

WO'ZBEKSTAN RESPUBLIKASI' JOQARI' HA'M ORTA
ARNAWLI' BILIM MINISTRLIGI

BERDAQ ATI'NDAG'I' QARAQALPAQ MA'MLEKETLIK
UNIVERSITETI

Qol jazba huqi'qi'nda

UDK 537,226 : 548,248

Gulbadan Azatovna Seytimbetova

Qorg'asi'n wortovanadati' kristallari'ndag'i'
fazali'q wo'tiwlerdi difrakciyalig' izertlew

5A140204 – Kondensaciyalang'an wortali'qlar fizikasi' ha'm materialtani'w
qa'nigeli boyi'nsha magistr da'rejesin ali'w ushi'n jazi'lg'an dissertaciya

MAK da jaqlawg'a ruxsat:

Magistratura

bo'limi basli'g'i'

Kafedra basli'g'i'

Ilimiy basshi'

docent A.Gulimov

fizika-matematika ilimlerinin'

kandidati' J.Akimova

professor B.A.Abdikamalov

No'kis-2013

Mazmunı

Kirisiw	2
I bap. Segnetoelastikler fizikas1 qattı deneler fizikasının' jan'a bo'limi sıpatında.	4
1-§. Segnetoelastikler ha'm olardın' tiykarg'1 fizikalıq qa'siyetleri.	4
2-§. Segnetoelastik kristallardın' tiykarg'1 qa'siyetleri menen olarg'a strukturalıq defektlerdin' ta'siri.	13
3-§. Segnetoelastiklerdin' tiykarg'1 qa'siyetleri.	19
4-§. Organikalıq emes taza segnetoelastiklerdin' atomlıq-kristallıq strukturasının' o'zgeshelikleri.	25
II bap. Eksperimentler o'tkeriw metodikas1.	30
5-§. Kristallıq denelerdegi domenler arasındag'1 transformatsiyalardı mu'yeshlik skannerlew usılı menen izertlew.	30
6-§. Kristallıqpa'njerenin' xarakteristikalarınanıqlaw. Aylanıw (terbeliw) usılı.	34
7-§. Rentgen goniometrin strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi baqlaw ushın paydalanıw.	41
III bap. Qorg'asın ortovanadatı kristallarındag'1 $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwdi ha'm strukturalıq domenler sistemasının' transformatsiyaların difraktsiyalıq izertlew.	43
8-§. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının' ha'r qıylı fazaların' atomlıq-kristallıq strukturası.	43
9-§. Aldın-ala o'tkerilgen optikalıq baqlawlardın' juwmaqları.	52
10-§. Joqarı temperaturalıq rentgendifraktsiyalıq izertlewler.	54
11-§. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'1 strukturalıq fazalıq o'tiwdi kristalgeometriyalıq tallaw.	63
12-§. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'I bag'ıtlang'an mexanikalıq ta'sirlerdegi substrukturanın' o'zgerisleri.	71
Magistrlik dissertatsiya boyınsha ulıwmalıq juwmaqlar.	73
Paydalanılǵ'an a'debiyatlar dizimi.	75

Kirisiw

Jumıstın’ aktuallıg’ı Ha’zirgi waqıtta qattı qa’tlamg’a iye kristall strukturalardag’ı fazalıq o’tiwlerdi izertlew din’ en’ bir kop taralg’an tu’ri difraktsiyalıq izertlew usılı bolıp tabıladı. Usı maqsete qattı denelerdin’ klasikalıq ma’seseı bolg’an strukturalıq fazalıq o’tiw probleması sheshiw eksperimentatorlardın’ ha’m teoriyalıq izertlewlerdin’ en’ bir a’hiymetli ha’m aktual ma’seseı bolıp tabıladı. Sonlıqtanda usı magistrlik dissertatsiya jumısında menshikli emes qorg’asın ortovanadatı $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag’ı segnetoelastiklik fazalıq o’tiwler menen bag’ıtlang’an mexanikalıq kernewdin’ ta’sirinde strukturalıq domenler arasındag’ı transformatsiyalardı rentgenografiyalıq ha’m optikalıq izertlewge arnalg’an ilimiy jumıs alıp barıldı.

İzzertlew obekti. Bul jumısta izzertlew obekti sıpatında menshikli emes qorg’asın ortovanadatı $Pb_3(VO_4)_2$ kristalı alındı.

İzzertlew predmeti. Menshikli emes qorg’asın ortovanadatı $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag’ı segnetoelastiklik fazalıq o’tiwler menen bag’ıtlang’an mexanikalıq kernewdin’ ta’sirinde strukturalıq domenler arasındag’ı transformatsiyalardı rentgenografiyalıq ha’m optikalıq izertlew.

İzzertlew din’ metodikası ha’m usılları. Rentgen topograması, mu’yeshli skanerlew usılı

İzzertlew din’ ilimiy jan’alığ’ı.

1. Qorg’asın ortovanadatı $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının’ atomlıq-kristallıq strukturası ha’m segnetoelastiklik qa’siyetleri u’yrenilgen.

2. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarında 120 – 80⁰S temperaturalar intervalında ju’retug’ın

$\gamma \rightleftharpoons \beta$ fazalıq o’tiwlerdi ha’m strukturalıq domenler sistemasının’

transformatsiyaların difraktsiyalıq izertlewlerde fazalıq o’tiwlerdin’ kinematikası, kristallgeometriyası, kristaldın’ tariyxının’ fazalıq o’tiwlerge ta’siri anıqlandı.

Problemanın' izertleniw da'rejesi. Son'g'ı waqıtları qattı deneler fizikasının' klassikalıq ma'selelerinin' biri bolg'an strukturalıq fazalıq o'tiw problemaların sheshiwde u'lken jetiskenliklerge erisildi. Bul jag'day segnetoelastiklik kristallardı u'yreniwge qızıg'ıwdın' joqarılawına alıp keldi ha'msegnetoelastiklerdi u'yreniw segnetoelektriklerdi izertlewde ta'biyiy tu'rdegi dawam etiliwine aylandı. Na'tiyjede strukturalıq fazalıq o'tiwler teoriyasında qa'liplesken teoriyalıq esaplawlar menen eksperimentallıq usıllardıń paydalanılıwı u'lken pa'nler menen rawajlana basladı. Kristallıq denelerdin' strukturasının' o'zgeshelikleri menen olardıń qa'siyetleri arasındag'ı fundamentallıq baylanıslardı tu'siniw tek u'lken ilimiy qızıg'ıwshılıqtı payda etip g'ana qoymay, al bir qatar jag'daylarda a'meliy paydalanıw barısında joqarı effektivlikke iye isshi elementlerdin' parametrlerin optimizatsiyalawg'a mu'mkinshilik beredi.

Jumıstın' maqseti ha'm wazıypaları. Magistrlik dissetatsiya jumısının' tiykarg'ı maqseti qorg'asın ortovanadatı $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristalın difraktsiyalıq izertlew bolıp esaplanadı. Joqarıdag'ı qoyılǵ'an maqsetke erisiw ushın, to'mendegi wazıypalar orınlanıwı kerek;

1. Segnetoelastik kristallardıń du'zilisin, olardıń fizikalıq qa'siyetlerin ha'm sırtkı ta'sirdin' na'tiyjesinde strukturalarının' o'zgerislerin u'yreniw.
2. Domenler arasındag'ı transformatsiyalardı mu'yeshlik skanerlew arqalı u'yreniw.
3. $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı bag'ıtlang'an mexanikalıq ta'sirlerdegi substrukturanın' o'zgerislerin u'yreniw.

Jumıstın' du'zilisi ha'm quramı. Dissertatsiya u'sh baptan turadı, a'debiy sholiw, eksperiment metodikası, tiykarg'ı bo'lim.

Orınlang'an jumıstın' tiykarg'ı na'tiyjesi. Qorg'asın ortovanadatı $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' atomlıq-kristallıq strukturası ha'm segnetoelastiklik qa'siyetlerinin' o'zgeshelikleri u'yrenilgen.

I bap. Segnetoelastikler fizikasi qattı deneler fizikasının' jan'a bo'limi sıpatında

1-§. Segnetoelastikler ha'm olardın' tiykarg'ı fizikalıq qa'siyetleri

Fundamentallıq qattı deneler fizikasının' da, a'meliy qattı deneler fizikasının' da ko'z-qarasları boyınsha en' joqarı perspektivag'a zatlardı ekstremallıq jag'daylarda izertlew bolıp tabıladı degen tastıyıqlaw ko'pshilikke belgili ha'm fizik izertlewshilerdin' ken' ja'ma'a'tshiligi ta'repinen moyınlang'an. A'dette ekstremal jag'daylar degende asa to'men temperaturalar, asa joqarı basımlardı, asa ku'shli maydanlardı ha'm sol sıyaqlı jag'daylardı tu'sinedi. Biraq strukturalıq fazalıq o'tiwler a'tirapında qattı denelerdin' ekstremallıq jag'daylarda – olardın' strukturalarının' ekstremallıq tu'rdegi ornıqlı ha'm turaqlı (stabilli) emes hallarda turatug'ınlıg'ın umıtpaw kerek. Bunday jag'daylarda olardın' ko'pshilik fizikalıq qa'siyetlerinin' anomaliyaları ju'zege keledi.

Strukturalıq fazalıq o'tiwler problemaların' qattı deneler fizikasının' da'stu'rge aylang'an ko'p sanlı a'hmiyetli problemaları menen qabatlasıp ketedi. Bunday problemalar qatarına kooperativlik qubılıslardı (sonın' ishinde asa o'tkizgishlik, pa'njere dinamikası ha'm tag'ı sol sıyaqlı qubılıslar) kirgiziwge boladı. Son'g'ı jılları ha'r qıylı strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' bir birine jaqın ekenligin itibarg'a alına basladı. Bul jag'day strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi izertlegende ulıwmalıq jaqınlasıwlardı ha'm ulıwmalıq izertlewlerdi jemisli tu'rde paydalanıwg'a mu'mkinshilik beredi. Sonın' menen bir qatarda bul jag'daylar ko'p sanlı jan'a teoriyalıq ha'm eksperimentallıq ma'selelerdin' payda bolıwına alıp kelmekte. Usı ayılğ'anlar menen bir qatarda strukturalıq fazalıq o'tiwler a'tirapındag'ı fizikalıq shamalardın' ekstremallıg'ı menen kristallardın' ko'plegen qa'syielерinin' sıızıqlı emes ekenligi ele de belgisiz bolg'an jan'a effektlерdin' ashılıwına, usıg'an sa'ykes a'meliy jaqtan bul ma'selelerdin' a'hmiyetinin' so'zsiz joqarılawına alıp keledi.

Joqarıda ga'p etilgen jag'daylardın' barlıg'ı da jaqında g'ana qa'lipksen strukturalıq fazalıq o'tiwler problemaların fundamentallıq ha'm a'meliy qattı deneler fizikasının' oraylıq orınlarına alıp keldi.

Strukturalıq fazalıq o'tiwler problemaların' qa'liplesiwinde Yaponiyalı fizik Ayzu ta'repinen (Keitsiro Aizu, Hitashi Central Research Laboratory, Kokubunzi, Tokyo, Japan) kirgizilgen segnetoelastikler kontseptsiyası u'lken orındı iyeledi [1]. Bir ta'repten bul kontseptsiya strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' (segnetoelektriklik fazalıq o'tiwlerden metallar menen quymalardag'ı martensintlik fazalıq o'tiwlerge shekem) ha'r qıylı tiplerinin' ulıwmalıq ekenligin sa'wlendirdi. Ekinshi ta'repten segnetoelastiklerdin' qa'syietleri makro ha'm mikro qa'ddilerde bir qatar o'zlerine ta'n o'zgesheliklerge iye bolatug'ınlıg'ı ko'rindi. Sonlıqtan strukturalıq fazalıq o'tiwler orın alatug'ın kristallardın' en' ko'p sanlı klassı bolg'an segnetoelastiklerdin' o'z aldına u'yreniliwinin' a'hmiyeti ayqın tu'rde ko'rinedi.

Segnetoelastik terminin anıqlag'anda salmaq orayın segnetoelastiklik faza termininin' anıqlamasına qaray alıp keliw kerek. Sebebi segnetoelastik tek paraelektriklik (yag'nıy en' joqarı temperaturadag'ı ha'm sog'an sa'ykes en' joqarı simmetriyag'a iye baslang'ısh) fazag'a iye bolıp qoymay, onın' barlıq to'mengi simmetriyag'a iye fazaları so'zsiz segnetoelastiklik faza bolıp tabıladı. Bunday jag'dayda segnetoelastik dep bir yamasa bir neshe segnetoelastiklik fazası bolg'an kristalg'a aytamız.

Segnetoelastiklik faza ushın ha'r qıylı, biraq ma'nisi boyınsha bir birine ekvivalent bolg'an anıqlamalardı beriw mu'mkin. Mısalı bul faza kristall domenlerge (dvoyniklerge) bo'lingen faza bolıp, olardın' en' keminde bir bo'limi bazı bir ulıwmalıq koordinatalar sistemasında ha'r qıylı spontan deformatsiyag'a iye boladı (domenlerdin' menshikli koordinatalar sistemalarında olardın' spontan deformatsiyaların' birdey bolatug'ınlıg'ın atap o'temiz). Biraq bul fazag'a basqasha da anıqlama bere alamız. Mısalı usı fazag'a o'tkende kristaldın' jıllılıq o'tkizgishlik tenzorında jan'a qurawshılar payda boladı yamasa bar bolg'an qurawshılar arasındagı ten'lik jog'aladı (bul o'zgerisler spontan defarmatsiyanı ta'riyipleydi). a'ne bir anıqlamag'a itibar beremiz. Bul anıqlama boyınsha bul faza

ha'r qıylı orientatsiyalıq hallarda turıp, bir orientatsiyalıq haldan ekinshi orientatsiyalıq xalg'a o'tiw sa'ykes tu'rde bag'ıtlang'an sırtqı mexanikalıq kernewdin' ta'sirinde a'melge asırıladı.

A'dette segnetoelastikler haqqında ga'p etkende olardın' segnetofazaların na'zerde tutadı.

Segnetoelastiklik ha'm basqa da strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' ulıwmalıq belgileri. Struktura radikallıq o'zgerislerge ushıraytug'ın, sonın' menen birge atomlardın' u'lken awısıwları menen ju'retug'ın rekonstruktivlik strukturalıq fazalıq o'tiwlerden distorsiyalıq strukturalıq fazalıq o'tiwler [2] (bunday strukturalıq fazalıq o'tiwler qatarına segnetoelastiklik fazalıq o'tiwler de kiredi) to'mendegidey ulıwmalıq belgileri boyınsha xarakterlenedi (bunday ulıwmalıq belgiler da'slep segnetoelektriklik [3-4], keyinirek ferromagnitlik fazalıq o'tiwler [5] ushın tabılǵ'an edi)

1. O'tiw parametri bar (o'tiw parametrinin' agregat haldın' o'zgeriwi menen ju'zege keletug'ın fazalıq o'tiwlerde emes, al kristaldın' simmetriyasının' o'zgeriwi menen ju'zege keletug'ın fazalıq o'tiwlerde orın alatug'ınlıǵ'ın atap o'temiz).

2. Segnetofazanın' simmetriyasının' noqatlıq gruppası G_f barlıq waqıtta da baslang'ısh fazanın' noqatlıq G_i gruppasının' podgruppası bolıp tabıladı, yag'nıy

$$G_f \in G_i.$$

3. Fazalıq o'tiwde pa'njerenin' mayısıwı ha'm atomlardın' awısıwları elementar qutıshanın' parametrlerine salıstırǵ'anda kishi, al to'mengi simmetriyag'a iye strukturanı alıw ushın printsipinde baslang'ısh fazanın' strukturasın u'zliksiz tu'rde mayıstırıw kerek.

4. Fazalıq o'tiwidin' birinshi a'wlad yamasa ekinshi a'wlad fazalıq o'tiwi bolıwına qaramastan onı termodinamikalıq potentsialdı Landau boyınsha jayıw arqalı ta'riyiplewge boladı.

5. Eger kristalda bir neshe segnetofaza bolatug'ın bolsa, onda olar arasındag'ı gruppalıq g'a'rezlilikdin' orın almawı mu'mkin, biraq olardın' barlıg'ı da G_i parafazanın' podgruppaları bolıp tabıladı.

6. Strukturalıq fazalıq o'tiwidin' na'tiyjesinde transformatsiyalıq dvoynikler payda boladı (biz qarap atırg'an jag'dayda segnetoelastiklik domenler). Olardın' pa'njereleri parafazanın' pa'njeresi menen oriantatsiyalıq qatnasqa iye boladı.

7. Sa'ykes sırtkı ku'shlerdin' ta'sirinde domenler bir birine o'tedi.

8. Strukturalıq fazalıq o'tiwidin' saldarınan jog'alg'an simmetriya elementleri domenlerdin' dvoynikleniw elementlerine aylanadı.

9. İdeallıq polidomenlik kristall baslang'ısh fazanın' noqatlıq simmetriyasına sa'ykes keletug'ın psevdosimmetriyag'a iye boladı.

10. Strukturalıq fazalıq o'tiwidin' saldarınan kristallardın' modifikatsiyasın o'zgertiwge qa'biletligi payda boladı (spontan deformatsiya ξ_s te usınday qa'biletlikdin' biri bolıp tabıladı) ha'm kristaldın' ha'r kıylı qa'siyetlerinin' anomaliyaları baqlanadı¹.

Ulıwmalıq belgilerdin' sanı joqarıda atalıp o'tilgen ulıwmalıq belgiler sanı menensheklenbeydi. Ha'r ta'repleme o'tkerilgen izertlewlerdin' na'tiyjelerinde basqa da ulıwmalıq belgilerdin' tabılıwı mu'mkin.

Segnetoelastiklerdin' kristallofizikalıq klassifikatsiyası. Biz strukturalıq fazalıq o'tiwler boyınsha en' iri qa'nigelerdin' biri L.A.Shuvalov ta'repinen berilgen segnetoelastiklerdin' klassifikatsiyasın qabıl etemiz [6].

Eger ferromagnitlik qa'siyetlerdi esapqa almasaq, onda fazalıq o'tiwlerdin' mikroskopiyalıq ta'biyatınan g'a'rezsiz segnetoelastiklerdin' kristallofizikalıq klassifikatsiyası ushın to'mendegi sxema en' a'piwayı sxema bolıp tabıladı:

Segnetoelastikler-segnetoelektrikler		Taza segnetoelastikler	
Toliq emes segnetoelastikler	Toliq segnetoelastikler	Orayliq simmetriyag'a iye emes	Orayliq simmetriyag'a iye

Eger bul sxemani segnetoelektriklerdin' kristallofizikalıq klassifikatsiyası menen salıstıratug'ın bolsaq [4,7], onda segnetoelastiklerdin' qatarına tek bir ko'sherli kollinearlıq segnetoelektriklerdin' (taza segnetoelektriklerdin') kirmeytug'ınlıg'ın an'sat ko'riwge boladı (bunday segnetoelektriklerde domenlerdin' pa'njereleri kollinearlı).

Barlıq ko'p ko'sherdi kollinearlıq segnetoelektrikler tolıq emes segnetoelastikler bolıp tabıladı (mısalı bariy titanatı BaTiO_3 , $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ha'm basqalar). Bunday jag'dayda 180 graduslıq segnetoelektriklik domenler segnetoelastiklik domenler bolıp tabılmaytug'ınlıg'ı anıq. Al segnetoelastiklik domenler 180 graduslıq emes domenler bolıp tabıladı. Tek ferromagnitlik 180 graduslıq segnetoelastiklik domenler bolıp tabılmaytug'ınlıg'ın atap o'temiz. Sonlıqtan ko'p ko'sherli Fe ha'm Ni ferromagnetiklerin tolıq emes segnetoelastikler tipine jatqarıwǵa boladı, al bir ko'sherli ferromagnetik Co pu'tkilley segnetoelastik emes.

Qa'legen kollinear emes segnetoelektrikler tolıq segnetoelastikler bolıp tabıladı. Bunday segnetoelektriklerde ha'r qıylı bolg'an barlıq segnetoelektriklik domenlerdin' pa'njereleri kollinear emes. Bunday segnetoelektrikler qatarına segnet duzı, KH_2PO_4 , gadoliniy molibdatı GMO , boratsitler, piroelektriklik parafazag'a iye KJO_3 ha'm basqa da kristallar kiredi. Bunday jag'dayda barlıq segnetoelektriklik domenler segnetoelastiklik domenler bolıp tabıladı. Basqa so'z benen aytqanda tolıq segnetoelastiklerde spontan polyarizatsiya P_s te, spontan deformatsiya ξ_s shaması da baslang'ısh G_i fazanın'birdey bolg'an vektorlıq predstavlenieleri boyınsha tu'rlendiriledi.

Taza segnetoelastikler segnetoelektriklik qa'siyetlerge iye bolmaydı. Biraq olar baslang'ish fazada da, segnetoelastiklik fazada da pezoelektriklik qa'siyetlerge iye bola aladı. Bunday jag'dayda olar oraylıq simmetriyag'a iye bolmaydı (mısal retinde ADP kristalların keltiriwge boladı). Bunday bolmag'an jag'daylarda olar eki fazada da oraylıq simmetriyag'a iye boladı.

Joqarıda keltirilgen klassifikatsiyanı ja'ne de dawam etiwge boladı. Usının' na'tiyjesinde segnetoelektriklerdi domenlerdin' tegis ha'm u'sh o'lsheмли sistemaların' tu'rlerine qarap tolıq segnetoelastikler ha'm taza segnetoelastikler dep bo'liw mu'mkin. Bul tu'rlerdin' bir qatar qa'siyetleri ha'r qıylı boladı.

Joqarıda keltirgen klassifikatsiyalıq sxemanı ekige ko'beytiw mu'mkin ekenligi anıq. Sebebi ha'r bir bag'anag'a menshikli ha'm menshikli emes fazalıq o'tiwler tuwrı keledi.

Biz bul bo'limnin' aqırında qarap o'tilgen segnetoelastiklerdin' klassifikatsiyasının' shın ma'nisinde segnetoelastiklik fazalardın' klassifikatsiyaları ekenligin atap o'temiz.

Segnetoelastiklerdin' kristallografiyası. Strukturalıq fazalıq o'tiwlerde simmetriyanın' o'zgeriwi printsiptiallıq orındı iyeleytug'ın bolg'anlıqtan domenlik strukturanın' geometriyası menen modifikatsiyasının' o'zgeriwine baylanıslı qa'siyetlerdin' payda bolıwı olardı izertlegende a'hmiyetli orınlardı iyeleydi. Segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdin' tiykarg'ı kristallografiyalıq xarakteristikaları sıpatında (bunday xarakteristikalar segnetoelektriklik fazalıq o'tiwlerdin' de tiykarg'ı kristallografiyalıq xarakteristikaları bolıp tabıladı) baslang'ish ha'm segnetofazalardın' noqatlıq simmetriyaları G_i menen G_f , spontan deformatsiya ξ_s (ha'm onın' baslang'ish fazanın' ko'sherlerindeki orientatsiyaları), domenlik strukturanın' geometriyalıq nızamlıqları ha'm modifikatsiya o'zgergende payda bolatug'ın qa'siyetlerdin' jıynag'ı xızmet etedi.

Al taza segnetoelastiklik fazalıq o'tiwler jag'dayında qa'legen eki xarakteristikanı bilıw kerek boladı. Bul eki xarakteristika boyınsha qalg'an barlıq xarakteristikalar anıqlanadı.

Mısal keltiremiz. Baslang'ısh fazanın' G_i noqatlıq simmetriyasın ha'm menshikli simmetriyası ∞/mm bolg'an spontan deformatsiya tenzorının' orientatsiyasın bilip kristallofizikalıq Kyuri printsipinin' ja'rdeminde G_i noqatlıq toparın tabıw mu'mkin (bul jag'dayda jılıw deformatsiyasın ko'sherlerdin' bag'ıtın 45° qa o'zgertiw menen boylıq deformatsiya menen almastıramız). Kyuri printsipin izbe-iz paydalanıp taza segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdin' barlıq 52 tu'rin an'sat tu'rde alıwg'a boladı (tap usınday jumıs segnetoelektrikler ushın da orınlang'an edi [3,4]).

G_i noqatlıq toparın G_f boyınsha ha'm domenlik strukturanın' geometriyası boyınsha anıqlawdı [11] de tabıwg'a boladı.

Ha'r qıylı segnetoelastiklik domenlerdin' sanın segnetoelektriklerdegi sıyaqlı G_i ha'm G_f toparlarının' ta'rtiplerinin' (poryadki grupp) qatnası sıpatında tabıwg'a boladı [3,4]. Bunday jag'dayda taza segnetoelastiklerde eki domen arasındag'ı shegara sıpatında barlıq waqıtta da o'z-ara perpendikulyar domenlik diywallardın' payda bolıwı mu'mkin.

Endi segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdi basqa da strukturalıq fazalıq o'tiwlerden (mısalı antisegetoelektriklik) eksperimentlerde ajırata alıw kriteriyleri menen tanısamız. Eger domenlerdin' ha'r qıylı ta'replerge qaray burılıwının' olardın' o'zi menen birge optikalıq indikatrısalarnın' burılıwına alıp keletug'ınlıg'ın esapqa alsaq (tenzorlardın' birdey simmetriyag'a iye ekenligine sa'ykes) ha'm segnetoelastiklik fazanın' anıqlamasın eske tu'siretug'ın bolsaq, onda segnetoelastiklik fazanın' jetkilikli kriteriyi domenlerdin' polyarizatsiyalıq jaqtılıq nurındag'ı ha'r qıylı so'niwleri boyınsha optikalıq baqlanatug'ınlıg'ı bolıp tabıladı. Bunday jag'dayda sırtqı mexanikalıq ta'sirde domenlerdin' so'zsiz bir birine aylanıwı talabı artıq talapqa aylanıp, tek koertsitivlik mexanikalıq kernew σ_s tin' kristaldın' bekkemligine qatnasın xarakterleydi. Kristallooptika ha'm optikalıq mineralogiya boyınsha spravoshniklerde ha'r qıylı kristallardag'ı optikalıq jaqtan bir birinen ayrılatus'ın dvoyniklerdin' bar ekenligi haqqındag'ı ko'p sanlı mag'lıwmatlar bar. Bul mag'lıwmatlar jan'a segnetoelastiklerdi tabıw ushın jaqsı tiykar bolıp tabıladı.

Colay etip polyarizatsiyalang'an jaqtılıqtag'ı domenlerdin' bir birinen optikalıq ayırmashılıg'ı ha'm domenlik strukturanın' baqlanatug'ınıg'ı segnetoelastikalıq kristallardin' isenimli eksperimentallıq kriteriyi bolıp tabıladı. Hakiyqatında da domenlik strukturası polyarizatsiyalıq mikroskopta baqlanatug'ın barlıq belgili kristallar ($BaTiO_3$, KH_2PO_4 , $Gd_2(MoO_4)_3$, $KH_3(SeO_3)_2$ ha'm basqalar) segnetoelastikler bolıp tabıladı. Usının' menen bir qatarda domenlik strukturasın polyarizatsiyalıq mikroskopta ajıratıwg'a bolmaytug'ın kristallar ($SbSJ$, triglitsinsulfat) segnetoelastiklik qa'siyetlerge iye bolmaydı.

O'tiwlerdin'

52

tu'rinesa'ykesfazalıq o'tiwlerdegi kristaldın' noqatlıq simmetriyasının' o'zgeriwide [1] tazasegnetoelastiklik fazanın' jetkilikli ha'm za'man'lik kriteriyi bolıp xızmet etedi. Basqa so'z benen aytqanda fazalıq o'tiwde noqatlıq simmetriyanın' o'zgerisi tek spontan deformatsiya menen baylanıslı bolsa ha'm to'mengi simmetriyalı faza polyarlıq bolmasa, onda biz taza segnetoelastiklik fazag'a iye bolamız.

Antisegnetoelektriklik fazalıq o'tiwlerde noqatlıq simmetriyanın' o'zgeriwin Kyuri printsipinin' ja'rdeminde tapqanda segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdegi qollanılatug'ın ta'sirdin' ∞ / mm simmetriyasın qollanatug'ınıg'ın esapqa alsaq ha'm tek ken'isliklik simmetriyanın' o'zgerisleri menen ju'retug'ın antisegnetoelektriklerdi biykar etsek [12], onda qalg'an barlıq antisegnetoelektriklik fazalıq o'tiwlerdin' barlıg'ı da taza segnetoelastiklik fazalıq o'tiwler bolıp tabıladı. Basqa so'z benen aytqanda fazalıq o'tiwdegi noqatlıq simmetriyanın' o'zgeriwi boyınsha segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdi antisegnetoelektriklik fazalıq o'tiwlerden ayırıwg'a bolmaydı.

Segnetoelastiklik fazalardag'ı asa strukturanın' payda bolıwın rentgenografiyalıq usıllar menen tabıw onın' menshikli emes xarakterge iye ekenligin birden ko'rsetedi. Usının' menen bir qatarda menshikli ha'm menshikli emes segnetoelastiklerde $\xi_s(T)$ g'a rezliginin' xarakteri {menschikli segnetoelastiklerde $\xi_s^2(T) \sim (T_c - T)$ nızamının' orın alatug'ınıg'ın atap o'temiz [13]} ha'm $\xi_s(T)$ shamasına juwap beretug'ın serpimli qattılıq koeffitsientinin'

temperaturalıq g'a'rezligi boyınsha bir birinen ajratıwǵ'a boladı {menshikli segnetoelastiklerde temperatura joqarı temperaturalar ta'repten T_c g'a jaqınlasqanda onın' shaması Kyuri-Veyss nızamı boyınsha nolge umtıladı [14]}. Al menshikli emes segnetoelastiklerde bolsa onın' anomalıyası o'tiw parametrinin' termodinamikalıq potentsialdı qatarg'a jayǵ'andag'ı ξ_s shamasına sa'ykes keliwshi deformatsiya menen baylanısın ta'riplewshi ag'zanın' tu'rinen g'a'rezli boladı [15].

Endi segnetoelastikler fizikasındag'ı bazı bir aktuallıq мәselelerdi atap o'temiz [6].

Segnetoelastikler-segnetoelektrikler taza segnetoelastiklerge salıstırǵ'anda jetkilikli da'rejede ken' izertlenilgen. Usı jag'dayǵ'a baylanıslı segnetoelektrikler, antisegetoelektrikler ha'm segnetoelastikler boyınsha Jer ju'zindegi en' iriqa'nigelerdin' biri L.A.Shuvalov ta'repinen 1979-jılı belgilengen ma'selelerdi atap o'temiz ha'm bul ma'selelerdin' usı ku'nlerge shekem (2012-jılǵ'a shekem) akutallıǵ'ın jog'altpag'anlıǵ'ın atap o'temiz.

1. Ha'r qıylı tiptegi segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdegi kritikalıq jag'daylar, flukuatsiyalar menen strukturalıq defektlerdin' tutqan ornı.

2. Menshikli ha'm menshikli emes strukturalıq fazalıq o'tiwler a'tirapındag'ı fizikalıq qa'siyetlerdin' anomalıyaları.

3. Segnetoelastiklik ha'm martensitlik fazalıq o'tiwler arasındag'ı qatnas.

4. Mexanikalıq dvoynikler menen segnetoelastiklik domenler arasındag'ı qatnaslar.

5. O'siw dvoynikleri menen segnetoelastiklik domenler arasındag'ı qatnaslar.

6. Segnetoelastiklik tiptegi pa'njerelik ornıqsızlıq ha'm asa o'tkizgishlik.

7. Segnetoelastiklerdegi formanı este saqlaw effekti.

8. Domenlik strukturası ha'r qıylı bolǵ'an segnetoelastiklerdegi domenlerdin' bir birine aylanıwının' dinamikası menen kinetikası.

9. Ha'r qıylı tiptegi domenlik diywallar ha'm olardın' kristallardag'ı strukturalıq defektler menen ta'sirlesiwı.

10. Kritikalıq oblasttag'ı segnetoelastiklik domenler.
11. Ha'r qıylı parametrlerge juwap beretug'ın domenlerdin' bir biri menen ta'sirlesiwı. Orientatsiyalıq ha'm antifazalıq domenler.
12. Segnetoelastiklerdi paydalanıwdın' perspektivalıq bag'darları.

2-§. Segnetoelastik kristallardın' tiykarg'ı qa'siyetleri menen olarg'a strukturalıq defektlerdin' ta'siri

Segnetoelastik kristallarg'a (olardı segnetoelastikler dep te ataydı) endi mınaday anıqlamanı beriwge boladı: segnetoelastikler kristallıq qattı denelerdin' ayırıqsha klassı bolıp, bunday kristallıq denelerde strukturalıq fazalıq o'tiwde joqarı simmetriyag'a iye paraelastiklik fazadan to'menirek simmetriyag'a iye segnetoelastiklik fazag'a o'tkende kristallıq pa'njerenin' spontan tu'rdegi (o'zi-o'zinen) deformatsiyası orın aladı. Bunday deformatsiya belgili bir temperaturalıq intervalda orın aladı. Sonın' menen birge kristalg'a sırttan mexanikalıq kernew tu'sirip spontan deformatsiyanın' bag'ıtın qarama-qarsı bag'ıtqa o'tgertiw mu'mkin.

Kristallıq deneler o'zlerinin' fizikalıq qa'siyetlerinin' (mexanikalıq, elektrlik, magnitlik, optikalıq ha'm basqalar) anizotroplıg'ı menen kristallıq emes denelerden ayırılardı. Fizikalıq qa'siyetlerdin' anizotropiyası olardıń kristallıq pa'njerelerinin' simmetriyası menen baylanıslı. Matematikalıq jaqtan anizotropiyalıq qa'siyetti bazı bir kvadratlıq matritsanın' (tenzordın') ja'rdeminde ko'rsetedi. Bul matritsa ha'r qıylı bag'ıtlar ushın kaday da bir qa'siyettin' qurawshılarının' tolıqjıynag'ın o'z ishine tolıq qamtıp aladı. Matritsanın' (tenzordın') qurawshılarının' indekslerinin' sanı tenzordın' rangin anıqlaydı. Kristallıq denelerdin' fizikalıq qa'siyetleri nollik rangadan to'rtinshi rangalı tenzorlar menen ta'riyiplenedi. Mısalı, birinshi rangalı tenzordın' ja'rdeiminde (vektordın' ja'rdeminde) piroelektrlik effektı, ekinshi rangalı tenzordın' ja'rdeminde jıllılıq o'tkizgishlikti, u'shinshi rangalı tenzordın' ja'rdeminde

pezelektrik effektti, al to'rtinshi rangalı tenzordın' ja'rdeminde kristallardıń serpimli qa'siyetlerin ta'riyiplew mu'mkin.

Ko'pshilik qattı denelerdin' serpimli qa'siyetleri jetkilikli da'rejedegi kishi mexanikalıq kernewlerde ulıwmalasqan Guk nızamına bag'ınadı. Bul nızam σ_{ik} kernew menen ξ_{lm} deformatsiyanı sıızıqlı tu'rde baylanıstıradı

$$\sigma_{ik} = c_{iklm} \xi_{lm}. \quad (2.1)$$

Bul an'latpada c_{iklm} arqalı serpimli qattılıqlar tenzorı belgilengen. Geypara jag'daydarda Guk nızamın bılayınsha da jazadı:

$$\xi_{ik} = s_{iklm} \sigma_{lm}. \quad (2.2)$$

Bul an'latpada s_{iklm} arqalı serpimli berilgishlik tenzorı belgilengen. $c_{iklm} = \frac{1}{s_{iklm}}$ ekenligi belgili. c_{iklm} ha'm s_{iklm} tenzorları indekslerdin' ha'r bir jubındag'ı indekslerdin' orınların almasırtıp qoyıw ha'm indeksler jupların' orınların almasırtıp qoyıwg'a qarata simmetriyalı.

To'mengi simmetriyag'a iye kristallar ushın serpimli qa'siyetlerdi tolıq ta'riyiplew ushın ha'r qıylı bag'ıtlardıg'ı ko'p sanlı serpimli qattılıq ha'm serpimli berilgishlik koeffitsientlerin biliw talap etiledi. Mısalı tsink kristalları ushın olardıń sanı 5, al triglitsinsulfat kristallı ushın 13. A'lbeste, ξ_{ik} deformatsiya da kristaldın' sırtqı ta'sirge bergen reaktsiyası sıpatında kristaldın' simmetriyası menen sırtqı ta'sirdin' bag'ınına sa'ykesko'p sanlı qurawshılarg'a iye bolıwı kerek.

Eger kristaldın' tek temperaturası o'zgeretug'ın bolsa, onda biz bag'ıtlanbag'an ta'sir menen jumıs alıp baramız. Sonlıqtan payda bolg'an deformatsiya (bunday deformatsiyanı jıllılıq ken'eyiwi dep ataymız) bir tekli bolıp, ol kristaldın' simmetriyanın o'zgertpewi kerek. Segnetoelastiklik kristallardagı spontan deformatsiya da temperatura o'zgergende ju'zege keledi (strukturalıq fazalıq o'tiw

noqatınan kishi temperaturalarg'a salqınlatıw). Biraq bul jerde jıllılıq ken'eyiwinen pu'tkilley basqa jag'day orın aladı. Strukturalıq fazalıq o'tiwidin' na'tiyjesinde joqarı temperaturalı fazada qadag'an etilgen deformatsiyanın' jan'a qurawshısı sha'rtli tu'rde payda boladı. Usı deformatsiya strukturalıq fazalıq o'tiwidin' jan'a tu'ri bolg'an segnetoelastiklik fazalıq o'tiwge alıp keledi[6].

Taza segnetoelastiklerdi basqa segnetoelastiklerden ayırıp ko'rsetiwge tuwrı keledi. Bunday segnetoelastikler tek segnetoelastiklik qa'siyetlerge iye boladı (segnetoelektriklik yamasa ferromegnitlik qa'siyeterge iye emes). Bunlay segnetoelastikler menen bir qatarda aralas (kombinatsiyalang'an) segnetoelastikler de bar. Bunday segnetoelastik kristallar bir waqıtta segnetoelastiklik ha'm segnetoelektriklik yamasa segnetoelastiklik ha'm ferromagnetiklik qa'siyetlerge iye boladı. Taza segnetoelastikler qatarına qorg'asın ortovanadatı $Pb_3(PO_4)_2$, kaliy trigidroseleniti $KH_3(SeO_3)_2$ ha'm basqa da kristallar kiredi. Aralas (kombinatsiyalang'an) segnetoelastikler qatarına bariy titanatı, gadoliniy molibdatı $Gd_2(MoO_4)_3$, kaliy digidroforsfatı ha'm basqa da kristallar kiredi. Segnetoelektriklik yamasa ferromagnetiklik kristallardıń barlıg'ı da segnetoelastik bolıp tabılmasa da ha'zirgi waqıtları segnetoelastiklik kristallardıń klassı tolıq anıqlang'an. Segnetoelastikler strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi basınan keshiretug'ın kristallardıń en' ko'p sanlı klassı bolıp tabıladı. Segnetoelektrikler sıyaqlı segnetoelastikler de bir ko'sherli yamasa ko'p ko'sherli bolıwı mu'mkin. Bir ko'sherli segnetoelastiklerde spontan deformatsiya kristaldın' tek bir ko'sheri bag'ıtında (eger bunday deformatsiya boylıq ξ qurawshısı bolıp tabılatug'ın bolsa) yamasa deformatsiyanın' jıljıw qurawshısı kristaldın' ko'sherlerinin' birinin' do'gereginde ju'zege kelgende orın aladı (kaliy trigidroseleniti, gadoliniy molibdatı). Ko'p ko'sherli segnetoelastiklerde jag'day pu'tkilley basqasha (mısalı qorg'ası ortofosfatı, bariy titanatı ha'm basqalar).

Tek spontan deformatsiyanın' ju'zege keliwi menen orın alatug'ın strukturalıq fazalıq o'tiw mu'mkinshiliginin' bar ekeligine 1960-jılı Moskvalı fizik V.L.İndebom itibar berdi. Biraq tek 1969-jılı g'ana joqarıda atı keltirigen yaponiyalı fizik K.Aizu (K.Aizu)qattı deneler fizikasına "segnetoelastik" terminin

kirgizdi (ingliz tilindegi ilimiy a'debiyatta "ferroelastik" , yag'nıy "Ferroelestricity") ha'm ol o'z jumısında [1] segnetoelastiklik fazalıq o'tiwdi ayırım tu'rde qarawdın' za'ru'rligin ko'rsetti. Segnetoelastiklerdi ayırıqsha klass sıpatında ayırıp ko'rsetiw ha'r qıylı tiptegi strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' ulıwmalıqlıg'ın atap ko'rsetedi. Bunday strukturalıq fazalıq o'tiwlerge ferromagnitlik [16], segnetoelektriklik [17], martensitlik [18] fazalıq o'tiwler arasındag'ı ulıwmalıqtın' bar ekenligin ayqın tu'rde ko'rsettiKo'p uzamay segnetoelastiklerdin' mikroskopiyalıq ha'm makroskopiyalıq qa'ddilerde bir birine usamaytug'ın ko'p sanlı qa'siyetlerge iye bolatug'ınlıg'ı anıq boldı. Sonlıqtan segnetoelastiklerdi o'z aldına izertlewın' maqsetke muwapıq keletug'ınlıg'ı ha'zirgi waqıtları gu'man tuwdırmaydı. Segnetoelastikler fizikası ha'zirgi waqıttag'ı kondensatsiyalang'an ortalıqlar fizikasının' jedel tu'rde rawajlanıp baratırğ'an tarawlarının' biri bolıp tabıladı.

Segnetoelastiklik ha'm basqa da strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' ulıwmalıq belgileri. Qattı denelerde bolıp o'tetug'ın ko'p tiptegi fazalıq o'tiwler ishinde (elektronlıq, magnitlik, izomorflıq ha'm basqa da fazalıq o'tiwler) kristaldın' strukturası menen simmetriyası o'zgeretug'ın fazalıq o'tiwler ko'p ushırasadı. O'z gezeginde kristallardag'ı strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi iri eki toparg'a bo'ledi. Birinshi toparg'a atomlar u'lken aralıqlarg'a jıljıytug'ın ha'm sonın' na'tiyjesinde struktura tu'pkilikli tu'rde o'zgeriske ushıraytug'ınrekonstruktivlik fazalıq o'tiwler kiredi. Ekinshi toparg'a distorsionlıq fazalıq o'tiwler kirip, bul jag'dayda atomlardın' u'lken emes qashıqlıqlarg'a (elementar qutıshanın' o'lsheplerinen a'dewir kishi aralıqlarg'a) jıljıwı orın aladı. Bunday fazalıq o'tiwler baslang'ısh strukturanın' u'lken emes shamalarg'a mayısıwı menen ju'redi ha'm olardı ta'riyiplew ushın o'tiw parametri dep atalatug'ın parametrdi paydalanadı

O'tiw parametri joqarı simmetriyag'a iye fazada joq ha'm strukturalıq fazalıq o'tiwın' saldarınan to'mengi simmetriyalı fazada payda bolatug'ın bazı bir fizikalıq shama bolıp tabıladı. Onın' payda bolıwı kristallardın' ko'p sanlı jan'a fizikalıq qa'siyetlerinin'payda bolıwına, kristaldın' fazalıq o'tiw barısındag'ı o'zgerislerin anıqlaydı ha'm fazalıq o'tiwde kristaldın' simmetriyasının'

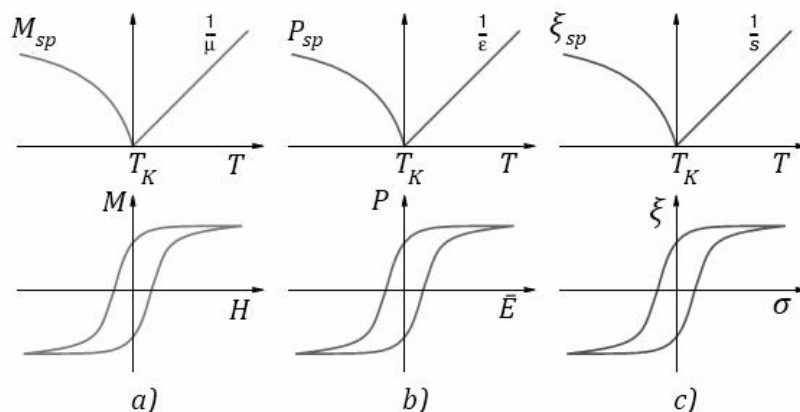
o'zgeriwin toliq ta'riyipleydi. Fazalıq o'tiw din' parametrii sıpatında ko'pshilik jag'daylarda fizikalıq eksperimentlerde an'sat o'lshenetug'ın makroskopiyalıq shama alınadı. Bunday shama retinde elektr polyarizatsiyası P nı, magnitleniw M di, deformatsiya ξ di ha'm basqa da fizikalıq shamalardı alıw mu'mkin.

Strukturalıq fazalıq o'tiw noqatı a'tirapında kristaldın' derlik barlıq fizikalıq qa'siyetleri (dielektriklik, serpimli, elektrooptikalıq, pezoelektrik ha'm basqa da) a'dettegidey emes, al anomal tu'rde o'zgerislerge ushıraydı (sekirmeli o'zgeredi, maksimum yamasa minimum arkalı o'tedi ja'ne basqalar). Mısalı eger o'tiw parametri polyarizatsiya vektorının' qurawshısı bolıp tabılaturug'ın bolsa (bul segnetoelektriklik fazalıq o'tiw bolıp tabıladı), onda fazalıq o'tiw noqatında (bunday noqattı Kyuri noqatı dep ataymız ha'm T_K yamasa T_c arqalı belgileymiz) dielektriklik sin'irgishlik ε , al o'tiw parametri magnitleniw vektorı bolıp tabılaturug'ın bolsa (ferromagnitlik fazalıq o'tiw), onda magnitlik sin'irgishlik μ , al o'tiw parametri ξ deformatsiya bolıp tabılaturug'ın bolsa, onda serpimli berilgishlik koeffitsienti s o'zgeriske ushıraydı.

A'dette strukturalıq fazalıq o'tiw din' saldarınan spontan tu'rde payda bolaturug'ın P , M , ξ shamaları sa'ykes elektr maydanı E ni, magnit maydanı H tı yamasa mexanikalıq kernew σ nı tsikllı tu'rde o'zgertkende gisterezis penen o'zgeredi. $P(E)$, $M(H)$ ha'm $\xi(\sigma)$ gisterezislik iymekleri spontan polyarizatsiya, magnitlengenlik vektorlarınin' bag'ıtlarının', boylıq yamasa jılıw deformatsiyalarınin' belgilerinin' keri bag'ıtqa qaray o'zgeretug'ınlıg'ı yamasa sırttan tu'sirilgen E , H , yamasa σ ta'sirleri astında belgili bir mu'yeshke burılaturug'ınlıg'ınan derek beredi. Bunday kristallardı segnetoelektrikler, ferromagnetikler ha'm segnetoelastikler dep ataytug'ındıg'ı ko'pshilikke ma'lim.

1-su'wrette segnetoelektriklerdin', ferromagnetiklerdin' ha'm segnetoelastiklerdin' ta'biyatlarınin' ha'r qıylı bolıwınan baylanıssız olardı tiykarg'ı xarakterli magnitlik (a), elektrlik (b) ha'm mexanikalıq (s) qa'siyetlirinin' birdey o'zgerisleri baylanıstıratug'ınlıg'ın ko'rsetedi. Bul kristallardın' atamalarındag'ı "ferro" qosımtası olardın' barlıg'ı ushın ulıwmalıq ferroiklar

atamasın berdi. Solay etip segnetoelektrikler menen ferromagnetikler sıyaqlı segnetoelastikler ferroidlıq kristallarg'a yamasa ferroiklarga kiredi eken. Segnetoelastiklerdi segnetoelektrikler menen ferromagnetiklerdin' mexanikalıq analogı bolıp tabıladı dep aytıwg'a boladı.



1-su'wret. M_{sp} spontan magnitlengenliktin', P_{sp} spontan polarizatsiyanın', ξ_{sp} spontan deformatsiyanın', μ magnit sin'irgishliktin', ϵ dielektriklik sin'irgishliktin' ha'm s serpimli berilgishliktin' keri ma'nislerinin' temperaturadan g'a'rezligi, ferromagnetik (a), segnetoelektrik (b) ha'm segnetoelastik (s) ushın $M(H)$, $P(E)$, $\xi(\sigma)$ gisterezis qurılıqları.

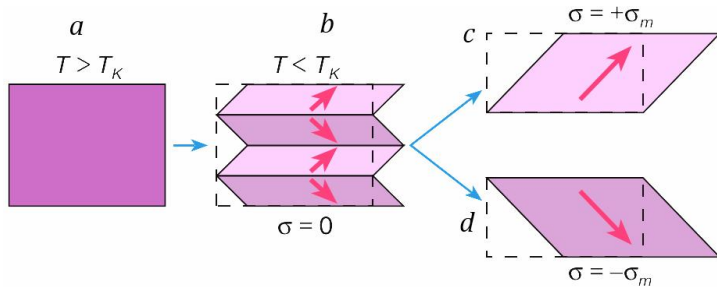
Segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdin' tiykargı o'zgeshelikleri joqarıda atap o'tildi. Eksperimentallıq izertlewler joqarıda atap o'tilgen fazalıq o'tiwlerdin' ulıwmalıq belgilerdin' segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerge de, segnetoelektriklik ha'm ferromagnitlik fazalıq o'tiwlerge de ta'n ekenligin ko'rsetedi.

Segnetoelastiklerdin' strukturalıq tipleri ha'm semeystvoları. Jan'a segnetoelastikler haqqındag'ı ilimiy mag'lıwmatlar jıldan jıl'g'a ko'beymekte. Ha'zirgi ku'nleri taza segnetoelastikler qatarına kiretug'ın 200 den aslambirikpeler belgili. Olardın' barlıg'ı da kristallıq strukturasının' belgili bir tiplerine kiriwshi 20 semeystvog'a kiredi. Strukturalıq tiptin' ataması semeystvodag'ı birinshi ashıl'g'an birikpenin' strukturalıq tipinin' atamasına sa'ykes keledi (perovskitler, fresnoitler, elpasolitler, tsianidler ha'm basqalar). Bul jerde biz ha'zirgi ku'nleri belgili bolg'an segnetoelastiklerdin' semeystvolarının' barlıg'ın atap o'tken joqpız. Jan'a

segnetoelastiklerdin' sanı ha'm segnetoelastiklik fazalıq o'tiwlerdin' ju'zege kelgen tu'rlerinin' sanının' tez o'setug'inlıg'ına gu'ma'n joq.

3-§. Segnetoelastiklerdin' tiykarg'ı qa'siyetleri

Domenlik struktura. Temperatura to'menlegende parafazadan segnetoelastiklik fazag'a fazalıq o'tiw noqatında (yag'nıy T_K Kyuri noqatında) mexanikalıq erkin halda (yag'nıy sırttan mexanikalıq kernewler tu'sirilmegen jag'dayda) turg'an segnetoelastik segnetoelastiklik domenler dep atalatug'ın domenlerge bo'linedi. Usının' na'tiyjesinde ha'r bir domendegi deformatsiyalardın' belgilerin esapqa alg'anda u'lginin' deformatsiyalarının' summası nolge ten' boladı. Bul jag'daydın' ta'biyy ekenligin atap o'temiz. Sebebi salqınlatıw (yag'nıy temperaturanın' bir tekli to'menlewi) skalyar ta'sir bolıp tabıladı. Al Kyuri printsiپی boyınsha skalyar ta'sirkristaldın' simmetriyasın o'zgertpewi kerek. Segnetoelastiklik fazalıq o'tiwdin' na'tiyjesinde kristallıq pa'njerenin' simmetriyası so'zsiz o'zgeredi. Biraq domenlerge bo'lingen kristaldın' makrosimmetriyası parafazanın' atomlıq-kristallıq strukturasının' simetriyasınday boladı. Demek kristall fazalıq o'tiw noqatında domenlerge bo'linip o'zinin' joqarı temperaturadag'ı fazasının' simmetriyasın saqlaydı degen so'z. Bul jag'daydı kristaldın' joqarıg'ı temperaturadag'ı strukturasının' este saqlaw effekti dep ataydı [19]. Domenler bir birinen spontan deformatsiyanın' bag'ıtı boyınsha ayrılatug'ın spontan deformatsiyanın' turaqlı ma'nisine iye oblastları bolıp tabıladı. Bunday jag'dayda kristaldın' domnelerge bo'liniwi kristaldın' serpimli energiyasının' sminimumına saykes keledi. Bul jag'day sxema tu'rinde 2-su'wrette keltirigen. Biraq strukturalıq o'zgerislerdin' haqıyqıy jag'dayda bunday ideallıq sxema boyınsha ju'rmeytug'inlıg'ı bul dissertatsiyada ko'rsetiledi.



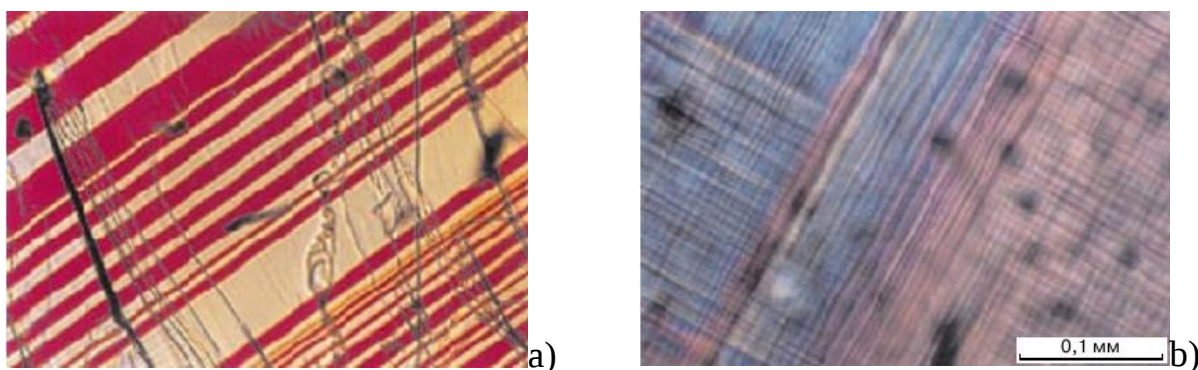
2-su'wret. Segнетоelasticlik
kristaldag'ı domenlik
strukturanın' payda bolıwının'
(a, b) ha'm qayta qurılıwının'
(perestroykasının') sxemalıq
su'wreti (b-s menen b-d
su'wretler).

Kristalg'a belgili bir bag'ıttag'ı sırtqı mexanikalıq kernew tu'sirilgende ayırım domenlerdegi belgili bir orientatsiyalıq halg'a sa'ykes keliwshi spontan deformatsiyalardıń bag'ıtlarının' o'zgeriwi mu'mkin (bul qubılıstı a'dette reorientatsiya dep ataydı). Kernewdin' shaması jetkilikli da'rejede u'lken bolg'anda kristal monodomenli kristalg'a aylanadı, al onın' summalıq (qosındı) deformatsiyası toyınıw da'rejesine jetedi.

Segнетоelasticlerdin' domenlerge bo'liniwinin' sebepleri usı ku'nlerge shekem tolıq tu'sinikli emes. Bul jerde segnetoelektrikler ha'm ferromagnetikler menen bolg'an analogiya ku'shke iye emes. Ma'sele sonnan ibarat, segнетоelasticlerde depolyarizatsiyalawshı yamasa magnitsizlendiriwshi maydannın' analogı joq ha'm sonlıqtan domenlerge bo'liniwge alıp keliwshi energetikalıq stimul da joq. Mexanikalıq kernewlerdin' bir tekli maydanında erkin kristal ushın (qısılmag'an kristal ushın) monodomenlik hal ten' salmaqlıq hal bolıp tabıladı. A.L.Roytburd ta'repinen usınılg'an gipoteza boyınsha segнетоelasticlerde depolyarizatsiyalawshı (polyarizatsiyalang'an kristaldın' polyarizatsiyasın joq etiwshi) maydannın' ornın Kyuri noqatı arqalı o'tkende payda bolatug'ın ha'm u'lken aralıqlarg'a tarqalatug'ın ishki bir tekli emes kernewler iyeleydi[20]. Eger T_K noqatınan to'mengi temperaturalarda kristal ha'r qıylı menshikli deformatsiyalang'an domenlerge bo'lingen bolsa, onda bunday ishki kernewlerdin' ma'nisi a'dewir kishi boladı. Domenlerdin' belgili bir qalın'lıg'ı ushın uzaqtın ta'sir etetug'ın serpimli kernewler jog'aladı, yag'nıy kristaldın' domenlerge bo'liniwi energetikalıq jaqtan utımlı boladı.

Segnetoelastik kristallardag'ı domenlerdin' geometriyası pu'tkilley ha'r qıylı. Haqıyqıy segnetoelastiklik kristaldın' domenlik strukturası onın' defektlerinin' ta'biyatı menen tarqalıw xarakterine, sonın' menen birge kristallıq u'lginin' geometriyası menen tariyxına baylanıslı. Domenlerdin' ha'r qıylı tiplerinin' salı, olardın' spontan deformatsiyasının' bir birine salıstırğ'andag'ı bag'ıtları kristaldın' simmetriyasınan g'a'rezli. Mısalı qorg'asın ortofosfatı $Pb_3(PO_4)_2$ kristalında domenlerdin' u'sh tipi bolıp, olar domenlik shegaralardın' eki tu'ri menen ayrılğ'an [21, 22].

Eger segnetoelastik aralas segnetoelastik bolsa (yag'nıy segnetoelektrik bolıp ta tabılaturğ'ın bolsa), onda segnetoelastiklik domenler arasındag'ı shegara segnetoelektriklik domenlerdi bir birinen bo'lip turg'an shegara da bolıp tabıladı. Usının' menen birge kristal bir ko'sherli segnetoelektrik bolıp tabılaturğ'ın bolsa (bunday jag'dayda spontan polyarizatsiya P_{sp} kristaldın' tek bir ko'sheri bag'ıtında payda boladı ha'm bunday kristallar qatarına gadolinıy molibdatı, segnet duzı ha'm basqa da kristallar kiredi), onda segnetoelastiklik domenler menen segnetoelektriklik domenler bir birine sa'ykes keledi. Ko'p ko'sherli segnetoelektriklerde (bunday segnetoelektriklerde P_{sp} birdey itimallıq penen kristaldın' bir neshe ko'sherlerinin' bag'ıtında payda boladı, bunday segnetoelektrik kristallar qatarına bariy titanatı, natriy trigidroseleniti ha'm sog'an usag'an kristallar kiredi) ha'r bir segnetoelastiklik domennin' ishinde segnetoelektriklik domenlik strukturanın' bar bolıwı mu'mkin. Bunday aralas segnetoelastiklerdi tolıq emes segnetoelastikler-segnetoelektrikler dep ataydı. Qon'sılas segnetoelastiklik domenler polyarizatsiyalang'an jaqtılıqta bir birinen ayrıladı, al segnetoelektriklik substruktura bir birinen ayrılmaydı. Barlıq ko'p ko'sherdi segnetoelektriklerdin' so'zsiz segnetoelastikler bolıp tabılaturğ'ınlıg'ın atap o'temiz. Usınday aralas segnetoelastiklerdin' segnetoelastiklik domenlik shegaraları segnetoelektriklik shegaralar da bolıp tabıladı.

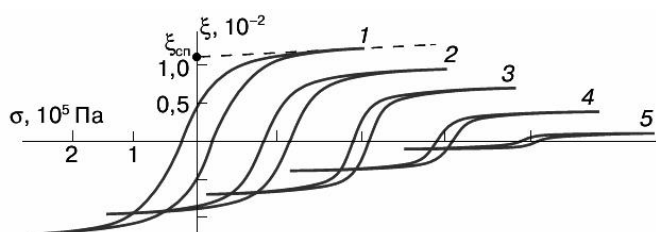


3-su'wret. Bariy titanatı (a) ha'm segnet duzı(b) kristallarındag'ı domenlik strukturanın' polyarizatsiyalang'an jaqtılıqtag'ı su'wretleri.

Domenlerdin' bir birine transformatsiyalanıwı. Domenler bir orientatsiyalıq haldan ekinshi orientatsiyalıq halg'a belgili bir shamag'a ha'm bag'ıtqa iye mexanikalıq kernewlerdin' ta'sirinde o'te aladı (transformatsiyalanadı). Sırtqı mexanikalıq kernewler maydanında domenler energetikalıq jaqtan bir birine ekvivalent emes bolıp qaladı: sırtqı kernewga salıstırğ'anda qolaylıraq bag'ıtlang'an domenlerqolaysız jaylasqan domenlerdin' esabınan o'sedi (u'lkeyedi). Sırtqı kernewdin' berilgen ma'nisine sa'ykes jan'a domenlik struktura payda boladı. Sırtqı kernewdin' bazı bir ma'nisinde kristall monodomenlik halg'a o'tedi. Bul jag'dayda kristal tutası menen bir domennenturadı, al domenlik shegaralar (yag'nıy domenler arasındagı shegaralar) jog'aladı. Sırtqı kernewler maydanındag'ı domenlik strukturanın' evolyutsiyası mexanikalıq kernewler ta'sirindegi segnetoelastiklerdin' deformatsiyasının' o'zgerislerinin' tiykarında jatadı. Sırtqı maydanlardag'ı domenlik strukturanın' payda bolıwının' kinetikasi domenlik shegaralardın' jılıg'ıshlıg'ı ha'm jan'a domenlerdin' tuwılıwı protsessleri menen baylanıslı. Solay etip bir domennin' ekinshi tu'rli domenlerge transformatsiyası jan'a sına yamasa linza ta'rizli domenlerdin' payda bolıwı, sol domenlerdin' bunnan bılay o'siwi ha'm regulyarlıq tegis yamasa zigzag ta'rizli domenlik shegaralardın' jılıwı arqalı ju'zege keledi degen so'z.

Domenlik shegaralardın' kristallıq pa'njerenin' da'wirli maydanı, kristaldın' defektleri menen bir teklikliktin' buzılıwları, sonın' menen birge basqa da domenlik shegaralar menen ta'sirlesiwı su'ykelistin' payda bolıwına alıp keledi. Na'tiyjede

domenlik shegaralardın' jılıwı su'ykelis penen a'melge asadı. Bunday su'ykelis sırttan tu'sirilgen kernewler tsikllı tu'rde o'zgergende domenlik strukturanın' qaytımsızlıg'ının' payda bolıwına alıp keledi. ξ deformatsiyanın' mexanikalıq kernew σ nın' shamasınan g'a'rezligi sıızıqlı emes ha'm gisterezis qurıg'ı tu'rine iye. Bul jag'day 4-su'wrette keltirilgen. $\xi(\sigma)$ gisterezis qurıg'ının' forması temperaturadan, sırtqı maydannın' jiyiliginen, u'lgidegi qosımtalardın' ha'm materialdag'ı strukturalıq defektlerdin' mug'darınang'a'rezli [23].



4-su'wret. Kyuri noqatında ($T_K = 211$ K) jaqınlasqandag'ı $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$ kristallarındag'ı segnetoelastiklik gisterezis kurıg'ının' temperaturalıq evolyutsiyası: 1 – 93, 2 – 173, 3 – 198, 4 – 208 ha'm 5 – 210 K.

Gisterezis qurıg'ı boyınsha spontan deformatsiyanın' shaması ξ_{sp} nın' ha'm koertsitivlik kernew σ_k nın' ma'nislerin (kernewdin' usınday ma'nislerinde bir domennin' ekinshi domenge transformatsiyası ha'm ξ_{sp} nın' belgisinin' o'zgeriwi menen ju'retug'in polidomenli kristaldın' monodomen kristalg'a aylanıwı ju'zege keledi) tabıw mu'mkin. Segnetoelastikler ushın u'lken ma'niske iye $\xi_{sp} = 10^{-3} - 10^{-1}$ lar xarakterli. σ_k nın' ma'nislerine keletug'in bolsaq, onda jumsaq kristallar ushın (elastikalıq jaqtan jumsaq materiallar ushın) onın' ma'nisi 10^5 shamasınan qattı materiallarda (elastikalıq jaqtan qattı materiallar ushın) 10^8 shamasına shekem o'zgeredi. Bunday qattı materiallar gisterezis qurıg'ının' ken'ligi menen xarakterlenedi.

Tiykarg'ı qa'siyetlerdin' temperaturadan g'a'rezligi. 4-su'wrette temperatura o'zgergende ha'm Kyuri noqatına jaqınlag'anda $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$ kristalları ushın aling'an gisterezis qurıg'ının' qalayınsha o'zgeretug'ınlıg'ı ko'rsetilgen. Bul su'wrette segnetoelastikti qızdırg'anda spontan deformatsiya ξ_{sp} nın' shaması boyınsha kishireytetug'ınlıg'ı ha'm segnetoelastikalıq fazadan parafazag'a o'tiw temperaturasında pu'tkilley jog'alatug'ınlıg'ı anıq ko'rinip tur. Ha'r qıylı segnetoelastiklerde T_K nın' ma'nisi ken' intervalda o'zgeredi (kelesi paragraftı qaran'ız). ξ_{sp} shamasının' ma'nisi fazalıq o'tiw oblastında temperaturag'a ku'shli baylanıslı boladı ha'm fazalıq o'tiw noqatında sekirmeli tu'rde (mısalı BaTiO_3 kristallarındag'ı birinshi a'wlad fazalıq o'tiwi) yamasa u'zliksiz o'zgeredi (mısalı kaliy trigidroseleniti kristallarındag'ı ekinshi a'wlad fazalıq o'tiwi). Ekinshi a'wlad fazalıq o'tiwinde ξ_{sp} shamasının' temperaturadan g'a'rezligi T_K temperaturasınan kishi temperaturalarda

$$\xi_{\text{sp}} = \sqrt{\frac{\alpha_0(T_K - T)}{\beta}}$$

an'latpasının' ja'rdeminde anıqlanadı. Bul an'latpada α_0 menen β arqalı turaqlı koeffitsientler belgilengen. T_K arqalı Kyuri temperaturası belgilengen.

T_K dan joqarı ha'm to'men temperaturada ku'shlik temperaturalıq g'a'rezlik serpimli berilgishlik koeffitsienti s ushın da, segnetoelastiktin' basqa da konstantaları ushın da baqlanadı. Kyuri noqatına jaqınlag'anda serpimli berilgishlik s tin' ma'nisi keskin tu'rde u'lkeyedi. Ko'pshilik segnetoelastiklerde serpimli berilgishlik koeffitsientinin' ma'nisi $T > T_K$ oblastında Kyuri-Veyss nazamına bag'ınadı:

$$s = s_{\infty} + \frac{C_w}{T - T_K}.$$

Bul an'latpada s_{∞} arqalı T_K noqatınan alıs temperaturalardag'ı serpimli berilgishlik koeffitsientinin' anomallıq emes bo'limi, c_w arqalı Kyuri-Veyss konstantası, T_K arqalı Kyuri temperaturası belgilengen.

Kyuri-Veyss nazamın tekserip ko'riw ushın a'dette $1/s - s_{\infty}$ keri berilgishliktin' $T - T_K$ ayırmasınan g'a'rezliginin' grafigin quradı. Bul grafikte joqarıdag'ı formulag'a sa'ykes tuwrı sızıqtın' alınıwı kerek.

Mexanikalıq kernewler ta'sir etkende domenlik shegaralardın' jılıwının' esabınan u'lginin' deformatsiyasının' u'lken o'zgerislerge ushırawı sonodomenli segnetoelastiktin' serpimli berilgishlik koeffitsienti s tin' u'lken ma'niske iye bolıwına alıp keledi. Kristaldın' beti menen defektlerinde domenlik shegaralar qanshama a'zzi bekitilgen bolsa s tin' ma'nisi sonshama u'lken boladı. Sızıqlı emes mexanikalıq kristallar bolg'an segnetoelastiklerde s tin' ma'nisi sırttan tu'sirilgen mexanikalıq kernewlerdin' ma'nisleri menen ku'shli baylanıslı.

4-§. Organikalıq emes taza segnetoelastiklerdin' atomlıq-kristallıq strukturasının' o'zgeshelikleri

[24] avtorları belgili bolg'an taza segnetoelastiklerdin' kristalloximiyalıq analizin o'tkeriwge talping'an. Biz to'mende usı jumıs tiykarında kristallardın' bul gruppasının' an' ko'p sanlı wa'killerin qarap shıg'amız.

Segnetoelastiklerdi kristalloximiyalıq analizlew eki sebepten baylanıslı qıyın ma'selelerdin' biri bolıp tabıladı. birinshiden kristallardın' atomlıq-kristallıq strukturası haqqında usı waqıtlarg'a shekem tolıq mag'lıwmatlar joq. Ekinshiden segnetoelastiklerde polimorflıq fazalıq o'tiwlerdin' bar bolıwı da ma'seleni a'dewir quramalastıradı. Bul jag'day berilgen kristallardı belgili bir strukturalıq tipke jatqarıwdı belgili bir da'rejede qıyınlastıradı. Sonlıqtan strukturalıq tipti anıqlawdag'ı xarakterli faza sıpatında ulıwmalıq joqarı temperaturalı ideallıq faza yamasa kristallardın' berilgen semeystvosı ushın segnetoelastiklik fazalardın' biri qabil etildi. Strukturalıq tiptin' ataması tiykarınan internatsionallıq kestelerde

berilgen belgili mineraldın' atamasına sa'ykes keledi. Usınday jaqınlasıwda ha'r qıylı strukturalıq tipke kiriwshi taza segnetoelastiklerdin' 15 tipin ayırıp ko'rsetiwge boladı. Bul tiplerdin' barlıgı to'mende keltirilgen 1-sanlı kestede berilgen. Usının' menen birge taza segnetoelastiklik strukturalıq fazalıq o'tiwler basqa da kristallarda baqlandı. Olar o'zinshe semeystvolardın' en' baslawshıları (rodonashalnikleri) qatarına kiretug'in bolsa kerek.

1-sanlı kestede keltirilgen ha'r qıylı semeystvolarg'a kiriwshi taza segnetoelastiklerdi tolıq qarap shıqqanda olar arasında to'mendegidey bir qatar ulıwmalıq kristalloximiyalıq nızamlıqlardı tabıwg'a boladı:

Barlıq segnetoelastiklerde elastoaktiv dep atalatug'in atomlardın' grupparalın ayırıp ko'rsetiwge boladı. Olar kristallardın' segnetoelastiklik qa'siyetlerin anıqlap, o'zlerinin' orientatsiyaların (bag'ıtların) o'zgerte aladı, deformatsiyalanadı.

Elastoaktiv gruppag'a barlıq waqıtta anionlıq kompleksler de, kationlıq kompleksler de kiredi. Olar tiykarınan kristaldın' qurılısının' jaylasıwlarının' birliklerin anıqlaydı. Sonlıqtan bunday komplekslerdin' orientatsiyalarının' o'zgerisleri kristaldın' strukturasın ha'm onın' tutası menen alg'andag'ı simmetriyasın o'zgerte aladı.

Kristaldın' ken'isligindegi komplekslerdin' jaylasıwlarının' tipleri boyınsha segnetoelastiklerdin' biz karap shıqqan semeystvolarının' ko'pshiligi belgili bir kristalloximiyalıq klasslardı payda etedi. Olar 2-sanlı kestede berilgen.

1-sanlı keste. Taza segnetoelastikler semeystvoları

№	Semeystvonın' strukturalıq tipi (wa'kili)	Birikpeler
1	Kalomel tipi.	Hg_2Cl_2 , Hg_2Br_2 .
2	Quramalı tsianidler.	$\text{K}_2\text{Hg}(\text{CN})_4$, $\text{Rb}_2\text{Hg}(\text{CN})_4$.
3	Siltılı gidroselenidler.	$\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$, $\text{KD}_3(\text{SeO}_3)_2$.
4	Perovskit tipi.	LaAlO_3 , BrAlO_3 , NdAlO_3 , SrTiO_3 , KMnF_3 ,

		CsPbCl_3 , $\text{Cs}_2\text{NaBiCl}_6$, $\text{Cs}_2\text{NaNdCl}_6$, $\text{Cs}_2\text{NaPrCl}_6$.
5	Siyrek Jer pentafosfatları.	LaP_5O_4 , $\text{CeP}_5\text{O}_{14}$, $\text{PrP}_5\text{O}_{14}$, $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$, $\text{SmP}_5\text{O}_{14}$, $\text{EuP}_5\text{O}_{14}$, $\text{CdP}_5\text{O}_{14}$, $\text{TbP}_5\text{O}_{14}$.
6	Langbeynitler.	$\text{K}_2\text{Mn}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cd}_2(\text{SO}_4)_3$.
7	Fresnoitler.	$\text{Ba}_2\text{TiGe}_2\text{O}_8$, $\text{Ba}_2\text{TiGe}_{2-x}\text{Si}_x\text{O}_8$.
8	Palmieritler.	$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$, $\text{PbK}_2(\text{MoO}_4)_2$, $\text{PbRb}_2(\text{MoO}_4)_2$, $\text{PbCs}_2(\text{MoO}_4)_2$, $\text{PbK}_2(\text{WO}_4)_2$, $\text{PbRb}_2(\text{WO}_4)_2$.
9	Fergysonitler (sheelitler).	BiVO_4 , LaNiO_4 , NdNiO_4 , YNbO_4 , BiNbO_4 , BiTaO_4 .
10	$\text{Pb}_8\text{X}_2\text{O}_{13}$ quramına iye quramalı birikpeler ($\text{X} = \text{P}$, As , V).	$\text{Pb}_8\text{P}_2\text{O}_{13}$, $\text{Pb}_8\text{V}_2\text{O}_{13}$, $\text{Pb}_8\text{As}_2\text{O}_{13}$.
11	Qos trigonallıq molibdatlar ha'm volframatlar.	$\text{NaFe}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{NaSs}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{NaAl}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KFe}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KSs}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{RbIn}(\text{MoO}_4)_2$, $\text{KSs}(\text{WO}_4)_2$, $\text{KIn}(\text{WO}_4)_2$, $\text{RbIn}(\text{WO}_4)_2$.
12	$\text{M}_4\text{A}(\text{XO}_4)_3$ tipi.	$\text{K}_4\text{Zn}(\text{MoO}_4)_3$, $\text{Rb}_4\text{Zn}(\text{MoO}_4)_3$.
13	Teyloritler.	K_2CrO_4 , Rb_2CrO_4 , Cs_2CrO_4 .
14	Ditelluritler.	SrTe_2O_5 , CaTe_2O_5 , CdTe_2O_5 .
15	Tridimitler.	LiTlSO_4 , LiCsSO_4 .

**2-sanlı keste. Taza organikalıq emes segnetoelastiklerdin' kristalloximiyalıq
klassları**

Klass	Semeystvalar (wa'killer) (qatar salnarı 1-sanlı keste boyınsha berilgen)
-------	--

I. İzolyatsiyalarg'an anionlıq komplekslerge iye segnetoelastikler: a) a'piwayı (atawlıq yamasa "nol o'lsheмли") kompleksler – kristallardag'ı tetraedrlik kompleksler bir birinen izolyatsiyalang'an.	Palmiritler (8), fergyusonitler (9), teyloritler (13), tridimitler (15).
b) quramalı kompleksler, bul komplekslerde anionlıq kompleksler quramalıraq komplekslerdin' lizandaları xızmetin atqaradı, olardin' oraylıq atomları metall atomları bolıp tabıladı.	Lingbeynitler (6), quramalı tsianidler (2) – sızıqlı kompleksler.
s)izolyatsiyalang'an anionlıq gruppirovkalar bir biri menen birigip aralıq (perexodnoy) metaldın' atomının' poliedrin payda etedi, usının' saldarınan qatlamlıq struktura payda boladı.	Kos trigonallıq molibdatlar (11).
II. Anionlıq yamasa kationlıq komplekslerge iye segnetoelastikler, kompleksler bir biri menen to'beleri menen sheksiz sızıqlı fragmentlerge (shınjırlar, lentalar) yamasa eki o'lsheмли qatlamlarg'a baylanısqan.	Pentofosfatlar (5), fresnoitler (7), $M_4A(XO_4)_3$ (12), Sb_5O_7I , ditelluridlar (14).
III. Anionlıq komplekslerge iye segnetoelastikler, kompleksler bir biri menen sheksiz lentalg'a, shınjırlarg'a yamasa vodorodlıq baylanısqa iye qatlamlarg'a baylanısqan.	Trigidroselenitler (3), H_3BO_3 .
IV. Oktaedrlik anionlıq komplekslerge iye segnetoelastikler, kompleksler to'beleri arqalı baylanısıp u'sh o'lsheмли karkaslardı payda etedi.	Perovskitler, elposolitler (4).
V. İonlıq (molekulalıq) kristallar.	Kalomel semeystvosı (1).

Joqarıda keltirilgen kestelerden bizin' palmierit semeystvosına kiriwshi qorg'asın ortovanatı kristalların izertleytug'ınlıg'ımızdı esapqa alıp, onın' ha'm

palmierit semeystvosına kırıwshi basqa da segnetoelastiklerdin' kristallografiyalıq parametrlerin to'mendegi 3-sanlı keste tu'rinde beremiz.

3-sanlı keste. Palmierit semeystvosına kırıwshi
segnetoelastiklerdin'kristallografiyalıq xarakteristikaları

Quramı	T_K, K	Simmetriya-sının' ken'isliktegi toparı	Elementar qutishalardın' parametrleri, Å	A'debiyat
$Pd_3(PO_4)_2$	$T > 443$	$R\bar{3}m$	$a_g = 5,53; s_g = 20,30.$	
	$T < 443$	$C2/s$	$a=13,816; b = 5,692; s = 9,429;$ $\beta = 102,36^\circ.$	
	$T > 373$	$R\bar{3}m$	$a_g = 5,76; s_g = 20,368.$	
$Pb_3(VO_4)_2$	$273 < T < 373$	$P2_1/n$	$a = 7,515; b = 6,106; s = 9,283;$ $\beta = 111,86^\circ.$	
	$T < 273$	$P2_1$	$a = 15,042; b = 6,106; s = 18,586;$ $\beta = 11,83 (3)^\circ.$	
	$T > 543$	$R\bar{3}m$	$a_g = 5,749 (1); s_g = 20,556;$	
	$333 < T < 543$	$C2/s$	$a = 14,005; b = 5,828; s = 9,839(8); \beta = 103,05^\circ.$	
$Pb_3(AsO_4)_2$	$163 < T < 333$	$P2_1/n$	$a = 7,536; b = 6,029; s = 9,509;$ $\beta = 115,5^\circ.$	
	$T < 163$	-	-	

$\text{PbK}_2(\text{MoO}_4)_2$	$T > 453$	<i>R3m</i>	$a_g = 11,97; s_g = 41,95;$	
	$T < 453$	P2/m P2 Pm	$a = 10,377(6); b = 7,812(9);$ $s = 2 \times 5,993(8), \gamma = 115,88^\circ.$	

II bap. Eksperimentler o'tkeriw metodikasi

5-§. Kristallıq denelerdegi domenler arasındag'ı transformatsiyalardı mu'yeshlik skannerlew usılı menen izertlew

Monokristallıq u'lgilerdegi strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi izertlegende u'lgilerdin' substrukturasın ha'm onın' strukturalıq transformatsiyalardag'ı evolyutsiyasın u'yreniw u'lken qızıg'ıwshılıqtı payda etedi. Kristallıq pa'njerenin' defektlerin ha'm kristallıq u'lgilerdin' substrukturası haqqında sanlı ja'ne sapalıq informatsiyalardı alıwdın' en' effektivli usıllarının' biri rentgen topografiyası usılları bolıp tabıladı.

İlimiy a'debiyatta rentgen topogrammaların alıwdın' ko'p sanlı sxemaları belgili. Olardın'ishineGine-Tennevin [25],Shults [26], Fudjivara [27], Berga-Barretta [28, 29], Langa [30],Borman [31] ha'mbasqadausıllarken'nenbelgili. Olarbirbirineneksperimenttin'optikalıqgeometriyası, paydalanılğ'anrentgennurlarının'spektrallıqquramıha'mqollanılıwoblastlarımenenbirbirinenayrıladı.Strukturalıqfazalıqo'tiwlernenendomenlersistemasının'transformatsiyalarınu'yreniwushınrentgentopografiyalıqsxemanısaylapalg'andato'mendegid eytalaplardiesapqaalıwkerek:

a) izertlenetug'ın kristallıq u'lgige sırttan ha'r kıylı ta'sirlerdi (mısalı mexanikalıq yamasa elektrlik) tu'siriw ushın sxemada kristallıq u'lgı menen rentgen nurları deregi ha'm kristallıq u'lgı menen fotoplenka (yamasa registratsiyalawshı du'zilis) arasındag'ı qashıqlıqlar jetkilikli da'rejede u'lken bolıwı kerek;

b) kristaldin' substrukturasiyin' fragmentlerinin' kontrastı olardin' razorientirovkalarinan (fragmentlerdin' bir birine salıstırg'andag'ı burılıw mu'yeshinen) ku'shli g'a'rezli bolmawı kerek;

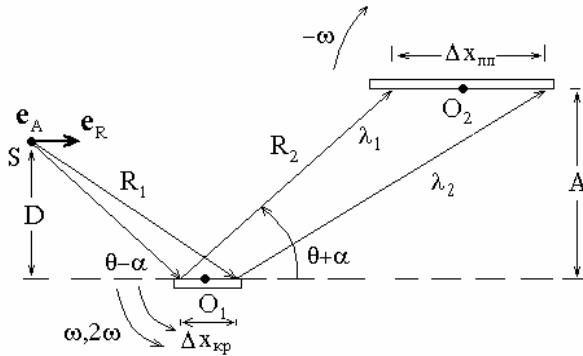
v) ha'r qıylı temperaturalarda paydalanıw mu'mkinshilishine iye bolıw ushın usıl jetkilikli da'rejede ekspressli bolıwı kerek (yag'nıy rentgen topografiyalıq su'wretti kishi waqıtlar aralıg'ında alıw mu'mkinshiligine iye bolıwımız kerek).

Usınday talaplarg'a birinshi ret [61] jumısta usınılg'an mu'yeshlik skannerlew usılı qanaatlandıradı. Bul usıl belgili polixromatlıq usıl bolg'an Shults usılınıń bazı bir analogı bolıp esaplanadı. Bul usıldı KH_2HO_4 kristallarındag'ı segnetoelektriklik fazalıq o'tiwdi izertlegende azot kriostatı URNT-180 di paydalanıp sınap ko'riwdin' na'tiyjesinde ha'r qıylı kristallardag'ı ha'r qıylı sıtrqı ta'sirlerde ju'zege keletug'ın strukturalıq fazalıq o'tiwler menen domenlik sistemalarının' transformatsiyaların izertlegendejaqsı na'tiyjelerdi beredi degen juwmaqqa alıp keldi.

Ekspresslik mu'yeshlik skannerlew usılınıń optikalıq o'zgeshelikleri V.V.Aristov ha'm E.V.Shulakovlar ta'repinen [32]-jumısta qarap shıg'ıldı. Usıl joqarı mu'yeshlik ajırata alıwshılıq qa'biletlikke iye, kristallardag'ı lokallıq kernewliushastkalar topogrammalarda kontrastı joqarı bolg'an ushastkalar tu'rinde sa'wlelenedi. Bul jag'day ekstinktsiya effekti menen baylanıslı bolıp, na'tiyjede strukturası jetilisken kristallardan alingan difraktsiyalıq maksimumlardın' integrallıq intensivligi tap sonday bolg'an, biraq ideal moziykalı kristallardan aling'an difraktsiyalıq maksimumlardın' integrallıq intensivliginen kem boladı. Bul faktler monokristallıq u'lgilerdegi yamasa a'piwayı polidomenlik strukturag'a iye kristallardag'ı strukturalıq o'zgerislerdi baqlag'anda u'lken a'hmiyetke iye boladı.

Mu'yeshlik skannerlew usılında (onın' optikalıq sxeması 5-su'wrette keltirilgen) noqatlıq S dereginen shıqqan rentgen nurları rentgen goniometrinde ornatılğ'an kristaldin' betinen kelip tu'sedi. Waqıttın' ha'r bir momentinde R fotoplenkasında K kristallının' betinin' topografiyalıq su'wreti Shults usılındag'ıday bolıp registratsiyalanadı. Ekspozitsiyanın' barısında kristal rentgen

goniometrinin' O_1 ko'sheri do'gereginde bazı bir $\Delta\varphi$ mu'yeshlik intervalda ω mu'eshlik tezligi menen skannerlenedi. Fotoplenka bolsa O_1 ko'sheri do'gereginde 2ω mu'yeshlik tezligi menen ha'm O_2 ko'sheri do'gereginde $-\omega$ mu'yeshlik tezligi menen eki tu'rli qozg'alısqa qatnasıwı kerek. Kristaldın' ha'r bir ushastkasının' su'wreti waqıttın' ha'r kıylı momentlerinde ha'r kıylı uzınlıqtag'ı rentgen tolqınlarının' difraktsiyasının' na'tiyjesinde qa'liplesedi. Usınday geometriyag'a iye topogrammalar tu'siriwde barlıq su'wretler bir birinin' u'stine tu'sedi. Usıg'an baylanıslı, eger su'wretti payda etetug'ın tolqın uzınlıqları intervalına xarakteristikalıq spektrdin' sızıqları kiretug'ın bolsa, onda topogrammalardı alıw ushın za'ru'rli bolg'an waqıt a'dewir kemeyedi.



5-su'wret. Mu'yeshlik skannerlew usılının' optikalıq sxeması.

S arqalı rentgen nurları deregi, e_R ha'm e_A arqalı sa'ykes radiallıq ha'm azimutallıq bag'ıtlar (keyingisi su'wret tegisligine perpendikulyar), R_1 ha'm R_2 arqalı sa'ykes derek-u'lgi ha'm u'lgi-fotoplenka qashıqlıqları belgilengen.

Joqarıda keltirilgen V.V.Aristov penen E.V.Shulakovlar mu'yeshlik skannerlew usılının' to'mendegidey o'zgesheliklerin anıqladı:

1. Skannerlew mu'yeshinin' ma'nisleri u'lken bolmag'anda ($\Delta\varphi \leq 5^0$) bul usıl jetkilikli da'rejede u'lken mu'yeshlik ajırata alıwshılıq qa'biletligine iye. BSM-1 yamasa BSV-5 tipindegi (fokustının' diametri ~ 40 mkm) noqatlıq fokuslı rentgen trubkaların paydalang'anda sızıqlı ha'm mu'yeshlik ajırata alıwshılıq sa'ykes 80-100 mkm ha'm 10^{-3} rad shamaların quraydı.

2. Mu'yeshlik skannerlew usılın $\Delta\varphi \leq 5^0$ bolg'an jag'daylarda fotoplenkanı O_2 ko'sherinin' do'gereginde burmay-aq paydalanıwg'a boladı. Bunday jag'dayda fotoplenkanın' beti kristalda difraktsiyag'a ushırag'an da'stege perpendikulyar etip qoyıladı. Bul jag'day paydalanılg'an topogramma tu'siriw usılın a'dewir a'piwayılastıradı.

GUR-5 ha'm GUR-7 rentgen goniometrleri bazalarında mu'yeshlik skannerlew sxeması jıynaldı. Skannerlew barısında rentgen plenkası (fotoplenka) difraktsiyag'a ushırag'an rentgen nurlarına perpendikulyar etip qoyıldı. Mu'yeshlik skannerlewdi a'melge asırıw ushın (skannerlew bag'ıtların qarama-qarsı bag'ıtqa o'zgertiw ushın) goniometr korpusına qosımsha eki mikrovıklyushatel orналаstırıldı. Goniometrdin' burılıw bag'ıtının' o'zgeriwine baylanıslı payda bolatug'ın mexanikalıq lyufttin' topogrammalardın' kontarstına tu'sirin saplastırıw ushın skannerlew intervalının' shetki noqatlarında tezliklerdin' bag'ıtları o'zgeretilgende ha'm kerı bag'ıttag'a mu'yeshlik skannerlew baslanaman degenshe arnawlı du'zilistin' ja'rdeminde kristalg'a kelip tu'siwshi rentgen nurlarının' da'stesi qorg'asın plastinkası menen jabılıp turıldı.

Skannerlewdin' kishi tezliklerinde ($\omega \leq 0,2^\circ/\text{min}$) 2θ difraktsiyalıq mu'yeshinin' u'lkeyiw yamasa kishireyiw bag'ıtındag'ı tek bir skannerlew paydalanıldı.

Eger kristalda bir birine salıstırğ'anda skannerleniw ko'sheri do'gereginde qanday da bir mu'yeshke burılğ'an strukturalıq domneler yamasa kristallıq bloklar bolatug'ın bolsa, onda olardan alıng'an su'wretler bir birine salıstırğ'anda L aralıg'ına ayrılğ'an yamasa (kerı bag'ıtta burılğ'an bolsa) bir birinin' u'stine tu'sken bolıp shıg'adı. Keyingi jag'dayda eki su'wret arasındag'ı shegarada eni l ge ten' qaran'g'ı jolaq payda boladı. Kristaldın' bir birine salıstırğ'anda burılğ'an ushastkaları arasındag'ı φ mu'yeshti

$$\varphi = \text{arctg} \left(\frac{L}{2A} \right)$$

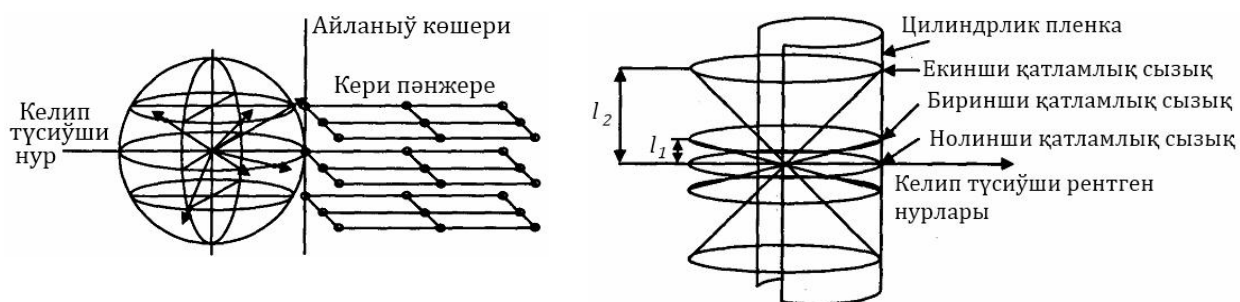
formulasının'ja'rdemindeesaplaymız.

BulformuladaAarqalıkrıstallıqu'lgidenfotoplenkag'ashekemgiaralıqbelgilengen (5-su'wrettegi O_1O_2 kesindisinin'uzınlıg'ı).

6-§. Krıstallıqpa'njerenin'xerekteristikalarınanıqlaw. Aylanıw (terbeliw) usılı

BizpolixromatlıqLaueusılındamonokrıstallıqkrıstallardın'izertlenetug'ınlıg'ınha'monın'ja'rdeminde simmetriyako'sherlerimenenolardın'orientatsiyasının'anıqlanatug'ınlıgınbilemiz. Usının'na'tiyjesindekrıstallıqsistema (singoniya) ha'msimmetriyanın'Laueklasslarıanıqlanadı.

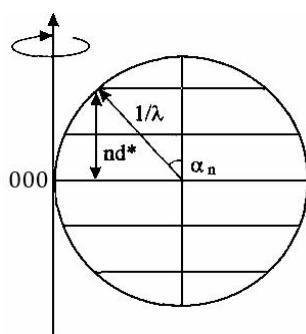
Bulkrıstallıqu'lgidegıkrıstallıqpa'njerenin'ko'sherlerinin'orientatsiyalarıbelgilibolıwıkerek.



6-su'wret. Aylanıw (terbeliw) usılı kameronının' printsipi ha'm kinematikalıq sxeması

Endigi ma'sele elementar qutıshanın' da'wirlerin (turaqlıların) ha'm translyatsiyalıq gruppalardı (Brave pa'njerelerin) anıqlaw monoxromatik nurlanıwdı ha'm kristaldı aylanlırıw (terbeliw) usılı menen amelge asırıladı. Bunday kameranın' printsipi ha'm kinematikalıq sxeması 6-su'wrette ko'rsetilgen. Esaplaw sxeması 7-su'wrette anıq boladı. Birinshi etapta bagıtlang'an (yag'nıy

Laue usılınıń ja'rdeminde bag'ıtlang'an) u'lgı ornatılǵ'an goniometrlik u'lgı uslag'ısh (goniometrisheskaya golovka) tsilindr ta'rizli plenkası bar kameranın' ko'sherine jaylastırıladı. Kameranın' konstruktsiyası u'lginin' vertikal bag'ıttag'ı ko'sheri a'tırapınlag'ı aylanıwın yamasakishi 15° qa ten' mu'yeshke burılıwın (terbeliwin) ta'miyinleydi. Belgili bir [mnp] tu'yinlik tuwrısının' bag'ıtının' kameranın' aylanıw ko'sherinin' bag'ıtı menen sa'ykes keliwi talap etiledi. Bunday jag'dayda keri ken'isliktegi usı zonag'a tiyisli bolg'an (hkl) tu'yinleri kameranın' ko'sherine perpendikulyar xa'm koordinata bası arqalı o'tetug'ın tegislik penen berilgen boladı (usı tegislikte jatqan boladı). Aylanbalı qozg'alısta keri pa'njerenin' bul tegisliginin' tu'yinleri (ha'm parallel tegislilerdin') Evald sferası arqalı izbe-iz o'tedi. Usının' saldarınan ta'rtiplesken difraktsiyalıq su'wrettin' alınıwı ta'miyinlenedi. Tsilindr ta'rizli plenkanı tegislep uslag'anda refleksler bir birine parallel bolg'an tuwrı qatlamlıq sızıqlardı payda etedi. Bul qatlamlıq sızıqlardı bilayınsha nomerleyemiz: nolinshi, $\pm$ birinshi, $\pm$ ekinshi ha'm basqalar. Bul etaptag'ı o'lshew predmeti n-qatlamnın' nolinshi qatlamlıq sızıqtan qashıqlıǵı l_n bolıp tabıladı. Esaplawdın' na'tiyjesi aylanıw ko'sheri bag'ıtındag'ı [mnp] tu'yinlik tuwrısı ushın qaytalanıw da'wiri (kristallıq pa'njerenin' turaqlısı) bolıp tabıladı. Bul esaplawdın' printsipi difraktsiyanın' Breglik ten'lemesin a'piwayı tu'rde qollanıwdan ibarat emes. Bul jerde esaplawdın' barısı tuwrı (kristallıq) ha'm keri pa'njereler arasındag'ı metrlik o'z-ara baylanısqa tiykarlang'an. Biz keri pa'njerenin' radius-vektori menen kristaldag'ı bir semeystvog'a kiriwshi kristallografiyalıq tegislikler arasındag'ı qashıqlıqtın' $|G_{hkl}| = \frac{1}{d_{hkl}}$ qatnası arqalı baylanısqaqlıǵın bilemiz. Qaytalanıw da'wiri (period identishnosti) ushın $I_{mnp} = |R_{mnp}| = \frac{1}{d^*}$ qatnası da (bal qatnasta d^* arqalı keri pa'njerenin' tu'yinlik tegislikler sisteması ushın tegislikler arasındag'ı qashıqlıqqa sa'ykes keletug'ın shama belgilengen) orınlı. Bul jag'dayda haqıyqıy ken'isliktegi R_{mnp} bag'ıtının' keri pa'njeredegi joqarıda ko'rsetilgen tu'yinlik tegislikke tu'sirilgen nd^* normalına parallel ekenligi sha'rti orınlanadı.



7-su'wret.

Aylanıw (terbeliw) usılında rentgen kameransının' aylanıw (terbeliw) ko'sherine parallel bolg'an bag'ıttag'ı pa'njere turaqlısın (qaytalanıw da'wirin) anıqlaw ushın arnalg'an sxema.

000 arqalı keri pa'njerenin' koordinata basında jaylasqan tu'yininin' koordinataları belgilengen.

7-su'wrette berilgen sxemadan n-nomerli qatlamlıq sıızıq ushın α_n mu'yeshinin' ma'nisin anıqlaytug'ın bolsaq d^* shamasının' ma'nisin esaplaw an'sat bolatug'ınlıg'ı ko'rinip tur. Bul mu'yeshtin' shaması difraktsiyag'a ushırag'an nurdın' bag'ıtı menen aylanıw (terbeliw) ko'sheri arasındagı mu'yeshtin' ma'nisine ten'. Bul mu'yeshtin' ma'nisi fotoplenkada o'lshew mumkin bolg'an I_n shaması arqalı berilgen. 7-su'wretten

$\frac{nd^*}{1/\lambda} = \sin(90^\circ - \alpha_n) = \frac{I_n}{R}$ ekenligi ko'rinip tur. Bunnan qaytalanıw da'wirinin'

$I_{mnp} = \frac{1}{d^*} = \frac{nR\lambda}{I_n}$ shamasına ten' bolatug'ınlıg'ı kelip shıg'adı.

Bul jerde strukturalıq informatsiyanı alıwdın' bunday marshrutının' o'zine ta'n o'zgesheligine itibar beriwimiz kerek: eksperimentte tegislikler arasındag'ı qashıqlıq emes, al tu'yinlik tuwrı bag'ıtındag'ı da'wir anıqlanadı. Al eger usı tu'yinlik tuwrıg'a pa'njerenin' koordinata ko'sherlerinin' biri sa'ykes kelse na'tiyje elementar qutıshanın' da'wirlerinin' biri bolıp tabıladı. Goniometrlik u'lgi uslag'ıshtag'ı u'lginı sa'ykes tu'rde burıw arqalı operatsiyanı izbe-iz qaytalap pa'njerenin' barlıq turaqlılarının' ma'nislerin anıqlawımız mu'mkin (qutıshanın' da'wirleri ha'm ko'sherler arasındag'ı mu'yeshlerdi).

Bunnan keyin modeldin' qanday ekenligin aldın-ala boljamay-aq kelesi qa'ddidegi xarakteristikanın' anıqlanıwı – simmetriyanın' translyatsiyalıq gruppası

(Brave pa'njereleri) aniqlanadı. Bul informatsiya saylap aling'an bag'ıtlar boyınsha bir neshe kontrollıq o'lshevlardin' na'tiyjesinde alınadı.

Ju'da' a'piwayı bolg'an mısaldı su'wretin salmay-aq ko'rip shıg'amız. Meyli izertlenip atırg'an kristalushın kublıq singoniya ha'm onın' elementar kutıshamsının' parametri "a" aniqlang'an bolsın. Bul singoniyada a'piwayı ρ , ko'lemde oraylasqan ρ ha'm qaptalda oraylasqan ρ Brave pa'njerelerinin' orın alıwı mu'mkin.

Bunday jag'dayda eki o'lshevlardan aslam o'lshevlardı ju'rgiziwdin' keregi bolmaydı. Aylanıw ko'sheri bag'ıtına qaptal diagonalı [110] bag'ıtın parallel etip qoyamız. Birinshi rentgenogramma boyınsha da'wir aniqlanadı – eger $I_{\text{mnp}} = \frac{\sqrt{2}}{2}a$ shamasın alsaq, onda pa'njerenin' qaptaldan oraylasqan kub ekenligine iye bolmız. Eger $a\sqrt{2}$ shamasına ten' juwap alsaq, onda rentgenogrammlardı tu'siriw dawam etiledi. Aylanıw ko'sherine kristaldag'ı [111] bag'ıttı parallel etip qoyamız. Bunday jag'dayda $I_{\text{mnp}} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$ shaması alınsa ko'lemde oraylasqan kublıq pa'njerege, al $a\sqrt{3}$ shaması alınsa a'piwayı ρ pa'njeresine iye bolamız.

Rentgenografiyalıq izertlew din' kelesi etapi monoxromat rentgen nurlarında aling'an rentgenogrammalardag'ı reflekslerdi indekslewden (inditsirovanie) ha'm usının' na'tiyjesinde kristaldın' simmetriyasının' ken'isliktegi gruppasın aniqlawdan ibarat boladı.

Eksperimentallıq planda izertlew din' bul etapi ushın terbeliw rentgenogrammaların tu'siriw maqsetke muwapıq boladı. Kristallıq u'lginin' tolıq aylanıwın u'lken emes mu'yeshlerdegi ostsillyatsiyag'a almastırıw bir rentgenogrammada ko'p sanlı reflekslerdin' birinin' u'stine ekinshisin tu'siwi protsessinin' bolmawına kepillik beredi. Ulıwmalıq difraktsiyalıq kartınanı (su'wretti) alıw ushın terbelis rentgenogrammalarının' tolıq seriyasın tu'siriw menen ta'miyinlenedi.

Bul jag'daydı bılayınsha tu'sindiremiz. Eger aylanıw ko'sherinin' bag'ıtına kublıq kristaldın' [100] ko'sheri parallel etip qoyılğ'an bolsa, onda aling'an

rentgenogrammanın' nolinshi qabatlıq sızığ'ında indeksleri {020} ha'm {002} bolg'an reflekslerdin' barlıg'ı da rentgenogrammada bir orında payda boladı. Al terbelis rentgenogrammaların alatug'ın bolg'an jag'dayda biz kristaldın' [100] kristallografiyalıq ko'sheri do'gereginde tek 15 gradusqa g'ana (RKV-86 kamerasın paydalansaq 15, 10, 6, 3 grudasqa terbelisti) terbelisin ta'miyinleyemiz. Bunday jag'dayda a'dette kameranın' gorizont bag'ıtındag'ı limbsının' ko'rsetiwleri ha'r bir rentgenogramma ushın $0^\circ - 15^\circ$, $13^\circ - 28^\circ$, $26^\circ - 41^\circ$ ha'm tag'ı da sol sıyaqlı mu'yeshlerdi ko'rsetedi. Bul jag'dayda qon'sılas 15° lıq intervallar 2° qa betlesken boladı. Bunday jag'dayda rentgenogrammadag'ı ha'r bir difraktsiyalıq daqqa tek bir (hkl) indeksi sa'ykes keledi.

İzertlew din' usı stadiyasında elementar qutışanın' da'wirlerinin' belgili bolatug'ınlıg'ın eske tu'sirip o'temiz. Endi refleks tin' (hkl) indekslerin anıqlaw ushın onın' difraktsiyalıq mu'yeshi bolg'an θ mu'yeshin o'lshew talap etiledi ha'm bunnan keyin bul mu'yesh tin' ma'nisin paydalanıp $2d \sin \theta = n\lambda$ Vulf-Bregg ten'lemesi boyınsha tegislikler arasındag'ı qashıqlıq ha'm kerı pa'njerenin' saykes tu'yininin' ornı tabıladı. Terbelis rentgenogrammalarındag'ı ferlekslerdin' jaylasıw ta'rtibin esapqa alsaq tsilindrlik koordinatalar sistemasında o'lshew menen baylanıslı bolg'an geometriyalıq ma'sele tuwıladı. RKV-86 sıyaqlı kameralardın' a'piwayı kinematikalıq sxemasına baylanıslı rentgenogrammalar dı interpretatsiyalaw dın' ja'ne bir qıyınshılıg'ı payda boladı. Bul rentgenogrammada refleks tin' koordinatası difraktsiyalıq mu'yesh tin' ma'nisinin' ja'rdeminde anıqlanadı. Biraq difraktsiyalıq shashıraw ju'zege keletug'ın momenttegi kristaldın' da'l orientatsiyası belgili emes. Usıg'an baylanıslı terbelis rentgenogrammalar dag'ı refleksler boyınsha kerı pa'njerenin' konfiguratsiyasın qayta tiklew mu'mkinshiligi quramalasadı. Na'tiyjede rentgenogrammalar dı o'lshew barısında berilgen kristal ushın shashırawlardın' jetkilikli da'rejede tolıq reestrine iye bolıwımız dın' za'ru'r ekenligi kelip shıg'adı. Bunnan son' eksperimentator alıng'an dizimdi logikalıq tallap difraktsiyalıq ten'lemenı esaplawda o'zlerinin' pozitsiyalarında bar bolıwı kerek, biraq rentgenogrammalar da joq bolg'an refleksler ushın "o'shiw qag'ıydaların" (pravila

pogasaniya) anıqlaydı. Bul qag'ıydaların' fizikalıq ma'nisi kristallar rentgenografiyası boyınsha jazılǵ'an kitaplardıń ko'pshiliginde (mısalı [33]) ha'm Rentgen kristallografiyası boyınsha Xalıq aralıq kestelerde tolıq bayanlang'an [34]. Bul jerde en' tiykarg'ı jag'day ashıq simmetriya elementlerinin' ta'siri bolıp tabıladı:

- ulıwmalıq tiptegi (hkl) refleksleri arasındag'ı o'shiwdin' bar ekenligi Brave pa'njeresin ta'riyipleydi ha'm qaytalanıw da'wiri boyınsha alıng'an na'tiyjelerge sa'ykes keliwshi na'tiyjelerdi beredi;

- reflekslerdin' zonalıq seriyaları ishindegi o'shiwler {mısalı (hOl) tipindegi refleksler arasındag'ı} jılıp shag'ılıstırıwshı simmetriya tegisliginin' bar ekenligi haqqındag'ı mag'lıwmatlardı beredi;

- tegislikten shashırag'an difraktsiyalıq maksimumlardın' ayırımlarının' joq ekenligi usı tegislikke perpendikulyar bolg'an vintlik ko'sherinin' bar ekenliginen derek beredi, mısalı (0k0) ushın shashırawdın' tek jup ta'rtpileri bar bolatug'ın bolsa, onda bul jag'day Y ko'sherinin' bag'ıtındag'ı 2_1 ko'sherinin' bar ekenligin bildiredi.

O'shiwler haqqındag'ı alıng'an mag'lıwmatlardın' jıynag'ı boyınsha simmetriyanın' ken'isliktegi toparın anıqlaw mu'mkin. Lauegrammadag'ı difraktsiyalıq daqlardıń simmetriyasınan kristaldın' noqatlıq simmetriyası emes, al "Laue klassı" nın' alınatug'ınlıg'ın eske tu'siremez. Olardıń sanı 11. Tap sol sıyaqlı o'shiwlerdi tallaw simmetriyanın' 230 ken'isliktegi toparınan tek 120 "rentgen toparları" nın' birewin anıqlawg'a g'ana mu'mkinshilik beredi. Ko'p ma'sele kristaldag'ı invarsiya orayının' bar bolıwına baylanıslı. Belgili bir sharayatlarda kristaldın' kenisliktegi simmetriyası simmetriyanın' ayqın bir toparına sa'ykes keliwi mu'mkin. Basqa situatsiyalarda sistemalıq o'shiwler tiykarında berilgen juwap anıqlangan laue klassı ushın simmetriyanın' bir neshe variantın saylap alıw mu'mkinshiligini beredi.

Usı ayılǵ'an jag'daylar tiykarında qorg'asın ortovanadatı kristallarının' ha'r qıylı fazaları ushın rentgen nurlarının' "o'shiw qag'ıydaların" tallaymız. Bunın'ushınInternational Tables for X-Ray

Crystallographymag'lıwmatlarınanpaydalanamız. Za'ru'rli bolg'an mag'lıwmatlardı to'mendegidey keste tu'rinde beremiz.

Qatar sanı	Ken'isliktegi topar	O'shiw kag'ıydaları	
4	$P2_1$	hkl : No conditions $h0l$: No conditions $0k0$: $k=2n$	
14	$P2_1/c$	hkl : No conditions $hk0$: $k=2n$ $00l$: $l=2n$	
166	$R\bar{3}m$	romboedrlık ko'sherlerde	No conditions
		geksagonallıq ko'sherlerde:	$hkil$: $-h+k+l=3n$ $hh2\bar{h}l$: $(l=3n)$ $h\bar{h}0l$: $(h+l=3n)$

Bulkestedekeltirilgenmag'lıwmatlardın'qorg'asınortovanadatıkristallarıushınsi mmetriyanın'ken'isliktegiu'shtoparının'o'shiwqag'ıydalarıboyınshaha'rqıylıekenli ginko'rsetedi.

Endigima'seleelementarkutıshadag'ıatomlardın'sanınıqlawbolıptabıladı. Bulkristaldien'baslang'ıshbiliwjolındag'ıha'monın'pasportlıqmag'lıwmatlarınattes tatsiyalag'andag'ıen'aqarg'ıqa'demeksperimentatordın'qolındadifraktsiyalıqmag'lı wmatlardanalıng'anelementarqutıshanın'barlıqparametrleri, yag'nıyusıg'ansa'ykeselementarqutıshanın'ko'lemi V_0 barbolg'an jag'daydaan'satsh eshiledi. Berilgenbirikpenin'ximiyaıqquramaldın-alaanıqlang'andepesaplaymız. Sonlıqtanbulbirikpegekiriwshielementlerdin'ortashaatomlıqsalmag'ıMdiesaplawm u'mkin. Piknometrlıko'lsheulerju'rgizilipberilgenkristaldın'tıg'ızlıg'ıpanıqlanadı. Endielementarqutıshanın'salmag'ınanıqlaytug'ın ekishamanıbirbirineten'lestireala mız

$$P = \rho V_0 \quad M \cdot A \cdot N.$$

Bul an'latpada A arqalı vodorod atomnının' salmag'ı grammlarda berilgen. Bunnan biz izlep atırg'an shama N (elementar qutışadag'ı atomlardın' sanı) an'sat esaplanadı $\left(N = \frac{\rho V_0}{M \cdot A}\right)$.

7-§. Rentgen goniometrin strukturalıq fazalıq o'tiwlerdi baqlaw ushın paydalanıw

Kristallıq pa'njerenin' parametrlerinin' temperaturadan g'a'rezligin anıqlaw. Bunday o'lsheuler temperaturanın' ha'r qıylı ma'nislerinde θ difraktsiyalıq mu'yeshtin' ma'nisin o'lsheuler arqalı a'melge asırıladı. Sa'ykes kristallografiyalıq tegislikler arasındag'ı qashıqlıq $2d \sin \theta = n\lambda$ Vulf-Bregg ten'lemesi ja'rdeminde esaplanadı. A'dette $a(t)$, $b(t)$ yamasa $c(t)$ g'a'rezliklerin alıw ushın $h00$, $0k0$ yamasa $00l$ indekslerine iye kristallografiyalıq tegislikler (yag'nıy kristallografiyalıq tegislikler arasındag'ı d_{h00} , d_{0k0} yamasa d_{00l} qashıqlıqlar) saylap alınadı. Bunday jag'dayda shaması 50° tan kem bolmag'an θ difraktsiyalıq mu'yeshleri saylap alınadı.

Difraktsiyalıq mu'yeshtin' ma'nisi rentgen difraktometrinin' o'zi jazatug'ın du'zilisindegi qag'az lentada sızılǵ'an difraktsiyalıq piktin' biyikliginin' yarımına ten' keletug'ın ushastkadag'ı piktin' ken'liginin' ten' yarımı alınadı []. O'zi jazatug'ın a'sbaptın' lentasına mu'yeshlik belgiler ha'm 1 gradustan berildi. Rentgen sshetshiginin' rentgen goniometri ko'sheri do'geregindegi burılıw tezligi $1^\circ/\text{min}$ shamasınan u'lken emes. O'zi jazatug'ın du'zilistin' lentasının' qozg'alıw tezligi 2θ shkalasındag'ı ha'r bir mu'yeshlik minutag'a keminde 1 mm saykes keletug'ınlay etip saylap alındı.

Difraktsiyalıq pik temperaturanın' ha'r bir ma'nisinde eki retten jazıp alındı: birinshisi rentgen sshetshiginin' qozg'alısınan' bir bag'ıtında, ekinshisi rentgen sshetshiginin' qozg'alısınan' ekinshi bag'ıtında. Registratsiyalawshı du'zilistin' inertsiyasının' ha'm berilisler sistemasının' lyuftlerinin' sebebinen o'lsheuler difraktsiyalıq mu'yeshlerdin' ma'nisleri 0,1 muyeshlik minutqa ayırma berdi.

İzlenip atırg'an difraktsiyalıq muyeshtin' ma'nisi sol eki ma'nistin' arifmetikalıq ortalashası sıpatında anıqlandı.

Kristallografiyalıq tegislikler arasındag'ı qashıqlıq yamasa kristallıq pa'njerenin' turaqlıları eksperimentte alıng'an difraktsiyalıq muyeshlerdin' ma'nisleri boyınsha personallıq kompyuterdin' ja'rdeminde esaplandı ha'm alıng'an na'tiyjeler arnawlı matematikalıq programmalar ja'rdeminde qaytadan islendi (na'tiyjeler tegislendi).

Strukturalıq fazalıq o'tiwler barısındag'ı kristalda difraktsiyag'a ushırag'an rentgen nurlarının' intensivliginin' o'zgerislerin tikkeley baqlaw. Bul jag'dayda eksperimenttin' na'tiyjesi strukturalıq fazalıq o'tiw da'rejesinin' waqıttan g'a'rezligi yamasa fazalıq o'tiwdin' temperaturadan g'a'rezligi bolıp tabıladı.

Eksperimentler barısında difraktsiyag'a ushırag'an rentgen nurlarının' intensivligi registratsiyalawshı du'zilistin' ja'rdeminde qozg'almaytug'ın sshetshiktin' ja'rdeminde o'lishendi. Bunday jag'dayda rentgen goniometriniń sshetshigi joqarı temperaturalı yamasa tomnegi temperaturalı fazanın' maksimumına qoyıladı. Temperaturanın' ha'r bir ma'nisinde registratsiyalawshı du'zilis rentgen impulslerinin' sanın 10 (yamasa 40) sekund dawamında esapqa aldı.

Bunday difraktsiyalıq eksperimentlerdi ju'rgiziwdin' ekinshi usılı da paydalanıldı. Bul usılda eki koordinatalı potentsiometrдин' bir koordinatasına termopara tikkeley (gorizont bag'ıttag'ı koordinatag'a) tutastırıldı, al vertikal bag'ıttag'ı koordinatag'a difraktsiyag'a ushırag'an rentgen tolqınlarınan' intensivligine saykes keliwshi potentsiallar ayırması berildi. Bunday eksperimentte strukturalıq fazalıq o'tiwdin' temperaturadan g'a'rezligi tikkeley anıqlanadı.

III bap. Qorg'asın ortovanadati kristallarındagi $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwdi ha'm strukturalıq domenler sistemasının' transformatsiyaların difraktsiyalıq izertlew

8-§. $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' ha'r qıylı fazaların' atomlıq-kristallıq strukturası

Bul paragrafta tiykarınan $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' ha'r qıylı fazaları ushın tiykarınan a'debiyatta belgili bolg'an mag'lıwmatlar, sonın' ishinde elektron-mikroskopiyalıq ha'm elektronografiyalıq keltirildi.

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' β -fazasının' taza segnetoelastik ekenligi joqarıda atap o'tildi. Bunday kristallardan elektron-mikroskopiyalıq su'wretler ha'm elektronogrammalar alıw ushın kristaldın' romboedrlik [111] ko'sherinin' bag'ıtına perpendikulyar bolg'an folga tu'rindagi u'lgiler paydalanıldı. Biz $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' romboedrlik (111) tegisligine parallel bag'ınna an'sat sınıatug'ınlıg'ın atap o'temiz [NaCl kristallarının' {100} tegislikleri boyınsha an'sat sınıatug'ınlıg'ı sıyaqlı].

Bul kristallar ushın pa'njere parametrleri ha'm simmetriyanın' ken'isliktegi gruppaları $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' barlıq fazaları ushın anıqlang'an. β -faza ushın elementar qutışhanın' parametrleri E.V.Sinyakov, E.F.Dudnik, V.Gene, V.Litvin [35], L.Brixner ha'm basqalar [36] ta'repinen bir birinen g'a'rezsiz tu'rde anıqlang'an edi. Olardın' mag'lıwmatlarının' barlıg'ı da 3-1 sanlı kestedede berilgen. Bul eki gruppa elementar qutışhanın' parametrlerin eki tu'rli ustanovkada anıqladı. Olar

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}_S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \bar{1} \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}_R$$

an'latpasının' ja'rdeminde baylanısqa. Bul an'latpada S indeksi E.V.Sinyakovha'm onın' soavtorları ta'repinen saylap alıng'an pa'njere turaqlıları, al B indeksi L.Brixner ha'm onın' soavtorları ta'repinen saylap alıng'an pa'njere

turaqlılıqlarına tiyisli. Biz to'mende L.Brixner ha'm onin' soavtorlari ta'repinen saylap aling'an pa'njere turaqlıların paydalanamiz. Sebebi olar en' kishi bolg'an elementar qutishag'a sa'ykes keledi.

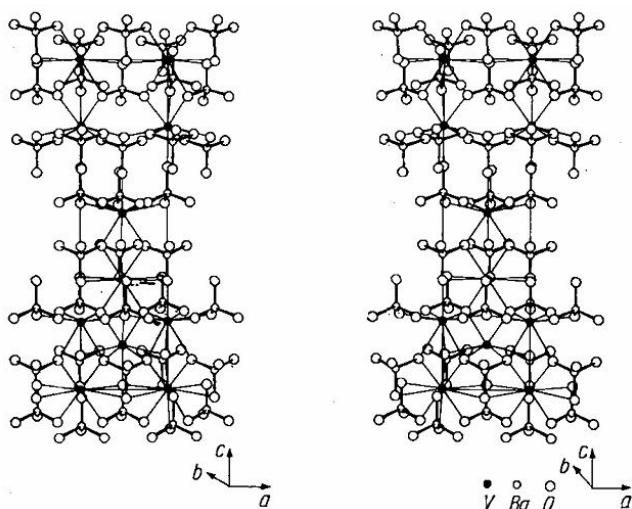
E.V.Sinyakov,

E.F.Dudnikha'mbasqalaroz'jumisindauntalg'an $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarınandebaegram maalıp,

onimonoklinlik singoniyag'akiredidepindekslegenha'mkristallıqpa'njerenin'turaqlılarıushınmınadayma'nislardialg'an: $a = 13,97 \text{ \AA}$, $b = 5,89 \text{ \AA}$, $c = 9,39 \text{ \AA}$ ha'm $\beta = 101^\circ$. Al [58] avtorlarıbolsakristallıqpa'njere turaqlılarıushın $a = 15.042 \text{ \AA}$, $b = 6.106 \text{ \AA}$, $s = 18.586 \text{ \AA}$, $\beta = 111.88^\circ$ ma'nislerinbergen ("s" ko'sheriushınekie seu'lkenshamanısaylapalg'an, 3-1 kestegeqaran'ız).

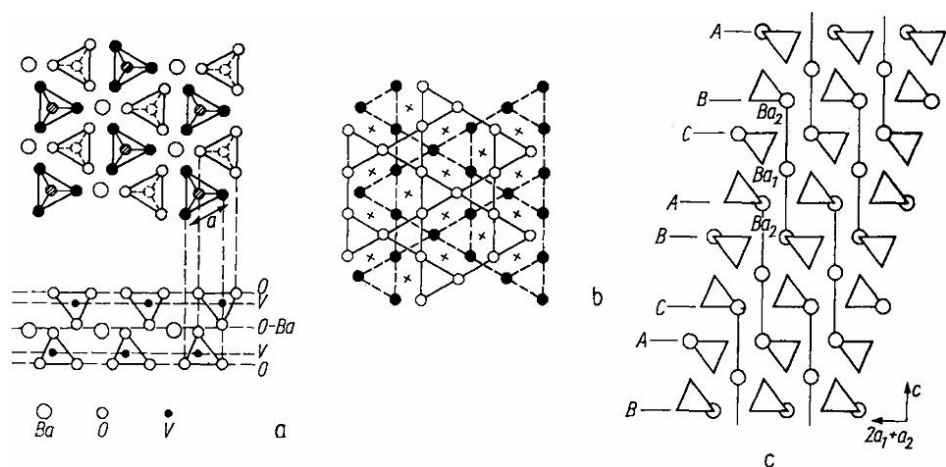
$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ ha'm $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ kristallarının'joqaritemperaturalardag'ıatomlıq-kristallıqstrukturalarıbirbirimenentıg'ızbaylanısqa (bariyfosfatımenenbariyvanadatının'kristallarının'strukturalarının'birbirimenentıg'ızbaylanısliekenligısıyaqlı). Bul 8-su'wretteko'rsetilgen.

$\text{Ba}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının'strukturası [39-40] din'avtorlarıta'repinentolıqizertlendiha'musıjag'dayg'abaylanıslıusıjumıstadakısqa shatu'rdeqarapo'tiledi. Bas struktura bir birine parallel bolg'an VO_4 tetraedrleri qatlamlarınan turadı. Berilgen qatlamda barlıqtetraedrler bir birine parallel jaylasqa. Qon'sılas qatlamlar tetraedrlerdin' to'beleri menen jup-juptan baylanısqa (buterbrod yamasa vafli tu'rinde). Tetraedrдин' u'sh o'lsheмли ta'repindegi kislorod ionlarının' qatlamıbir biri menen jaqın jaylasıp, a o'lsheмин (qashıqlıg'ın) payda etedi (9-a su'wret).



8-su'wret.
Bariy ortovanadatı
[Ba₃(VO₄)₂] kristallarının
stereostrukturası. Qorg'asın
ortovanadı kristallarının
strukturası usı struktura menen
izomorflı.

Eki qatlam bir birine to'beleri menen bir birine qarap turg'an tetraedrlar menen baylanisqan. To'beleri arqalı bir biri menen baylanisqan tetraedrlar altı mu'yeshliklerdi payda etedi (petlyasının' o'lishemi $2a$ g'a ten'). Bul qatlamlardın' birewindegi kislorod ionları ekinshi qatlam menen ortalıqqa o'tedi. Sonın' saldarınan kislorod ionlarınan eki o'lishemli altı mu'yeshli pa'njere payda bolıp, ondag'ı kislorod ionlarınan' arasındagı kashıqlıq $2a$ g'a ten' boladı. Bul ushastkalar IBa₁tipindegi bariy atomları menen iyelengen. Sonlıqtan bunday atomlar sol tegisliktegi altı kislorod ionı, al basqa tegisliklerde eki ta'repten u'sh kislorod atomları menen qorshalg'an halda boladı. Solay etip bes qatlamg'a iye O-V-(O,Ba)-V-O qatlamlarınan' izbe-izligine iye bolg'an "buterbrodlardı" qarap shıg'ıw mu'mkin. 9-a su'wrette sonday "buterbrodlardı" biri ko'rsetilgen. Qatlamdag'ı kislorod atomları arasındag'ı baylanıs 9-b su'wrette sa'wlelendirigen. Bul su'wrettegi tutas sızıq penen ko'rsetilgen baylanıslar joqarıdag'ı A qatlamg'a tiyisli. Al punktir menen sızılq'an baylanıslarda bolsa V pozitsiyadag'ı kislorod ionları sa'wlelendirilgen.



9-su'wret. O-V-(O-Ba)V-O "buterbrodların" sxema tu'rinde ko'rsetiw. Olar bariy ortovanadatı kristalları ta'repinen payda etilgen "imarattın" blokları bolıp tabıladı. a) eki qatlamnan turatug'ın buterbrodqa normal bag'ıttag'ı ko'rinis, b) buterbrodıtın' O qatlamların sheklewshi struktura, s) "buterbrodlardı" jaylastırıw usılı.

Bariy ionları s ko'sheri boylap sıziqlı Ba₂-Ba₁-Ba₂ u'shliklerin payda etedi. Olar 9-s su'wrette ko'rsetilgen.

Pb₃(VO₄)₂ kristallarının' β-fazasının' strukturasın da Ba₃(VO₄)₂ kristallarının' strukturasınday dep boljaw mu'mkin. Bul boljawdın' durıs yamasa nadurıs ekenligin C. Manolikaspenen S. Amelinskıx lar ta'repinen birinshi ret elektronlıq-mikroskopiyalıq izertlewlerdin' na'tiyjesinde tekserildi [39, 40].

3-1 keste. Pb₃(VO₄)₂ kristallarının' kristallografiyalıq xarakteristikaları

	γ [4]	β [4]	β [6]	α [10]
point group	$\bar{3}m$	2/m	2/m	2
space group	R- $\bar{3}m$	P2 ₁ /n	P2/c, Pc or P2 ₁ /c	P2 ₁
lattice parameters	$a = 0.756 \text{ nm}$ $\alpha = 44^\circ 78'$ $a_H = 0.576 \text{ nm}$ $c_{H,\gamma} = 2.0368 \text{ nm}$	$a_M = 0.7515 \text{ nm}$ $b_M = 0.61062 \text{ nm}$ $c_M = 0.9283 \text{ nm}$ $\beta = 111^\circ 86'$ at 25 °C	$a = 1.397 \text{ nm}$ $b = 0.589 \text{ nm}$ $c = 0.939 \text{ nm}$ $\beta = 101^\circ$	$a = 1.5042 \text{ nm}$ $b = 0.6106 \text{ nm}$ $c = 1.8596 \text{ nm}$ $\beta = 111^\circ 88'$ at -70 °C

Eskertiw: joqarıda keltirilgen kestedegi avtorlarg'a berilgen ssılkalardıń qatar sanı bul dissertatsiyalıq jumıstag'ı ssılkalardıń qatar sanına sa'ykes kelmeydi.

4. Brixner L.H., Flippen R.B., Jeitsshko W. Preparation and properties of the $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2\text{-Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ system. Materials Research Bulletin. 1975, v. 10, n. 12, p. 1327 - 1334.

6. E.V.Sinyakov, U.F.Dudnik, V.V.Gene i B.N.Litvin. O kristallisheskoy strukture nizkotemperaturnoy modifikatsii $\text{Pb}_3\text{V}_2\text{O}_8$. Kristallografiya. Tom. 20. Vıp. 2. 423 s.

10. E. Salje and R. vonHodenberg. Crystal data for the low-temperature phase of $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$. J. Appl. Cryst. (1977). 10, 132.

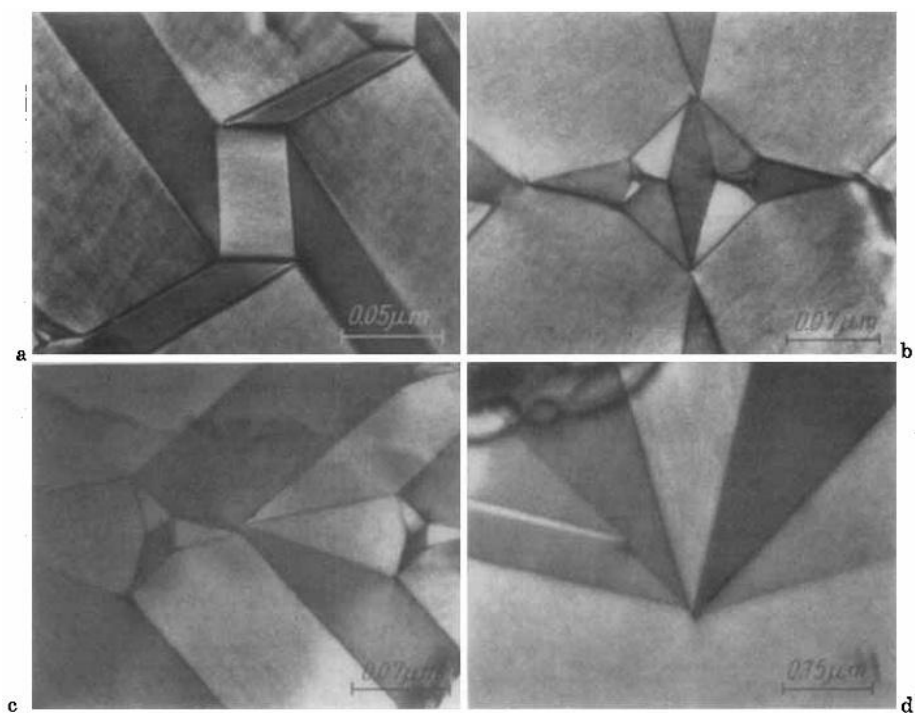
β -fazag'atıyislimonoklinlikelementarqutıshamenen γ -fazag'atıyisliromboedrlikelementarqutıshanın'vektorlarıarasındag'ıqatnasmınatu'r geiyeboladı [36]:

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \bar{x}_3 \end{pmatrix}_{\beta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{a}_1 \\ \bar{a}_2 \\ \bar{a}_3 \end{pmatrix}_{\gamma}$$

Bul an'latpada $\cos \beta = (s - 1)/\sqrt{s + 1}$; $s = 4 \sin^2 (\alpha/2)$. Monoklinlik pa'njerenin' elementar qutıshasının' ko'lemi romboedrlık qutıshanın' ko'lemine eki ese u'lken.

Endi $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' domenlik strukturasın ulıwma tu'rde ta'riyipleymiz.

γ -fazada, yag'nıy 120°C temperaturadan joqarı temperaturada elektronlıq mikroskopiyalıq su'wrette ayırım tosınnan ushırasatug'ın dislokatsiyalardıń ha'm sol sıyaqlı strukturalıq defektlerdin' su'wretlerinen basqa aytarlıqtay hesh na'rse de baqlanbaydı.



10-su'wret. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının β -fazasidagi oblastlarning xarakterli konfiguratsiyalari: a) spiral ta'rizli konfiguratsiya, b) bir birine parallel ha'm juldiz ta'rizli oblastlar, c) ha'm d) substrukturaning boshqa konfiguratsiyalari.

Biraq β -fazada qorg'asining ortovanadati juda' jaks ko'rinetug'ining domenlik strukturaga iye boladi. Onda oblastlar kristallografiyalik jaqtan bir birineng aniq turde ayralap turadi, baqlanatug'ining jolaqlar arasidagi muyeshko'pshilik jag'daylarda 30° ti quraydi (10-su'wret). Oblastlarning diywallari (oblastlar arasidagi shegaralar) mexanikalik kernew tuskende jiljidi. Ayrim segnetoelastiklik oblastlar kristalding ha'm qiyli orientatsiyalik hallariga saykes keledi. 10-su'wretteg bir tekli oblastlar arasidagi shegaralardi ha'zirinshe δ tipidagi shegaralar dep ataymiz. Shegaraning eki ta'repidagi oblastlarning intensivliklari har qiyli. Su'wretteg bul difraktsiyalik kontrastning har qiyililig'ining jolaqlardi izbe-iz jaylasqan dvoynikler dep boljawg'a mumkinshilik beredi.

11-su'wrette $Pb_3(VO_4)_2$ kristallari har qiyli oblastlari arasidagi shegaraning ekinshi tipi keltirilgen. Bunday shegarani α -tipidagi shegara dep ataymiz. Bul

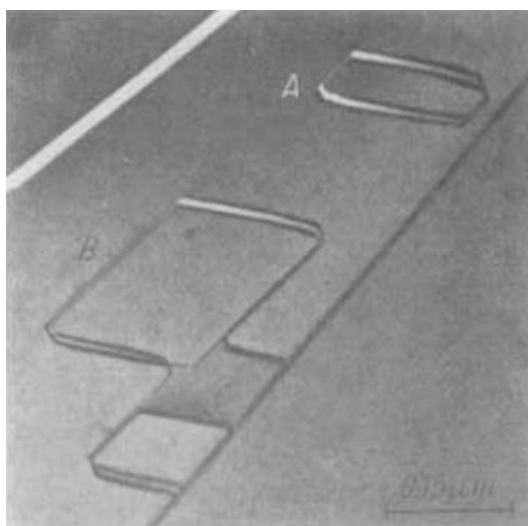
jag'dayda shegaranın' eki ta'repindegi intensivlik birdey. Sonlıqtan shegaranın' eki ta'repindegi oblastlardı translyatsiyalıq oblastlar bolıp tabıladı. Shegaralardıń bir birine qarag'an bo'limleri bir birine parallel.

Endi ha'r qıylı fazalardan tu'sirilgen elektronografiyalıq su'wretlerdi tallaymız.

γ -fazada alıng'an elektronogramalardag'ı difraktsiyalıq daqlar ko'p sanlı a'piwayı altı mu'yeshli reflekslerden turadı. Bul jag'day trigonallıq simmetriyag'a sa'ykes keledi.

Endi o'jire temperaturalarında alıng'an elektronogrammalardag'ı reflekslerdin' jaylasıwına itibar beremiz.

Biz a'piwayılıq ushın geksagonallıqto'rtindeksli $\{hkil\}$, $i = -(h + k)$ belgilewlerdin' ornına $\{hk.l\}$ tu'rindegi belgilewlerdi qollanamız.



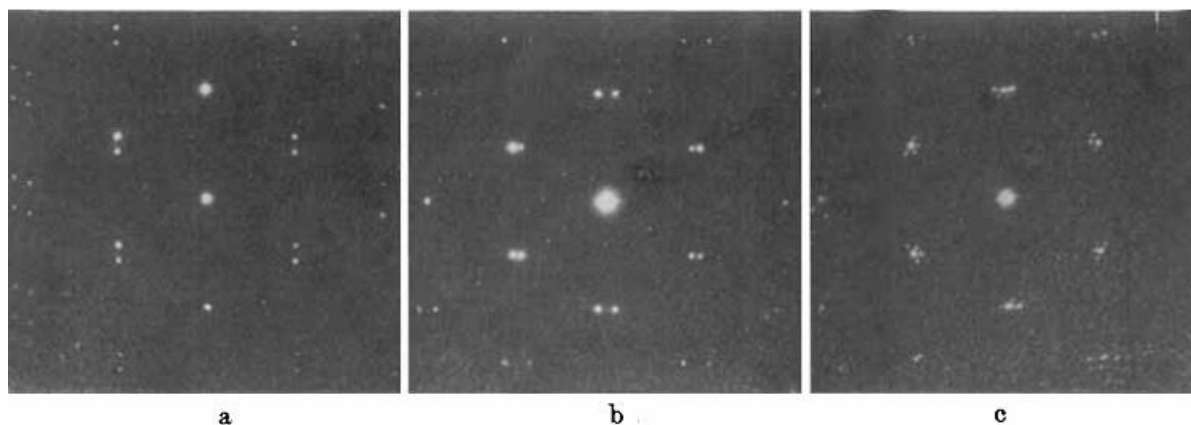
11-su'wret.

β -fazada 10-su'wrette keltirilgen substrukturadan basqa da substrukturanın' payda bolatug'inlıg'ın ko'rsetetug'ın elektron-mikroskopiyalıq su'wret

12-su'wrette $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının' trigonallıq fazasının' $[00.1]$ kristallografiyalıq bag'ıtına perpendikulyar etip kesip alıng'an juqafolga folganın' ha'r qıylı ushastkalarınan tu'sirilgen elektronogrammalar keltirilgen. 12-a su'wrette joqarı temperaturalı trigonallıq fazag'a sa'ykes keliwshi ha'r bir refleksdin' 2 reflekske (qurawshıg'a) vertikal bag'ıtta bo'lingenligi ko'rinip tur. Bul gorizont bag'ıtındag'ı ha'm elektronogramma tegisligine perpendikulyar bolg'an dvoynikleniw tegisliginin' bar ekenliginin' na'tiyjesi bolıp tabıladı. Al 12-

b su'wrette bolsa dvoynikleniw tegisligi og'an perpendikulyar jaylasqan. Bul su'wrette joqarı temperaturalı fazanın' refleksinin' eki qurawshıg'a ajralıwı gorizont bagıtında ju'zege kelgen.

Eger elektronlıq mikroskoptag'ı (elektronograftag'ı) kristallıq folgag'a kelip tu'siwshi elektronlar da'stesinin' diametrin u'lkeytse bir waqıtta ko'p sanlı domenlerden elektronogrammalar alıw mu'mkinshiligi tuwıladı. Bul jag'day 12-s su'wrettegi keltirilgen. Refleksler 5 qurawshıg'a ayrılğ'an. Bunday elektronogrammanın' alınıwı ushın u'shinshi dvoynikleniw tegisligi kerek boladı. Onday tegisliklerdin' indeksleri $\{11.0\}$ ha'm $\{10.0\}$ tu'rinde jazıladı. Bul jag'day qorg'asın ortovanadatı kristallarındag'ı $\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwinin' og'ada qızıqlı mexanizm menen ju'retug'inlıg'ın ko'rsetedi. Biz qa'legen kristallıq denede strukturalıq fazalıq o'tiwdin' tek bir tiptegi tegislikte ($\{11.0\}$ yamasa $\{10.0\}$ tipindegi) dvoynikleniwdin' saldarınan bolatug'inlıg'ın jaqsı bilemiz. Biraq bir birine usamaytug'ın $\{11.0\}$ ha'm $\{10.0\}$ tegisliklerinde bir waqıtta dvoynikleniwdin' ju'zege keliwi og'ada siyrek usharısatug'ın qubılıs degen juwmaqqa kelemiz.



12-su'wret. β -faza halındag'ı u'lgiden alıng'an elektronogrammalar.

a). Dvoynikleniw tegisligi elektronogramma tegisligine perpendikulyar ha'm gorizont bag'ıtında bag'ıtlang'an. Bul $\{10.1\}$ tegisligik dvoynikleniw tegisligi ha'm eki dvoynik arasındag'ı shegara (diywal) bolıp tabıladı ha'm onı W' arqalı belgileymiz. Bul jag'dayda 2 orientatsiyalıq hal orın aladı.

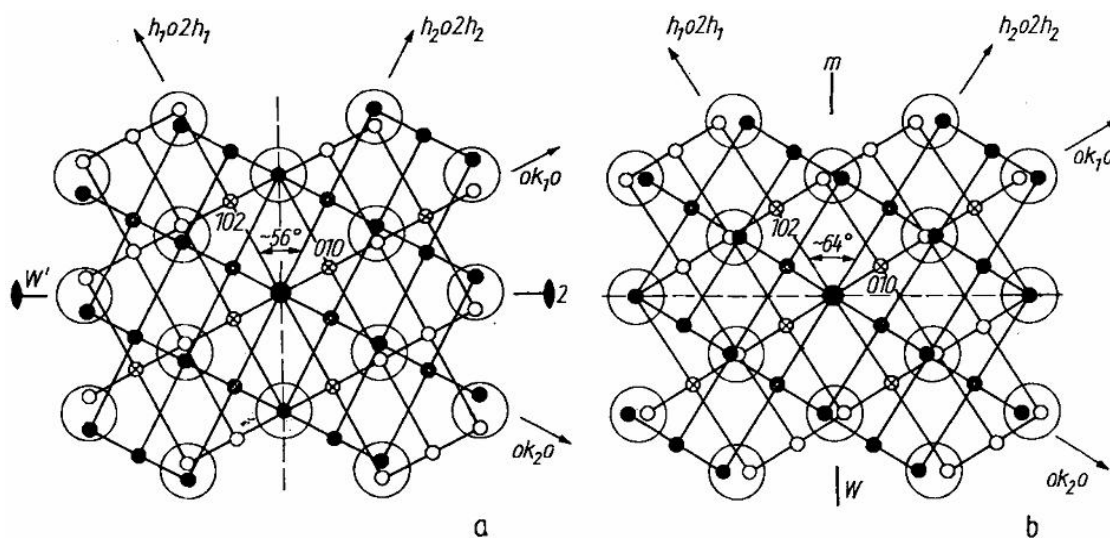
b). Tap sonday diywal vertikal bag'itlang'an. Bunday diywaldi W arqali belgileymiz. Bul jag'dayda dvoynikleniw tegisligi $\{11.0\}$ tegisligi bolip tabiladi.

Bul jag'dayda da 2 orientatsiyaliq hal orin aladi.

s). Bul jag'dayda dvoynikleniw bir neshe tegislikte ju'zege kelgen.

Elektronogrammadag'ı ha'r bir refleks 5 yamasa 6 dana qurawshıg'a ajiralg'an ha'm bul jag'dayda 3 orientatsiyaliq hal orin aladi dep boljang'an.

Alıng'an elektronogrammalardı geometriyalıq jaqtan tallaw $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ qorg'asın ortovanadatı kristallarında segnetoelastiklik $\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwinin' quramalı sxema menen ju'retuginlıgın ko'rsetedi. Usınday tallawdı a'melge asırg'an [39] jumıstın' avtorları 13-su'wrette keltirilgen dvoynikleniw sxemasın usındı.



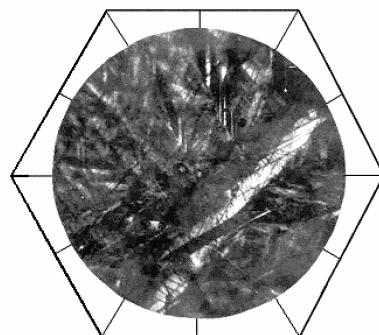
13-su'wret. [39] jumıstın' avtorları ta'repinen usınılg'an $\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwindegi (segnetoelastiklik fazalıq o'tiwindegi) atomlıq-kristallıq strukturanın' o'zgeriwinin' mexanizmi.

$\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwinin' kristallografiyalıq mexanizmin biliw arqalı 10-su'wrettegi "tor" tipindegi strukturalıq domenlerdin' ha'm olar arasındag'ı shegaralardın' qanday kristallografiyalıq xarakteristikalg'a iye ekenligin

15-su'wrette qorg'asın ortovanadatı kristallarının' (00.1) kesiminin' MP-7 tipindegi optikalıq polyarizatsiyalıq mikroskopta o'jire temperaturasında aling'an fotosu'wret berilgen. Bul su'wrette $Pb_3(VO_4)_2$ kristalları haqıyqatında da optikalıq jaqtan bir birinen ayrılatug'ın quramalı substrukturag'a iye bolatug'ınlıg'ı ko'rinip tur. Kristaldın' temperaturasın joqarilatqanda $\beta \rightarrow \gamma$ fazalıq o'tiwinin' na'tiyjesinde su'wrettegi jolaqlar, torlar tolıq jog'aladı Aling'an su'wretten bir qatar a'hmiyetli juwmaqlardı shıg'arıw mumkin.

15-su'wret.

Qorg'asın ortovanadatı kristallarının' (00.1) kesiminin' MP-7 tipindegi polyarizatsiyalıq mikroskopta o'jire temperaturasında (00.1) kesiminen aling'an su'wret.



Na'tiyjelerdin' birinshisi polidomenli substrukturanı kristaldın' (00.1) kesiminen baqlanatug'ınlıg'ı. Bunday jag'daylar ko'plegen segnetoelektriklerdi, segnetoelastiklerdi baqlag'anda ayqın ko'rindi ($BaTiO_3$, KH_2PO_4 ha'm basqa da kristallar). Aling'an su'wretlerden ekinshi juwmaq shıg'arıwg'a boladı. Ol to'mendegiden ibarat:

$Pb_3(VO_4)_2$ kristallarında $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwinin' saldarınan atomlıq-kristallıq struktura keskin tu'rde o'zgeredi. Jan'a segnetoelastiklik fazanın' monoklinlik strukturası trigonallıq $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'ı strukturalıq birliklerdin' (ionlardın', tetraedrlerdin') (00.1) tegisligindegi jılıjıwların' saldarınan ju'zege keledi. Bunday strukturalıq o'zgerisler $\{10.0\}$ yamasa $\{11.0\}$ tipindegi tegisliklerde dvoynikleniwdin' saldarınan, yamasa (00.1) tegisligine parallel bolg'an ayırım kristallografiyalıq bag'ıtlar boyınsha dilatatsiyanın' saldarınan a'melge asadı dep boljawg'a boladı. Bul boljawlardın' qaysısının durıs ekenligin anıqlaw ushın rentgenografiyalıq izertlewler seriyasın o'tkeriw talap etildi.

10-§. Joqarı temperaturalıq rentgendifraktsiyalıq izertlewler

Biz joqarı temperaturalıq rentgendifraktsiyalıq izertlewler haqqında aytqanımızda $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' $\gamma \rightarrow \beta$ o'tiwi a'tirapındag'ı temperaturalardı, yag'nıy shama menen 150°S shekemgi temperaturalardı na'zerde tutamız.

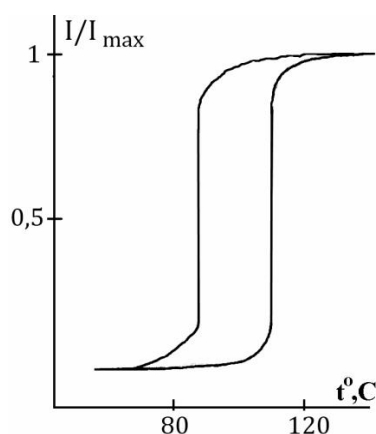
Eksperimentler DRON-UM1 tipindegi rentgen difraktometrinde ha'm RKV-86A tipindegi aylanıw (terbeliw) kamerasının' ja'rdeminde alıp barıldı. İzertlenip atırğ'an u'lgini qızdırıw ushın temperaturanın' berilgen ma'nisine shekem qızdırılğ'an jin'ishke neydan shıg'ıwshı hawa paydalanıldı. Bul du'zilistin' temperaturanın' berilgen ma'nisin uslap turıw da'lligi $\pm 1^\circ$ tan to'men emes.

16-su'wrette eki koordinatalı potentsiometr ja'rdeminde $\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwin baqlag'anda aling'an iymeklik berilgen. Bun su'wrette temperatura to'menlegende $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwinin' shama menen 90°S temperaturada baslanatug'inlig'ı, temperaturanı qızdırğ'anda keri $\beta \rightarrow \gamma$ fazalıq o'tiwinin' shama menen 110°S temperaturada baslanatug'inlig'ı ko'rinip tur. Bul grafiktegi fazalıq o'tiwdin' 20 graduslıq gisterezis penen ju'retug'inlig'in ko'remiz. Temperaturanı

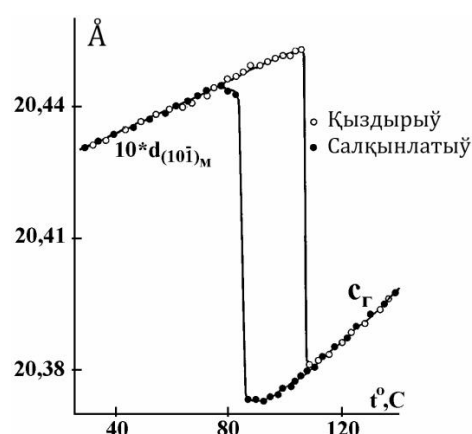
$\gamma \rightleftharpoons \beta$ fazalıq o'tiwleri noqatları a'tirapında tsikllıq o'zgeratkende ($50^\circ\text{S} - 150^\circ\text{S}$

intervalında) aling'an gisterezistin' ma'nisi sezilerliktey o'zgeriske ushıramadı.

17-su'wrette qorg'asın ortovanadı kristallarının' turaqlısının' temperaturadan g'a'rezligi keltirilgen. γ -faza ushın jıllılıq ken'eyiwi koeffitsientinin' ma'nisi $\alpha_\gamma = 2,56 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$. Al segnetoelastiklik β -faza ushın $\alpha_\beta = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ shaması alındı.



16-su'wret. γ -fazag'a tiyisli (00.l) tipindeki difraktsiyalıq maksimumnın intensivliginin temperaturadan g'a rezligi.

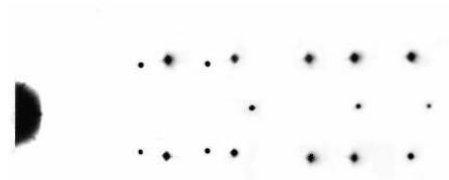


17-su'wret. γ -fazag'a tiyisli "s" turaqlısının temperaturadan g'a rezligi.

18-a su'rette 145°S temperaturasında tu'sirilgen terbelis rentgenogramması ko'rsetilgen (terbelis ko'sheri $[11.0]$). Bul rentgenogrammanı indekslew kristaldın simmteriyasının bunday temperaturalarda $R\bar{3}m$ ken'isliklik gruppag'a kiretug'ınlıg'ın, kristallıq pa'njerenin turaqlılarının $a_g = 5.76 \text{ \AA}$, $s_g = 20.368 \text{ \AA}$ shamalarına ten' ekenligin ko'rsetti. Temperaturanın 120°S g'a shekem to'menlewinde rentgenogrammanın tu'ri a'dewir o'zgeriske ushırada (18-b su'wret). $[11.0]$ bag'ıtında kristallıq pa'njere turaqlısının eki ese artqanlıg'ın ko'rsetetug'ın jan'a qatlamlıq sızıqlar payda boldı (yag'nıy $a = 11.52 \text{ \AA}$ shamasına ten' boladı). 90°S dan to'mengi temperaturalarda quramalı polidomenlik strukturag'a sa'ykes keletug'ın quramalı difraktsiyalıq kartınaqalıplesti (18-s su'wret).

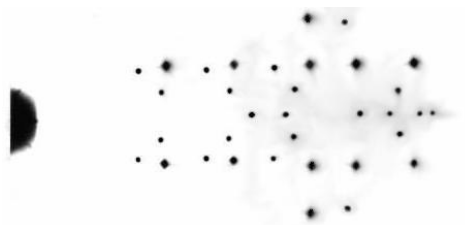
Temperatura joqarılag'anda $a = 11.52 \text{ \AA}$ turaqlıg'a iye jan'a faza $108-140^{\circ}\text{S}$ temperaturalar intervalında saqlandı. Bul mag'lıwmatlar $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarında γ ha'm β fazalarının arasında jan'a fazanın bar ekenligin bildiredi. Bul fazanı biz γ' arqalı belgileyemiz.

18-su'wret.



Ha'rqiyli temperaturalar da tu'sirilgen $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' terbeliw rentgenogrammaları.

- a) Trigonallıq γ -fazanın' $[11.0]$ ko'sheri rentgen kamerasının' terbeliw ko'sherine parallel etip qoyıldı. Rentgenogrammalar mıs anodının' nurlanıwında tu'sirildi. Trebelis intervalı 15° .

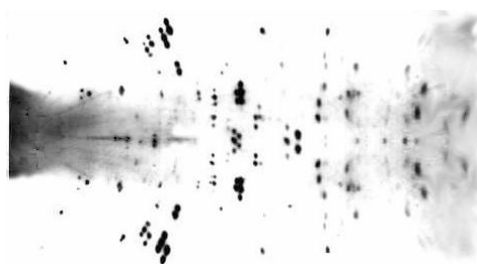


b)

a) 145°C temperaturada,

b) 120°C temperaturada,

s) o'jire temperaturasında alındı.



s)

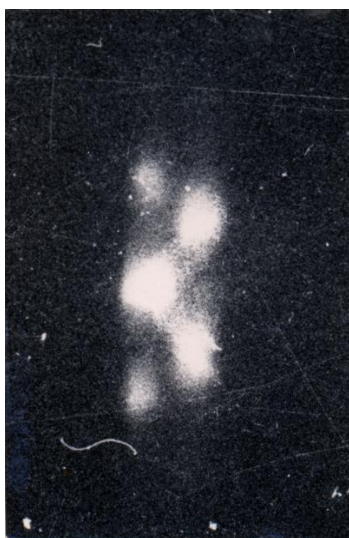
Fazalıq o'tiwlerde $(00.l)$ tipindegi rentgen reflekslerinin' o'zgeriske ushıramaytug'ınlıg'ı anıqlandı. Joqarı temperaturalı γ -fazanın' kristallıq strukturasına sa'ykes keletug'ın refleksler β -fazada 5 yamasa 6 qurawshıg'a ajırıldı (rassheplenie reflektsov). Bul mag'lıwmattın' o'zi $\gamma \rightarrow \gamma' \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwlerinde trigonallıq simmetriyanın' monoklinlik simmetriyag'a shekem to'mendleytug'ınlıg'ınan derek beredi. Usının' menen birge jan'a qatlamlıq sızıqlarda jaylasqan reflekslerdin'ko'p sanlı qurawshılarg'a ajıralıwı baqlanbadı. Olar tek eki qurawshılarg'a bo'lindi ha'm kishi difraktsiyalıq mu'yeshler ta'repke qaray jılıdı.

Demek $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarında $80-150^\circ\text{C}$ temperaturalar intervalında eki fazalıq o'tiw orın aladı eken. Bul o'tiwler quramalı tu'rdegi substrukturanın' payda bolıwına alıp keledi. Al fazalıq o'tiwdin' temperaturalıq gisterezisinin' bar ekenliginen ha'm polidomenlik kristaldın' rentgen su'wretinin' quramalılıg'ınan baqlang'an fazalıq o'tiwlerdin' I a'wlad fazalıq o'tiwleri ekenligin bildiredi.

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı trigonallıq modifikatsiyadan quramalı monoklinlik polidomenlik strukturanın' payda bolıwının' kristalgeometriyasın tolıg'ıraq tallaw

ushın qosımsha rentgen topografiyalıq ha'm elektronografiyalıq su'wretler tu'sirildi.

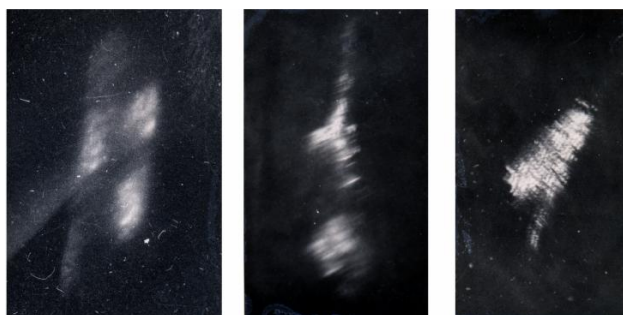
Rentgentopografiyalıq su'wretler mu'yeshlik skannerlew sxeması boyınsha BM tipindegi noqatlıq fokusqa iye rentgen trubkasın qollang'an halda (URS-0,02 apparatı) DRON-2,0 difraktometrindegi GUR-4 rentgen goniometriniń ja'rdeminde tu'sirildi. Mıs anodınıń xarakteristikalıq nurlanıwı paydalanıldı.



19-su'wret

Mu'yeshlik skannerlew usılınıń ja'rdeminde alıng'an topografiyalıq su'wret.

Rentgen nurları da'steleriniń kollimatsiyası rentgen difraktometriniń standart san'laqlarınıń ja'rdeminde a'melge asırıldı. Rentgen topogrammaların tu'sirgende skannerlewdin' eki sxeması (θ - 2θ skannerlew ha'm tınıshlıqta turg'an rentgen plenkalı skannerlew) paydalanıldı. Rentgen optikasızamaları boyınsha θ - 2θ skannerlewde kristallografiyalıq tegislikler arasındag'ı razorientatsiyalar (bir birine salıstırǵanadag'ı burılıwlar), al tınıshlıqta turg'an rentgen plenkası jag'dayında dilatatsiyalıq harakterdegi mikrodeformatsiyalar baqlanadı.



20-su'wret.

Domenlerdin' barlıq tu'rine iye kristallıq u'lgiden tu'sirilgen

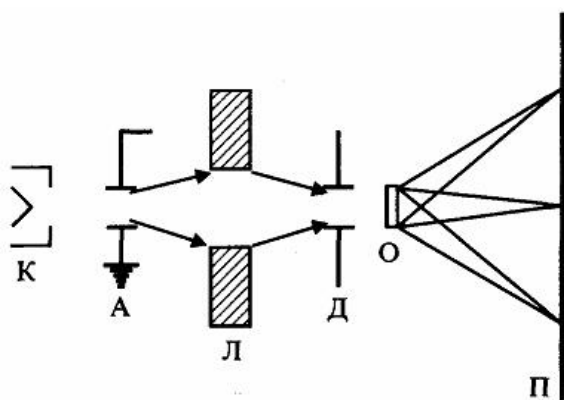
rentgen topogrammaları.

abs

19-su'wrette qorg'asın ortovanadatı kristallarının' polidomenlik β -modifikatsiyasının' (00.1) kesiminen tu'sirilgen mu'yeshlik skannerlew topogrammasının' fragmenti ko'rsetilgen. Terbelis rentgenogrammalarındag'ı jag'daydag'ıday topogrammada 5 qurawshıg'a ajıralg'an refleks payda boladı. Su'wrettegi ortada turg'an qurawshı salıstırmalı u'lken intensivlikke iye ha'm ol aralarında kogerentlik shegarag'a iye (dvoynikleniw tegislighi) domenlerdin' eki sistemasına sa'ykes keledi. Topografiyalıq su'wrette bir vertikal boyında jaylasqan reflekslerdin' (bul vertikal bag'ıt mu'yeshlik skannerlew ko'sherine parallel) su'wretlerdin' orayına salıstırg'anda asimmetriyalıq quyırıqlarg'a iye ekenligi anıq ko'rınip tur. Usınday quyırıqlar menen refleksler vertikal bag'ıtta tutasqan. Al ha'r qıylı vertikallarda jaylasqan (19-su'wrette tek eki vertikal bar) arasındag'ı refleksler bir biri menen tutaspag'an.

20-su'wrette strukturalıq (segnetoelastiklik) domenlerdin' altı (20-a su'wret) ha'm eki (20-b su'wret) sistemasına iye polidomenlik kristallardın' rentgentopografiyalıq su'wretleri keltirilgen. Al 20-s su'wrette bolsa keri pa'njerenin' bir neshe qurawshıg'a ajıralmaytug'ın (00.1) tipindegi tu'iyinine sa'ykes keliwshi topografiyalıq su'wret sa'wlelendirilgen. Barlıq su'wretlerdin' betlerinde jaqarı kontrastqa iye jolaqlar baqlanadı. Ayırım qurawshılardın' topogrammaları kristaldın' betinin' tolıq su'wretin beredi, al basqa qurawshılar kristaldın' betinin' bir bo'limlerinin' g'ana su'wretin payda etedi. Su'wretlerdin' qurawshıları arasındag'ı kontrast tan' o'lsheqli tarqalmag'an. Bul kristaldın' izertlengen ushastkasındagı domenlerdin' mag'darının' birdey emes ekenliginen derek beredi.

Qa'legen kristaldın' keri pa'njeresinin' (000) tu'yini arqalı o'tetug'ın derlik mayıspag'an tegislighin tikkeley alıw ushın a'dette elektronlar tolqınlarının' difraktsiyasının' ja'rdeminde a'melge asadı. Bunday eksperimentler a'dette elektron mikroskopının' ja'rdeminde o'tkeriledi ha'm bul jag'dayda elektron mikroskopi elektronograf sxemasında islewi kerek boladı (21-su'wret).



21-su'wret.

Elektronografin'printsipiallıq sxeması

[41]

K – katodha'melektronlıqpushka,
A, L ha'm D – fokuslawshı sistemanın'
elementleri, O – izertlenetug'ın u'lgi, P
– fotoplastinka.

Elektronlıq mikroskopta paydalanılatug'ın elektronlar tolqınların'ın' tolqın uzunlıqları rentgen tolqınların'ın' tolqın uzunlıqlarınan a'dewir kishi, sog'an sa'ykes Evald sferasın'ın' radiusı sonshama u'lken boladı. Haqıyqatında da eger elektron pushkasındag'ı tezletiwshi potentsiallar ayırmasın'ın' shaması 100 kV bolsa tolqın uzunlıg'ı $\lambda = 0,0387 \text{ \AA}$ shamasına ten' boladı. Kernewdin' ma'nisi 40-60 kV shamasına shekem kishireygende elektronlardın' tolqın uzunlıgı ushın $\lambda = 0,061 - 0,050 \text{ \AA}$ shamaların alamız. Ximiyalıq elementlerdin' xarakteristikalıq rentgen spektrinde bunday uzunlıqtag'ı tolqınlardın' joq ekenligin atap o'temiz. Rentgen trubkasın'ın' tormozlıq nurlanıwı ushın $0,05 \text{ \AA}$ shamasına ten' qısqa tolqınlı shegara anod penen katod arasındag'ı kernewdin' shama menen 250 kV ke shekem ko'teriliwine sa'ykes keledi. Al bunday eksperimentlerdi o'tkeriwdin' mu'mkinshiliginin' joq ekenligi ba'rshege tu'sinikli.

Solay etip elektronografiyada a'dettegi materiallar ushın difraktsiyalıq mu'yeshlerdin' ma'nisleri kishi boladı eken. A'dette elektronogramma ushın difraktsiyalıq mu'yeshlerdin' ma'nisleri $\theta = 3 - 5^\circ$ a'tirapında boladı. Bul jag'day Vulf-Bregg ten'lemesinin' jazılıwın'ın' a'piwayılasıwına alıp keledi.

Haqıykatında da mu'yeshlerdin' kishi ma'nisleri ushın $\sin\theta \cong \theta \cong \text{tg}\theta$. Bul

jag'day polikristall elektronogramması ushın $\text{tg}2\theta = r/L$ ten'liginin' orınlı ekenligin ko'rsetedi. Bul an'latpada L arkalı u'lgi menen fotoplenka arasındag'ı qashıqlıq, al

r arkalı Debay saqıynasının' radiusı belgilengen. Bunnan keyin $\text{tg}\theta \cong \theta \cong r/(2L)$

ten'liklerin jaza alamız. Bunnan

$$d \cong \frac{\lambda}{2\theta} = \frac{\lambda}{2r} \cdot 2L = \frac{\lambda L}{r}$$

an'latpasına iye bolamız. Bul an'latpadan λL shamasının' elektronograftın' bazı bir standart parametri bola alatug'ınlıg'ı ko'rinip tur (sebebi tolqın uzınlıg'ının' turaqlı ma'nisi elektrodlardag'ı tezletiwshi kernewdin' da'l uslap turılıwı menen baylanıslı). Usıg'an baylanıslı elektronograftı jumısqa aldın-ala tayarlag'anda etalon kristallıq zattın' elektronogrammaları menen alıng'an na'tiyjelerdi salıstırıp ko'riw kerek boladı.

Joqarıda ayılğ'nalardan elektronografiyada difraktsiyalıq su'wretlerdi alıw tuwrı o'tken elektronlar da'stesinin' qasındag'ı mu'yeshlerdin' kishi intervalında ju'rgiziledi. Sonlıqtan elektronogrammalardı kristallardıń betinde shashırag'an tolqınlarda emes, al kristal arkalı o'tken tolqınlarda aladı. Difraktsiyalıq maksimumlardı effektivli tu'rde registratsiyalaw ushın fotoplenka izertlenip atırğ'an u'lgiden a'dewir alısta jaylasqan bolıwı kerek (21-su'wret). A'lбетте, elektronlardıń kristallıq deneler arkalı o'tiw jolının' kishi ekenligine baylanıslı

elektronografiyalıq eksperimentlerde ju'da' juqa kristallıq u'lgilerdin' izertleniliwi talap etiledi.

Elektronografiyalıq eksperimentlerdin' UEMV-100k elektronlıq mikroskopında o'tkerilgenligin biz joqarıda atap o'tip edik. Al bizler elektronlıq-mikroskopiyalıq ha'm elektronografiyalıq jumıslarınin' na'tiyjelerinen paydalang'an C. Manolikas ha'm S. Amelinskıxlar bolsa Jer ju'zindegi en' jetilisen elektron mikroskoplarınan paydalang'an. Usıg'an baylanıslı bizin' elektronografiyalıq eksperimentlerimizde alıng'an na'tiyjeler olardıń na'tiyjeleri menen konkurensiyag'a tu'se almaydı. Biraq biz o'tkergen elektronografiyalıq eksperimentler na'tiyjeleri bizdin' $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'ı strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' mexanizmlerin teren'irek tu'siniwge ha'm bir ma'nisli juwmaqlar shıg'arıwg'a mu'mkinshilik berdi.

$Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının' β -fazasının' keri pa'njeresinin' tu'yinlik tegisliklerine sa'ykes keletug'ın elektronogrammaları 22-su'wrette keltirilgen. Elektronogrammalardıń UEMV-100k tipindegi elektronlıq mikroskopta 75 kilovoltlik kernewde alıng'anlıg'ın atap o'temiz. Bul su'wretlerde $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwinin' qanday kristallografiyalıq mexanizm boyınsha ju'retug'ınlıg'ı birden ko'rinedi. Biz strukturalıq domenlerdin' (segnetoelastiklik domenlerdi) bir waqıtta eki tiptegi tegisliklerdeto'mendegidey sxema boyınsha dvoynikleniw mexanizmi boyınsha ju'zege kelinetug'ınlıg'ı ayqın ko'rip tur (to'mende keltirilgen indeksler joqarı temperaturalı γ -fazanın' geksagonallıq ustanovkasına tiyisli):

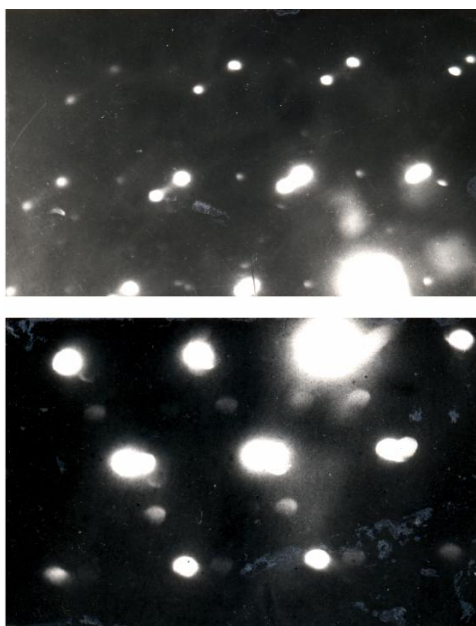
1. $\{11.0\}$ tipindegi tegisliklerdi dvoynikleniw, jıljıw tegisligi (00.1), jıljıw bag'ıtı $\langle 2\bar{1}.0 \rangle$;

2. $\{10.0\}$ tipindegi tegisliklerdegi dvoynikleniw, jıljıw tegisligi (00.1), jıljıw bag'ıtı $\langle 11.0 \rangle$.

3. Dvoynikleniw mu'yeshinin' shaması $5,1^\circ$ (bul shama o'jire temperaturasına tiyisli).

Monoklinlik pa'njerenin' $[0k0]$ ha'm $[h\ 0\ 2h]$ bag'ıtlarındag'ı difraktsiyalıq maksimumlardın' intensivlikleri o'zine ta'n o'zgesheliklerge iye. Ha'r bir ekinshi maksimumnan keyin difraktsiyalıq daqtın' intensivligi kemeyedi. Bul kubılıstı

elektronlardın' qos (eki qaytara) difraktsiyası menen baylanıslı dep tu'sindiriw mu'mkin. Usının' na'tiyjesinde elektronogrammalarda qadag'an etilgen refleksler payda boladı. Biraq terbelis rentgenogrammalardag'ı reflekslerdin' intensivlikleri elektronogramalardag'ıday ha'r qıylı emes. Sebebi rentgen nurları ushın eki qaytara difraktsiya (dvoynaya difraktsiya) qubılısının' ju'zege keliwi ju'da' siyrek usharısatug'ın arnawlı jag'daylarda g'ana orın aladı.



22-su'wret.

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı dvoyniklerden aling'an elektronogrammalar.

Elektronogrammalardan kerı pa'njere tu'yinlerinin' formalarınin' dvoynikleniw din' eki mexanizmi ushın eki tu'rli bolatug'ınlıg'ın an'g'arıwg'a boladı. Mısalı {11.0} tegisliklerinde dvoynikleniw din' saldarınan alınatug'ın refleksler [10.0] bag'ıtına parallel bag'ıtlarg'a sozıl'g'an ha'm tu'yinlerdin' qurawshıları bir biri diffuziyalıq sızıqlar menen tutasqan. Bunday jag'daydın' {10.0} tegisliklerinde ju'zege keletug'ın dvoynikler ushın baqlanbaytug'ınlıg'ı ha'm diffuziyalıq sızıqlar pu'tkilley payda bolmaytug'ınlıg'ı o'tkerilgen eksperimentlerde anıq boldı. Sonın' menen birge bul jag'dayda tu'yinlerdin' formaları da kristaldın' substrukturasına say o'zine ta'n o'zgesheliklerge iye bolmay shıqtı.

Solay etip $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarında 80-140⁰S temperaturalar intervalında bir waqıtta eki tiptegi tegisliktegi dvoynikleniw mexanizmi boyınsha strukturanın' o'zgeriwleri – transformatsiyaları orın aladı eken. Sonlıqtan tek ayırım kristallıq zatlar ushın ushırasatug'ın bunday qubılıstı eksperimentallıq jollar menen izertlew so'zsiz u'lken qızıg'ıwshılıq payda etedi.

11-§. $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı strukturalıq fazalıq o'tiwdi kristalgeometriyalıq tallaw

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı $\gamma \rightarrow \beta$ strukturalıq fazalıq o'tiwlerindegi mu'mkin bolg'an strukturalıq o'zgerislerdi geometriyalıq jaqtan tallaymız. Biz da'slep segnetoelastiklerdegi I a'wlad strukturalıq fazalıq o'tiwlerindegi orın alatug'ın fazalıq shegaralardıń kristallografiyalıq bag'ıtlarının' payda bolatug'ın domenlik strukturanı anıqlaytug'ınlıg'ın basshılıqqa alamız. Bunday tallawdı o'tkeriw ushın a'debiyatta matrensitlik fazalıq o'tiwler ushın jetkilikli da'rejede kristalgeometriyalıq mag'lıwmatlardın' bar ekenligin atap o'temiz. Bul mag'lıwmatlar $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı fazalıq o'tiw ushın to'mendegidey ulıwmalıq nızamlıqlardı beredi:

a) $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' trigonallıq parafazasının' kristallıq pa'njeresi menen segnetoelastiklik monoklinlik fazası kristallıq pa'njeresi arasında belgili bir orientatsiyalıq qatnaslardın' orınlanıwı ha'm bul qatnaslardın' ayqın tu'rde anıqlanıwı kerek[42].

b) $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwi I a'wlad fazalıq o'tiwi bolg'anlıqtan trigonallıq fazag'a tiyisli kristallıq pa'njere menen monoklinlik fazag'a tiyisli kristallıq pa'njere arasında kogerentlik baylanıstın' bolıwı kerek (yag'nıy eki fazalı hal ju'zege kelgen jag'daylarda ha'r qıylı fazalardı bir birinen qanday di bir kristallografiyalıq tegislikler ayırıp turadı). Bunday tegisliklerdin' kristallografiyalıq indekslerin anıqlaw eksperimentator aldında turg'an tiykarg'ı ma'selelerdin' biri bolıp tabıladı.

s) Polidomenlik β -fazadag'ı kristallarda s trukturalıq domenler arasında belgili bir orientatsiyalıq katnaslardın' orın alıwı ha'm bul qatnaslardın' ayqın tu'rde anıqlanıwı kerek.

Biz a'debiyattan segnetoelastik kristallar ushın kogerentli bolg'an domenler arasındag'ı shegaralardın' ten'lemelerin anıqlag'anda simmetriyalıq ko'z-qaraslardan basqa spontan distorsiyanın' da bir birine sa'ykesligin esapqa alıwdın' kerekligin bilemiz.

A'dewir ken' tarqalg'an a'debiy mag'lıwmatlardan segnetoelastiklerdegi kogerentlik domenlik shegaralar

$$\det(\Delta e_{ij}^{S_1-S_2}) = 0$$

bolg'an jag'dayda payda bola alatug'ınlıg'ın bilemiz. Bul an'latpadag'ı $\Delta e_{ij}^{S_1-S_2}$ arqalı bir birine tiyip turg'an eki domen ushın spontan deformatsiyalardın' ayırması. Eger joqarıdag'ı ten'lik orınlanbasa, onda usınday orientatsiyalıq hallar arasındag'ı kogerent domenlerge ruqsat etilmeydi, al sa'ykes domenler arasındag'ı shegaralar qadag'an etilgen sheg'aralar dep ataladı.

Endi $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwdegi simmetriya $\bar{3}m \rightarrow 2/m$ sxeması menen to'menlegende payda bolatug'ın orientatsiyalıq katnaslar menen qanday domenlik shegaralardın' payda bolatug'ınlıg'ın qarap shıg'amız. Ekileniw menen amelge asatug'ın fazalıq o'tiwlerde $\bar{3}m$ dan $2/m$ g'a sa'ykes keliwshi simmetriyanın' o'zgeriwlerinde eki mexanizmnin' ju'zege keliwi mumkin: birinshi jag'dayda ekileniw tegisligi bolıp aynalıq shag'ılısıw tegisligi m, al ekinshi jag'dayda 3 simmetriya ko'sherine perpendikulyar bolg'an 2 ge perpendikulyar tegisliktegi ekileniw.

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarındag'ı γ fazanın' gruppasının' retligi $N_1=12$ shamasına ten'. $2/m$ qurılısına ten' faza ushın $N_2=4$. Demek $\{10.0\}$ tegisliklerinde ekilengende 3 orientatsiyalıq hal payda boladı (domenlerdin' 6 sisteması payda boladı). Bul sistemalardı W arqalı belgileymiz. Tap usı waqıtları $\{11.0\}$

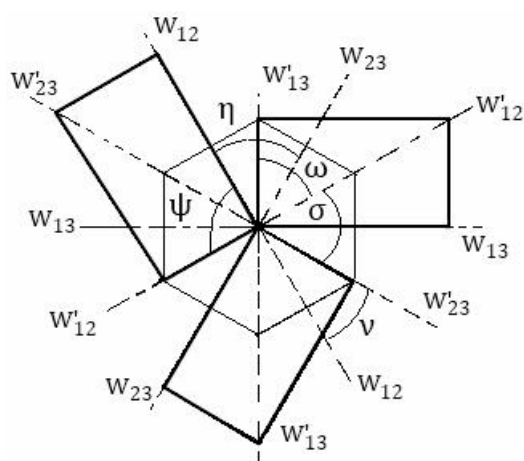
tegisliliklerindeki ekileniw de u'sh orientatsiyalıq haldın' payda bolıwına alıp keledi (bul jag'daydada da domenlerdin' altı sisteması payda boladı). Bul sistemalardı W' arqalı belgileymiz. Na'tiyjede $\gamma \rightarrow \beta$ fazalıq o'tiwlerinde strukturalıq domenlerdin' 12 sistemasınan turatug'ın quramalı polidomenlik struktura qa'liplesedi. Usınday halattag'ı optikalıq polyarizatsiyalıq mikroskop ja'rdeminde baqlanıp ju'rgen bir biri menen 30, 60 ha'm 90⁰mu'yesh jasaytug'ın jolaqlar W- ha'm W'- domenler sistemasının' superpozitsiyası bolıp tabıladı

Rentgenografiyalık ha'm a'piwayı optikalıq jollar menen alıng'an usı na'tiyjelerdin' barlıg'ın biz kestege tusiremiz:

Formulalar	Parametrdin' ataması	Para-metrdin' shaması
$w = \arcs \operatorname{tg} (d_{[102]}/b)$	Bir orientatsiyalıq haldag'ı ekinshi ta'rtip simmetriya ko'sheri menen ekinshi ta'rtpili psevdoko'sher arasındag'ı mu'yesh.	55.9 ⁰
$v = \arcs \operatorname{tg} (d_{[102]}/3b)$	Bir orientatsiyalıq haldag'ı ekinshi ta'rtpili simmetriya ko'sheri menen aynalıq shashıraw psevdotegisligi arasındag'ı mu'yesh.	25.88 ⁰
$\sigma = w$	Qon'sılas eki orientatsiyalıq haldag'ı ekinshi ta'rtpili simmetriyanın' psevdoko'sherleri arasındag'ı mu'yesh (W_{1z} ha'm W_{2z} ler arasındag'ı mu'yesh).	55.9 ⁰
$\eta = 90^0 - v$	Aynalıq shashıraw psevdotegislikleri arasındag'ı mu'yesh (W_{1z} i W_{2z} lerarasındag'ı mu'yesh).	64.12 ⁰
	Aynalıq shashıraw psevdotegislikleri	89.96 ⁰

$\Psi = \frac{d_{[102]}^2 - 3b^2}{\sqrt{(d_{[102]}^2 + b^2)(d_{[102]}^2 + 9b^2)}}$	menen ekinshi ta'rtipli psevdoko'sherler arasindag'1 mu'yesh (W_{12} menen W'_{12} arasindag'1 mu'yesh).	
$\theta = \arcsin \operatorname{tg}(-\lambda/e)$	U'shinshi ta'rtipli simmetriya ko'sheri menen domenler arasindag'1 shegara W' arasindag'1 mu'yesh.	$\sim 6.2^0$

Bul kestede berilgen belgilewlerdin' barlig'1 da 23-su'wrette keltirilgen.



23- su'wret.

$\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarında payda
bolatug'in strukturalıq domenler menen
domenler arasındag'1 shegaralardı,
olardın' belgileniwlerin ha'm olar
arasındag'1 mu'yeshlerdi
sa'wlelendiretug'in sxema.

Joqarıda keltirilgen mag'lıwmatlardın' barlig'1 da $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ kristallarının' $\gamma \rightarrow$
β fazalıq o'tiwindegi orın alatug'ın fazalıq shegaralar haqqındag'1 mag'lıwmatlarg'a
tuwrı keledi. Olardı atap o'temiz:

Fazalar simmetriyası	Ψ , gradus	θ , gradus	α , gradus
$R\bar{3}m \rightarrow \frac{P2_1}{n}$	96 ± 1	80 ± 2	$\alpha_1 = \pm 50 \pm 1$ $\alpha_2 = \pm 45 \pm 1$

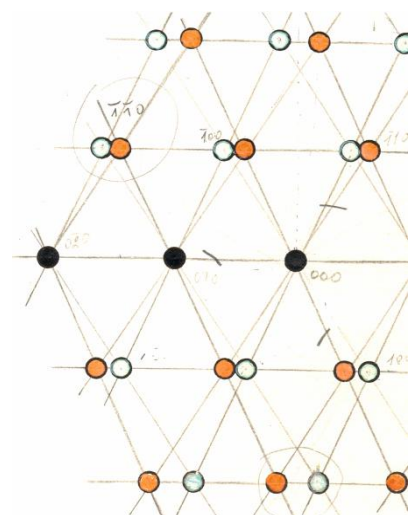
Eskertiwler:

Ψ arqalı bir orientatsiyalı qhalg'atı yislieki fazalıq shegaraarasındag'ı mu'yesh,
 θ arqalı fazalıq shegaranın' $(100)_m$ tegisligine qıyalıg'ı,
 α arqalı ekinshita'rıpliko'sher $[010]_m$ menen fazalıq shegaranın'
 $(100)_m$ tegisliginde giiziarasındag'ı mu'yesh belgilengen.

Bizendi $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'ı dvoynikleniw di 24-su'wrette keltirilgen sxematu'rindesa'wlelendire alamız.

24-su'wret.

$Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'ı dvoynikleniw tegisliklerinin'b
 irinde dvoynikleniw sxeması. Dvoynikleniw
 mu'yeshinin' ma'nisi u'lkeytilgen.



Bizendi juqafazalıq shegaramodelin paydalanıp joqarıda alıng'anna' tiy jelerdi tallay
 mız. γ -fazanın' kristallografiyalıq parametrlerin (pseudomonoklinlik simmetriya) a_0 ,
 b_0 , s_0 , $\varphi_0 = \beta_0 - 90^\circ$, al β -fazanın' kristallografiyalıq parametrlerina a_1 , b_1 , s_1 , $\varphi_1 = \beta_1 -$
 90° arqalı belgiley mız.

Koordinatalardıń mınaday ortogonallıq sistemasın saylap alamız: X ko'sheri "s"
 ko'sherine, Y ko'sheri b ko'sherine parallel, Z ko'sheri b ko'sherimenen $\varphi = \beta$
 $- 90^\circ$ mu'yesh jasaydı.

[43] gesa'ykes kristallografiyalıq parametrleri a_0 , b_0 , s_0 , $\varphi_0 = \beta_0 - 90^\circ$ ha'm a_1 ,
 b_1 , s_1 , $\varphi_1 = \beta_1 - 90^\circ$ bolg'an eki monoklinlik faza ushın birinshi faza menen
 baylanısqa koordinatalar sistemasındag'ı juqa fazalıq shegaranın' ten'lemesi

$$A_{11}X_0^2 + A_{22}Y_0^2 + A_{33}Z_0^2 + 2A_{12}X_0Y_0 = 0 \quad (3.1)$$

tu'rinde jaziladi. Bul ten'lemede

$$A_{11} = 1 - \left(\frac{c_1}{c_0}\right)^2; A_{22} = 1 - \left(\frac{b_1}{b_0}\right)^2; A_{13} = -\frac{c_1}{c_0} \cos \varphi_0 \left(\frac{c_1}{c_0} \sin \varphi_0 - \frac{a_1}{a_0} \sin \varphi_1\right);$$

$$A_{33} = 1 - \frac{1}{\cos^2 \varphi_0} \left[\left(\frac{a_1}{a_0}\right)^2 \cos^2 \varphi_1 + \left(\frac{c_1}{c_0} \sin \varphi_0 - \frac{a_1}{a_0} \sin \varphi_1\right)^2 \right].$$

(3.1)-ten'leme

$$\det|A_{ij}| = 0 \quad (3.2)$$

sha'rtiorinlang'anda ekikesiliwshitegisliklerdin'ten'lemesiboliptabiladi. (1)-

ten'lemegeqorg'asinortovanadatikristallarının'fazalıqo'tiwrayonındag'ıyha'mβfaza

larının'parametrlerinoyıp $\det|A_{ij}| = -5,85 \cdot 10^{-5}$ shamasınaiyebolamız.

Kristallografiyalıqparametrlerdianıqlag'andajiberilgenqa'teliklerdiesapqaalsaq,

onda (3.2)-sha'rtiorinlanadidepesaplawg'aboladıha'my-fazanın'koordinatasistemasındag'ıjuqafazalıqshegaraushın

$$X_0 \pm BY_0 + CZ_0 = 0 \quad (3.3)$$

ten'lemesi orınlanadı dep esaplawg'a boladı. Bul an'latpada

$$B = \sqrt{\frac{A_{22}}{A_{11}}} = 1,205; C = \frac{A_{13}}{A_{11}} = 0,108.$$

(001)

tegisligindefazalıqshegaramenenb₀ko'sheriarasındag'ımu'yeshtin'shaması

50,3⁰tıquraydı. Bulshamaeksperimentallıqna'tiyjelermenenjaqsısa'ykeskeledi.

Endi domenlik tor menen monodomenli oblast arasındag'ı shegara ushın ten'leme du'zemiz. Ortashalang'an shegaranın' kristallografiyalıq bag'ıtın anıqlaw

ushın ha'r qıylı orientatsiyalıq hallardı bo'lip turg'an shegaranın' ten'lemesin esaplawdın' usılanın paydalanamız[44]. Domenlik diywallardın' birdey ko'lemge iye mayda orientatsiyalıq hallardan turatug'nılıg'ın esapqa alsaq, onda qa'legen domenlik diywaldı ortashalang'an oblast dep esaplay alamız.

Parafazada monodomenlik oblasttın' orientatsiyasına (bag'ıtına) sa'ykes keliwshi saykes keliwshi koordinatalar sistemasında ıqtıyarlı $\mathbf{r}_0$ vektorın saylap alamız. Ha'r qıylı u'sh orientatsiyalıq haldın' jıllılıq ken'eyiwi tenzorına sa'ykes segnetoelastiklik fazada domenlik diywal oblastında $\mathbf{r}_0$ vektorının' ha'r bir u'shtin bir bo'legi o'zgeriske ushıraydı. $\mathbf{r}_0$ vektorının' o'zgerisi $\Delta \mathbf{r}$ to'mendegidey qurawshılarg'a sa'ykes keledi:

$$\Delta \mathbf{r} = \frac{X_{0i}}{3} (e_{ij} + e'_{ij} + e''_{ij}). \quad (3.4)$$

Bulan'latpada X_{0i} arqalı $\mathbf{r}_0$ vektorının' qurawshıları belgilengen, al e_{ij} , e'_{ij} ha'm e''_{ij} shamaları bolsamu'mkin bolg'anu'sh orientatsiyalıq hallardın's aylapalıng'an koordinatalar sistemasındag'ı jıllılıq ken'eyiwi tenzorının' qurawshıları bolıptabıladı.

$$e_{ij} = \begin{pmatrix} e_{11} & 0 & e_{13} \\ & e_{22} & 0 \\ & & e_{32} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

bolg'anlıqtan $e'_{ij} = c_{ik} c_{jl} e_{kl}$, $e''_{ij} = a_{ik} a_{jl} e_{kl}$. Bulan'latpalarda c_{ik} menen a_{ik} arqalı koordinatasistemasın X_3 ko'sherido'geresinde $\pm 120^\circ$ qaburg'andag'ı burıw matritsasının' qurawshıları bolıptabıladı.

(3.4)-an'latpada nortashalastırıl g'an oblast ushın jıllılıq ken'eyiwi tenzorın alamız:

$$T = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ & \varepsilon_{22} & 0 \\ & & \varepsilon_{32} \end{pmatrix}. \quad (3.6)$$

Bul an'latpada $\varepsilon_{11} = 0,5(e_{11} + e_{22})$, $\varepsilon_{33} = e_{33}$. Bunnan domenlik diywaldın' ortashalang'an oblastının' paraelektriklik fazanın' simmetriyasına sa'ykes keletug'ınlıg'ı ko'rinip tur.

Tap sonday jollar menen monodomenli oblast ushın $\mathbf{r}_2$ vektorının' koordinataların alamız:

$$X_1 = (1 - e_{11})X_{01} + e_{12}X_{02}, \quad (3.7)$$

$$X_2 = (1 + e_{22})X_{02},$$

$$X_3 = (1 + e_{33})X_{03}.$$

Ortalıqtın' tutaslıg'ın saqlawsha'rtinenegerr₀dimonodomelikoblastpenendomenli ktorının'bo'liniwshegarasındasaylapalatug'ınbolsaq

$$r_1^2 = r_2^2 \quad (3.8)$$

ten'liginin'orınlanatug'ınlıg'ıkelipshıg'adı.

(3.8)-an'latpadan

ekinshita'rtipliten'lemealamız:

$$B_{11}X_0^2 + B_{22}Y_0^2 + B_{33}Z_0^2 + 2B_{12}X_0Z_0 = 0. \quad (3.9)$$

Bul ten'lemede

$$B_{11} = 0,75e_{11}^2 - 0,25e_{22}^2 + e_{11} - e_{22} - 0,5e_{11}e_{22} + e_{12}^2;$$

$$B_{12} = 2 + e_{11} + e_{33};$$

$$B_{33} = e_{12}^2;$$

$$B_{22} = 0,75e_{22}^2 - 0,25e_{11}^2 - e_{11} + e_{22} - 0,5e_{11}e_{22}.$$

$$B_{11}B_{33} - B_{12}^2 = 0 \quad (3.10)$$

ten'ligiorınlanatug'ınbolg'anlıqtan

(3.9)-

an'latpag'aajratıwshegarasıushınto'mendegideyten'lemelersa'ykeskeledi:

$$X_{01} \pm KX_{02} + NX_{03} = 0. \quad (3.11)$$

Bul ten'lemede

$$K = \sqrt{\frac{B_{22}}{B_{11}}} = 1,026; N = \frac{B_{13}}{B_{11}} = -18,9.$$

Ayırıp turıw shegarası menen b_0 ko'sheri arasındag'I mu'yesh $\pm 45,75^\circ$ shamasına ten'. Bul shama eksperimentlerde alıng'an mag'lıwmatlarg'a da'l sa'ykes keledi.

12-§. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarındag'I bag'ıtlang'an mexanikalıq a'sirlerdegi substrukturanın' o'zgerisleri

Mexanikalıq sırtqı ta'sirlerge ushırag'an $Pb_3(VO_4)_2$ qorg'asın ortovanadatı kristallarının' haqıyqıy strukturası terbeliw rentgenogrammaları tu'siriw, keri pu'njere tu'yinlerinin' topografiyası ha'm elektronografiya ja'rdeminde izertlendi. Juqa u'lgiler joqarı temperaturalı fazanın' u'shinshi ta'rtpili pvevdo ko'sherinin' bag'ıtına perpendikulyar bag'ıtta (yag'nıy $[00.1]$ ko'sherine perpendikulyar bag'ıtta) polarizatsiyalıq mikroskoptın' predmetlik stolının' u'stinde baqlaw astında bir bag'ıtta qısıldı. Strukturalıq o'zgerislerdin' ju'zege kelgenligi bir Qatar domenlerdin' su'wretlerinin' o'shiwi boyınsha qadag'alanıp barıldı.

Elastik deformatsiya $[11.0]$ ha'm $[10.0]$ kristallografiyalıq bag'ıtlarında kishi portsiyalar menen kristallıq u'lginin' qıyrawına shekem alıpbarıldı. Kristaldın' tolıq monodomenlik halına keltiriw ushın shama menen 7 – 9 protsentik deformatsiyanın' kerek bolatug'inlıg'I optikalıq usıldın' ja'rdeminde anıqlandı

Mexanikalıq ta'sir astında bolg'an u'lgilerden terbeliw rentgenogrammaların tu'sirgende elastic deformatsiyanın' (monodmenleniwdin') da'slepki baskışlarında (stadiyalarında) birneshe qurawshılarg'a bo'lingen

reflekslerdin' sozılabaslawı anıq ko'rindi. Usının' saldarınan bir neshe refleksler bir biri menen birigip ketedi. (00.1) tipindegi reflekslerde o'zgerisler baqlanbadı ha'm sonlıqtan olar fotoplenkag'a tuwrı keliptu'siwshi rentgen nurları qaldırg'an iz benen qozg'almaytug'ın (o'zgermeytug'ın) esaplaw sistemasının' ornın iyeledi. Elastik deformatsiyanın' shamasının' o'siwi menen bazı bir rentgen daqları (difraktsiyalıq daqlar) tolıg'ı menen jog'aldı ha'm $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının' monoklinlik modifikatsiyasına saykes keliwshi difraktsiyalıq kartına qa'liplesti. Usının' na'tiyjesinde monodomenlik kristal ushın qa'liplesken reflekslerdin' koordinataları polidomenlik kristaldın' reflekslerinin' koordinatalarının' hesh birine sa'ykes kelmeytug'ınlıg'ı anıqlandı [biz bul refleksler qatarına (00.1) tipindegi reflekslerdin' kirmeytug'ınlıg'ın atap o'temiz].

Bul mag'lıwmatlardın' barlıg'ı da bag'ıtlang'an elastik deformatsiyanın' saldarınan $Pb_3(VO_4)_2$ monokristallının' payda bolatug'ınlıg'ı ha'm onın' kristallografiyalıq bag'ıtlarının' (orientatsiyasının') hesh bir domennin' sa'ykes kristallografiyalıq bag'ıtlarına parallel bolmaytug'ınlıg'ı kelip shıg'adı [19].

Alıng'an eksperimentallıq mag'lıwmatlar tiykarında burınıraq rawajlandırılğ'an segnetoelektriklerdegi elektr maydanının' ta'sirinde alinatug'ın monodomenlik haldın' barlıq orientatsiyalıq hallar ushın aralıqlıq orientatsiyalıq hal ekenligi haqqındag'ı ko'z-qaraslardı rawajlandırırw mu'mkinshiligi payda boladı. Basqa so'z benen aytqandastrukturalıq monodomenlesiw protsessi sırtqı bag'ıtlang'an ta'sirdin' ta'biyatınan g'a'rezsiz birdey bag'ıtlang'an domenlerdin' bir gruppasının' ken'isliktegi bag'ıtların o'zgertpey basqa domenlerdin' gruppaların a'piwayı tu'rdegi jutıwı bolıp tabılmaydı eken.

Magistrlik dissertatsiya boyınsha ulıwmalıq juwmaqlar

1. Dissertatsiyada segnetoelastikler fizikası, onın' texnika menen fizikalıq materialtıńda tutqan ornı, strukturalıq fazalıq o'tiwler fizikasının' tiykarları, qorg'asın ortovanadatı $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarının' atomlıq-kristallıq strukturası ha'm segnetoelastiklik qa'siyetleri haqqındag'ı mag'lıwmatlar keltirilgen. Atap aytqanda berilgen fizikalıq ha'm texnologiyalıq xarakteristikalarǵa iye kristallar alıw ushın bunday materiallarda orın alatug'ın strukturalıq aylanıslardıń ulıwmalıq nızamlıqların, strukturalıq fazalıq o'tiwlerdin' ayqın mexanizmlerin biliwdin' joqarı a'hmiyetke iye ekenligi, al bunday nızamlıqlardı ashıwda $Pb_3(VO_4)_2$ sıyaqlı modellik obektlerdin' tutqan ornı ashıp ko'rsetildi.

2. Jumıstı orınlawda paydalanılǵan ko'p sanlı eksperimentallıq usıllar kompleksinin' fizikalıq tiykarları dissertatsiyada jetkilikli da'rejede bayanlang'an. Bunday usıllar sıpatında polyarizatsiyalıq nurlardag'ı optikalıq mikroskopiya, rentgenografiyalıq aylanıw (terbeliw), mu'yeshlik skannerlew usılları, rentgen difraktometriyası, elektronografiya ha'm qaran'g'ı maydandag'ı elektronlıq mikroskopiya qolanıldı. Polidomenlik kristallardag'ı strukturalıq domenlerdin' transformatsiyaları bag'ıtlang'an mexanikalıq ta'sirlerde ju'zege keltirildi.

3. $Pb_3(VO_4)_2$ kristallarında 120 – 80⁰S temperaturalar intervalında ju'retug'ın

$\gamma \rightleftharpoons \beta$ fazalıq o'tiwlerdi ha'm strukturalıq domenler sistemasının'

transformatsiyaların difraktsiyalıq izertlewlerde fazalıq o'tiwlerdin' kinematikası, kristallgeometriyası, kristaldın' tariyxının' fazalıq o'tiwlerge ta'siri anıqlandı.

Bag'itlang'an mexanikalıq ta'sirler astında ju'retug'ın domenler sistemasının' transformatsiyalarının'o'zine ta'n o'zgeshelikleri, sonın' menen birge kristal menen sırtqı ta'sirdin' ta'biyatınan baylanıssız (mexanikalıq, elektrlik ta'sirler) kristallardag'ı monodomenizatsiya protsessinin' bir topar domenlerdin' basqa domenlerdi a'piwayı tu'rdegi qosıp alıwınan ibarat emes, al jan'a orientatsiyalıqqatnastın'qa'liplesiwi menen ju'retug'ınlıg'ı da'lillendi. Basqa so'z benen aytqanda strukturalıq monodomenlesiw protsessi sırtqı bag'itlang'an ta'sirdin' ta'biyatınan g'a'rezsiz birdey bag'itlang'an domenlerdin' bir gruppasının' ken'isliktegi bag'ıtların o'zgertpey basqa domenlerdin' gruppaların a'piwayı tu'rdegi jutıwı bolıp tabılmaytug'ınlıg'ı ayqın tu'rde ko'rsetildi.

Paydalanilg'an a'debiyatlar dizimi

Kirisiw

I.A.Karimov. «Yuksak manaviyat yengilmas kuch» Tosh 2008 yil.

Tiykarg'i a'debiyatlar

1. K.Aizu. Possible species of "ferroelastis" srystals and of simultaneously ferroelestris and ferroelastis srystals. J.Phys.Sos.Japan. 1969. Vol. 27. No.2. P.387-396.
2. H. Gränisher, K.A. Müller.On the nature of phase transitions and nomenslature.
Materials Research Bulletin, Volume 6, Issue 10, Ostober 1971. Pages 977-987.
- 3.Jeludev İ.S., Shuvalov L.A. Segnetoelektrisheskie fazovie perexodı i simmetriya kristallov. Kristallografiya, 1956, t. I, № 6, s. 681-688.
4. L. A. Shuvalov. Symmetry Aspests of Ferroelestrisity. J. Phys. Sos. Jpn. Suppl. 28, 38 1970.
5. L.A.Shuvalov. Kristallofizisheskaya klassifikatsiya segnetoelektrikov i ee prilojeniya. İzv. AN SSSR, ser. fizish., 1964, t. 28, № 2, s. 660-665.
6. L.A.Shuvalov. Segnetoelastiki. İzvestiya AN SSSR. Seriya fizisheskaya. T. 43. № 8. 1979. 1554-1560.
7. Jeludev İ.S., ShuvalovL.A.Orientatsiyadomenovimakrosimmetriyasvoystv segnetoelektrisheskix kristallov. İzv.AN SSSR, ser. fizish., 1957, t. 21, № 2, s. 264-274.
8. Shuvalov L. A. Kristallofizisheskaya klassifikatsiya segnetoelektrikov i ee prilojeniya. İzv. AN SSSR.Seriya fizisheskaya. 1964, T. 28, № 2, s. 660-665.Shirokov A. M., Shuvalov L. A., Kristallografiya, 8, 733. 1963.
9. Shuvalov L. A., Rudyak V. M., Komlyakova V. S., Kamaev V. E., İzv. AN SSSR. Ser. Fiz., 29, 2009. 1965 g.
10. İndenbom V.L. Segnetoelastiki i istoriya razvitiya teorii dvoynikovaniya i teorii segnetoelektrishstva. İzv. AN SSSR, ser. fizish., 1979, t. 43, № 8, s. 1631-1640.

11. Ivanov H.P., Kirpishnikova L.F., Konstantinova V.P., Soboleva L.V., Shuvalov L.A. $K_2\text{Va}(\text{NO}_2)_4$ - noviy segnetoelastik. Fazoviyeperoxodi i nekotorye fizicheskie svoystva. Kristallografiya Tom. 23. 1978. T.23. 788-795
12. Makita Y., J. Phys. Soc. Japan. 20. 1567. 1965.
13. Ivanov N.R., Shuvalov L.A. Izv. AN SSSR. Seriya fizicheskaya. T. 41. 1977. s. 783.
14. Ivanov N. R., Shuvalov L.A., Shmidt G., Shtalp E., Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya. 39. 933. 1975 g.
15. Shuvalov L.A., Gufan Yu.M., Levitanskiy Yu.I. Vozmojnye shisto segnetoelasticheskie fazovye perexodi mejdurombicheskoy parafazoy i monoklinnoy segnetofazoy i analiz iz razlischiy. Izv. AN SSSR. Seriya fizicheskaya. T. 43. № 8. S. 1619-1630. 1979.
16. Nikitin S.A. Magnitnye struktury v kristallicheskix i amorfnyx veshstvax. Sorosovskiy Obrazovatelnyy jurnal. 1997. № 7. S. 87-95
17. Gridnev S.A. Elektricheskie kristally. Sorosovskiy Obrazovatelnyy Jurnal. 1996. № 7. S. 99-104
18. Lixashev V.A. Effektpamyati formy. Sorosovskiy Obrazovatelnyy Jurnal. 1997. № 3. S. 107-114
19. B.A.Abdikamalov. Memory Effect in Lead Orthovanadate Crystals (Effektpamyativkristallax ortovanadata svintsa). Uzbekskiy fizicheskij jurnal. 2000. Vol. 2 (№ 5-6), S. 469-470.
20. A.L.Roytburd. Vliyaniemexanicheskix napryazheniy na obrazovanie domennoy struktury pri martensitnyx i segnetoelasticheskix fazovyx perexodax. Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya. T. 47. № 3. 1983. S. 435-449
21. Dudnik E.F., E.V.Sinyakov, S.V.Vagin, V.V.Gene. Domennaya struktura ferroelastika ortofosfata svintsa. FTT. 1975. T. 17. № 6. S. 1846.
22. Dudnik E.F., E.V.Sinyakov, S.V.Vagin, V.V.Gene. Protsess pereklyusheniya v ferroelastike $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$. FTT. 1977. T. 19. № 2. S. 633.

23. Gridnev S.A., Shuvalov L.A., Kudryash V.I. Vliyanie defektov na pereklyushenie shistogo sobstvennogo segnetoelastika $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$. Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya. 1983. T. 47. № 3. S. 497-499.
24. Dudnik E.F., Kiosse G.A. Osobennosti atomnoy struktury neorganicheskix shistix segnetoelastikov. Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya. T. 47. № 3. 1983. S. 420-434
25. Shulpina I.L. Rentgenovskaya difraktsionnaya topografiya. Etapy i tendentsii razvitiya. Poverkhnost. Rentgenovskie, sinxrotronnye i neytronnye issledovaniya. 2000. № 4. S. 3-18.
26. Shultz L. G., Method of using a fine focus X-ray tube for examining the surface of single crystals, tamje, 1954, v. 200, p. 1082.
27. Fujiwara T., New method to taking X-ray radiographs the divergent X-ray method, "Mem. Defense Academy", 1963, v. 2, M 5, p. 127.
28. Berg W., History of load of deformed crystals, "Z. Kristallogr.", 1934, v. 89, №3/4, p. 286;
29. Barrett C. S., New microscopy and its potentiality, "Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Eng.", 1945, v. 161, p. 15.
30. Lang A. R., The projection topograph: a new method in X-ray diffraction microscopy, "Acta Crystallogr.", 1959, v. 12, p. 249.
31. Borrmann G., Hildebrandt G., Röntgen-Wellenfelder in grossen Kalkspat-kristallen und die Wirkung einer Deformation, "Z. Naturf.", 1956, Bd 112, H. 7, S. 585
32. V.V.Aristov, E.V.Shulakov. Determination of angles between blocks from the topographs obtained by the Shultz method. J. Appl. Cryst. 1975. V. 8. I. 4. 445-451.
33. V.Shextman, R.Dilanyan. Vvedenie v rentgenovskuyu kristallografiyu. Podmoskovnyy filial Moskovskogo gosuniversiteta imeni M.V.Lomonosova. Chernogolovka. 2002. 144 s.

34. International Tables for X-Ray Crystallography. Vol I. Symmetry Groups. Published for the International Union of Crystallography by the Kynosh Press. Birmingham. England. 1969. 558 p.

35. E.V.Sinyakov, U.F.Dudnik, V.V.Gene i B.N.Litvin. O kristallisheskoy strukture nizkotemperaturnoy modifikatsii $\text{Pb}_3\text{V}_2\text{O}_8$. Kristallografiya. Tom. 20. Vip. 2. 423 s.

36. Brixner L.H., Flippen R.B., Jeitshko W. Preparation and properties of the $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2\text{-Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ system. Materials Research Bulletin. 1975, v. 10, n. 12, p. 1327 - 1334.

37. Dudnik E.F. Svoystva ferroelastikov i puti poiska novix ferrouprugix materialov. V sb.: Fizika aktivnix dielektrikov. - Dnepropetrovsk, DGU, 1980, s. 77-94.

38. Sonin A.S., Jeludev I.S. Prostranstvennaya simmetriya i segnetoelektrisheskie fazovye perexodi. Kristallografiya. 1959. T. 4, № 3. S. 487-497.

39. C.Manolikas, S.Amelinskx. Phase Transitions in Ferroelastic Lead Orthovanadate as Observed by Means of Electron Microscopy and Electron Diffraction. I. Static Observations (Nablyudenie fazovix perexodov v ferroelastike ortovanadate svintsa pri pomoshi elektronnoy mikroskopii i elektronnoy difraktsii. I. Staticheskie nablyudeniya). Phys. Stat. Sol. (a) 1980. 60. P. 607-617.

40. C.Manolikas, S.Amelinskx. Phase Transitions in Ferroelastic Lead Orthovanadate as Observed by Means of Electron Microscopy and Electron Diffraction. II. Dynamic Observations. (Nablyudenie fazovix perexodov v ferroelastike ortovanadate svintsa pri pomoshi elektronnoy mikroskopii i elektronnoy difraktsii. II. Dinamicheskie nablyudeniya). Phys. Stat. Sol. (a) 1980. Vol. 61. P. 179-188.

41. S.Amelinskx, D. van Dyck, J. van Landuyt, G. van Tendeloo. Electron Microscopy. Principles and Fundamentals. A Wiley company. 1997. 515 p.

42. L.A.Shuvalov, E.F.Dudnik, V.A.Neposhatenko, S.V.Vagin. Fazovye granitsy segnetoelastikax. Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya. T. 49. № 2. 1985. 297-300 s.
43. E.F.Dudnik, V.A. Neposhatenko Opredelenie kristallograficheskikh parametrov reshetki v rayone fazovogo perexoda pervogo roda v segnetoelastike $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$. Kristallografiya. 1980. T. 25. S. 984.
44. Neposhatenko V.A. Sravnitelnyy analiz dvux metodov rassheta orientatsii domennix stenok v segnetoelastikax. Kristallografiya. – 2004. – T. 49, №5. – S. 917 – 920.
45. Abdikamalov B.A., Aptekar I.L., Sergeev B.M., Tonkov E.Yu. Fazovyy perexod v splave $\text{Sm}_{0.9}\text{Q}_{0.1}\text{Cd}_{0.5}$ pri nizkix temperaturax. FTT, 1976, t. 18, № 10, s. 2975-2979.
46. Dudnik E.F., Kolesov I.S. Domennaya struktura i protsessy pereklyusheniya v monokristallax ortovanadata svintsa. "Izv. AN SSSR. Ser. fiz.". 1981. T. 45. № 9. S. 1617-1620.
47. Bolshakova N.N., Nekrasova G.M., Rudnik V.M. Vliyanie skorosti izmeneniya temperatury na protsessy perestroyki domennoy struktury i fazovyy perexod shistogo segnetoelastika ortofosfata svintsa. V kn. "Svoystva segnetoelektrikov". Minsk. 1989. S. 28-34.
48. Gene V.V., E.F.Dudnik, V.A.Podolskiy, L.Ya.Sadovskaya. Osobennosti fazovyx perexodov, indutsirovannyx privodimimi predstavleniyami. FTT. 1977. T. 19. № 7. S. 1927.
49. Cmirnov P.S., B.A.Strukov, V.S.Gorelik, E.F.Dudnik. Kombinatsionnoe rasseyanie sveta na myagkom kolebanii v nesobstvennom ferroelastike $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$. FTT. 1979. T. 21. № 4. S. 1245.
50. K segnetoelektricheskoy faze kristalla ortovanadata svintsa $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_3$. On the ferroelectric phase of lead orthovanadate $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_3$ crystal /Kasatani H., Umeki T., Terauchi H., Ishibashi Y. J. Phys. Soc. Jap. - 1991. - 60, No. 4. - P. 1169-1172. RJfiz. 1991.

Qosimsha a'debiyatlar

51.C.Manolikas, G. Van Tendeloo, S.Amelinskx. On the Nature of Diffuse Satellites in the Elestron Diffrastion Patterns of Lead Orthovanadate and lead orthophosphate. Solid State Communisations. 1986. Vol. 60. No 9. P. 749-751.

52.S.Amelinskx , G. Van Tendeloo, J. Van Landuyt. The Use of Elestron Misrossopy for the Study of Phase Transitions. PhaseTransitions. 1988. Vol. 13. P. 127-147.

53.V.A.Neposhatenko. Opređenje kristallografisheskix parametrov reshetki v rayone fazavogo perexoda pervogo roda v segnetoelastike $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$. İzvestiyaANSSSR. Seriyafizisheskaya. T. 71. № 10. 2007. 1395-1397.

54.U.Bismayer, E.Salje. Ferroelastis Phases in $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ - $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$; X-ray and Optisal Experiments. Asta Cryst. 1981. A37. P. 145-153.

55.Von R. Freiin von Hodenberg. Über die Bleiorthophosphate: $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$. Ber. Dtssh. Keram. Ges. 1962. 39. P.69-71.

56.Renate v. Hodenberg. Zu den Modifikationen im System $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ - $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ - $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$. Ber. Dtssh. Keram. Ges. 1974. 51. P.64- 68.

57.V.A.İsupov, N.N.Kraynik, İ.D.Fridberg, İ.E.Zelenkova. Antisegnetoelektrisheskiesvoystvaortovanadatasvintsa. FTT. 1965. T. 7. Vip. 4. S. 1051-1956.

58.E.Salje, R. von Hodenberg. Crystal data for the low-tevperature phase of $\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$. J. Appl. Cryst. 1977. 10. P.132. (vsego 1 str.)

59.E.F.Dudnik, İ.S.Kolesov, O.L.Orlov. Domennaya struktura i fazovie perexodi v antisegnetoelektrike-ferroelastike otrovanadata svintsa. FTT. 1980. T. 22. Vip. 6. S. 1861-1863.

60.ManolikasC., VanTendelooG., AmelinskxS. Elestrondiffrastionstudypfthelowtemperaturephaseinleadorthovanadate (İssledovanie nizkotemperaturnoy fazı ortovanadata svintsa metodom mikrodifraktsii elektronov). "Mater. Res. Bull.", 1987. 22. No. 2. P. 193-199. 10E856.

61. E.V.Shulakov, V.V.Aristov. Apparatura i metodı rentgenovskogo analiza. Leningrad. 1978. T. 21. S. 151-161.

Internet materialları

Internet adresleri:

1. www.journals.ioffe.ru
2. www.physics.rice.edu
3. www.ujp.org
4. www.firstsolar.com