

Základy fyziky anizotropního prostředí

RNDr. Otto Jarolímek, CSc.

Tensory

- zobecnění pojmu vektor
- obecná teorie v n-dimenzionálním prostoru
- aplikace teorie na fyzikální vlastnosti anizotropních materiálů (především monokrystalů) → $n=3$
- řád tensoru q
 - počet komponent $p=n^q$
 - skalár (tensor 0. řádu) → $p=1$
 - vektor (tensor 1. řádu) → $p=3$
 - tensor 2. řádu → $p=9$
 - tensor 3. řádu → $p=27$
 - tensor 4. řádu → $p=81$

Tensory

- vektor: $T'_i = a_{ij} T_j$
 - transformuje se jako souřadnice
- tensor 2. řádu: $T'_{ij} = a_{ik} a_{jl} T_{kl}$
 - transformuje se jako součin dvou souřadnic
- tensor 3. řádu: $T'_{ijk} = a_{il} a_{jm} a_{kn} T_{lmn}$
 - transformuje se jako součin tří souřadnic
- tensor 4. řádu: $T'_{ijkl} = a_{im} a_{jn} a_{ko} a_{lp} T_{mnop}$
 - transformuje se jako součin čtyř souřadnic

Tensory

- symetrický tensor 2. řádu

$$T_{ij}=T_{ji} \rightarrow 6 \text{ komponent}$$

- antisymetrický tensor 2. řádu

$$T_{ij}=-T_{ji} \rightarrow 3 \text{ komponenty (axiální vektor!)}$$

- symetrie tensorů vyšších řádů může probíhat v různých kombinacích indexů (viz konkrétní příklady)

Příklady fyzikálních veličin tensorového charakteru

- tensor 1. řádu (vektor)
 - fyzikální „stavové“ veličiny (intenzita el. pole E_i , hustota el. proudu j_i)
 - materiálové charakteristiky (pyroelektrický koeficient p_i)
- tensor 2. řádu
 - fyzikální „stavové“ veličiny (mech. napětí σ_{ij} , deformace ϵ_{ij})
 - materiálové charakteristiky (el. vodivost γ_{ij} , teplotní roztažnost α_{ij} , permitivita ϵ_{ij})
- tensor 3. řádu
 - pouze materiálové charakteristiky (piezoelektrický koeficient d_{ijk})
 - z definice $d_{ijk}=d_{ikj} \rightarrow 18$ komponent
- tensor 4. řádu
 - pouze materiálové charakteristiky (elastický koeficient s_{ijkl})
 - z definice $s_{ijkl}=s_{jikl}=s_{ijlk}=s_{jilk} \rightarrow 36$ komponent

Prvky a operace symetrie

Lze je zpracovat matematickou teorií grup.

- rotační osy (dvoj, troj, čtyř a šestičetné) → rotace
- inverzní osy (troj, čtyř a šestičetné) → inverzní rotace
- roviny symetrie → zrcadlení
- střed symetrie → inverze

Krystalografické soustavy a bodové grupy symetrie

Sedm krystalografických soustav zahrnuje celkem 32 bodových grup symetrie.

- triklinická (trojklonná) – nejvýše střed symetrie, 2 grupy
- monoklinická (jednoklonná) – 1 dvojčetná rotační či inverzní osa, 3 grupy
- ortorombická (kosočtverečná) – 3 vzájemně kolmé dvojčetné rotační či inverzní osy, 3 grupy
- tetragonální (čtverečná) – 1 čtyřčetná rotační či inverzní osa, 7 grup
- trigonální (klencová) – 1 trojčetná rotační či inverzní osa, 5 grup
- hexagonální (šesterečná) – 1 šestičetná rotační či inverzní osa, 7 grup
- kubická (krychlová) – 4 trojčetné rotační či inverzní osy jako tělesové úhlopříčky krychle, 5 grup

Neumannův princip

- Množina prvků symetrie materiálové charakteristiky (fyzikální vlastnosti) musí obsahovat všechny prvky symetrie daného prostředí (bodové grupy monokrystalu), tj. symetrie materiálové charakteristiky musí být vždy stejná nebo vyšší než symetrie prostředí.