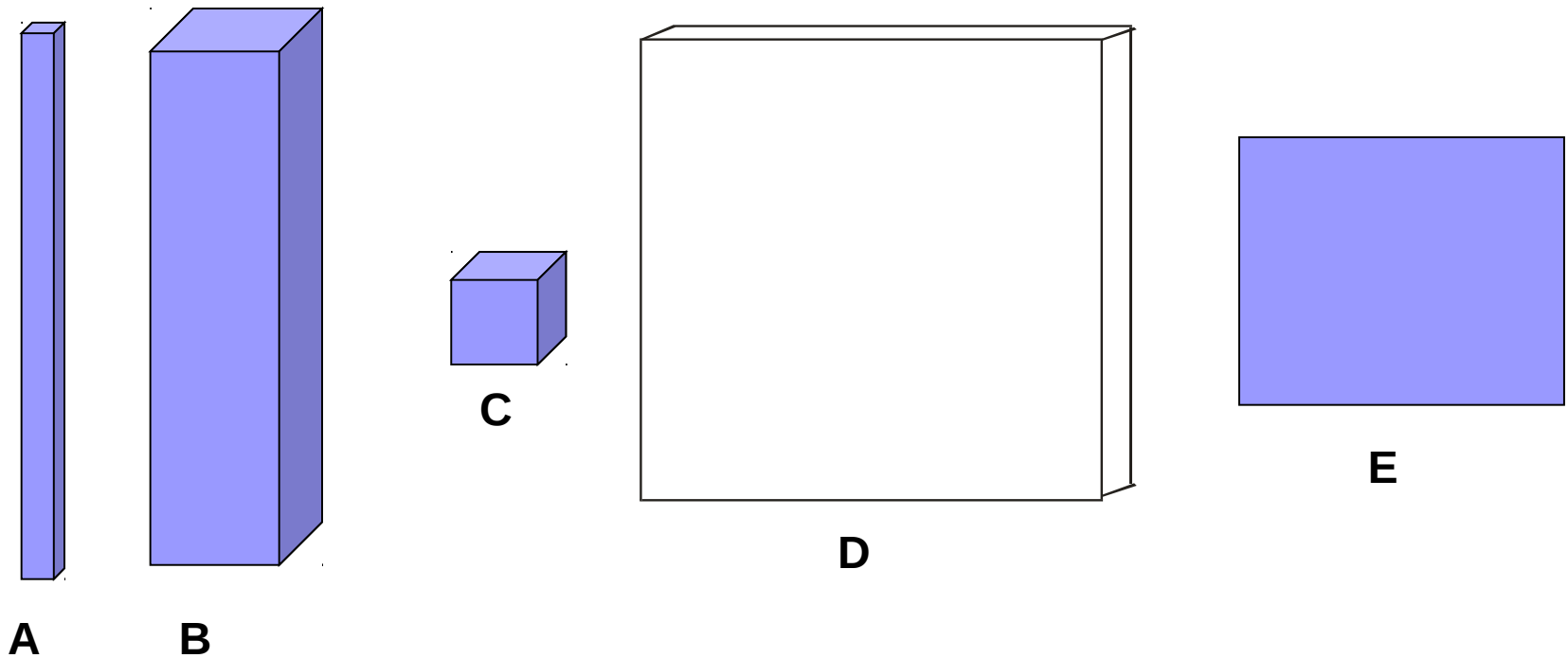


## Habitus

Habitus kristala je oblika, ki jo kristal zavzame zaradi razvoja različnih kristalnih ploskev.

A - igličast, B - stebričast, C - izometričen, D - ploščičast, E - lamelaren



## FIZIKALNE LASTNOSTI KRISTALOV

Fizikalne lastnosti kristalov so odvisne od strukture, kemične sestave, ter vrste in pogostnosti morebitnih napak v strukturi.

Fizikalne lastnosti delimo v dve skupini:

1) neodvisne od smeri v kristalu

2) odvisne od smeri v kristalu

*Izotropni kristal –*

določene fizikalne lastnosti se ne spreminjajo s smerjo v kristalu

*Anizotropni kristal –*

določene fizikalne lastnosti se spreminjajo s smerjo v kristalu

## Fizikalne lastnosti neodvisne od smeri v kristalu

### Gostota in specifična teža

Gostota je po definiciji **masa snovi na volumsko enoto**:  $\rho = m/V$

Kremen:             $m=79.5\text{g}$   
                          $V=30\text{cm}^3$   
                          $\rho=2.65\text{g/ cm}^3$

Specifična teža (G) je gostota deljena z gostoto vode pri 4°C.

### Okus

Okus lahko ugotovimo pri kristalih, ki so topni v vodi. Jezik reagira z določenimi aromatičnimi faktorji v kristalu in dražljaji se prenašajo v možgane, kjer zaznamo "okus".

### Vonj

Vonj zaznamo pri kristalih, kadar so molekule na površini kristala vezane le s šibkimi Van der Waalsovimi silami, ki jih termalne vibracije tudi pri sobni temperaturi lahko pretrgajo. Večina mineralov ima dovolj močne vezi da nimajo vonja, razen če jih segrejemo do razpada ali izgorevanja.

## Fizikalne lastnosti odvisne od smeri v kristalu

### Kohezivne lastnosti

#### *Lom*

- školjkast
- nepravilen
- nazobčan
- iverast

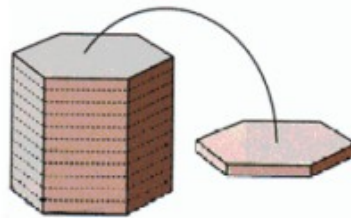


Primer  
školjkastega loma

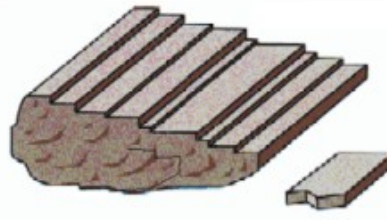
## Razkolnost

Kristal se lažje cepi (deli) po ploskvah vzporednih ravninam med katerimi so šibkejše vezi = razkolne ploskve.

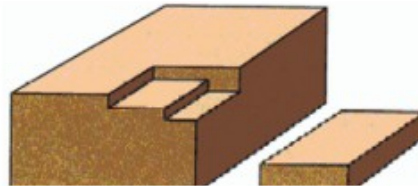
**Razkolne ploskve so vzporedne možnim kristalnim ploskvam s preprostimi Millerjevimi indeksi.** Kadar ima kristal dobro razkolnost vzporedno eni ploskvi lika, velja enako tudi za preostale ploskve istega lika.



V eni smeri - bazalna



V dveh smereh - prizmatska



V treh smereh – kubična



## *Razdelnost*

Nekateri kristali se lomijo vzporedno specifični ploskvi (hkl), predvsem v primeru polisintetskih dvojčkov.

## *Prožnost*

Večina mineralov je *krhkih* - pod udarcem se zdrobijo v prah, redki (kovine in nekateri sulfidi) so *kovni* - pod udarcem se sploščijo.

Material, ki ga lahko razvlečemo v tanko žico je *duktilen*, *elastični* material se povrne v prvotno lego, če ga ukrivimo, *fleksibilen* material pa zavzame prvoten položaj, ko pritisk ukrivljanja popusti.

## Trdota

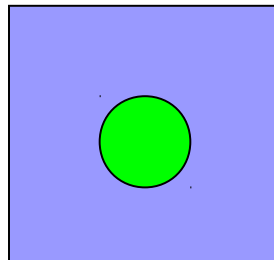
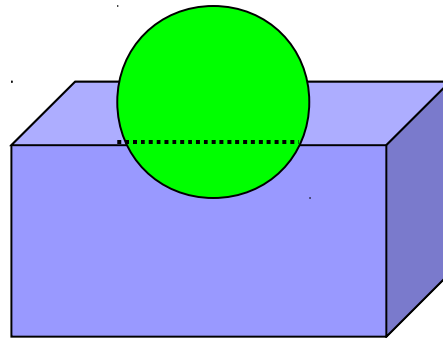
- 1) odpornost na **razenje** (Mohs-ova trdota)
- 2) odpornost **na vtiskanje pod določenim stalnim pritiskom** (trdota vtiskanja)
- 3) odpornost **na vtiskanje pod trenutnim pritiskom** (udarcem)

### Mohs-ova trdotna lestvica

- 1 - lojavec
- 2 - sadra
- 3 - kalcit
- 4 - fluorit
- 5 - apatit
- 6 - ortoklaz
- 7 - kremen
- 8 - topaz
- 9 - korund
- 10 - diamant

## Trdota vtiskanja:

- 1) Brinell-ova (kroglica)
- 2) Vickers-ova (tetragonalna piramida)
- 3) Knoop-ova (ortorombska piramida)





**Možnost deformacije s translacijskim zdrsom ali drsnim dvojčičenjem niža trdoto in zveča kovnost in duktilnost materiala.**

**V kovinah so drsne deformacije najpogostejše vzdolž ravnin z gostim zlogom.**

**V kristalih s kubičnim gostim zlogom so štiri take ravnine vzporedne ploskvam oktaedra {111}, v kristalih s heksagonalnim gostim zlogom le ena vzporedna pinakoidu {0001}, v telesno centriranih kristalih pa takih ravnin ni.**

**Kovine s kubičnim gostim zlogom**

**(baker, zlato, srebro, nikelj,  $\gamma$ -železo in  $\alpha$ -kobalt) so mehkejše in bolj kovne od tistih s heksagonalnim gostim zlogom (krom, vanadij, volfram, molibden,  $\alpha$ - in  $\beta$ - železo,  $\beta$ -kobalt).**

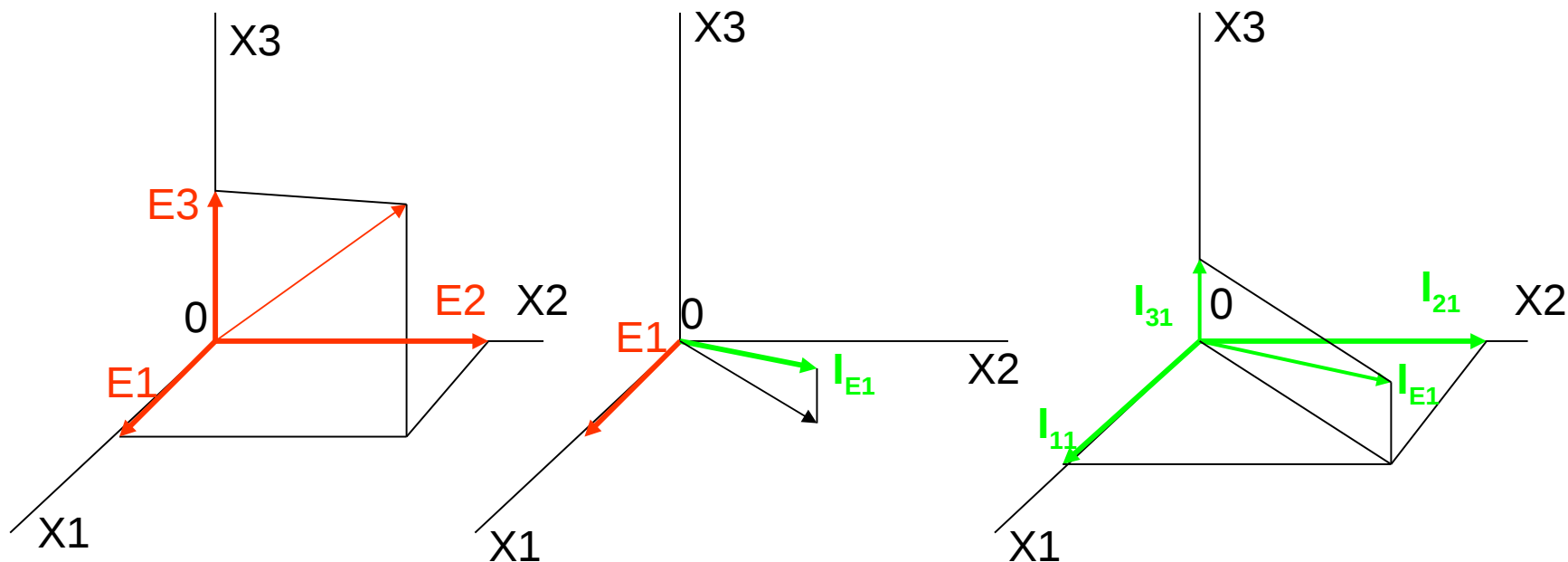


## Tenzorske lastnosti kristalov

Lastnosti opisane le z velikostjo - **skalarne**

Lastnosti opisane z velikostjo in smerjo - **vektorske, tenzorske**

## Električna prevodnost



**E** - vektor, katerega smer in dolžina predstavljata smer in velikost električnega polja, ki povzroča tok elektrike iz točke O.

Količina električnega toka iz točke O ni odvisna le od **E**, pač pa tudi od sposobnosti kristala, da prevaja el. tok ( $\sigma$ ). Kristali so izotropni, če je vrednost  $\sigma$  enaka ne glede na smer v kristalu, sicer so anizotropni.

Dovolj močno električno polje **E1** v anizotropnem kristalu povzroči el. tok  $J_{E1}$ , s komponentami  $J_{11}$ ,  $J_{21}$ ,  $J_{31}$  vzdolž x1, x2 in x3.

$J_{rs}$  - r-os odzivne (response) komponente, s-os stimulative komponente

Velikost komponent  $I_{11}, I_{21}, I_{31}$ , je proporcionalna:

1) stimulantu (električnemu polju)  $E1$  in

2) prevodnosti kristala ( $\sigma$ ) za to komponento

$$I_{11} = \sigma_{11} E1$$

$$I_{12} = \sigma_{12} E2$$

$$I_{13} = \sigma_{13} E3$$

$$I_{21} = \sigma_{21} E1$$

$$I_{22} = \sigma_{22} E2$$

$$I_{23} = \sigma_{23} E3$$

$$I_{31} = \sigma_{31} E1$$

$$I_{32} = \sigma_{32} E2$$

$$I_{33} = \sigma_{33} E3$$

El. polje  $E$  povzroči tok  $I$ , s komponentami  $I_1, I_2, I_3$  vzdolž smeri  $x1, x2$  in  $x3$ .

$$I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} = \sigma_{11} E1 + \sigma_{12} E2 + \sigma_{13} E3$$

$$I_2 = I_{21} + I_{22} + I_{23} = \sigma_{21} E1 + \sigma_{22} E2 + \sigma_{23} E3$$

$$I_3 = I_{31} + I_{32} + I_{33} = \sigma_{31} E1 + \sigma_{32} E2 + \sigma_{33} E3$$

Vrednosti prevodnosti, ki določajo smer in velikost električnega toka  $\mathbf{I}$ , kot odziv kristala na el. polje  $\mathbf{E}$ , so komponente matrike, ki jo imenujemo **TENZOR** drugega reda ( $3^2$  komponent)

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

Devet konstant v tenzorju popolnoma opiše povezavo (v kristalu) med stimulusom (el. polje)  $\mathbf{E}$  in odzivom (el. tok)  $\mathbf{I}$ .

odzivni  
vektor (**I**)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

=

tenzor  
**T(1)**

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

stimulativni  
vektor (**E**)

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix}$$

Matriki odzivnega in stimulativnega vektorja sta tenzorja 1. reda.

Ker predstavljata fizikalne količine imata tudi enote (**I-amper**, **E-volt**).

Določene komponente tenzorja lahko postanejo nič, če so osi  $x_1$ ,  $x_2$  in  $x_3$  izbrane tako, da sovpadajo s simetrijskimi elementi.

Stimulant **E vzdolž osi simetrije** povzroči el. tok **I vzdolž iste osi**.

Stimulant **E v določeni smeri ravnine simetrije** povzroči el. tok **I v isti ravnini**.

Električna prevodnost je **centrosimetrična**, kot vse druge lastnosti opisane s tenzorji drugega reda.

## *Polprevodniki*

*Pravi polprevodniki* so materiali, pri katerih so valenčne ovojnice zapolnjene, vendar je energijski nivo višje ovojnice dovolj nizek, da lahko ob termalni stimulaciji valenčni elektroni preskočijo na višji en. nivo in tako potujejo skozi kristal. Na mestu, ki ga je prej zasedal elektron nastane praznina (hole).

*Polprevodniki zaradi primesi* prevajajo elektriko zaradi prisotnosti tujih atomov ali ionov na intersticijskih ali substitucijskih mestih v trdni raztopini.

Ti atomi vsebujejo elektrone, ki

- 1) *ne sodelujejo v vezeh,*
- 2) *zasedajo energijske nivoje blizu nivoja prevodnosti primarnih atomov.*

## Termalne lastnosti

### *Toplotna prevodnost*

Po analogiji z električno prevodnostjo:

**E** - smer in razlika v temperaturi

**I** - odziv kristala v smislu količine toplote, ki steče skozi določeno enoto

$\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ , .... - toplotne prevodnosti

### *Toplotna razteznost*

Pri povečanju temperature večina trdnih snovi spremeni dimenzije ali obliko.

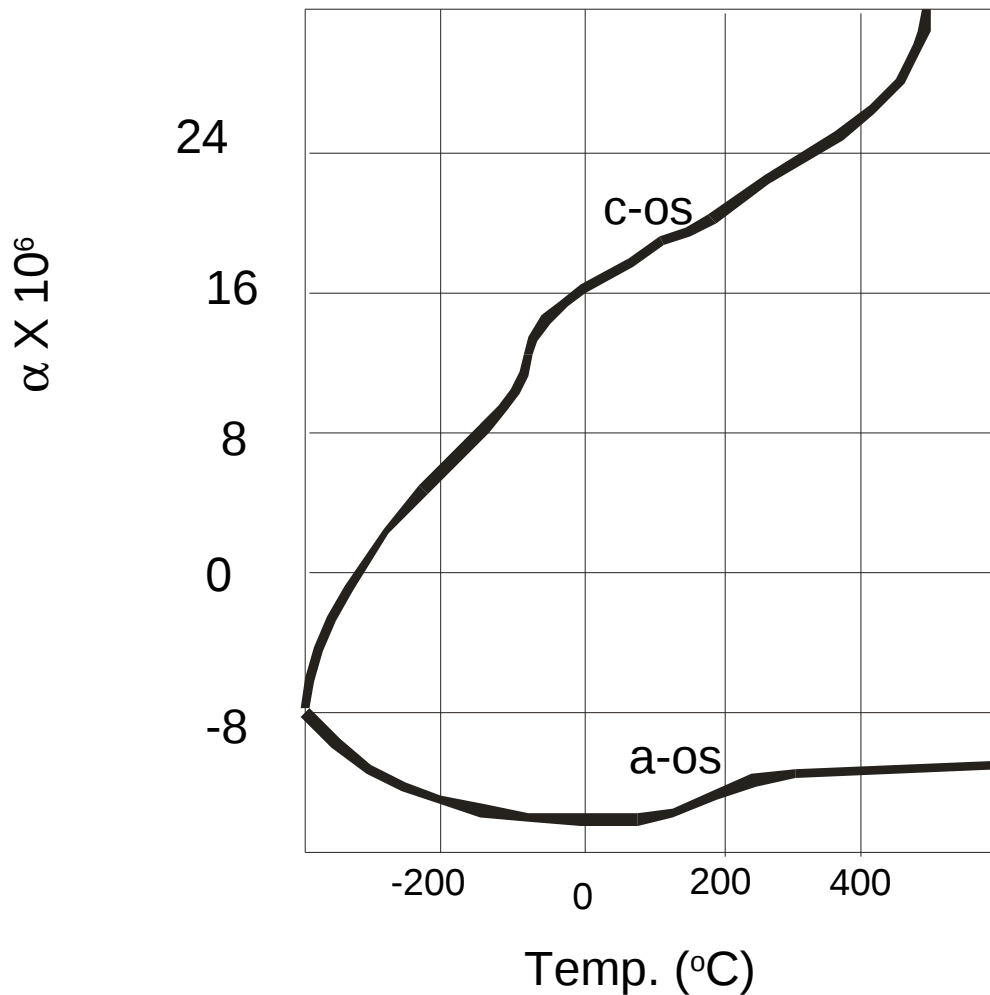
To spremembo imenujemo *temperaturno raztezanje ali dilatacija*.

Pri ohlajanju so spremembe obratne.

**Toplotni koeficient raztezka v smeri [uvw]** je delež raztezka v smeri [uvw] pri spremembi temperature za 1°C.



Kalcit: dvig T za 1° pri 40°C - 1cm (c) → 1.000025 cm ⇒  $\alpha_{c(40)} = 25 \times 10^{-6}$   
1cm (a) → 0.999994cm ⇒  $\alpha_{a(40)} = -6 \times 10^{-6}$



Vrednosti termalnega koeficienta ekspanzije za kalcit, merjene vzdolž a in c osi pri različnih temperaturah

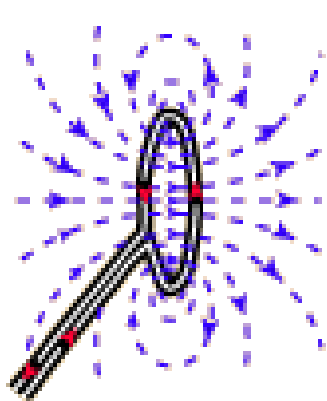
## Magnetne lastnosti

### Magnetnost

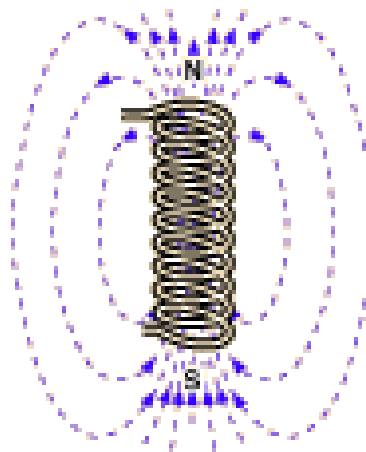
Delci z nabojem s svojim gibanjem ustvarijo magnetno polje.



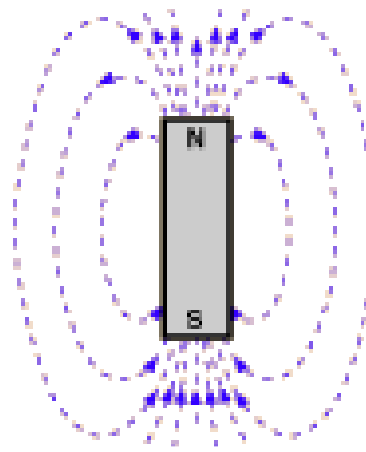
Tok v  
žici



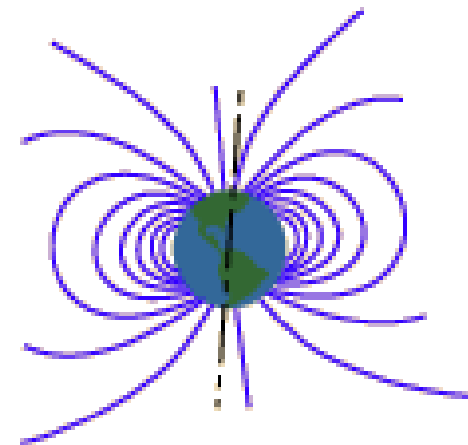
Zanka iz  
žice



Tuljava



Palični magnet



Zemlja

Viri magnetnega polja

**Atomi ali ioni vsebujejo izjemno male tokovne zanke:**

- 1) počasen spin in rotacija protonov v jedru
- 2) orbitalno gibanje elektronov okoli jedra
- 3) spin elektronov

Enota za magnetni moment atoma ( $\mu_{\text{eff}}$ ) je *Bohr-ov magneton* ( $0.92732 \times 10^{-23}$  amper m<sup>2</sup>) - prispevajo le el., ki niso v paru.

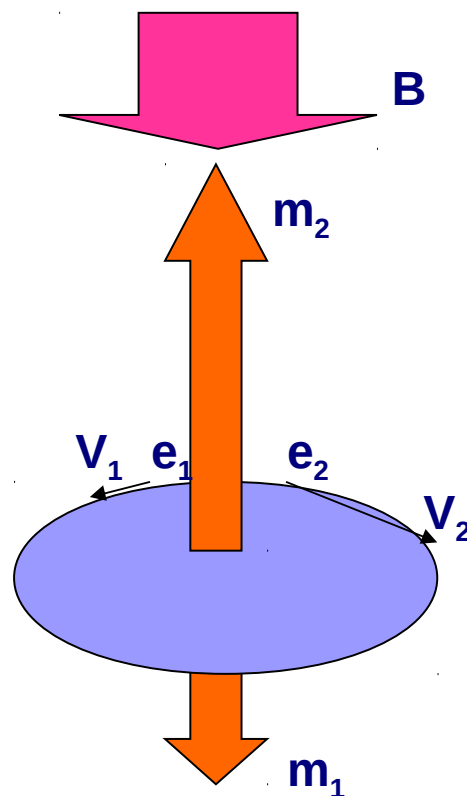
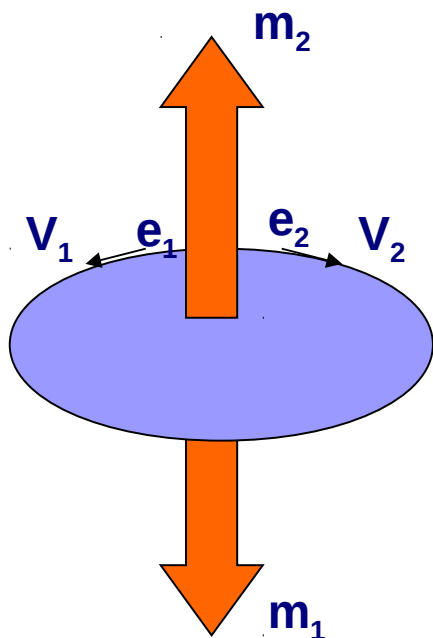
Efektivni magnetni moment je proporcionalen številu neparnih elektronov v 3d orbitali za prehodne elemente Fe skupine.

Ioni, ki v kristalni strukturi močno zvišajo vpliv magnetnega polja na kristal:  
 $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ .

## Diamagnetnost

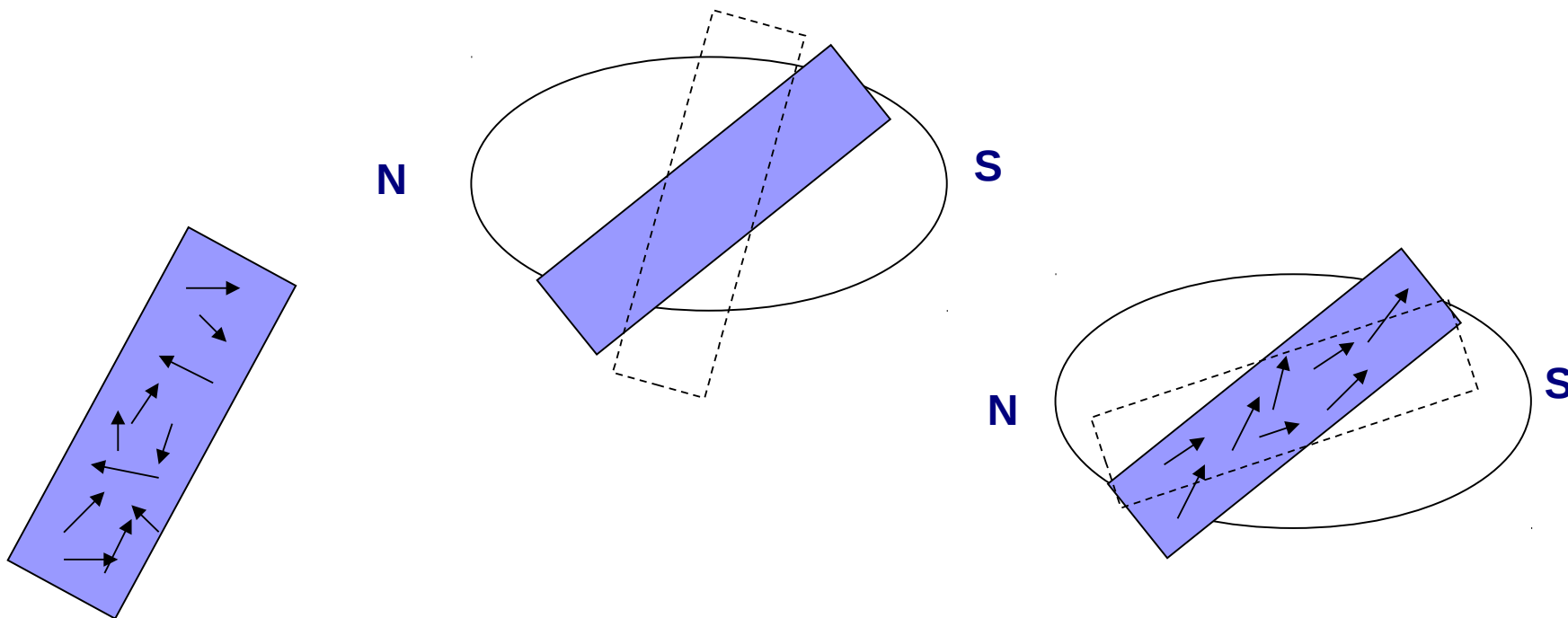
Odboj od magneta imenujemo *diamagnetizem*.

Pojavi se zaradi para elektronov nasprotnih spinov v orbitali.

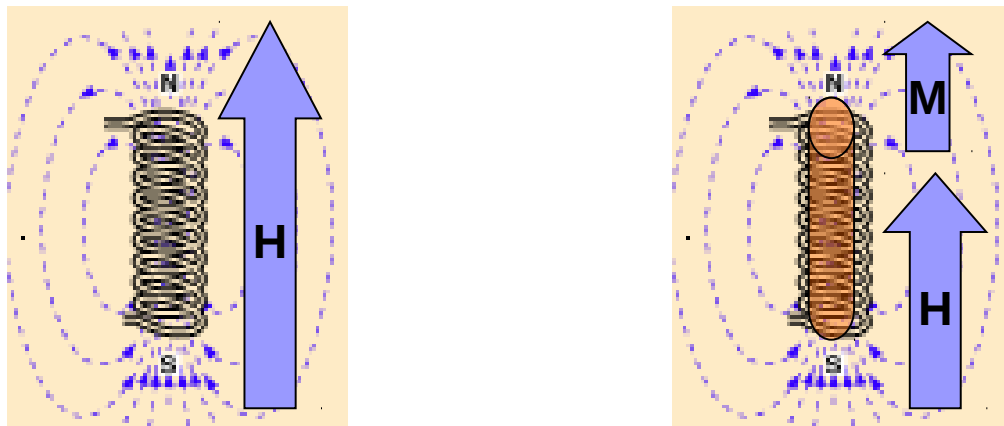


## Paramagnetnost

Je sposobnost naključno orientiranih magnetnih momentov znotraj kristala, da se usmerijo vzporedno pod vplivom magnetnega polja.



**Magnetizacija  $M$**  je merilo števila magnetnih momentov ki se enako usmerijo v volumski enoti v magnetnem polju. Predstavlja tudi inducirano magnetno polje v trdni snovi zaradi usmeritve magnetnih momentov.



**H** - moč magnetnega polja pred vstavitvijo kristala

**B** - moč magnetnega polja po vstavitvi kristala

$$B = \mu_0 H + M$$

$\mu_0$  - primarna magnetna konstanta ali prepustnost v vakuumu ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ )

$$M = \mu_0 k H$$

**k** - magnetna susceptibilnost, pozitivna za paramagnetne substance, negativna za diamagnetne substance, odvisna od smeri v kristalu

## ***Feromagnetnost***

Določeni materiali znotraj magnetnega polja  $H$  lahko razvijejo magnetno polje, ki je milijonkrat močnejše od polja, ki ga razvijejo paramagnetni minerali. Lastnost imenujemo feromagnetnost. Sosednji elektroni imajo vzporedni spin. Kristal ostane magneten tudi ko magnetno polje odstranimo.

## ***Antiferomagnetnost***

V antiferomagnetnih materialih imajo sosednji elektroni nasprotni spin.

## ***Ferimagnetnost***

Antiparalelni magnetni momenti se ne kompenzirajo popolnoma, ker so momenti v eni smeri številčnejši ali močnejši.

## **Magnetna simetrija**

Feromagnetni, ferimagnetni in antiferomagnetni kristali vsebujejo urejen nabor spinskih magnetnih momentov, katerih smer in urejenost v kristalni strukturi lahko določimo z nevtronsko difrakcijo. Zato moramo razširiti koncept simetrijskih elementov in vključiti **komplementarne operacije**.  
**Komplementarna ravnina simetrije; komplementarne osi simetrije.**

90 (32+58) magnetnih točkovnih grup



## *Dielektrični kristali*

V kristalih, ki slabo ali pa sploh ne prevajajo električnega toka (izolatorji ali dielektriki) so delci z negativnim nabojem razporejeni med delci s pozitivnim nabojem (jedra).

Čeprav dispergirani v prostoru, delci navzven delujejo kot bi bili zbrani v točki (centru).

Pozitivni in negativni center sovpadata – kristal je električno nepolaren

Pozitivni in negativni center ne sovpadata – kristal je električno polaren

**Električno polarni kristali predstavljajo električni dipol.**

## *Feroelektričnost*

Molekularni kristali v električnem polju lahko razvijejo polarnost zaradi

1) polarizacije posameznih atomov

2) rotacije polariziranih molekul

Feroelektrični kristali ohranijo električni dipolni moment tudi po prenehanju delovanja električnega polja.

## *Antiferoelektričnost*

Kristali v katerih enote sestavlja **enako število antiparalelnih dipolov** imenujemo **antiferoelektrične**.

## *Polarne smeri in razredi*

Polarna smer v kristalu  $[uvw]$  ni s simetrijo kristala povezana z nasprotno smerjo  $[-u-v-w]$ . Opazujemo jih lahko v 21 necentrosimetričnih kristalnih razredih.

V 11 necentrosimetričnih razredih se vektorji dipolnega momenta izničijo, v ostalih 10 (1, 2, 3, 4, 6, m,  $mm_2$ , 3m, 4mm, 6mm) se **vektorji dipolnega momenta ne izničijo**, zato te razrede imenujemo ***polarni razredi***.

## *Piroelektričnost*

Lastnost, da kristali (iz polarnih razredov) lahko razvijejo električni dipolni moment zaradi enotne temperaturne spremembe.

## *Piezoelektričnost*

Lastnost, da kristal razvije električno polarnost v določeni smeri zaradi mehaničnih napetosti v tej smeri.