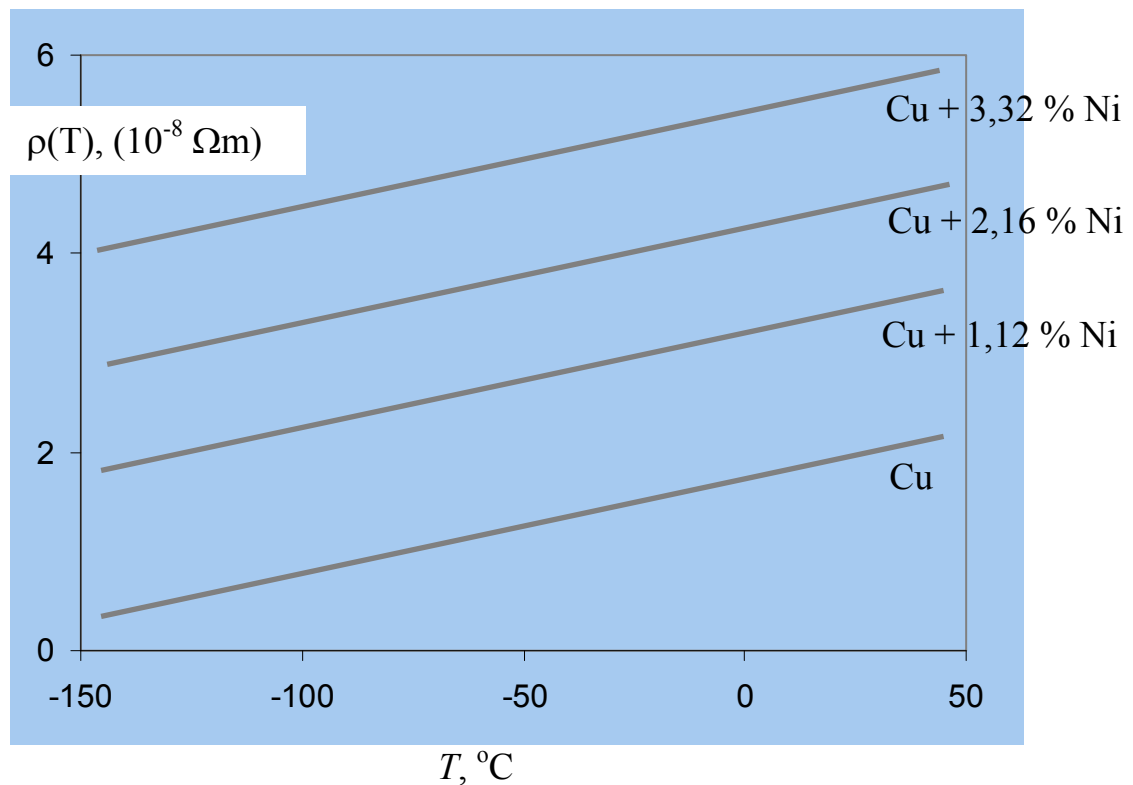
Metālu īpatnējā pretestība ir atkarīga no temperatūras. Palielinoties temperatūrai tā pieaug:

$$\rho(T) = \rho_0 + aT \quad (6.1.4.)$$

kur: ρ_0 un a konkrētam metālam raksturīgās konstantes.



Kā piemērs, vara un vara-niķeļa sakausējumu $\rho(T)$ funkcijas attēlotas 6.1.3. att.



6.1.3. att. Vara un vara-niķeļa sakausējumu $\rho(T)$ funkcijas

6.1.3. DIELEKTRIĶI

Dielektriķu strāvas vadāmība ir neliela pateicoties visai nelielam brīvo elektronu skaitam (6.1.1. tabula).

Keramisko materiālu un stikla strāvas vadīšanā līdzās elektroniem piedalās arī joni.

Polāras grupas saturošu polimēru elektrovadītspēja ir lielāka, salīdzinot ar nepolāriem polimēriem. Domā, ka tīru polimēru strāvas vadīšanā piedalās tikai elektroni.

Dielektriķu svarīgākā elektriskā īpašība ir spēja *polarizēties* elektriskajā laukā un spēja ilgstoši uzturēt elektrisko lauku.



Dielektriskā caurlaidība raksturo materiāla *polarizējamību* $\varepsilon = D/E$, kur D – nobīdes modulis, E – elektriskā lauka intensitātes modulis.

Materiālu salīdzināšanai izmanto relatīvās dielektriskās caurlaidības lielumu $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$, kur, ε_0 – dielektriskā caurlaidība vakuumā.

Polarizācijas procesā var piedalīties *elektroni* (elastīgā elektronu nobīde). Šis polarizācijas veids nav saistīts ar enerģijas zudumiem un tas piemīt visiem dielektriķiem. Elektronu polarizācija ir vienīgais polarizācijas veids nepolāriem dielektriķiem (polimēri: PE, PS); $\varepsilon_r = 1,8 - 2,3$.

Polarizācijas procesā var piedalīties arī *joni* (vizla, marmors, SiO_2). Šādu materiālu $\varepsilon_r = 5 - 15$.

Dielektriskie zudumi raksturo mainīgā elektriskā lauka enerģiju, kas dielektriķī pārvēršas siltumā. Dielektrisko zudumu vērtība ir skaitliski vienāda ar $\text{tg } \delta$ vētību; δ - leņķis, par kuru fāzē atpaliek elektriskais nobīdes vektors no elektriskā lauka intensitātes vektora. Augstfrekvences dielektriķiem $\text{tg } \delta$ jābūt $< 10^{-4}$.

6.1.4. STRĀVAS VADĪTĀJU UN DIELEKTRIĶU PRAKTISKĀ IZMANTOŠANA

Strāvu labi vadošus metālus (Cu, Al) izmanto elektrisko vadu izgatavošanai. Augstsprieguma strāvas pārvadei izmanto kabeļus, kas sastāv no neizolētu vadu kūļiem, kas ietverti daudzslāņu polimēru izolācijā.



6.1.4. att. Augstsprieguma kabeļi

Augstsprieguma tīklu vadi var būt arī neizolēti. Tad to stiprināšanai pie balstiem izmanto porcelāna vai stikla izolatorus (6.1.5. att)

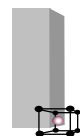


6.1.5. att. Augstsprieguma vadi un izolātori

Zemāku spriegumu elektriskos vadus izolē ar polimēru materiālu elektroizolāciju. Vadu kūļus apvieno *kabeļos* (6.1.6. att).

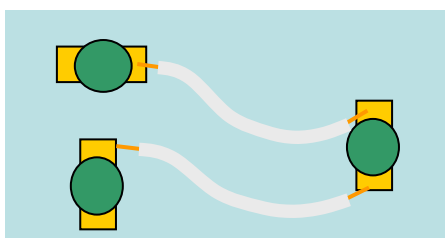


6.1.5. att. Izolēti vadi un kabeļi



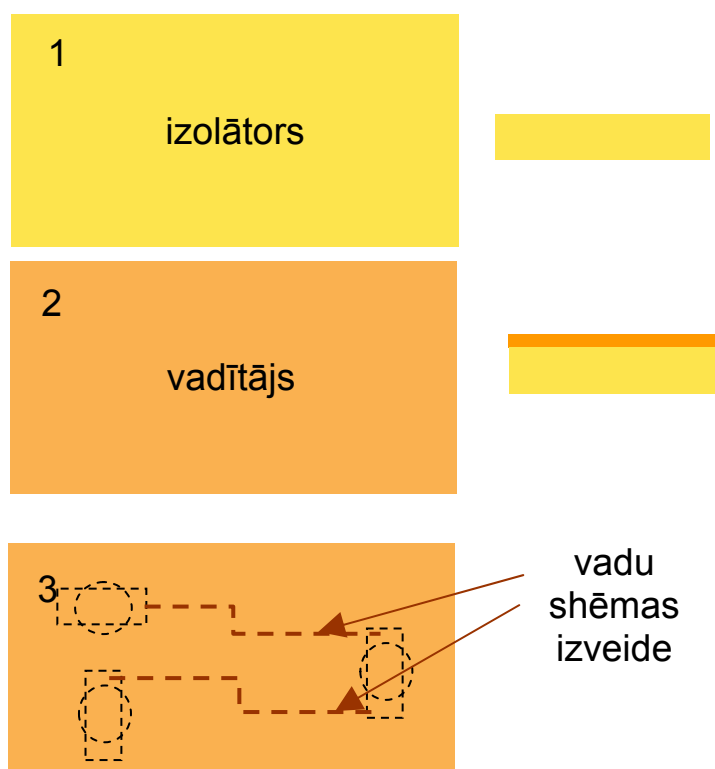
Aplūkosim vienu interesantu vadītāja un izolatora kombinācijas veidu.

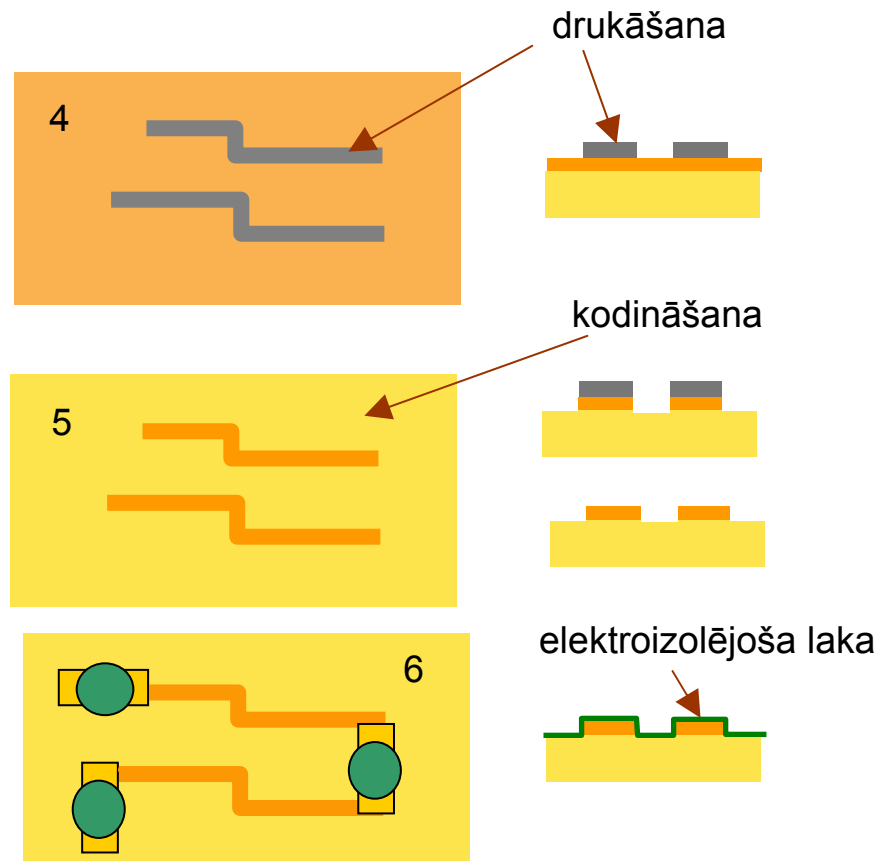
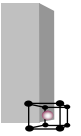
Mūsu uzdevums ir fiksēt uz strāvu nevadošas pamatnes kādas elektriskas ierīces (pretestības, kondensatorus un tml.) un savienot tās elektriskā ķēdē saskaņā ar shēmu:



To var izdarīt savienojot ierīces ar izolētiem vadiem. Taču, ja ierīču ir daudz un tās ir sīkas, kā tas ir daudzās elektriskās shēmās, tāds veids ir ļoti darbietilpīgs un praktiski nav realizējams. Šeit talkā nāk *drukātās shēmas*.

Uz mehāniski izturīga dielektriska materiāla 1 (parasti polimēru kompozītmateriāls) uzklāj plānu strāvu vadoša metāla (visbiežāk Cu) slāni - 2 (6.1.6. att.).

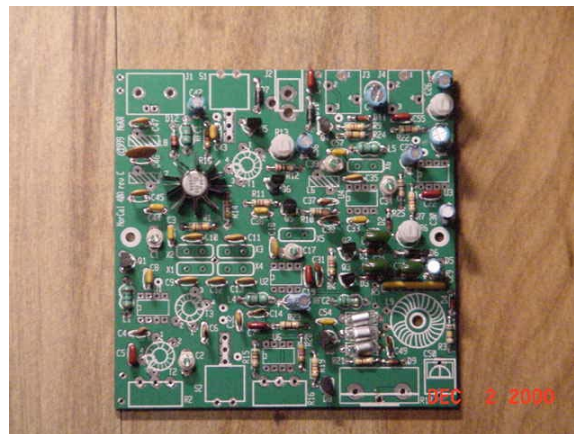
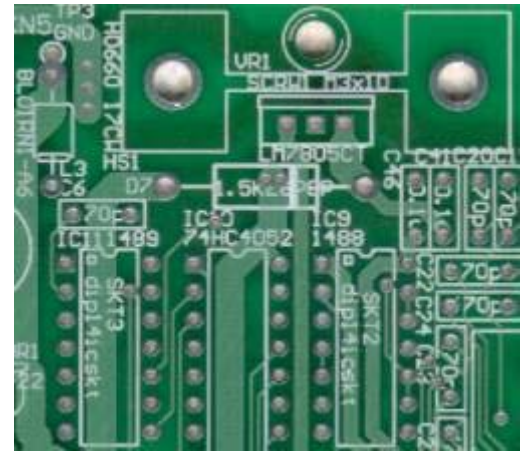
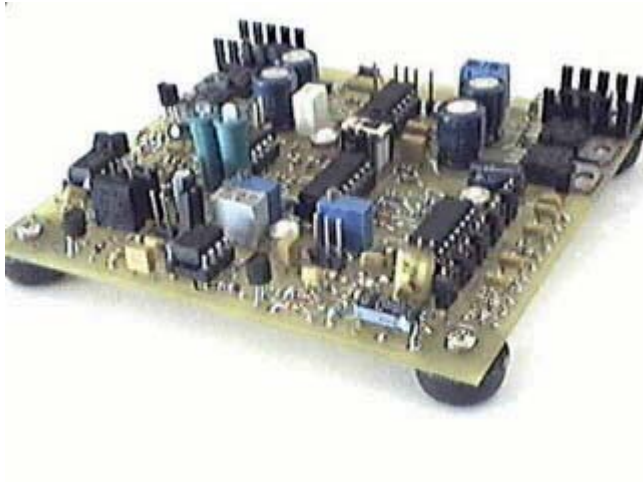




6.1.6. att. Drukātās shēmas izgatavošanas shēma

Tad, saskaņā ar shēmu 3 uz vadošā slāņa drukā „vadu” tīklu 4, izmantojot ķīmiski izturīgu krāsu. Iegūto plati kodina – ķīmiski izšķīdina Cu slāni vietās, kas nav pārklātas - 5. Pēc kodināšanas plati pārklāj ar elektroizolējošu lakas slāni 6. Rezultātā iegūst iecerēto drukāto plati, uz kuras montē atbilstošās ierīces.

Drukātās plates plaši izmanto elektrisko un elektronisko ierīču izgatavošanā (6.1.7. att.).



6.1.6. att. Dažu drukāto shēmu paraugi

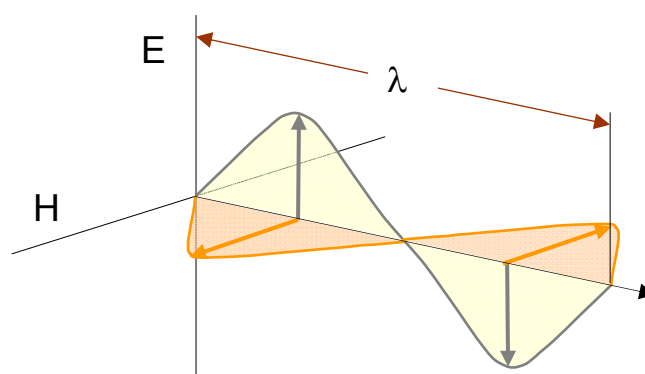
Pastāv iespēja iegūt drukātās plates arī citā, vienkāršākā veidā. Uz dielektriskā materiāla drukā vēlamo shēmu, izmantojot *strāvu vadošu krāsu*: polimēru kompozītu, kas satur strāvu vadošu materiālu (metālu, grafiņa u.c.) daļiņas.

6.2. OPTISKĀS ĪPAŠĪBAS

6.2.1. IEVADS

Optiskās īpašības raksturo materiāla reakciju uz elektromagnētiskā starojuma iedarbību.

Saskaņā ar klasiskiem priekšstatiem, elektromagnētiskam starojumam ir *viļņveida* daba un tas satur *elektrisko* (E) un *magnētisko* (H) komponentu, kas ir savstarpēji perpendikulāri un arī perpendikulāri stara izplatīšanās virzienam. (6.2.1. att.).

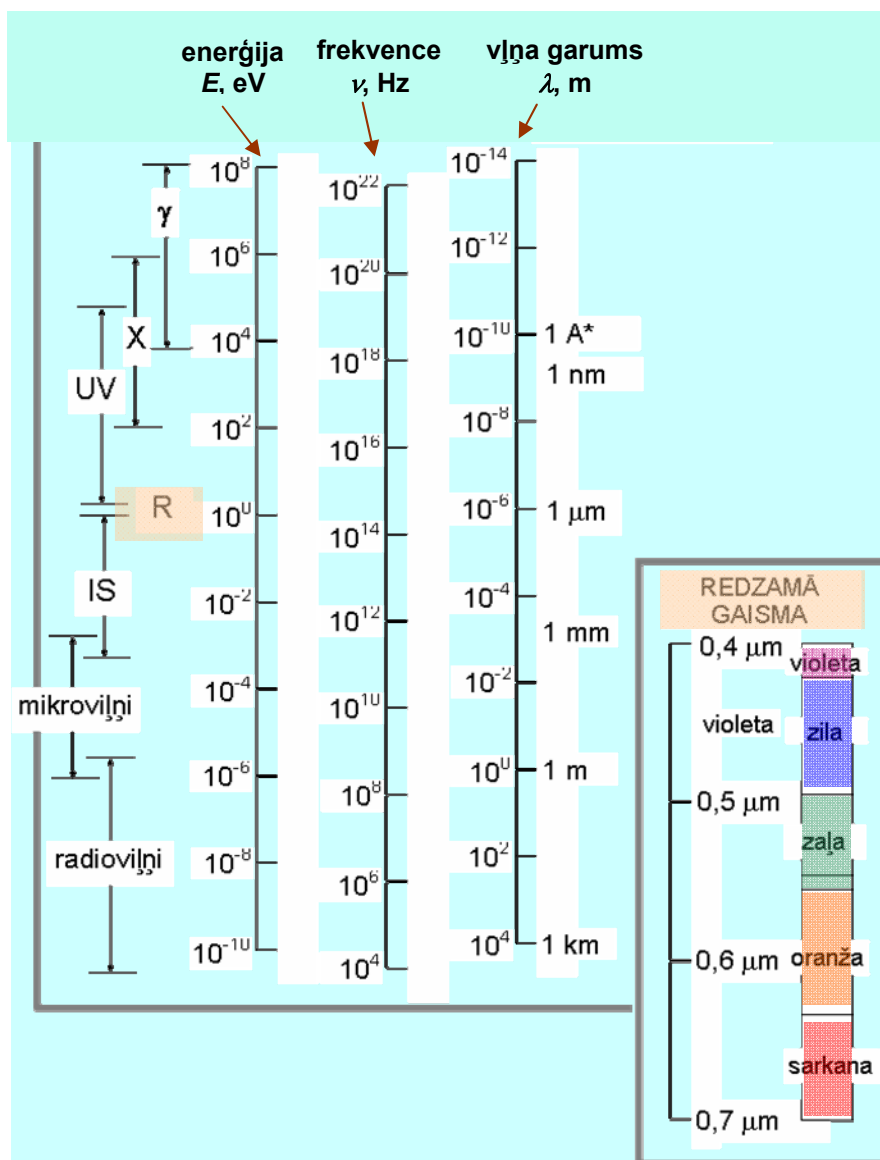
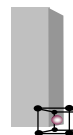


6.2.1.. att. Elektromagnētiskā viļņa elektriskā (E) un magnētiskā (H) komponente.

Elektromagnētiskam starojumam ir plašs spektrs (6.2.2.. att.). Elektromagnētiskā starojuma *viļņa garums* λ atrodas robežās no 10^{-14} līdz 10^4 m. Redzamā, ar aci uztveramā, gaisma aizņem šauru šī spektra joslu: $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$. Šajā diapazonā līdz ar λ vērtības palielināšanos redzamās gaismas spektra joslu krāsa mainās no violetās uz zilu, tad zaļu, oranžu un sarkanu. Baltā (piemēram, saules) gaisma ir minēto spektra joslu maisījums..

Visi elektromagnētiskā starojuma veidi vakuumā izplatās ar vienādu ātrumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Lielums c tātad ir *elektromagnētiskā konstante*. To nosaka vakuuma dielektriskā caurlaidība ϵ_0 un magnētiskā caurlaidība μ_0 , kas ir atbilstoši *elektriskā* un *magnētiskā* konstante:

$$c = 1 / (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2} \quad (6.2.1.)$$



6.2.2.. att. Elektromagnētiskā starojuma spektrs;
 apzīmējumi: γ – starojums, X – rentgena stari, UV – ultravioletais starojums,
 R – redzamā gaisma, IS – infrasarkanais (siltuma) starojums



Konstante c saista savstarpēji atkarīgus elektromagnētiska starojuma raksturojumus: viļņa garumu λ un frekvenci ν :

$$c = \lambda \nu, \text{ vai } \lambda = c / \nu \quad (6.2.2)$$

Tāpat elektromagnētiska starojuma viļņa garuma λ vērtība ir apgriezti proporcionāla tā frekvencei ν . Frekvences mērvienība ir Hz (hercs). 1 Hz vienāds vienam svārstību periodam sekundē. Kā redzams no 6.2.2. attēla, elektromagnētiska starojuma frekvence atrodas robežās no $10^4 - 10^{22}$ Hz.

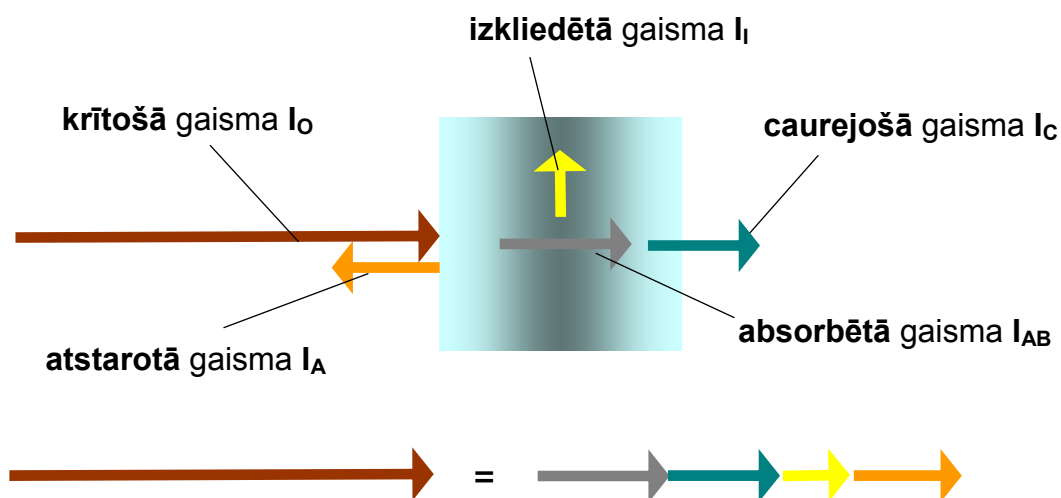
Zinot elektromagnētiskā starojuma duālo dabu, to iespējams raksturot arī no *kvantu mehānikas* viedokļa, aplūkojot to kā kvantētu enerģijas daudzumu - *fotonu*. Tā enerģija E ir stingri noteikta:

$$E = h \nu = h (c / \lambda) \quad (6.2.3)$$

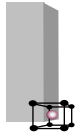
kur, h – *Planka* konstante, universāla konstante; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js.

6.2.2. VIELAS MIJIEDARBĪBA AR GAISMU

Aplūkosim vienkāršotu shēmu. Gaismas stars ar intensitāti I_0 no gaismas vides krīt uz noteikta biezuma vielas slāni (6.2.3. att.).



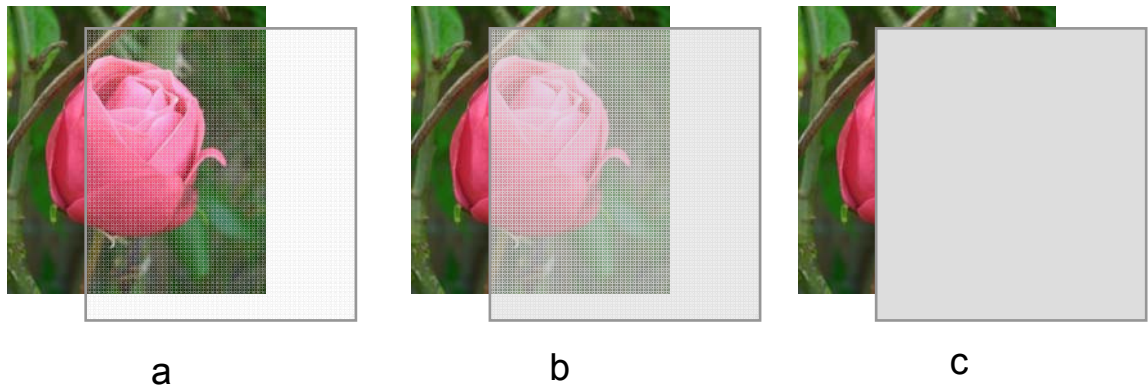
6.2.3.. att. Vielas mijiedarbība ar elektromagnētisko starojumu



Daļa gaismas (I_C) iziet cauri materiāla slānim, daļa (I_{AB}) tiek *absorbēta* materiālā, daļa (I_A) *atstarojas* no materiāla virsmas, daļa (I_I) *izkļiedējas* materiāla slānī:

$$I_0 = I_C + I_{AB} + I_A + I_I \quad (6.2.4)$$

Ja materiāls lielāko daļu gaismas laiž cauri ($I_C \gg I_{AB} + I_A + I_I$), tas ir *caurspīdīgs* (6.2.4. att.).



6.2.4. att. Caurspīdīgs (a), necaurspīdīgs (b) un gaismas caurlaidīgs (c) materiāls

Ja līdzās cauri laistai gaismai, materiāls daļu gaismas izkļiedē struktūru iekšienē, objektu apveidi cauri materiālam nav skaidri saskatāmi. Materiāls ir *gaismas caurlaidīgs*.

Ja materiāls gaismu cauri nelaiž ($I_C \rightarrow 0$), tas ir gaismas *necaurlaidīgs* un *necaurspīdīgs*.

Elektromagnētiskā starojuma mijiedarbība ar vielu ir saistīta ar diviem efektiem.

- Redzamās gaismas starojuma elektriskā komponente spēj izraisīt atomu *elektronu polarizāciju* – elektronu mākoņa nobīdi attiecībā pret atoma kodolu. Šīs mijiedarbības rezultātā daļa starojuma enerģijas tiek *absorbēta*, kā arī *samazinās gaismas izplatīšanās ātrums*.

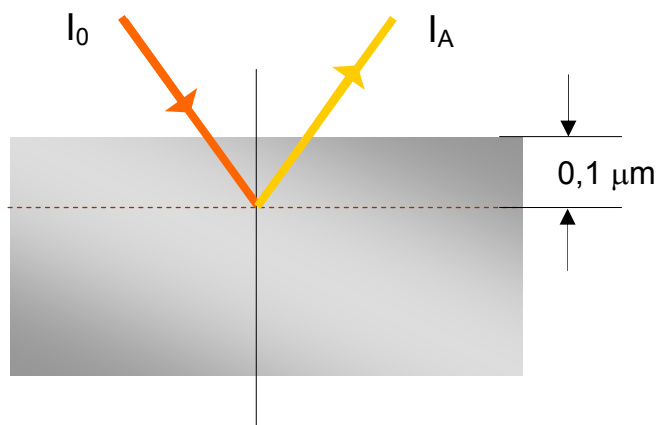
- Absorbējot fotona enerģiju notiek *elektronu pāreja uz slāņiem ar lielāku enerģiju*. Šī pāreja var notikt tikai tad, kad enerģētisko līmeņu starpība $\Delta E = h\nu$. Tātad tikai noteiktas frekvences fotoni spēj izraisīt konkrētas pārejas. Šie ierosinātie elektroni tūdaļ atgriežas savos bāzes stāvokļos, *izstarojot*.



6.2.3. METĀLU MIJIEDARBĪBA AR GAISMU

Metāli ir gaismas necaurlaidīgi gandrīz visā elektromagnētiskā starojuma frekvences diapazonā (izņemot augstfrekvences starojumus: rentgena starus un γ starojumu), jo praktiski jebkuras frekvences starojums spēj izraisīt elektronu pārejas.

Elektromagnētiskais starojums (I_0) metālā tiek *pilnīgi absorbēts* jau ļoti plānā slānī - $<0,1 \mu\text{m}$. (6.2.5. att.). Tāpēc metālu slāņi plānāki par $0,1 \mu\text{m}$ ir gaismas caurlaidīgi.



6.2.5. att. Metāla mijiedarbība ar elektromagnētisko starojumu

Lielākā daļa gaismas starojuma tiek reemitēta tajā pašā frekvencē, kā krītošajam staram un parādās kā *atstarotā* gaisma (I_A , 6.2.5. att.). Metālu atstarošanas pakāpe pārsniedz 0,9.

Metāla virsmas krāsu nosaka atstarotās gaismas frekvence. Ja metālu apstaro ar baltu gaismu, un tā virsma atstaro visu spektru, metāla virsma izskatās gaiša, sidrabaina. Tāda tā, piemēram ir sudrabam, alumīnijam u.c. (6.2.6. att.).

Vara virsma izskatās sarkanīgi oranža, bet zelta – dzeltena (6.2.6. att.), jo šie metāli absorbē un nepilnīgi reemitē lielākās frekvences redzamās gaismas spektra daļu (violeto, zilo un zaļo).



6.2.6. att. Dažu metāla virsmas krāsa

6.2.4. NEMETĀLU MIJIEDARBĪBA AR GAISMU

Daudzi **nemetāli** (stikls, polimēri u.c.) ir *gaismas caurlaidīgi*, taču arī *absorbē* un *atstaro* gaismu.

GAISMAS LAUŠANA

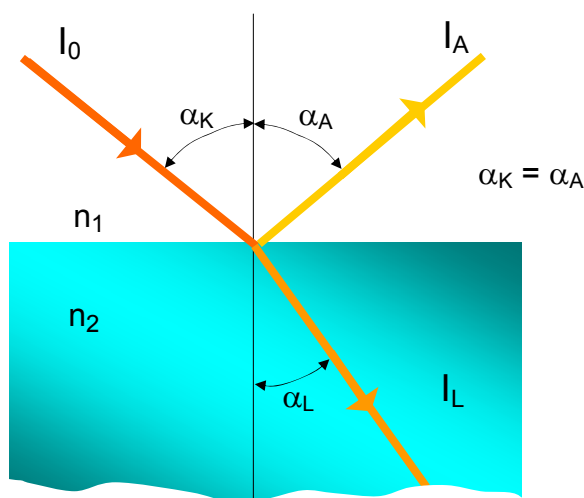
Gaismas ātrums, ejot cauri materiālam samazinās un tā rezultātā stars maina virzienu uz materiāla virsmas. Šādu parādību sauc par *gaismas laušanu*, *refrakciju*. Vides refrakciju raksturo *refrakcijas indekss* n , kas ir gaismas ātruma vakuumā c attiecība pret ātrumu vidē c_v .

$$n = c / c_v \quad (6.2.5)$$



Ja stars I_0 no vides ar refrakcijas koeficientu n_1 krīt uz caurspīdīgu vielu ar refrakcijas koeficientu n_2 zem leņķa α_K (6.2.7. att.), tad ar lauztā stara I_L laušanas leņķi α_L to saista sakarība (6.2.6):

$$n_1 \sin \alpha_K = n_2 \sin \alpha_L \quad (6.2.6)$$



6.2.7. att. Gaismas laušana

Gaismas ātrumu kādā vidē iespējams aprakstīt ar vienādojumu, kas ir vienādojuma (6.2.1) analogs:

$$c = 1 / (\varepsilon \mu)^{1/2}$$

kur, ε un μ ir, attiecīgi, konkrētas vides dielektriskā caurlaidība un magnētiskā caurlaidība.

No vienādojuma (6.2.5):

$$n = c / c_v = \frac{(\varepsilon \mu)^{1/2}}{(\varepsilon_0 \mu_0)^{1/2}} = (\varepsilon_r \mu_r)^{1/2} \quad (6.2.7)$$



kur, ε_r ir vides dielektriskā konstante un μ_r – magnētiskā caurlaidība. Tā kā vairums vielu nav izteikti magnētiskas, $\mu_r \approx 1$, un:

$$n \approx (\varepsilon_r)^{1/2} \quad (6.2.8)$$

Dažu gaismas caurlaidīgu stiklu, keramisko materiālu un polimēru n vērtības dotas 6.2.1. tabulā.

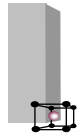
6.2.1. tabula

Dažu gaismas caurlaidīgu stiklu, keramisko materiālu un polimēru n vērtības

	Materiāls	Refrakcijas indekss n
KERAMISKIE MATERIĀLI		
•	SiO ₂ stikls	1,46
•	Borsilikātu stikls	1,47
•	Nātrija stikls	1,51
•	Kvarcs	1,55
•	Stikls ar zemu PbO saturu	1,71
•	Periklazs (MgO)	1,74
•	Korunds (Al ₂ O ₃)	1,76
•	Stikls ar lielu PbO saturu	2,1
•	Dimants	2,49
POLIMĒRI		
•	Politetrafluoretilēns	1,35
•	Polimetilmetakrilāts	1,49
•	Polipropilēns	1,49
•	Polietilēns	1,51
•	Polistirols	1,60

Vienādojums (6.2.8) dod iespēju caurspīdīgiem materiāliem noteikt dielektrisko caurlaidību izejot no refrakcijas koeficienta mērījumiem.

Gaismas ātruma samazināšanas vielā ir jo lielāka, jo lielāki ir vielas atomu izmēri. Tāpēc refrakcijas indeksa vērtības būtiski pieaug līdz ar atomu izmēru palielināšanos. Piemēram, stikliem ar lielu svina (Pb) saturu ir ļoti liela n vērtība.



GAISMAS ATSTAROŠANA

Ja gaisma virzās cauri no vienas vides otrā ar atšķirīgu refrakcijas indeksa vērtību n_1 un n_2 , daļa gaismas *atstarojas* pat ja abas vides ir caurspīdīgas (6.2.7. att.). Virsmas *atstarošanas pakāpi* R var izteikt kā atstarotās gaismas intensitātes I_A un krītošās gaismas intensitātes attiecību:

$$R = I_A / I_0 \text{ un } I_A = R I_0. \quad (6.2.9)$$

Ja gaisma krīt perpendikulāri virsmai:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (6.2.10)$$

Ja gaisma nekrīt perpendikulāri, tad R vērtība ir atkarīga arī no krišanas leņķa α_K (6.2.7. att.).

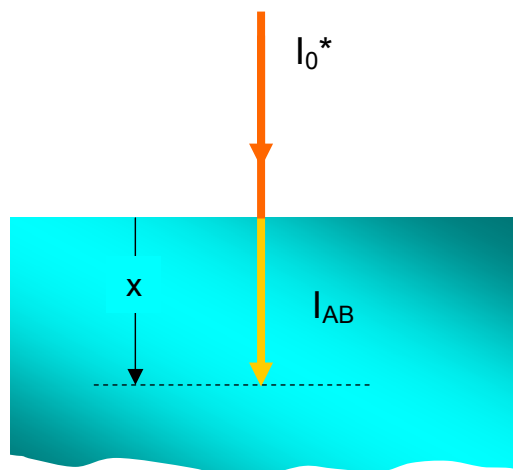
Ja gaisma krīt no gaisa vai vakuuma ($n_1 = 1$)

$$R = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1} \right)^2 \quad (6.2.11)$$

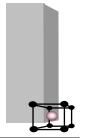
GAISMAS ABSORBCIJA

Nemetāliskie materiāli var būt caurlaidīgi un necaurlaidīgi attiecībā pret redzamo gaismu. Ja tie ir caurlaidīgi, tie var būt krāsaini.

Mēs jau apskatījām divas norises, kuru rezultātā gaisma tiek absorbēta (6.2.2). Tās ir *elektronu polarizācija* un *elektronu pāreja uz slāņiem ar lielāku enerģiju*.



6.2.8. att. Gaismas absorbcija



Absorbētās gaismas intensitāte I_{AB} samazinās virzienā no virsmas materiāla dziļumā (6.2.8. att.) saskaņā ar vienādojumu:

$$I_{AB} = I_0^* \exp(-\beta x) \quad (6.2.12)$$

kur, I_0^* krītošās gaismas intensitāte I_0 mīnus atstarotās gaismas intensitāte I_A ($I_0^* = I_0 - I_A$), x – attālums no parauga virsmas.

Lielums β ir absorbcijas koeficients, kas atkarīgs no materiāla struktūras un arī no krītošās gaismas viļņa garuma.

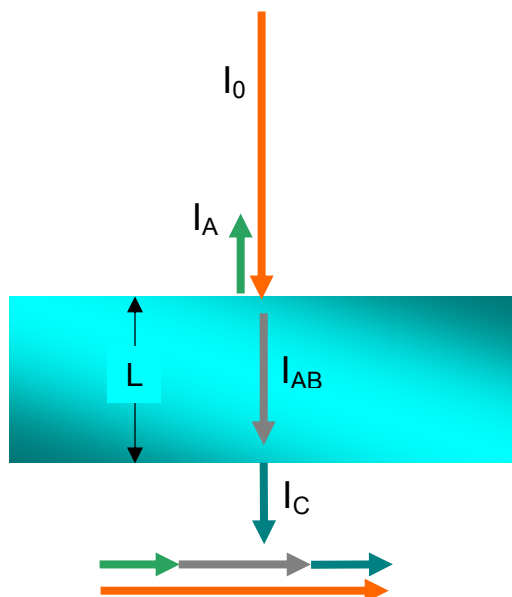
GAISMAS CAURLAIDĪBA

Caurlaistās gaismas intensitāti (skat. 6.2.9. att.) varam izteikt kā:

$$I_C = I_0 - I_A - I_{AB} \quad (6.2.13)$$

Ievietojot vienādojumā atbilstošo komponentu izteiksmes (6.2.9 un 6.2.12), iegūstam:

$$I_C = I_0 (1 - R)^2 \exp(-\beta L) \quad (6.2.14)$$



6.2.9. att. Gaismas caurlaidība



Nemetāliskā materiāla *krāsa* ir atkarīga no tā, kādu redzamās gaismas spektra daļu materiāls *atstaro* (necaurspīdīgu materiālu gadījumā) vai laiž cauri (caurspīdīgu materiālu gadījumā).

GAISMAS IZKLIEDE

Daudziem materiāliem raksturīga gaismas izkliede, kas pēc būtības ir daudzkārtēja iekšējā gaismas laušana un atstarošāns. Tā var notikt uz polikristālisku materiālu kristalītu robežvirsmām un robežslāņiem, uz divu vai vairāku fāzu materiālu struktūras neviendabībām.

Daži materiālu un gaismas mijiedarbības efektu **izpaušmes piemēri** ir sniegti šīs tēmas demonstrācijas plakātu sadaļā.

6.3. TERMISKĀS ĪPAŠĪBAS

6.3.1. IEVADS

Materiāli bieži tiek pakļauti siltuma enerģijas iedarbībai. Materiāli var **absorbēt** siltuma enerģiju, kā rezultātā tā temperatūra pieaug un **dimensijas** palielinās. Ja materiāls atrodas temperatūras gradienta apstākļos, siltuma enerģija tajā tiek **vadīta** no siltākiem apgabaliem uz vēsākiem. Palielinoties materiāla temperatūrai **vājinās saites** starp materiālu veidojošām struktūrvienībām. Materiāla mehāniskā stiprība samazinās.

Visām šīm norisēm, kurās izpaužas materiāla reakcija uz siltuma enerģijas iedarbību, ir liela praktiska nozīme. Tās arī ļauj iegūt vērtīgu informāciju par materiāla struktūru.

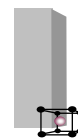
6.3.2. MATERIĀLA SILTUMIETILPĪBA

Siltumietilpība C ir siltuma enerģijas daudzums dQ , kas jāpievada konkrētam materiālam, lai paaugstinātu tā temperatūru par vienu temperatūras vienību – dT :

$$C = dQ / dT \quad (6.3.1)$$

Praktiski lietotā siltuma enerģijas vienība parasti ir J , temperatūras vienība – K .

Siltumietilpību attiecina uz vielas molu $[J / mol K]$.



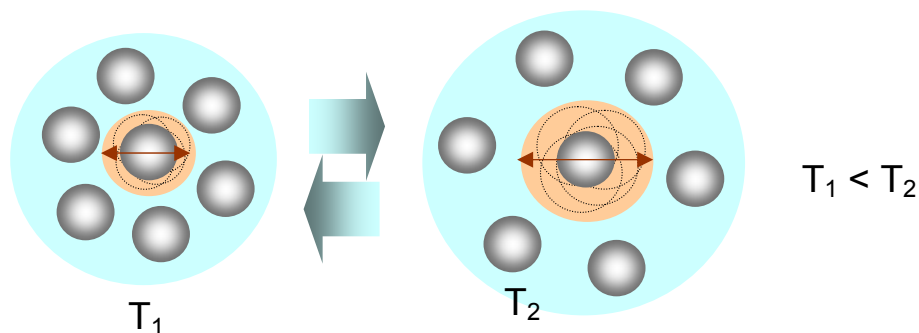
Materiālu salīdzināšanai visbiežāk izmanto **īpatnējās siltumietilpības** lielumu – c , attiecinot uz vielas masas vienību. Piemēram, [J / kg K].

6.3.1. tabula

Dažu materiālu siltumietilpības c , lineārās termiskās izplešanās koeficienta α_l un siltumvadāmības koeficienta k vērtības.

MATERIĀLS	c , J / (kg K)	α_l , ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	k w / (mK)
METĀLI			
Alumīnijs 2,7	900	23,6	247
Varš 8,92	386	17,0	398
Zelts 19,3	128	14,2	315
Dzelzs 7,8	448	11,8	80
Niķelis 8,9	443	13,3	90
Sudrabs 10,5	235	19,7	428
Kovars (54Fe- 29Ni-17Co) 8,36	460	5,1	17
Super Invar (63Fe- 32Ni-5Co) 8,05	500	0,7	10
NEORGANISKIE SAVIENOJUMI			
Alumīnija oksīds (Al_2O_3) 3,98	775	7,6	39
Kvarcs (SiO_2) 2,2	740	0,4	1,4
STIKLS			
Stikls, natrija 2,5	840	9,0	1,7
Stikls, borsilikāta (Pyrex) 2,23	850	3,3	1,4
POLIMĒRI			
Polietilēns 0,94	1850	106 - 198	0,4 - 0,5
Polipropilēns 0,90	1925	145 - 180	0,12
Polistirols 1,05	1170	90 - 150	0,13

Absorbējot siltuma enerģiju palielinās materiālu veidojošo struktūrvienību siltuma svārstību amplitūda - (6.3.1. att.). Tas ir dominējošais faktors, kas nosaka materiāla siltumietilpību



6.3.1. att. Struktūrvienību siltuma svārstību amplitūdas maiņa mainoties temperatūrai

Nelielu ieguldījumu dod arī elektronu enerģētisko līmeņu maiņa (galvenokārt metāliem).

6.3.1. tabulā dota dažu materiālu siltumietilpības c , kā arī citu termisko īpašību rādītāju vērtības.

Uz masas vienību attiecinātās siltumietilpības vērtības c (6.3.1 un 6.3.2. tabula) vismazākās ir metāliem, bet vislielākās - polimēriem Taču uz tilpuma vienību attiecinātās siltumietilpības vērtības c^* vairs tik daudz neatšķiras (6.3.2. tabula).

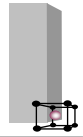
Materiālu siltumietilpība nosaka to tehnoloģisko procesu energoietilpību, kas saistīti ar materiālu sildīšanu vai dzesēšanu.

6.3.3. MATERIĀLA TERMISKĀ IZPLEŠANĀS

Kā redzams no 6.3.1. att., palielinoties struktūrvienību siltuma svārstību amplitūdai, attālumi starp struktūrvienībām palielinās – pieaug nepārtrauktais brīvais īpatnējais tilpums (skat. 4.3.)

Tas nozīmē, ka **pieaugot temperatūrai ķermeņi izplešas** – palielinās visas trīs ķermeņa dimensijas.

Ja mums ir kāda materiāla stienis, kura garums temperatūrā T_1 ir l_1 (6.3.2. att.), tad ceļot temperatūru līdz T_2 ($T_2 > T_1$) parauga garums palielināsies līdz l_2 ($l_2 > l_1$). Parauga relatīvais



pagarinājums $\varepsilon = (l_2 - l_1) / l_1$ (vai $\varepsilon = \Delta l / l_1$) ir proporcionāls temperatūras starpībai $\Delta T = T_2 - T_1$ (6.3.2. att.):

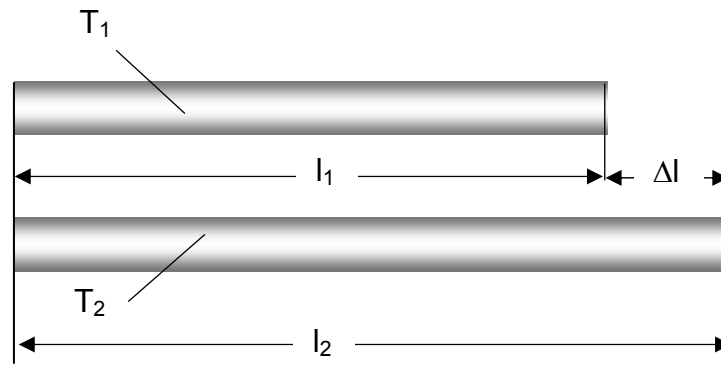
$$\varepsilon = \alpha_1 \Delta T \quad (6.3.2)$$

kur, α_1 – **lineārais termiskās izplešanās koeficients**

6.3.2. tabula

Materiālu uz masas vienību attiecinātās c , uz tilpuma vienību attiecinātās c^* siltumietilpības, kā arī blīvuma ρ vērtības

MATERIĀLS	c , J / (kg K)	c^* , J / (dm ³ K)	ρ , g/cm ³
METĀLI			
Alumīnijs	900	2430	2,7
Varš	386	3443	8,9
Zelts	128	2470	19,3
Dzelzs	448	3494	7,8
Niķelis	443	3942	8,9
Sudrabs	235	2467	10,5
Kovars (54Fe-29Ni-17Co)	460	3845	8,4
Super Invar (63Fe-32Ni-5Co)	500	4250	8,1
NEORGANISKIE SAVIENOJUMI			
Alumīnija oksīds (Al ₂ O ₃)	775	3084	4,0
Kvares (SiO ₂)	740	1628	2,2
STIKLS			
Stikls, natrija	840	2100	2,5
Stikls, borsilikāta (Pyrex)	850	1895) 2,2
POLIMĒRI			
Polietilēns	1850	1739	0,94
Polipropilēns	1925	1732	0,90
Polistirols	1170	1228	1,05



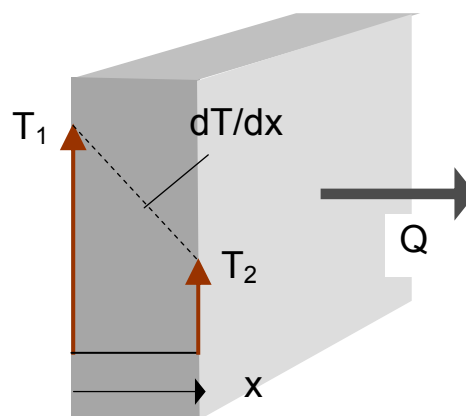
6.3.2. att. Ķermeņa termiskā izplešanās

Termiskā izplešanās ir jo mazāka, jo lielāka ir saišu enerģija starp materiāla struktūrvienībām. Dažādu materiālu α_l vērtības dotas 6.3.1. tabulā.

Daži ar materiālu termisko izplešanos saistītās problēmas un efekti ir aplūkoti šīs tēmas demonstrācijas plakātu sadaļā.

6.3.4. MATERIĀLA SILTUMVADĀMĪBA

Siltuma vadāmība ir process, kurā siltuma enerģija pārvietojas materiālā no tā rajoniem ar augstāku temperatūru uz rajoniem ar zemāku temperatūru. Īpašība, kura raksturo materiāla spēju vadīt siltumu ir **siltumvadāmība**: (6.3.3. att.).



6.3.2. att. Ķermeņa siltumvadāmība



Ja siltumu vadoša materiālā ir *temperatūras gradients* dT/dx tad siltums tiks vadīts šī gradienta virzienā (koordināte x , 6.3.4. att.). Ir iespējams noteikt kāds siltuma daudzums Q tiek vadīts cauri šķērsriezuma laukumam S noteiktā laikā t . Lielumu $q = Q / (S t)$ sauc par *siltuma plūsmu*. Tas ir siltuma daudzums, kas laika vienībā izplūst cauri šķērsriezuma laukuma vienībai. Tā mērvienības ir $[J/h m^2]$ vai $[W/m^2]$.

Siltuma plūsmas vērtība ir proporcionāla temperatūras gradientam:

$$q = -k (dT/dx)$$

kur, k – ir siltumvadāmības koeficients.

Siltumvadāmības pamatā ir gan brīvo elektronu plūsma (tāpat kā elktrovadāmības gadījumā), kā arī struktūrvienību svārstību izraisītā viļņveida enerģijas pārnese.

Tieši elektronu plūsmas lielais īpatsvars ir par iemeslu ārkārtīgi augstai metālu siltuma vadāmībai (6.3.1. tabula).

Neorganiskiem materiāliem, stikliem, polimēriem brīvo elektronu skaits ir niecīgs. Tāpēc arī šo materiālu siltuma vadāmība ir neliela.

Daži ar materiālu siltumvadāmību saistīti praktiski jautājumi ir aplūkoti šīs tēmas demonstrācijas plakātu sadaļā.

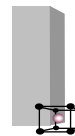
6.3.5. MATERIĀLA TERMISKĀ IZTURĪBA

Pieaugot temperatūrai vājinās jebkura veida saites starp materiālu veidojošām struktūrvienībām. Atbilstoši mainās materiāla mehāniskās īpašības: samazinās tā stiprība, pieaug deformējamība un tml.

Jo stiprākas saites starp struktūrvienībām, jo augstākā temperatūrā saglabājas materiāla mehānisko īpašību rādītāji.

Svarīgs rādītājs ir maksimālā temperatūra, kuru konkrēts materiāls spēj izturēt īsu laiku (dažas minūtes un vairāk).

Daudziem metāliem (W, Mo, Pt, Ni u.c.), kā arī daudziem keramiskiem materiāliem (par tiem mēs runāsim turpmākajās tēmās) šī temperatūra sasniedz 1000 – 2000 °C. Savukārt vairumam polimēru tā nepārsniedz 100 - 200 °C.



6.3.6 MATERIĀLA DEGAMĪBA

Degšana ir ātri notiekošu ķīmisku procesu kopums vielai (materiālam) savienojoties ar gaisa skābekli.

Degšanu ierosina vielas temperatūras palielināšana. Tā rezultātā vielas molekulas sadalās, veidojot gaistošus (gāzveida) produktus. Tiem savienojoties ar gaisa skābekli izdalās liels siltuma daudzums, kas ir pietiekams, lai uzturētu augstu temperatūru, un tālāku vielas sadalīšanos. Sākas patstāvīgs degšanas process.

Visaktīvāk deg organiskas dabas (oglekli, ūdeņradi, sēru saturošas) vielas un materiāli. Pie tiem pieder lielākā daļa polimēru materiālu, koks, organiskās šķiedras u.c.

Degamība ir ļoti svarīgs materiāla praktiskās izmantošanas rādītājs, jo tā nosaka materiāla *ugunsdrošību* (6.3.3. tabula).

6.3.3. tabula

Dažu materiālu degamība

materiāla veids	degamība
Koks	deg
Plastmasas	
Organiskās šķiedras	
Bitumēni	
Polimēru kompozīti	
Speciālas plastmasas	apdziest
Impregnēta koksne	
Speciāli polimēru kompozīti	nedeg
Metāli	
Keramika	
Betoni	
Akmens	
Neorganiskās šķiedras	
Stikls	

Savukārt metāli, keramika, betoni, stikls un citi materiāli *nedeg* un līdz ar to ir ugunsdroši.

Arī degošu materiālu degšanas raksturs var atšķirties.

Lielākā daļa polimēru un materiālu uz to bāzes deg patstāvīgi. Taču no ugunsdrošības viedokļa noderīgāki ir tādi materiāli, kas būdami izvākti no degšanas joslas (kurā tie deg kopā ar citiem degošiem materiāliem) īsākā vai garākā laikā *apdziest*. Tādus materiālus sauc par *pašnodziestošiem*. Tādi, piemēram, ir hloru saturoši polimēri.

Par pašnodziestošiem iespējams pārvērst arī daudzus degošus materiālus (koku, polimērus), ievadot viņos īpašas degšanu ierobežojošas piedevas – *antipirēnus*.