

REGULARITIES OF THE CHANGES OF LIGHT DIFFUSION RATE AND REFRACTION COEFFICIENT IN MINERAL CRYSTALS

GAISMAS IZPLATĪŠANĀS ĀTRUMA UN LAUŠANAS KOEFICIENTA IZMAIŅU LIKUMSAKARĪBAS MINERĀLU KRISTĀLOS

Uldis Sedmalis, Professor, Dr.Hab.Chem.

Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 7089266, Fax: + 371 7615765
E-mail: sperberga@ktf.rtu.lv

Ingunda Sperberga, Lead.Researcher, Dr.Sc.Eng.

Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 7089266, Fax: + 371 7615765
E-mail: sperberga@ktf.rtu.lv

Gaida Sedmale, Asoc.Professor, Dr.Hab.Chem.

Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 7089257, Fax: + 371 7615765
E-mail: gsedmale@ktf.rtu.lv

Atslēgas vārdi: gaismas izplatīšanās ātrums, gaismas laušanas koeficients, kristāls

Ievads

Izvērtējot gaismas izplatīšanās ātruma un laušanas koeficienta izmaiņas minerālu kristālos un to cēloņus, jāsecina, ka šo izmaiņu pamatā ir divu simetrisku, t.i., kristāliskā un gaismas fizikālo lauku savstarpējā iedarbība. Tās rezultātā izmainās abu šo lauku simetrija un, līdz ar to arī īpašību simetrija. Par izmaiņām liecina, pirmkārt, eksperimentāli noteiktie minerālu kristālu gaismas laušanas koeficienti, kas, savukārt, ir atkarīgi no gaismas izplatīšanās virziena un ātruma tajos. Otrkārt, gaismas laukam, iedarbojoties ar lielāko daļu no kristāliskiem laukiem, novērojama gaismas stara dubultlaušana un gaismas viļņu svārstību polarizācija. Rakstā analizēta gaismas lauka jeb gaismas iedarbība ar kristālisko lauku jeb kristālu no simetriju izmaiņas viedokļa. Sagatavot šādu rakstu publicēšanai pamudināja analīzes rezultātā iegūtā atziņa, ka cēloņa, t.i. gaismas, iedarbības rezultātā radītajās sekās kristālā nesaglabājas tikai kopīgie simetrijas elementi, kas piemīt cēlonim un kristālam, kā tas izriet no P.Kirī universālā simetrijas principa [1]. Konstatēts, ka gaismas iedarbības rezultātā ar augstākās, vidējās un zemākās kategorijas kristāliem notiek attiecīgo kristālu optisko īpašību simetrijas paaugstināšanās: augstākās un vidējās kategorijas kristālos – līdz bezgalīgai pakāpei, bet zemākās – līdz romboplanaksiālai.

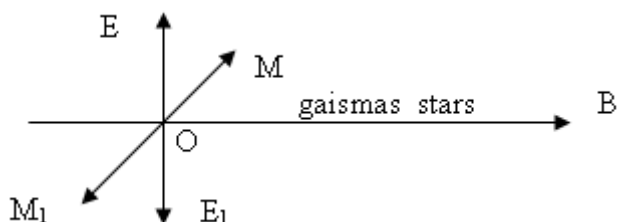
Daži optikas pamatjēdzieni

Optika (grieķu valodas vārds *optikē*) ir fizikas nozare, kas pēta un noskaidro gaismas izplatības un iedarbību ar vielu, tai skaitā, gaismas iedarbību ar kristālisko lauku. Optika iedalās ģeometriskajā jeb staru un elektromagnētiskajā viļņu svārstību optikā. Ģeometriskā optika aplūko optiskās parādības, kurās var neievērot gaismas viļņveida dabu un, kur var darboties ar gaismas stara jēdzienu, kā arī ar gaismas laušanas un atstarošanas likumu. Elektromagnētisko viļņu svārstību optika aplūko parādības, kas saistītas ar gaismas viļņveida dabu, difrakciju, interferenci, polarizāciju u.c. Specifiskās parādības dažādās vidēs aplūko īpašas optikas nozares, kā, piemēram, kristāloptika, pusvadītāju optika u.c.

Elektromagnētiskās svārstības

Pēc elektromagnētisko viļņu teorijas, gaismas stars atbilst vienlaicīgi divu savstarpēji perpendikulāru viļņu svārstību enerģiju – elektriskās EE_1 un magnētiskās MM_1 summai, pie tam šīs svārstības ir perpendikulāras staru izplatīšanās virzienam (sk. 1.att.).

Turpmāk tekstā izmantotas tikai elektriskās svārstības (elektrisko svārstību vektors), jo ar to ir pilnīgi pietiekoši, lai aprakstītu un izskaidrotu gaismas iedarbību ar kristālisko lauku.



1.attēls. Gaismas stara izplatīšanās virziens B un tā elektrisko EE_1 un magnētisko MM_1 svārstību shematisks attēlojums.

Gaismas lauks

Gaismas fizikālais lauks jeb, īsāk izsakoties, gaisma ir elektromagnētisko viļņu lauks, kas no sava avota vienlaicīgi izplatās visos virzienos. Gaisā gaismas izplatīšanās ātrums ir ~ 300000 km/s, vakuumā – 299792,5 km/s. Gaismai atbilstošie viļņu garumi ir no ~ 380 nm (violetā gaisma) līdz 780 nm (sarkanā gaisma). Baltā gaisma pēc būtības ir dažādu krāsu gaismas viļņu sajaukums robežās no 380-780 nm. Ja daļa redzamo viļņu garumi pavājinās, pastiprinās vai izzūd, tad balta gaisma pārvēršas par krāsaino. 1.tabulā parādīti redzamās gaismas viļņu garumi un tiem atbilstošās krāsas [2].

1.tabula

Redzamās gaismas viļņu garumi un tiem atbilstošās krāsas

Starojuma avots	Viļņa garums λ vakuumā, nm	Krāsa
Ūdeņradis H	397	Violeta
Ūdeņradis H	434	Zila
Indijs In	451	Zila
Tallijs Tl	535	Zaļa
Dzīvsudrabs Hg	546	Zaļa
Nātrijs Na	589	Dzeltena
Litijs Li	671	Sarkana
Kālijs	767	Sarkana

Kristāliskais lauks

Kristālisko lauku veido tā uzbūves daļiņas, kā atomi, joni un molekulas, kuras sakārtotas pēc telpiskā režģa principa un, līdz ar to, tas uzskatāms kā bezgalīgs fizikāls lauks. Daļiņu sakārtojums kristāliskā laukā atbilst kristalogrāfiskam simetrijas likumam. Likumsakarīgā sakārtojuma stabilitāti nodrošina elektromagnētiskie spēki jeb ķīmiskā saite, kas pastāv un iedarbojas starp daļiņām un nodrošina optisko īpašību simetriju kristālā. Kā kristāliskā lauka piemērus var minēt vara Cu, dimanta C, ledus H₂O, kvarca SiO₂, halīta NaCl, fluorīta CaF₂, kalcīta CaCO₃, mikroklīna K[AlSi₃O₈], kā arī citu kristālu struktūras.

Gaismas viļņa ātruma virsma

Kā jau minēts iepriekš, gaismas viļņi no sava avota vienlaicīgi izplatās uz visām pusēm. Katra taisne, kas novilkta caur gaismas avotu, atbilst gaismas staram. Izotropās vidēs, kā piemēram, vakuumā, gaisā, ūdenī, stiklā u.c. gaisma visos virzienos izplatās ar vienādu ātrumu. Vienā laika vienībā to izplatīšanās attālumi ir vienādi. Savstarpēji savienojot gaismas izplatīšanās staru galus, iegūst lodes virsmu ar simetriju $\infty L_{\infty} \infty PC$ ($\infty/\infty \cdot m$). Virsmu, līdz kurai gaismas viļņi nonākuši vienlaicīgi, sauc par gaismas viļņu virsmu [2]. Viļņu virsmas visos punktos gaismas svārstību fāzes ir vienādas.

Gaismas viļņu izplatīšanās ātruma virsma kristālos [2]

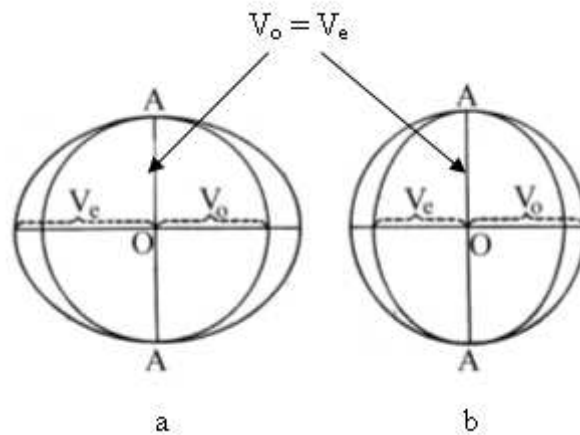
Kristālos gaismas izplatīšanās ātruma ovālās virsmas iedalāmas trīs tipos: 1) lode, 2) rotācijas elipsoīds un 3) trīsas elipsoīds.

Augstākās kategorijas jeb kubiskās singonijas kristālos, kuros nav vienīgā virziena, ātruma virsmai ir lodes forma ar simetriju $\infty L_{\infty} \infty PC$ ($\infty/\infty \cdot m$). No minerālu kristāliem ar kubiskās singonijas simetriju var minēt sekojošus: dimants C, sfalerīts ZnS, špinelis MgAl₂O₄, pirops Mg₃Al₂[SiO₄]₃, fluorīts CaF₂, halīts NaCl u.c. Kubiskās singonijas kristālos gaismas izplatīšanās ātruma virsma simetrijas skatījumā ir līdzīga izotropo vielu gaismas ātruma virsmai. Tāpēc arī kristāloptikā kubiskās singonijas kristālus bieži sauc par optiski izotropiem kristāliem.

Vidējās kategorijas, t.i. trigonālās, tetragonālās un heksagonālās singonijas kristālos ar vienu vienīgo virzienu gaismas izplatīšanās ātruma virsma ir sarežģītāka. Tā vienlaicīgi ir divu virsmu t.i. lodes un rotācijas elipsoīda kombinācija. Rotācijas ass garums ir vienāds ar lodes diametru. Šeit apskatāmi divi gadījumi:

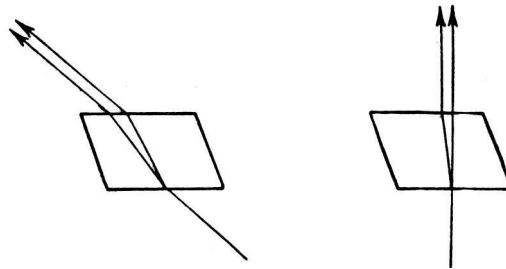
- lodi aptver saspiests elipsoīds (sk. 2.att. a); kristālus ar šādu gaismas ātruma izplatīšanās virsmu sauc par optiski negatīviem;
- lode aptver izstieptu elipsoīdu (sk. 2.att. b); kristālus ar šādu gaismas ātruma izplatīšanās virsmu sauc par optiski pozitīviem.

Sfērisko vilni un tam atbilstošos starus sauc par parastajiem (apzīmē ar o). Eliptisko vilni un tam atbilstošos starus sauc par neparastajiem (apzīmē ar e). Ir tikai viens virziens kristālā, kurā viļņu o un e gaismas ātruma ir vienādi, tas ir virziens OA, ko sauc par optisko asi.



2.attēls. Vidējās kategorijas kristālu viļņu virsmas: *a* – negatīva, *b* – pozitīva.

2.attēlā parādītas vidējās kategorijas kristālu gaismas izplatīšanās ātruma virsmas un abos gadījumos šo virsmu simetrija, izvērtējot kopumā, atbilst cilindra simetrijai $L_{\infty} \times L_2 \times PC$ ($m \cdot \infty : m$). Divu viļņu virsmu izveidošanās kristālos izskaidrojama ar gaismas stara dubultlaušanu. Dubultlaušana ir gaismas stara polarizācija anizotropā vidē un tā izplatīšanās ātruma izmaiņas (sk. 3.att.).

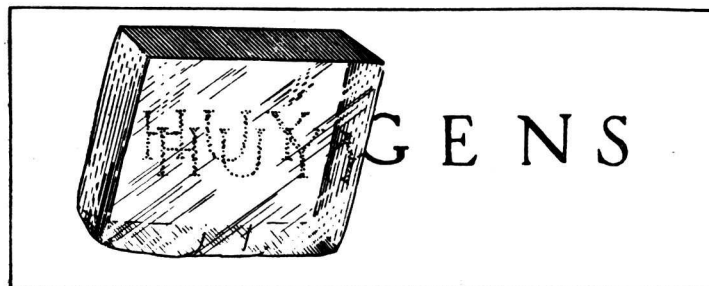


3.attēls. Gaismas stara dubultlaušanas shēma islandes špatā.

Novērojot sīkus priekšmetus caur islandes špata gabalu, tie izskatās dubultoti (sk. 4.att.). Katram no stariem, kas izveidojies dubultlaušanas rezultātā, ir atšķirīgs polarizācijas virziens un, tātad, atšķirīgs izplatīšanās ātrums un atbilstošs gaismas laušanas koeficients, jo

$$n = \frac{V}{v},$$

kur V – gaismas izplatīšanās ātrums, v – gaismas izplatīšanās ātrums kristālā.

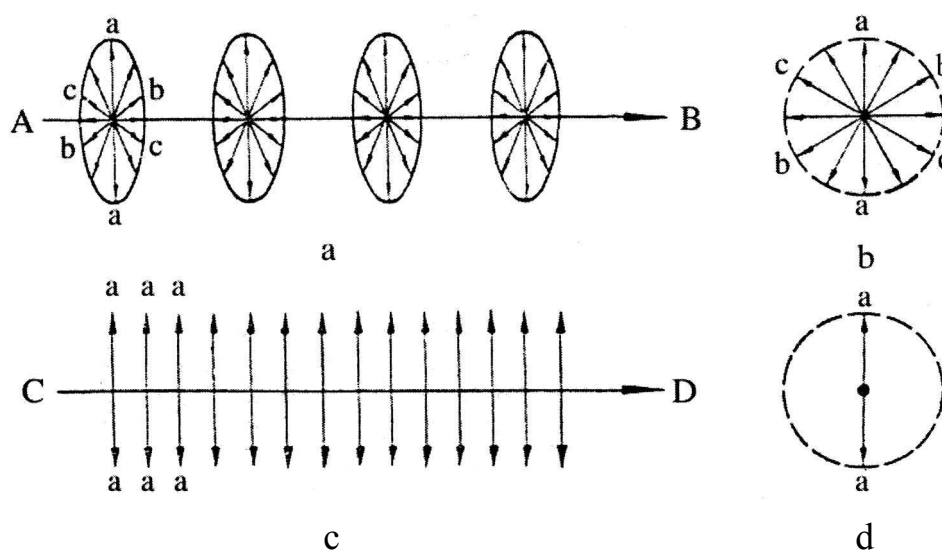


4.attēls. Uzraksta dubultošānās, novērojot to caur islandes špatu.

Dabīgā un polarizētā gaisma [3-6]

Gaismas, kas izplatās no jebkura gaismas avota izotropā vidē, elektriskās svārstības vektori ir orientēti visdažādākos virzienos, kas ir perpendikulāri stara izplatīšanās virzienam (gaismas stars ir virziens, kurā izplatās gaismas enerģija). Šādu gaismu sauc par *dabīgo gaismu*.

5.attēlā parādīts dabīgas gaismas stars, kur AB ir gaismas izplatīšanās virziens un aa, bb, cc ir gaismas svārstību virzieni (a, b variāns). No attēla redzams, ka gaismas svārstības notiek visdažādākos virzienos plāksnē, kas perpendikulāra gaismas izplatīšanās virzienam AB. Atšķirībā no dabīgās (nepolarizētās) gaismas, polarizētās gaismas svārstības aa visas notiek vienā noteiktā virzienā perpendikulāri gaismas stara CD virzienam (c,d variants). Gaismu, kuras svārstības notiek paralēlos virzienos un, tātad, atrodas vienā plāksnē, kas sakrīt ar gaismas stara virzienu, sauc par *polarizēto gaismu*. Pie tam, abi stari ir polarizēti un to gaismas viļņu svārstību polarizācijas plāksnes ir savstarpēji perpendikulāras.



5.attēls. Gaismas svārstības: a, b – dabīgās; c, d – polarizētās.

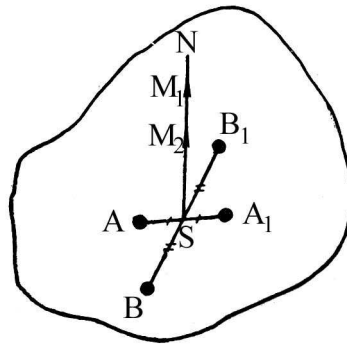
Optiskā indikatrie

Kristāloptikas praksē viļņu izplatīšanās ātruma virsmu vietā lieto virsmas, ko sauc par optiskām indikatriēm (vārdam ir latīņu valodas izcelsme - virsma, kas sniedz uzskatāmu priekšstatu par lielumu maiņu atkarībā no virziena). Indikatrišu konstruēšanā izmanto eksperimentāli noteiktus gaismas laušanas koeficientus. Indikatries veidošana notiek sekojoši: Zināms, ka no punktveida gaismas avota, kas atrodas kristāla iekšpusē, polarizēta gaisma vienlaicīgi izplatās visos virzienos. Tiek izvēlēts virziens SN, kurā vienlaicīgi izplatās divi gaismas stari (viļņi) M_1 un M_2 ar dažādiem ātrumiem V_1 un V_2 (sk. 6.att.). Atšķirīgi būs arī šo staru gaismas laušanas koeficienti n_1 un n_2 . Ja gaismas vilnis M_1 izplatās ar ātrumu V_1 , kas ir lielāks par viļņa M_2 ātrumu V_2 ($V_1 > V_2$), tad sakarība starp gaismas laušanas koeficientiem ir $n_1 < n_2$. Caur sākuma punktu S novelk divas taisnes AA_1 un BB_1 , kas ir paralēlas viļņu M_1 un M_2 svārstību virzieniem. Šīs taisnes ir savstarpēji perpendikulāras, jo gaismas viļņi M_1 un M_2 ir polarizēti savstarpēji perpendikulāros virzienos. Uz taisnēm AA_1 un BB_1 uz abām pusēm no punkta S vienādā mērogā atliek gaismas laušanas koeficientus n_1 uz taisnes AA_1 un n_2 – uz taisnes BB_1 . Rezultātā tiek iegūti četri punkti A, A_1 , B un B_1 . Līdzīgā veidā, atliekot punktus citos gaismas viļņu (staru) izplatīšanās virzienos, tiek iegūti

jauni četrpunktu kopumi. Šos punktus savstarpēji savienojot, iegūst virsmas, kas, atkarībā no kristāla simetrijas, atbilst trīsaslu elipsoīdam, divasu elipsoīdam vai lodei.

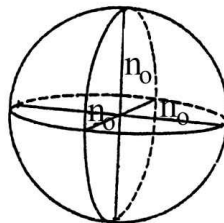
Jāatzīmē, ka indikatrišu ārējais apveids ir līdzīgs gaismas viļņu izplatīšanās virsmām un vispārīgā gadījumā tās ir elipsveidīgas, atšķirība ir asu garumos.

Viļņu virsmas garākai asij indikatrišē atbilst īsākā ass (lielākam gaismas ātrumam atbilst mazāks laušanas koeficients). Optisko indikatrišu ārējais apveids mainās atkarībā no kristālu simetrijas.



6.attēls. *Optiskās indikatrišes veidošanās shēma.*

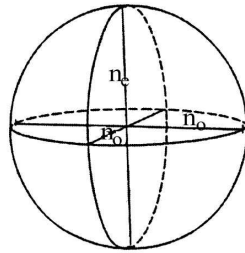
Augstākās kategorijas kristālu indikatrisei piemīt lodes veida virsma (sfēra), kuras radiuss ir proporcionāls dotās vielas gaismas laušanas koeficientam n_o . Visiem šķēlumiem caur centru ir apla forma un tie optiskā ziņā ir izotropi. Šajos kristālos gaisma visos virzienos izplatās ar vienādu ātrumu un, tātad, tajos nav novērojama gaismas staru dubultlaušana un polarizācija. Vienīgā optiskā konstante ir n_o . 7.attēlā parādīta kubiskās singonijas kristālu (simetrijas grupa $\infty L_{\infty} \infty PC$ jeb $\infty/\infty \cdot m$) optiskā indikatriše.



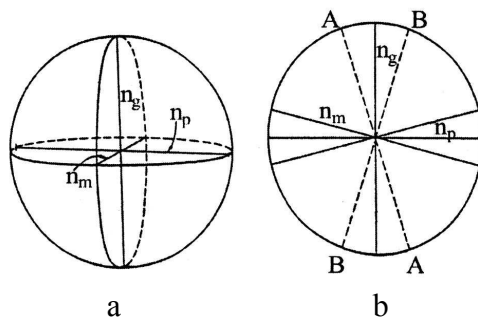
7.attēls. *Izotropu kristālu optiskā indikatriše.*

Vidējās kategorijas singoniju (trigonālās, tetragonālās un heksagonālās) optiskā indikatriše ir divasu rotācijas elipsoīds. Šajā elipsoīdā ir viens apla šķēlums, kas ir perpendikulārs vienlaicīgi gan elipsoīda rotācijas asij, gan kristāla galvenai simetrijas asij (L_3 , L_4 vai L_6). Gaismas stars šajā virzienā izplatās bez dubultlaušanas un netiek polarizēts. Tas nozīmē, ka elipsoīda rotācijas ass ir kristāla optiskā ass un vidējās kategorijas kristāli ir optiski vienaslu kristāli, un to raksturošanai nepieciešams noteikt divus gaismas laušanas koeficientus n_e un n_o . Ja optiskā rotācijas ass atbilst gaismas laušanas koeficientam n_e , tad elipsoīdam ir izstiepta forma rotācijas ass virzienā, turpretim, ja optiskā ass atbilst n_o , tad elipsoīdam ir saspiesta forma rotācijas ass virzienā. Pirmajā gadījumā kristāli ir optiski pozitīvi, otrajā – optiski negatīvi. 8.attēlā parādīta pozitīva vidējās kategorijas kristālu optiskā indikatriše.

Zemākās kategorijas kristālos optiskā indikatrie ir trīsasu elipsoīds ar simetriju $3L_23PC$ (mmm). Šādos kristālos ir divi optiski izotropi šķēlumi, t.i. virzienos, kuros gaismas stars, kas krīt perpendikulāri šim šķēlumam, nesadalās divos staros un nepolarizējas.



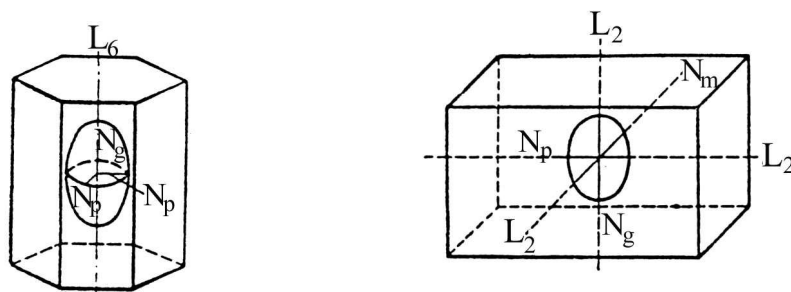
8.attēls. Vidējās kategorijas kristālu ar simetriju $L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$ ($m \cdot \infty : m$) pozitīva optiskā indikatrie.



9.attēls. Trīsasu elipsoīds (a) un tā griezumums caur asīm n_g un n_p (b).

Šiem virzieniem perpendikulārie virzieni ir optiskās asis, tāpēc arī zemākās kategorijas kristāli tiek saukti par optiski divasu kristāliem. Šajos kristālos izotropie griezumumi ietver asi n_m . Optiskās asis, kas ir perpendikulāras izotropiem griezumiem, vienmēr atrodas elipsoīda plāksnēs, kurās ir asis n_g un n_p (no franču valodas “grand” – liels, “mayer” – vidējs, “petit” – mazs.). 9.attēlā parādīts trīsasu elipsoīds (a) un griezumums caur asīm n_g un n_p .

10.attēla a variantā parādīta optiskās indikatries orientācija heksagonālā kristālā, kur N_g un N_p ir optiskās indikatries asis, kas proporcionālas gaismas laušanas koeficientiem n_g un n_p . 10.attēla b variantā parādīta optiskās indikatries orientācija rombiskās singonijas kristālā, kur N_p , N_m un N_g ir optiskās indikatries asis, kas proporcionālas gaismas laušanas koeficientiem n_p , n_m un n_g .



10.attēls. Optiskās indikatries orientācija heksagonālā (a) un rombiskā (b) kristālā.

Gaismas un kristāliskā lauka savstarpējās iedarbības shēma simetrijas skatījumā

Dabīgai gaismai ar lodes simetriju, iespiežoties kristālos, notiek tās simetrijas pazemināšanās, jo kristālos simetrijas kārtā jebkurā gadījumā ir zemāka par lodes simetriju. Saskaņā ar universālo simetrijas principu, diviem fizikāliem laukiem ar dažādu simetriju savstarpēji iedarbojoties, iedarbības sekās saglabājas tikai abiem laukiem kopējie simetrijas elementi. Tas nozīmē, ka no gaismas lauka daudzajām bezgalīgās pakāpes asīm kristālos saglabājas tikai dažas un, pie tam tās pārvērtušās par sestās, ceturtās, trešās vai otrās pakāpes simetrijas asīm, atkarībā no kristāla simetrijas. No bezgalīgi daudzajām lodes simetrijas plāksnēm, maksimālais simetrijas plāksņu skaits, kas iedarbības rezultātā saglabājas, var būt tikai deviņas. Visos gadījumos saglabājas simetrijas centrs.

Gaismas iedarbība ar augstākās kategorijas kristāliem

Augstākā kategorija apvieno piecas kubiskās singonijas kristālu klases, kurās maksimālā simetrija, kas atbilst formulai $3L_44L_36L_29PC$ ($m3m$), ir tikai vienai klasei. Tas nozīmē, ka gaismai iedarbojoties ar kubiskās singonijas kristāliem, jeb to kristāliskiem laukiem, no bezgala daudzajām bezgalīgās pakāpes asīm saglabāsies tikai 13 bezgalīgo pakāpju asu virzieni, kas pārvērtušies attiecīgi par ceturtās, trešās un otrās pakāpes simetrijas asīm, atbilstoši kubiskās singonijas planaksiālās klases simetrijai.

Var uzskatīt, ka trīs savstarpēji perpendikulārās bezgalīgās pakāpes lodes simetrijas asis tiek pārvērstas par ceturtās pakāpes simetrijas asīm ($3L_4$). Savukārt, četras bezgalīgās pakāpes simetrijas asis, kas atbilst astoņu sfērisko tetraedru jeb oktantu viduslīnijām, tiek pārvērstas par trešās pakāpes asīm ($4L_3$). Sešas bezgalīgās pakāpes simetrijas asis, kas orientētas 45° leņķī pret ceturtās pakāpes simetrijas asīm, tiek pārvērstas par otrās pakāpes simetrijas asīm.

No bezgala daudzajām gaismas lodes simetrijas plāksnēm kubiskās singonijas kristālos var saglabāties tikai deviņas simetrijas plāksnes. Šo plāksņu savstarpējās krustošanās līnijas atbilst ceturtās, trešās un otrās pakāpes simetrijas asīm. Gaismas iedarbības rezultātā ar kubiskās singonijas kristāliem to sekās saglabājas simetrijas centrs. Tā kā kubiskās singonijas kristālos nav vienīgo virzienu, tad šajos kristālos arī gaismas laušanas koeficientu skaitliskie lielumi visos virzienos ir vienādi un nav novērojama dubultlaušana.

Attiecībā uz gaismas laušanas koeficientu lodes simetrija un kubiskās singonijas kristālu simetrija ir vienāda: $\infty L_{\infty} \infty PC$ ($\infty/\infty \cdot m$) = $3L_44L_36L_29PC$ ($m3m$)

Var uzskatīt, ka kubiskās singonijas kristālu visi virzieni ir savstarpēji simetriski saistīti vienotā blokā – monolītā, kurā attālumi starp kristalogrāfiskiem virzieniem, salīdzinot ar gaismas viļņu garumu, ir vismaz par divām kārtām mazāki. Līdz ar to, kubiskās singonijas kristāli, līdzīgi kā amorfās vielas, attiecībā uz gaismas iedarbību ir izotropi.

Gaismas iedarbība ar vidējās kategorijas kristāliem

Gaismai iedarbojoties ar vidējās kategorijas (trigonālā, tetragonālā un heksagonālā singonija) kristāliem, viena gaismas lauka bezgalīgās pakāpes ass pārvēršas par trešās, ceturtās vai sestās pakāpes simetrijas asi un, tāpat, sakrīt ar šo kristālu vienīgo augstākās pakāpes simetrijas asi, kas atbilst vienīgajam virzienam. Vienlaicīgi šī gaismas lauka bezgalīgās pakāpes ass kļūst arī par vidējās kategorijas kristālu vienīgo optisko asi. No bezgala daudzajām bezgalīgās pakāpes simetrijas asīm, kas ir perpendikulāras galvenajai asij, trīs, četras vai sešas asis (atkarībā no singonijas) pārvēršas par otrās pakāpes simetrijas asīm ($3L_2$ – trigonālā singonijā, $4L_2$ – tetragonālā singonijā vai $6L_2$ – heksagonālā singonijā). Šīs asis atbilst kristālu simetrijas plāksņu krustošanās līnijām. No gaismas lauka bezgalīgi daudzajām simetrijas plāksnēm

kristālos saglabājas trīs, četras vai sešas plāksnes, kas iet caur kristālu optisko asi un vēl viena simetrijas plāksne, kas ir perpendikulāra optiskajai asij. Gaismas un kristāliskā lauka iedarbības rezultātā visos gadījumos saglabājas simetrijas centrs. Šādai simetrijas pārvērtību shēmai teorētiski vajadzētu notikt saskaņā ar universālo simetrijas principu, t.i. ka divu lauku iedarbības sekās saglabājas tikai abiem laukiem kopējie simetrijas elementi. Bet tā kā gaisma ir viļņveida fizikāls lauks, kurā viļņa garumi par vairākām kārtām pārsniedz attālumus starp daļiņām, tad gaismas viļņiem iespējoties kristālā, notiek gaismas laušana, pa trajektoriju, kas atbilst rotācijas elipsoīda virsmas simetrijai. Elipsoīda simetrija ir augstāka par dotā kristāla struktūras simetriju. Tomēr visu vidējās kategorijas kristālu gaismas laušanas koeficientu iezīme ir tā, ka tajos saglabājas šo kristālu vienīgais virziens un tas atbilst elipsoīda rotācijas asij un vienlaicīgi ir kristāla optiskā ass. Vidējās kategorijas kristālu indikatrišu simetrija atbilst robežsimetrijas grupai $L_{\infty} \times L_2 \times PC$ ($m \cdot \infty : m$) jeb ideāla cilindra simetrijai.

Gaismas iedarbība ar zemākās kategorijas kristāliem

Zemākās kategorijas (rombiskā, monoklīnā un triklīnā singonija) kristālos gaismas lauka simetrija $\infty L_{\infty} \times PC$ ($\infty / \infty \cdot m$) noreducējas uz rombisko planaksiālās klases simetriju $3L_2 3PC$ (mmm). Saskaņā ar universālo simetrijas likumu, pārveidošanās shēma pa singonijām atšķiras.

Rombiskās singonijas kristālos tikai trīs gaismas lauka savstarpēji perpendikulārās bezgalīgās pakāpes simetrijas asis pārveidojas par trim otrās pakāpes simetrijas asīm, kas atbilst rombiskās singonijas trim savstarpēji perpendikulāriem virzieniem. Pārējās bezgalīgās pakāpes simetrijas asis izzūd. Līdzīgi notiek arī ar simetrijas plāksnēm, kad no bezgala daudzām gaismas lauka simetrijas plāksnēm rombiskās singonijas kristālos saglabājas trīs savstarpēji perpendikulārās plāksnes, kuru krustošanās līnijas atbilst trim otrās pakāpes simetrijas asīm. Izveidojušās otrās pakāpes simetrijas asis ($3L_2$) kļūst par trīsasu elipsoīda asīm. Savukārt, trīsasu elipsoīda virsmas zemākās kategorijas kristālos raksturo gaismas laušanas koeficienta izmaiņas šajos kristālos.

Monoklīnās singonijas kristālos viena no bezgalīgās pakāpes simetrijas asīm pārvēršas par otrās pakāpes simetrijas asi (L_2) vai perpendikulu pret simetrijas plāksni, bet pārējās divas – par asīm, kas atrodas plāksnē, kas ir perpendikulāra otrās pakāpes asij un veido noteiktu leņķi ar kristāla telpiskā režģa rindām. Triklīnās singonijas kristālos trīs gaismas lauka bezgalīgās pakāpes simetrijas asis pārveidojas par trim virzieniem, kas veido noteiktus leņķus ar kristāla telpiskā režģa rindām. Zemākās kategorijas kristālu gadījumā, gaismas laukam iedarbojoties ar kristāliskiem laukiem, notiek to simetrijas kārtas palielināšanās attiecībā uz gaismas izplatīšanos tajos. Jo īpaši tas izpaužas monoklīnās un triklīnās singonijas kristālos.

No indikatrišu raksturojuma izriet, ka visu kategoriju kristāliem gaismas laušanas koeficientu simetrija ir augstāka par šo kristālu simetriju. Augstākās kategorijas kristālu gaismas laušanas koeficientu virsma atbilst lodes simetrijai, vidējās kategorijas kristāliem tā ir paaugstinājusies līdz divasu jeb rotācijas elipsoīda virsmas simetrijai, zemākās kategorijas kristāliem – līdz trīsasu elipsoīda virsmas simetrijai. Šī parādība izskaidrojama ar kristāliskā režģa starpplākšņu attālumu neatbilstību gaismas viļņu garumam. Starpplākšņu attālumi jeb attālumi starp kristālu veidojošām daļiņām (atomiem, joniem, molekulām) ir vairākkārt mazāki par redzamās gaismas viļņu garumiem, kas iedarbojas uz kristāliem. Tas nozīmē, ka gaisma ir mazjūtīga attiecībā pret kristālu atomāro struktūru. Gaismas viļņi apliecas ap atsevišķām kristālus veidojošām daļiņām, t.i., no to veidojošām kristāliskā režģa plāksnēm nenotiek gaismas viļņu difrakcija, kā tas notiek, iedarbojoties ar rentgenstaru viļņiem.

2.tabulā parādīti dažu minerālkristālu trīs svarīgākie kristāliskā režģa starpplākšņu attālumi, kuriem atbilst intensīvākie difrakcijas maksimumi. No 1.tabulas redzams, ka redzamās

gaismas viļņu garumi ir robežās no 3800 – 7800 Å (1nm = 10 Å). Salīdzinot 1.tabulā parādītos skaitliskos lielumus ar skaitļiem 2.tabulā [7], redzams, ka kristālos vidējie starpplākšņu attālumi, salīdzinot ar dzeltenās gaismas viļņu garumu, kas ir ~ 6000 Å, ir 2000-3000 reizes mazāki. Tas nozīmē, ka gaismas laukam, iedarbojoties ar kristālo lauku, gaismas viļņi ir nejutīgi attiecībā uz kristālu struktūru. Šī parādība ir pamatā kristālu gaismas laušanas koeficientu virsmu (indikatrišu) simetrijas palielināšanai attiecībā pret kristālu īsto simetriju.

2.tabula

Dažu minerālkristālu starpplākšņu attālumi (d), kas veido trīs intensīvākos difrakcijas maksimumus

Minerālkristāla nosaukums	Formula	Starpplākšņu attālumu robežas, kurās notiek difrakcija, Å	Trīs galvenie starpplākšņu attālumi, Å
Dimants	C	2,18 – 0,96	2,11; 2,05; 1,26
Fluorīts	CaF ₂	3,15 – 0,82	3,15; 1,93; 1,64
Halīts	NaCl	3,26 – 0,81	2,82; 1,99; 1,62
Kalcīts	CaCO ₃	3,85 – 1,04	3,03; 2,49; 2,28
Dolomīts	MgCa(CO ₃) ₂	5,32 – 1,14	2,88; 2,18; 1,78
Kvarcs	SiO ₂	4,25 – 0,98	4,25; 3,34; 1,81
Ortoklazs	K[AlSi ₃ O ₈]	6,62 – 1,88	4,22; 3,77; 3,31
Anortīts	Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]	6,49 – 1,79	3,20; 3,17; 3,12

Secinājumi

1. Gaismas lauka viļņu un kristāliskā lauka savstarpējās iedarbības rezultātā radītajās sekās – gaismas laušanas koeficienta telpiskajā sadalījumā ir notikusi simetrijas kārtas paaugstināšanās.
2. Visu kategoriju kristālu gaismas laušanas koeficientu virsmu simetrija ir augstāka par attiecīgo kristālu iekšējās uzbūves simetriju.
3. Augstākās kategorijas kristālu gaismas laušanas koeficientu virsma atbilst lodes simetrijai, vidējās kategorijas – rotācijas jeb divas elipsoīda simetrijai un zemākās kategorijas – trīs elipsoīda simetrijai.
4. Kristālu gaismas laušanas koeficientu virsmu simetrija nepakļaujas Universālam simetrijas principam.

Literatūra

1. R.E.Newnham. Properties of materials. Oxford University Press, 2005, 378 pp.
2. В.Татарский. Кристаллооптика и иммерсионный метод. Москва, Недра, 1965, 306 с.
3. Г.Попов, И.Шафрановский. Кристаллография. Москва, Высш.школа, 1972, 352 с.
4. C.Giacovazzo, H.L.Monaco etc. Fundamentals of Crystallography. Oxford University Press, 2002, 825 pp.
5. Л.Берри, Б.Мейсон, Р.Дитрих. Минералогия. Москва, Мир, 1987, 592 с.
6. W.D. Nesse Introduction to Mineralogy. Oxford University Press, 2000, 442 pp.
7. X-ray Powder Diffraction File – 4+ 2007.

U.Sedmalis, I.Šperberga, G.Sedmale. Gaismas izplatīšanās ātruma un laušanas koeficienta izmaiņu likumsakarības minerālu kristālos.

Rakstā no simetrijas viedokļa analizēta un pamatota gaismas viļņa izplatīšanās ātruma un gaismas laušanas koeficienta izmaiņu likumsakarības gaismas laukam (gaismai) iedarbojoties ar kristālisko lauku (kristālu). Konstatēts, ka gaismas viļņiem (cēlonim) iedarbojoties ar kristālisko lauku, to radītājās sekās notiek gaismas laušanas koeficienta telpiskā sadalījuma simetrijas kārtas paaugstināšanās attiecībā pret kristāliskā lauka (kristāla) simetriju. Visu kategoriju kristālu gaismas laušanas koeficientu telpiskā sadalījuma virsmas simetrija ir augstāka par attiecīgā kristāla struktūras simetriju. Kristālu gaismas laušanas koeficientu virsmu simetrija nepakļaujas universālajam P.Kirī simetrijas principam, t.i. sekās saglabājas tikai tie simetrijas elementi, kas kopīgi abiem fizikāliem laukiem, kas savstarpēji iedarbojas.

Sedmalis U., Šperberga I., Sedmale G. Regularities of the changes of light diffusion rate and refraction coefficient in mineral crystals.

Changes in light diffusion rate and refraction coefficient are analysed and based on symmetry viewpoint in this article. Acting with light waves (cause) on the crystalline field it is taking place the rising of symmetry order of light refraction coefficient concerning symmetry of crystalline field (crystal). Symmetry of light refraction coefficients for all crystals are higher than symmetry of corresponding crystal structure. Symmetry of light diffusion coefficients of crystals don't comply with P.Curie universal principle of symmetry.

Седмалис У., Шперберга И., Седмале Г. Закономерности изменений распространений скорости света и показателей светопереломления в кристаллах минералов.

Статья посвящена, с точки зрения симметрии поверхности показателей светопереломления кристалла, анализу и обоснованию изменений закономерностей происходящих при взаимодействии светового поля (световых волн) с кристаллическом полем (кристаллом). Установлено, что при взаимодействии светового поля с кристаллом, происходит повышение симметрии поверхности распределения показателя светопереломления кристалла по отношению собственной внутренней симметрии кристалла. Симметрия поверхности показателей светопереломления для кристаллов всех категорий всегда выше чем внутренняя симметрия кристалла. Симметрия поверхности показателей светопереломления кристаллов не подчиняется универсальному принципу П.Кюри, согласно которого в следствиях сохраняются только те элементы симметрии, которые являются общими для обеих взаимодействующих полей.