

**O'ZBEKISTAN RESPUBLIKASI' JOQARI' HA'M ORTA  
ARNAWLI' BILIM MINISTRILIGI**

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

*Qol jazba huqi'qi'nda*

UDK 621.382:53

Ayti'mbetov Nurmuxammed Zaxaratdinovish

**Ha'r qi'yli' si'rtqi' ta'sirlerde  
kristallardag'i' fazali'q o'tiwlerdi ha'm  
domenlerdin' transformაციyalari'n  
difrakciyalı'q izertlew**

5A140204 – Kondensაციyalang'an ortali'qlar fizikasi' ha'm  
materialtani'w qa'nigeligi boyi'nsha magistr da'rejesin ali'w ushi'n jazi'lg'an  
dissertaciya

MAK da jaqlawg'a ruqsat:

Magistratura bo'limi

basli'g'i'

Kafedra basli'g'i'

Ilimiy basshi'

docent A.Gulimov

fizika-matematika ilimlerinin'

kandidati', docent J.Akimova

professor B.A.Abdikamalov

No'kis-2016

# Mazmuni'

<b>Kirisiw.</b>	3
<b>I BAP. A'debiy sholi'w. Martensitlik mexanizm menen ju'retug'i'n strukturali'q fazali'q o'tiwler menen strukturali'q domenlerdin' transformaciyalari'.</b>	6
1-§. Strukturali'q aylani'slar processlerinin' kristallofizikali'q ha'm kristallografiyali'q aspektleri.	6
2-§. Fazali'q o'tiwlerdegi polidomenlik hallardi'n' payda boli'wi'.	8
3-§. Domenler arasi'ndag'i' strukturali'q transformaciyalar.	14
4-§. Strukturali'q qayta quri'wlardi'n' qayti'mli'li'g'i' ha'm formani' este saqlaw effekti.	18
5-§. Bazi' bir juwmaqlar ha'm ma'selenin' qoyi'li'wi'.	19
<b>II BAP. Izertlewlerdin' usi'llari' ha'm apparaturasi'.</b>	22
6-§. Rentgenstrukturali'q tallawdi'n' fotografiyali'q usi'llari'.	22
7-§. Rentgen difraktometriyasi'.	31
8-§. Mu'yeshlik skannerlew usi'li'.	34
<b>III BAP. Ali'ng'an eksperimentalli'q na'tiyjeler ha'm olardi' tallaw.</b>	37
9-§. Vyurcit → sfalerit fazali'q o'tiwi.	37
10-§. ZnS ha'm ZnSe kristallari'ni'n' polidomenlik strukturasi'.	40
11-§. Bag'i'tlang'an mexanikali'q ta'sirlerdegi jaylasti'ri'w defektlerinin' jog'ali'wi' ha'm fazali'q o'tiwler.	46
12-§. Kristalli'q pa'njerenin' qaytadan quri'li'wi'ni'n' mexanizmleri.	54
13-§. Keri pa'njerenin' tu'yinlerinin' konfiguraciyalari'n izertlew.	57
14-§. Polisintetikali'q ZnS kristallari'ndag'i' rentgen nurlari'ni'n' kishi mu'yeshlerge shashi'rawi'.	66
15-§. Sfalerit → vyurcit fazali'q kristalgeometriyasi'.	69
16-§. Terbiy monokristallari'ndag'i' gidrostatikali'q basi'mlardin' ta'sirinde ju'retug'i'n strukturali'q aylani'slar.	71
Dissertaciyali'q jumi's boyi'nsha uli'wmali'q juwmaqlar.	74
Paydalani'lg'an a'debiyatlar dizimi.	76

## Kirisiw

**Jumi'sti'n' aktualli'g'i'**. Bu'gingi ku'nlerimizdegi kondensaciyalang'an ortali'qlar fizikasi' menen fizikali'q materialtani'wda berilgen fizikali'q ha'm texnologiyali'q xarakteristikalar'ga iye kristalli'q zatlardi' ali'w mashqalasi' en' a'hmiyetli mashqalalardi'n' biri boli'p ori'n aladi'. Qa'legen zatti'n' qa'siyetlerinin' oni'n' atomli'q-kristalli'q strukturasi' ha'm substrukturasi' menen baylani'sli' ekenligi ken'nen ma'lim. Sonli'qtan berilgen qa'siyetke iye kristalli'q zatti' ali'w mashqalasi' sol qa'siyetlerge sa'ykes keliwshi strukturag'a iye zatlardi' ali'w mashqalasi' menen tikkeley baylani'sli'. Bul jag'day kristalli'q strukturani'n' aylani'slari'ni'n' (o'zgerislerinin' yamasa qayta quri'li'wlari'ni'n') ni'zamlı'qlari'n u'yreniwdin' qanday aktualli'q ma'sele ekenligin ayqi'n tu'rde ko'rsetedi. Usi'nday ni'zamlı'qlardi' pu'tkil Jer ju'zi ilimpazlari'ni'n' ko'p ji'lli'q miynetlerinin' arqasi'nda ko'p sanli' jetiskenlikler qolg'a kirgizildi. Na'tiyjede joqari' bekkemlikke yamasa jetkilikli da'rejede elastiklik yamasa serpimli qa'siyetlerge iye, soni'n' menen ekstremalli'q sharaytlarg'a (joqari' yamasa to'mengi temperaturalar, basi'mlar, zi'yanli' ortali'qlar h.b.) shi'damli' kristalli'q denelerdi ali'wdi'n' texnologiyalari' islep shi'g'i'ldi' ha'm xali'q xojali'g'i'ni'n' ha'r qi'yli' tarawları'nda ken'nen paydalani'lmaqta. Biraq texnikani'n' u'lken pa'tler menen rawajlani'wi' jan'a materiallardı'n' islep shi'g'i'li'wi'n talap etpekte. Bul jag'day o'z gezeginde berilgen fizikali'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetlerge iye denelerdi ali'w boyi'nsha jan'adan ma'selelerdi payda etpekte.

Ekinshi ta'repten strukturalı'q o'zgerisler ni'zamlı'qlari'n eksperimentalli'q izertlew usi'llari'ni'n' u'zliksiz tu'rde jetilistirilip bari'li'wi' talap etilmekte. Bul ma'selede qatti' denelerdin' atomli'q-kristalli'q strukturasi'n, usi'nday denelerdegi strukturalı'q defektlerdi u'yreniwde difrakciyalı'q usi'llar (elektronografiya, elektronli'q mikroskopiya, neytronografiya ha'm basqalar) en' ekspresslik ha'm qolayli' usi'llardi'n' biri boli'p qalmaqta. Kompyuterlerdin' turmi'sti'n' ha'r ta'replerine ken'nen kirip keliwi ko'plegen difrakciyalı'q eksperimentlerdin' avtomatlası'wi', modellik difrakciyalı'q eksperimentlerdi qoyi'wdi'n' mu'mkinshiliklerdin' payda boli'wi', eksperimentlerde ali'ng'an na'tiyjelerdin' matematikalı'q qayta isleniwi ma'selelerde u'lken qolayli'li'qlardi' jarati'p berdi ha'm bul jag'day eksperimentatorlardı'n' jumi'slari'n a'dewir jen'illestirdi.

Ko'p sanli' ta'jiriybeler kristalli'q zatlardagi' strukturali'q aylani'slardi'n ni'zamli'qlari'n u'yreniw ushi'n modellik obektler dep atalatug'i'n obektlerdin' ken' tu'rde qollani'li'wi'ni'n' maqsetke muwapi'q ekenligin ko'rsetedi. Bunday obektler sali'sti'rmali' tu'rde a'piwayi' atomli'q-kristalli'q strukturag'a, soni'n' menen a'piwayi' substrukturag'a (polidomenlik strukturag'a) iye boli'wi', ha'r qi'yli' si'rtqi' ta'sirlerdin' asti'nda strukturali'q domenlerdin' transformaciyalari'n ju'zege keltiriw mu'mkinshiligine iye boli'wi' kerek. Strukturali'q domenlerdin' transformaciyalari' o'zinin' mexanizmi boyi'nsha strukturali'q fazali'q aylani'slardi'n' mexanizmi menen birdey. Sonli'qtan usi'nday modellik obektlerde strukturali'q aylani'slardi' temperatura o'zgergende de (fazali'q o'tiwler), si'rttan bag'i'tlang'an mexanikali'q ha'm elektrlik ta'sirler tu'sirgende (strukturali'q domenlerdin' transformaciyalari') ju'zege keltiriwge boladi'.

**Izertlew obekti' ha'm predmeti'.** Joqari'da atap o'tilgen jag'dayg'a baylani'sli' bul dissertaciyali'q jumi's modellik obektler bolg'an yari'm o'tkizgish ZnS, ZnSe ha'm metall Tb kristallari'nda ori'n alatug'i'n fazali'q o'tiwlerdi ha'm strukturali'q domenlerdin' transformaciyalari'n difrakciyalig' (rentgenografiya ha'm elektronografiya) izertlewge bag'i'shlani'p ori'nlandi'.

**Izertlewdi'n' maqset ha'm wazi'ypalari'.** ZnS, ZnSe ha'm metall Tb kristallarinda temperatura o'zgergende, elektr ha'm mexanikali'q sirtqi ta'sirlerde orin alatug'i'n strukturali'q proceslerdi' izertlew.

Joqari'dag'i' qoyi'lg'an maqsetke erisiw ushi'n to'mendegi' wazi'ypalar ori'nlani'wi' kerek:

1. ZnS, ZnSe ha'm metall Tb kristallarinda temperatura o'zgergende, elektr ha'm mexanikali'q sirtqi ta'sirlerde orin alatug'i'n strukturali'q proceslerdi' teoriyalig' ha'm eksperimentallig' jaqtan u'yreniw;
2. Teoriyalig' ha'm eksperimentallig' izertlengen na'tiyjelerdi bir - biri menen sali'sti'ri'w:

**Izertlew metodikasi' ha'm usi'llari:** Rentgenstrukturali'q tallawdi'n' fotografiyalig' usi'llari'; rentgen difraktometriyasi; mu'yeshlik skannerlew usi'li':

**Izertlewdi'n' ilimiy jan'ali'g'i'.** ZnS kristallari'ni'n' polisintetikali'q 3C, politiplik 2H, 4H 6H 12R modifikaciyalari'ni'n' kristallari'nda bag'i'tlang'an elastik deformaciyalardi'n' na'tiyjesinde ju'retug'i'n strukturali'q aylani'slardi'n' da'slep Rossiya

Ilimler Akademiyasi'ni'n' qatti' deneler instituti'nda 1973-ji'ldan baslap ori'nlang'anli'g'i'n, al 1979-ji'ldan baslap Berdaq ati'ndag'i' Qaraqalpaq ma'mleketlik universitetinin' rentgenstrukturali'q ha'm elektronli'q mikroskopiya laboratoriyalari'nda dawam etilgenligin, bul ori'nlarda ZnS kristallari'nda boli'p o'tetug'i'n fazali'q o'tiwler menen strukturali'q domenler arasi'ndag'i' transformaciyalardi' izertlewlerde u'lken ko'lemdegi ilimiy mag'li'wmatlardi'n' ali'ng'anli'g'i'n atap o'temiz.

### **Izertlew na'tijelerinin' teoriyali'q ha'm a'meliy a'hmiyeti'.**

Dissertaciyada keltirilgen mag'li'wmatlar ha'm o'tkerilgen tallawlardi'n' juwmaqlari' ZnS si'yaqli' sfaleritlik strukturag'a iye kristallardag'i' fazali'q o'tiwlerdin' izbe-izligin ani'qlag'anda energiyani'n' sari'plani'wi' en' kem bolg'an ha'm bo'leklik dislokaciyalardi'n' ju'riwi menen o'tetug'i'n struktuli'q aylani'slardi'n' kristallgeometriyali'q o'zgesheliklerin tabi'wdi'n' mu'mkin ekenligin ha'm olardi' Tb kristallari'ndag'i' fazali'q o'tiwlerge qollani'wg'a bolatug'i'nli'g'i' ko'rsetedi.

**Dissertatsiyali'q ju'mi'sti'n' du'zilisi'.** Dissertaciyali'q jumi's u'sh baptan turadi'. Birinshi bapta martensitlik mexanizm menen ju'retug'i'n fazali'q aylani'slardi'n' kristallografiyali'q ha'm kristallofizikali'q aspektleri bayanlang'an. Bunday fazali'q aylani'slarda kristaldi' payda etetug'i'n atomlardi'n' (yamasa molekulalardi'n') bir birine sali'sti'rg'andag'i' ori'nlarini'n' o'zgerisleri olardi'n' ta'rtpili awi'si'wlari' menen a'melge asadi'. Qon'si'las atomlardi'n' bir birine sali'sti'rg'andag'i' awi'si'wi' atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlardan u'lken emes. Kristalli'q pa'njerenin' mikroblastlardag'i' qaytadan quri'li'wi' a'dette oni'n' elementar quti'si'ni'n' deformaciyasi'na ali'p keledi. Sonli'qtan payda bolg'an fazani' bir tekli deformaciyalang'an da'slepki faza dep qarawg'a boladi'. Deformaciyani'n' shamasi' kishi (martensitlik mexanizm menen ju'retug'i'n fazali'q o'tiwlerde a'dette 10 procentke shekem). Usi'g'an sa'ykes baslang'i'sh fazani'n' ekinshi fazag'a o'tiwi ushi'n tosqi'nli'q qi'latug'i'n energiyali'q barerdin' shamasi' kristaldag'i' baylani's energiyasi'ni'n' shamasi'nan a'dewir kishi.

Dissertaciyani'n' ekinshi babi' paydalani'lg'an tiykarg'i' eksperimentalli'q usi'llardi' o'z ishine aladi'. U'shinshi bapta ZnSe kristallari'ni'n' substrukturasi'n, ZnS kristallari'nda 2H, 12R, 4H, 6H modifikaciyalari'ni'n' (fazalari'ni'n') 3C modifikaciyasi'na fazali'q o'tiwdi izertlegende ali'ng'an eksperimentalli'q na'tiyjeler menen olardi'n' kristallgeometriyali'q tallani'wlari', soni'n' menen birge strukturali'q aylani'slardi'n' dislokaciyali'q mexanizmlerin ani'qlaw ma'seleleri ori'n alg'an.

# **I bap. A'debiy sholi'w. Martensitlik mexanizm menen ju'retug'i'n strukturali'q fazali'q o'tiwler menen strukturali'q domenlerdin' transformაციyalari'**

## **1-§. Strukturali'q aylani'slar processlerinin' kristallofizikali'q ha'm kristallografiyalı'q aspektleri**

Kristallardag'i' strukturali'q aylani'slar (kristalli'q pa'njerenin' qaytadan quri'li'wi') menen fazali'q o'tiwler ha'r qi'yli' si'rtqi' faktorlardin' ta'sirinde ju'zege keledi. Usi'ni'n' saldari'nan kristaldin' to'mendegidey xarakteristikaları' o'zgerislerge ushi'raydi': simmetriya, elementar quti'lardi'n' o'lshemleri, kristalli'q u'lgilerdin' substrukturasi' (mexanikali'q ekileniw, polidomenlik kristallardag'i' strukturali'q monodomenizaciya ha'm basqalar). To'mengi temperaturalarda kristalli'q pa'njerenin' o'zgerisleri a'dette diffuziyali'q jollar menen emes, al atomlardin' yamasa atomli'q tegisliklerdin' kooperativlik qozg'ali'slari' arqali' ju'zege keledi. Bunday jag'daylarda strukturali'q o'zgerisler (strukturani'n' qaytadan quri'li'wi') mi'naday mexanizmlerdin' ja'rdeminde a'melge asadi' [1-4]:

1. Atomli'q tegisliktin' qon'si' atomli'q tegislikke sali'sti'rg'anda bazi' bir kristallografiyalı'q bag'i't boyi'nsha da'slepki pa'njerenin' turaqli'lari' bolg'an  $a, b$  ha'm  $c$  shamaları'na sali'sti'rg'anda a'dewir kishi shamalg'a ji'lji'wi' (basqa so'z benen aytqanda a'piwayi' "ji'lji'wlar" [5]). Strukturali'q o'zgerislerdin' (strukturali'q fazali'q o'tiwlerdin') usi'nday tipi kristaldin' simmetriyasi'ni'n' o'zgerislerine ali'p keledi (mi'sali', qaptalda oraylasqan kubtin' tetragonalli'q kristalg'a aylani'wi') yamasa kristaldag'i' tek substrukturali'q o'zgerislerdi payda etedi.

2. Atomli'q tegisliklerdin' qon'si'lari'na sali'sti'rg'anda atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlar menen barabar arali'qlarg'a ji'lji'wi'. Bunday aylani'slar a'dette geksagonalli'q ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an ha'm qaptalda oraylasqan kubli'q strukturag'a iye kristallarda ori'n aladi'. Bunday o'tiwlerde ti'g'i'z etip jaylasti'li'rg'an geksagonalli'q → qaptalda oraylasqan kubli'q, vyurcit → sfalerit si'yaqli' fazali'q o'tiwler ori'n aladi'.

3. Elementar quti'lardi'n' o'lshemlerinin' o'zgerisleri (ji'lji'wlar ori'n almaydi'). Bunday o'zgerislerde atomlardin' kristallografiyalı'q bag'i'tlar boyi'nsha ji'lji'wi' ori'n

aladi'. Strukturali'q aylani'slardi'n' tap usi'nday dilataciyalig' mexanizmi SmS kristallari'ndag'i' fazali'q o'tiwlerdi izertlewdin' bari'si'nda tabi'ldi' [6].

Kristalli'q denelerde strukturali'q o'zgerislerdi boldi'ratug'i'n si'rtqi' ta'sirler belgili bir simmetriyag'a iye boladi' (1-kestede keltirilgen). Bunday simmetriyalardi' kristallofizikada simmetriyani'n' sheklik gruppalari' dep ataydi'. Bunday jag'dayda kristallofizikadag'i' Kyuri principine sa'ykes kristaldi'n' strukturali'q aylani'stan keyingi strukturasi'nda kristaldi'n' strukturali'q aylani'stan buri'ng'i' strukturasi'ndag'i' simmetriyasi' menen si'rtqi' ta'sirdin' simmetriyasi'ni'n' en' uli'wmali'q elementleri saqlani'wi' kerek. Biraq strukturali'q aylani'slardi' qarag'anda bul principin' statistikalig' xarakterin esapqa ali'wi'mi'z kerek. Sebebi kristallofizikalig' Kyuri principi bazi' bir qubi'li'slardi' toli'q qadag'an etetug'i'n bolsa da, ruqsat etilgen qubi'li'slardi'n' barli'g'i'ni'n' ju'zege keliwin pu'tkilley talap etpeydi.

Temperaturani'n' o'zgeriwini'n' saldari'nan (bunday ta'sirdi skalyar ta'sir dep ataydi' ha'm oni'n' simmetriyasi' ti'ni'shli'qta turg'an sferani'n' simmetriyasi'na, yag'ni'y  $\infty m$  ge sa'ykes keledi, 1-keste) ju'zege keletug'i'n fazali'q o'tiwlerde simmetriyani'n' superpoziciyasi' principi jaqsi' ori'nlanadi'. Biraq bag'i'tlang'an ta'sirlerdin' asti'nda ju'zege keletug'i'n strukturali'q aylani'slarda to'mendegidey jag'daylarda itibar beriw kerek boladi':

Joqari'dag'i' 2-punktte atap o'tilgen strukturali'q aylani'slar a'dette bo'leklik dislokaciyalardi'n' qozg'ali'slari'ni'n' saldari'nan a'melge asadi' [5]. Bunday dislokaciyalardi'n' qozg'ali'slari'ni'n' tek bazi' bir kristallografiyalig' tegisliklerdin' u'stinde belgili bolg'an kristallografiyalig' bag'i'tlarda ju'retug'i'nli'g'i'n ko'p sanli' eksperimentler ko'rsetken. Bul qozg'ali'sti'n' bag'i'ti' menen si'rtqi' ta'sirdin' bag'i'ti' arasi'ndag'i' mu'yeshlerdin' ma'nisleri ha'r qi'yli' boli'wi' mu'mkin. A'l'bette, bunday jag'daylarda si'rtqi' ta'sirdin' simmetriyasi'ni'n' elementleri menen uli'wmali'q bolmag'an simmetriya elementlerine iye kristallardi'n' payda boli'wi' mu'mkin. Bul ma'sele kondensaciyalang'an hallar fizikasi'nda usi' waqi'tlarg'a shekem o'zinin' sheshimlerin toli'q tapqan joq. Sonli'qtan ha'r qi'yli' si'rtqi' ta'sirlerdegi kristallardag'i' fazali'q o'tiwlerdi ha'm domenlerdin' transformaciyalari'n difrakciyalig' (rentgenografiya, elektronografiya ha'm elektronli'q mikroskopiya) izertlew ha'zirgi waqi'tlardag'i' ilimnin' aktuallig' ma'selelerdin' biri boli'p tabi'ladi'.

Bunnan keyingi paragraflarda ji'lli'li'q, mexanikali'q ha'm elektrlik ta'sirlerdegi kristallardag'i' strukturani'n' o'zgerislerinin' (transformaciyalari'ni'n') ni'zamli'qlari' ga'p etiledi.

1-keste.

Bazi' bir fizikali'q ta'sirler ha'm olardi'n' simmetriyalari' [7]

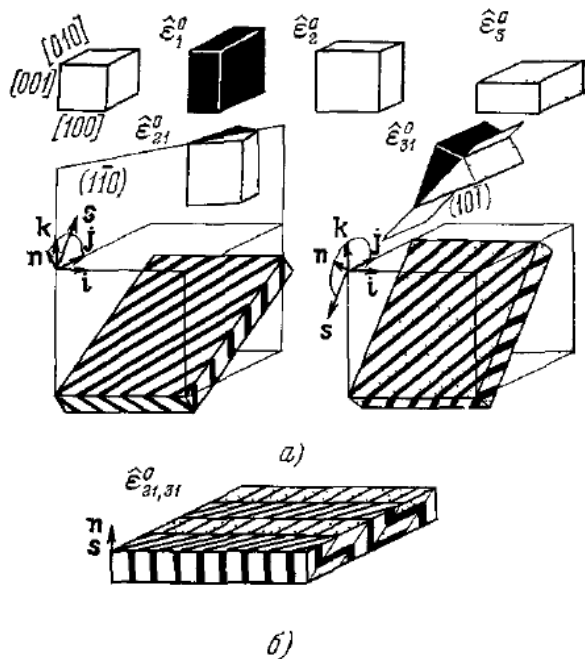
Qatar sani'	Si'rtqi' ta'sir	Simmetriyani'n' formulasi'
1	Bir tekli qi'zdi'ri'w yamasa salqi'nlati'w.	$\infty/\infty m$
2	Gidrostatikali'q basi'm.	$\infty/\infty m$
3	Elektr maydani'.	$\infty m$
4	Bir ko'sherli mexanikali'q kernew.	$\infty/mm$

## 2-§. Fazali'q o'tiwlerdegi polidomenlik hallardi'n' payda boli'wi'

Polidomenlik kristallardi'n' strukturasi'n' izertlegende basshi'li'qqa ali'natug'i'n en' baslang'i'sh princip Kyuri principi boli'p tabi'ladi'. Bul princip tiykari'nda temperaturani'n' o'zgeriwini'n' (to'menlewinin') saldari'nan boli'p o'tetug'i'n barli'q strukturali'q fazali'q o'tiwlerde kristaldi'n' quri'li'si'ni'n' joqari' temperaturag'a sa'ykes keletug'i'n simmetriyasi' saqlanadi'.

Kooperativlik (martensitlik) mexanizm menen ju'zege keletug'i'n fazali'q o'tiwlerdi qarap o'temiz. Atomli'q tegisliklerdin' kooperativlik awi'si'wlari' (ji'li'si'wlari'), yag'ni'y martensitlik fazali'q aylani'slar (ingliz tilinde "diffusionless transformation") kristaldi'n' ha'r qi'yli' modifikaciyalari' arasi'ndag'i' shegaralarda serpimli energiyani'n' payda boli'wi'na ali'p keledi. Bul energiyani'n' ma'nisi ha'r qi'yli' fazalardi'n' kristalli'q pa'njereleri arasi'ndag'i' ayi'rmadan ha'm kristaldi'n' serpimli konstantalari'ni'n' ma'nislerinen g'a'rezli. Payda bolg'an energiya jan'a fazani'n' payda boli'w termodinamikasi' menen oni'n' substrukturasi'n' ani'qlaydi'. A.L.Roytburdti'n' jumi'slari'nda [8-9] fazali'q o'tiwlerde kristaldi'n' simmetriyasi' to'menleytug'i'n bolsa, onda polisintetikali'q egizeklerin' payda boli'wi' (yag'ni'y polidomenlik fazalardi'n' payda boli'wi') xarakterli o'zgesheliklerin' biri boli'p tabi'ladi'. Bunday fazalarda strukturali'q domenler bir biri menen egizeklerde payda etedi. Ko'p sanli' polimorfli'q

aylani'slar ushi'n ta'n bolg'an bul jag'day 1-su'wrette ko'rsetilgen. Bul su'wrette fazali'q o'tiwidin' saldari'nan payda bolatug'i'n tetragonalli'q difrakciyada bir birine parallel bolg'an qatlamlardi'n' (plastinkalardi'n') qa'liplesetug'i'nli'g'i' ko'rinip tur. Olar da'slepki fazani'n' ishindeg'i bir birine parallel bolg'an tegis plastinkalar boli'p tabi'ladi'.



1-su'wret.

Tetragonalli'q deformaciyani'n' saldari'nan payda bolg'an domenlerden turatug'i'n polidomenlik plastinkalar [8].

Qaptalda oraylasqan kubli'q → arali'qli'q fazalar → ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q (yamasa qaptalda oraylasqan kubli'q → geksagonalli'q ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an) tipidagi martensitlik fazali'q aylani'slar kristalda ta'rtipsiz tu'rde jaylasqan jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'w menen baslanadi' [10]. Bunday strukturali'q o'zgerisler ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an atomli'q tegisliklerdin' <112> tipidagi u'sh kristallografiyalik bag'i'tlardi'n' biri boyi'nsha ji'lji'wlardi'n' aqi'betinde ju'zege keledi. Ji'lji'wlar qaptalda oraylasqan kubli'q pa'njerenin' oktaedrlilik tegisliginde  $\frac{2a}{\sqrt{2}}$  shamasinda boladi' ( $a$  arqali' kubli'q kristalli'q pa'njerenin' turaqli'si' belgilengen) [5, 11]. Bunday ji'lji'wlardi'n' kristalli'q formasi'ni'n' u'lken o'zgerislerin boldari'tug'i'nli'g'i'n, usi'g'an sa'ykes ishki kernewlerdin' payda bolatug'i'nli'g'i' ayqi'n. Usi'g'an baylani'sli' ko'p sanli' a'debiyatlarda payda bolg'an kernewlerdin' kishireyiwinin' u'sh varianti'ni'n' bar ekenligi ko'rsetilgen:

1. Ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q fazani'n' juqa kristallari'ni'n' payda boli'wi' (mi'sali' temir tiykari'ndag'i' quymalarda plastinkalardi'n' qali'nli'g'i'  $d = 10^{-5} \div 10^{-6}$  sm).

2. Ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q fazani'n' plastinkalari'ni'n' ( $\epsilon$ -martensittin' fazalari'ni'n') paketinin' payda boli'wi'.

3. Elastik deformaciyani'n' saldari'nan payda bolg'an kernewlerdin' kishireyiwi.

Joqari'da keltirilgen faktlerdin' barli'g'i' kristaldi'n' simmetriyasi'ni'n' to'menlewi ha'm martensitlik mexanizm menen ju'retug'i'n fazali'q aylani'slardi'n' barli'g'i'nda da jan'a substrukturani'n' – polidomenlik haldi'n' payda bolatug'i'nli'g'i'nan derek beredi.

Martensitlik mexanizm boyi'nsha ju'retug'i'n fazali'q aylani'sti'n' (fazali'q o'tiwidin') saldari'nan payda bolg'an polidomenlik kristaldi'n' a'hmiyetli qa'siyetin'in' biri mi'nadan ibarat: ol o'zinin' statistikalik ortashalang'an simmetriyasi' boyi'nsha (basqa terminologiyag'a sa'ykes makrosimmetriyasi' boyi'nsha) da'slepki (joqari' temperaturali') modifikaciyani'n' (yag'ni'y fazani'n') simmetriyasi'n qaytadan payda etedi. Bul ni'zamli'q birinshi ret ferroelektriklik fazali'q o'tiwler ushi'n I.S.Jeludev ha'm L.A.SHuvalovlar ta'repinen ko'rsetildi [12-13]. Olar ferroelektriklerdegi strukturalik domenlerdin' dvoynikler (ingliz tilinde twinning), al ferroelektriklik fazali'q o'tiwlerde parafazani'n' jog'alg'an simmetriya elementlerinin' dvoyniklerdin' payda boli'wi'ni'n' elementleri boli'p tabi'latug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Usi' jag'dayg'a baylani'sli' [14-15] jumi'slardi'n' avtorlari' bariy titanati' kristallari'ni'n' domenlerin tallawdi'n' na'tiyjesinde orientaciyalik hallar sistemasi'ni'n' (yag'ni'y belgili bir orientaciyag'a iye domenlerdin') kristaldi'n' baslang'i'sh (joqari' temperaturali') fazasi' haqqi'nda este saqlaytug'i'nli'g'i'n ko'rsetti (bul qubi'li'sti' strukturalik este saqlaw dep ataymi'z [16]).

Biz "mimetikalik" dep atalatug'i'n kristallardi'n' olardi'n' noqatli'q simmetriyasi'na sali'sti'rg'anda joqari' simmetriyag'a iye boli'w qubi'li'si'ni'n' XIX a'sirde ashi'lg'anli'g'i' haqqi'ndag'i' qi'ziqli' faktti atap o'temiz [17].

Ayi'ri'm jag'daylarda polimorfli'q aylani'slardi'n' na'tiyjesinde monodomenlik kristallardi'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n atap o'temiz. Bunday kristallar o'zlerinin' makroskopiyalik ha'm mikroskopiyalik simmetriyasi' boyi'nsha da'slepki baslang'i'sh kristallardi'n' mikroskopiyalik simmetriyasi'nan ayri'li'p turadi'. Biraq ko'p sanli' kristallardi' u'yrengende temperatura o'zgergende (a'dette temperatura to'menlegende) olardi'n' ko'pshiliginin' makroskopiyalik simmetriyasi'ni'n' tutasi' menen alg'anda o'zgermeytug'i'nli'g'i'na iseniwge boladi' [12-13].

Kristallofizikalik ko'z-qarastan polidomenlik haldi'n' payda boli'wi' atomlardi'n' kooperativlik qozg'ali'slari' ju'zege keletug'i'n bir neshe birdey bolg'an

kristallografiyaliq bag'itlardi'n' bar boli'wi' menen baylani'sli'. Ferroelektriklik fazaliq o'tiwlerdi qarag'anda usi'nday bag'itlardi'n' ji'ynag'i' ayi'ri'm domenlerdegi spontan polyarizaciyani'n' orientaciyalari'ni'n' ji'ynag'i' boli'p tabi'ladi' [12-13]. Olardi'n' sani'

$$N = N_1/N_2 \quad (1)$$

formulasi'ni'n' ja'rdeminde esaplanadi'. Bul formulada  $N_1$  ha'm  $N_2$  arqali' kristaldi'n' sa'ykes paraelektriklik ha'm ferroelektriklik modifikaciyalari'ni'n' noqatliq gruppalari'ni'n' ta'rtipleri belgilengen. Bul formula boyi'nsha fazaliq o'tiwidin' saldari'nan joqari' simmetriyag'a iye baslang'i'sh kristalli'q pa'njere to'men simmetriyag'a iye fazag'a  $N$  dana jol menen (usi'l menen) o'tedi. Bunday jag'dayda fazaliq o'tiwde kristall jog'atqan simmetriya elementi bir tiptegi domendi ekinshi tiptegi domenge tu'rlendiredi (yag'ni'y dvoynikleniw tegisligine aylanadi').

[14]-maqalani'n' avtorlari'  $BaTiO_3$  kristallari'ndag'i' ferroelektriklik fazaliq o'tiwlerdin' kristallgeometriyasi'n tallawdi'n' na'tiyjesinde antifazaliq domenlerge iye sistemalar ushi'n orientaciyaliq hallardi'n' sani'n (1)-formula tiykari'nda esaplag'anda qa'te na'tiyjelerge ali'p keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Olar domenlik sistemalardi'n' sanlari' esaplawdi'n' qatan' tu'rdegi usi'li'ni'n' bar ekenligin ko'rsetti. Bul usi'l baslang'i'sh fazani'n' simmetriyasi' menen kristalli'q pa'njerenin' deformaciyalari'w sxemasi'n toli'q esapqa ali'wdi' basshi'li'qqa aladi'. Na'tiyjede uli'wma jag'dayda ji'lji'wlardi'n' quramali' sistemasi' da'slepki baslang'i'sh fazani'n' simmetriyasi'ni'n' gruppasi'ni'n' ta'rtibinen ko'birek sandag'i' orientaciyaliq hallardi'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Mi'sali' rentgendifrakciyaliq izertlewler  $BaTiO_3$  bariy titanati' kristalli'ndag'i'  $P_{kub} \rightarrow P_{tetr}$  tipindegi ferroelektriklik o'tiwde payda bolatug'i'n strukturali'q domenlerdin' 12 (elektrik domenlik sistemalardi'n' sani' 24) ekenligin, al soni'n' menen birge  $N = 6$  ten'liginin' ori'nlanatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Sonli'qtan kristallardi'n' polidomenlik hallari'n izertlegende fazaliq o'tiwlerdin' kristallgeometriyasi'n tallaw ushi'n kristalli'q pa'njerenin' qayta quri'li'wi'ni'n' deformaciyaliq sxemalari'n da'l ha'm toli'q tu'rde esapqa ali'w za'ru'rli boladi' eken.

Endi polidomenlik kristalda fazaliq o'tiw ori'n alg'anda jan'a fazani'n' substrukturasi'ni'n' payda boli'wi'ni'n' o'zgesheliklerin qarap shi'g'ami'z. Bunday jag'day ori'n alatug'i'n jaqsi' izertlengen kristall bariy titanati' boli'p tabi'ladi' [15].

$BaTiO_3$  kristallari'ndag'i' fazaliq o'tiwlerdi rentgenografiyaliq izertlewler tetragonalli'q ferroelektriklik fazadan ortorombali'q ferroelektriklik fazag'a, tap sol

si'yaqli' ortorombali'q fazadan trigonalli'q fazag'a o'tiwde domenlik sistemalardi'n' quramalasi'w qubi'li'si'ni'n' ori'n almaytug'i'nli'g'i'n ko'rsetti [14]. Rentgenografiyali'q eksperimentlerde strukturali'q domenlerdin' en' baslang'i'sh paraelektriklik kubli'q pa'njerenin' deformაციyaları'ni'n' saldari'nan payda bolatug'i'nli'g'i' ma'lim boldi'. [14]-jumi'sti'n' avtorlari' ta'repinen bul qubi'li's prototiplik haldi' este saqlaw qa'siyeti dep talqi'landi'. Bul ayi'ri'm orientაციyali'q hallardi'n' bunnan keyingi domenlerdin' deregi bolmaytug'i'nli'g'i'n da'lilledi.

Tek taza dilataciya mexanizmi boyi'nsha o'tetug'i'n strukturali'q aylani'slarda polidomenlik haldi'n' payda boli'wi' baqlanbadi'. Bunday jag'dayda ha'r qi'yli' fazalardi'n' (biz qarap ati'rg'an jag'dayda eki faza) arasi'nda payda bolatug'i'n mexanikali'q kernewler kristalli'q u'lgide ha'r qi'yli' mikroji'ri'qlardi'n' ha'm sol si'yaqli' basqa da strukturali'q defektlerdin' payda boli'wi' menen joq boladi'.

Polidomenlik kristaldi'n' keru ken'isliginin' (yag'ni'y  $F^2$  dene) barli'q difrakciyali'q eksperimentlerde ken'nen qollani'latug'i'nli'g'i'n atap o'temiz [18-20]. Bul ken'islik ayi'ri'm orientაციyalardi'n' keru ken'isliklerinin' superpoziciyasi' si'pati'nda quri'ladi'. Sonli'qtan ol joqari'raq simmetriyag'a iye boladi'. Bul joqari' simmetriya fazali'q o'tiwge shekemgi kristaldi'n' noqatli'q simmetriyasi'na sa'ykes keledi. Bul jag'dayda bul noqatli'q gruppani'n' operaciyasi'ni'n' obekti ayi'ri'm ali'ng'an orientაციyali'q hallardi'n' individualli'q keru pa'njereleri boli'p tabi'ladi' [21]. Bul jag'daylardi'n' barli'g'i' da keru ken'isliktin' simmetriyasi'ni'n' fazali'q o'tiwlerde o'zgermey qalatug'i'n xarakteristikaları'ni'n' biri boli'p tabi'latug'i'nli'g'i'nan derek beredi.

Paragrafta keltirilgen mag'li'wmatlardan juwmaq shi'g'aratug'i'n bolsaq, onda kristalli'q pa'njere qa'ddinde strukturali'q qayta quri'wlar menen birge ju'retug'i'n fazali'q o'tiwlerdin' saldari'nan polidomenlik haldi'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n ko'remiz. Domenlik sistemalardi'n' sani'n ha'm orientაციyaları'n biliwdin' na'tiyjesinde fazali'q o'tiwlerdin' kristallgeometriyasi'n, usi'g'an sa'ykes qatti' denelerdin' payda bolatug'i'n modifikაციyaları'ni'n' strukturasi'n ani'qlawg'a mu'mkinshilik beredi. Domenler qa'lipleskende qatti' denelerdin' en' a'hmiyetli qa'siyetlerinin' biri bolg'an – baslang'i'sh modifikაციyani'n strukturasi' haqqi'ndag'i' ha'm prototivlik hal haqqi'ndag'i' este saqlaw qa'biletligi ko'rinedi.

Joqari'da keltirilgen a'debiy mag'li'wmatlar fazali'q o'tiwlerdin' kristallografiyali'q aspektlerine baylani'sli' bolg'an ma'selelerdin' baslang'i'sh kristaldi'n' pa'njeresi menen

fazali'q o'tiwidin' saldari'nan payda bolatug'i'n polidomenlik kristaldi'n' pa'njerelerinin' arasi'ndag'i' orientatsiyali'q hallardi' biliw arqali' sheshiletug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Fazali'q o'tiwden keyingi kristallardi'n' strukturasi' ha'm fazali'q o'tiwlerdin' haqi'yqi'y mexanizmlerin tabi'w simmetriya gruppalari'ni'n' bir birine bag'i'ni'w qag'i'ydalari'n kristalli'q pa'njerenin' fazali'q o'tiwidin' saldari'nan deformatsiyalari'ni'ni'n' sxemasi'n toli'q esapqa ali'w arqali' ori'nlawdi' talap etedi.

Ekinshi ta'repten, polidomenlik kristaldi'n' payda boli'wi' kristalli'q pa'njerenin' jan'a defektlerinin' payda boli'wi'na ali'p keledi. Bunday defektler qatari'na birinshi gezekte domenler ha'm ha'r qi'yli' polisintetikali'q dvoynikler arasi'ndag'i' shegaralar kiredi. Olar kristaldi'n' ishinde kernewge iye ushastkalardi'n', noqatli'q defektlerdin' payda boli'wi'na, elastik deformatsiyani'n' ju'riwine ali'p keledi. Ma'selenin' bul ta'repi izertlewshilerdin' di'qqati'nan shette qalg'an.

Fazali'q o'tiwlerdin' saldari'nan payda bolg'an kristallardi'n' substrukturalari' struktura menen bir qatarda kristallardi'n' a'hmiyetli qa'siyetlerin ani'qlaydi'.

Polidomenlik strukturalardi' izertlew tiykari'nan optikali'q [22-23], elektronli'q mikroskopiyali'q [24-25] ha'm basqa da usi'llardi'n' [26-27] ja'rdeminde ori'nlandi'. Bul usi'llar domenler arasi'ndag'i' orientatsiyali'q qatnaslardi', fazali'q o'tiwlerdin' saldari'nan payda bolg'an strukturali'q defektlerdi ani'qlag'anda shekli mu'mkinshiliklerge iye. Soni'n' menen birge fazali'q o'tiwlerdi izertlegende ko'pshilik jag'daylarda monokristalli'q u'lgiler emes, al polikristallar yamasa untalg'an kristallar qollani'lmaqta. A'l'bette, bunday jag'daylarda strukturali'q aylani'slardi'n' kristallografiyali'q aspektlerin u'yreniw mu'mkinshilikleri kemeyedi. Sonli'qtan fazali'q aylani'slardi'n' yamasa strukturali'q domenlerdin' transformatsiyalari'n kristallografiyali'q aspektlerin teren' u'yreniw ushi'n monokristalli'q u'lgilerdin', soni'n' menen birge ayri'qsha fizikali'q qa'siyetlerge iye modellik obektlerdin' paydalani'li'wi' za'ru'rli. Al izertlew usi'llari' retinde kristallarda ori'n alatug'i'n substrukturalardi'n' o'zgerislerin tikkeley u'yreniwge mu'mkinshilik beretug'i'n difraktsiyali'q izertlewlerdin' (rentgenografiya, elektronografiya ha'm elektronli'q mikroskopiya) qollani'li'wi'ni'n' kerek ekenligin atap o'temiz.

### 3-§. Domenlar arasi'ndag'i' strukturali'q transformaciyalar

Bul paragrafta biz da'slep si'rttan kristallarg'a bag'i'tlang'an mexanikali'q ha'm elektrlik ta'sirler tu'sirilgende ori'n alatug'i'n strukturali'q o'zgerisler haqqi'nda ga'p etemiz.

Mexanikali'q ta'sirler asti'nda ju'retug'i'n strukturali'q o'zgerisler. Mexanikali'q ta'sirler asti'nda ju'retug'i'n strukturali'q processlarga mi'sal retinde ken'nen belgili bolg'an mexanikali'q ekileniwdi (dvoynikovanieni) keltiriwge boladi'. Bunday jag'dayda qatti' denelerdin' atomli'q-kristalli'q strukturasini' o'zgermeydi, al u'lginin' kristallografiyali'q orientaciyasi' o'zgerislerge ushi'raydi'. Mexanikali'q ekileniw kalcitte ( $CaCO_3$ ), kadmiyde, magniyde,  $\beta$ -qalayi'da,  $\gamma$ -temirde, kvarcte, ferroelektriklerde, ferroelastiklerde ha'm formani' este saqlaw qubi'li'si' ori'n alatug'i'n ko'pshilik kristalli'q materiallarda ori'n aladi' [5, 28-32]. Mi'sallar keltiremiz.

Romboedrlik kalcit kristallari'nda mexanikali'q ekileniwdi an'sat a'melge asi'ri'wg'a boladi'. Ekileniw mi'naday sxema boyi'nsha ju'redi [5]: ekileniw tegisligi  $K_1 = (101)$ , ji'lji'w bag'i'ti'  $\eta_1 = [010]$ , ekinshi mayi'spag'an tegislik  $K_2 = (010)$ , tiykarg'i' zonani'n ko'sheri  $\eta_2 = [101]$ .

Barli'q geksagonalli'q kristallar mi'naday ni'zam boyi'nsha ekilenedi:  $K_1 = (10.2)$ , ji'lji'w bag'i'ti'  $\eta_1 = [\bar{1}0.0]$ , ekinshi mayi'spag'an tegislik  $K_2 = (10.\bar{2})$ , tiykarg'i' zonani'n ko'sheri  $\eta_2 = [10.1]$ .

Mexanikali'q ekileniwde de, tap sol si'yaqli' barli'q martensitlik aylani'slarda da kristalli'q pa'njerenin' bir tekli qayta quri'li'wi' ori'n aladi'. Usi'ni'n saldari'nan si'rttan tu'sirilgen mexanikali'q ta'sirdin' bag'i'ti'na sa'ykes keletug'i'n kristalli'q orientaciyalar qa'leplese. Bul jag'day mexanizmi boyi'nsha martensitlik fazali'q o'tiwlerdin' mexanizmi menen birdey bolg'an mexanikali'q ekileniwdin' saldari'nan ju'zege keletug'i'n strukturali'q processlardin' ni'zamli'qlari'n u'yreniwge mu'mkinshilik beredi.

Geypara kristallarda mexanikali'q ekileniwdin' "serpimli" tu'rde a'melge asatug'i'nli'g'i'n atap o'temiz. Bunday kristallarda si'rtqi' ta'sir jog'alg'annan keyin kristaldi'n' da'slepki substrukturasini' qaytadan tiklenedi. Bunday kristallardi'n' qatari'na  $CaCO_3$ , Zn, grafit, kvarc, segnet duzi' ( $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ ) ha'm basqalar

kiredi. Kvarc kristallari'ndag'i' substrukturani'n' qaytadan tikleniw qubi'li'si'n belgili kristallograf E.V.Cinzerling "kvarcti'n' este saqlawi'" dep atadi'.

Bir qatar jag'daylarda mexanikali'q ta'sirler asti'nda temperatura o'zgergende payda bolmaytug'i'n jan'a fazalar payda boladi'. Mi'sali', to'mengi temperaturalarda deformaciyalawdi'n' saldari'nan bazi' bir polatlarda (polatlardag'i'  $\gamma \rightarrow \varepsilon$  o'tiw), Li, Na, Cs, Bi, Be kristallari'nda fazali'q o'tiwler ori'n aladi' [3]. Ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an ko'p qatlamli' strukturag'a iye metallar menen quymalarda elastik deformaciyani'n' na'tiyjesinde bardi'q arali'qli'q fazalar geksagonalli'q ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an fazag'a o'tedi [33].

Joqari'da keltirilgen mag'li'wmatlar si'rttan tu'sirilgen mexanikali'q ta'sirlerde basqari'latug'i'n strukturali'q o'zgerislerdin' ju'zege keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Bunday jag'daylardan berilgen strukturag'a, usi'g'an sa'ykes berilgen fizikali'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetlerge iye kristalli'q denelerdi ali'wdi'n' mu'mkinshilikleri ko'rinedi. Biraq qatti' denelerdin' haqi'yqi'y strukturasi', yag'ni'y bunday kristallardag'i' strukturali'q defektler, kristalli'q pa'njerenin' qayta quri'li'wi'na o'zinin' u'lken ta'sirin tiygizedi. Usi'ni'n' saldari'nan mexanikali'q ta'sirler asti'nda ju'retug'i'n strukturali'q aylani'slardi'n' bari'si'nda jan'a substrukturani'n' payda boli'wi'n ku'tiw kerek boladi'. Bul ma'selenin' sheshiliwi ushi'n ha'zirgi zaman rentgenografiyasi'ni'n' ja'rdeminde arnawli' tu'rdegi substrukturali'q izertlewlerdi ju'rgiziw kerek boladi'. Usi'ni'n' menen birge bir ko'sherli mexanikali'q ta'sirdin'  $\infty/mmm$ , al ji'lji'w deformaciyasi'na ali'p keliwshi mexanikali'q ta'sirdin'  $2/m$  simmetriyasi'na iye bolatug'i'nli'g'i'n atap o'tiw kerek. Usi'g'an baylani'sli' kristallofizikali'q Kyuri principine sa'ykes ekileniw processinde payda bolatug'i'n kristaldi'n' simmetriya elementleri si'rttan tu'sirilgen ta'sirde de boli'wi' sha'rt. Bunday ma'seleni sheshiw ushi'n si'rtqi' ta'sirdin' simmetriyasi' menen payda bolg'an kristallardi'n' simmetriyalari'n mayda-shu'ydesine shekem tallaw kerek boladi'.

Elektrlik ta'sirlerde ju'zege keletug'i'n strukturali'q qayta quri'wlar. Ferroelektrikler elektrlik ta'sirler tu'skende domenlik sistemalardi'n' bir birine transformaciyalari'n a'melge asi'ri'wda u'lken mu'mkinshiliklerdi jarati'p beredi. Bunday ferroelektriklik kristallar qatari'na segnet duzi'n,  $BaTiO_3$ ,  $KH_2PO_4$  ha'm basqa da ko'p sanli' kristalli'q zatlarda atap o'tiwge boladi' [34-37].

Ha'zirgi waqi'tlari' ferroelastikler dep atalug'i'n modellik obektler ko'pshilikke ma'lim. Ferroelastikler kristalli'q qatti' denelerdin' ayri'qsha klasslari'na jatadi'. Bunday kristalli'q denelerde belgili bir temperaturali'q intervallarda simmetriyasi' joqari' bolg'an fazadan simmetriyasi' to'men bolg'an fazag'a fazali'q o'tiw ori'n aladi'. Usi'ni'n' na'tiyjesinde kristalli'q pa'njere spontan tu'rde deformaciyalanadi'. Al ali'ng'an kristalli'q pa'njere bolsa si'rttan tu'sirilgen kernewlerdin' ta'sirinde o'zinin' orientaciyasi'n (kristallografiyali'q bag'i'tlari'n) o'zgeriwi mu'mkin.

Tek g'ana spontanli'q deformaciyani'n' payda boli'wi' menen ju'retug'i'n fazali'q o'tiw din' ori'n ali'wi'ni'n' mu'mkin ekenligin 1960-ji'li' V.L.Indenbom atap o'tken edi. Al 1969-ji'li' K.Aizu birinshi boli'p «ferroelastik» terminini ilimga engizdi ha'm ferroelekstiklik fazali'q o'tiwlerdi arawli' tu'rde u'yreniw din' za'ru'rliligini atap o'tti [40]. Ferroelastiklerdi o'z aldi'na klassqa kirgiziw din' o'zi ha'r qi'yli' strukturali'q fazali'q o'tiwlerdin' (ferromagnitlik, martensitlik, ferroelektriklik, ferroelastiklik ha'm basqalar) uli'wmali'li'g'i'n ayqi'n ko'rsetti. Soni'n' menen birge ko'p uzamay-aq ferroelastiklerdin' mikroskopiyali'q da'rejede de, makroskopiyali'q da'rejede de o'zine ta'n bolg'an qa'siyetlerge ani'q iye ekenligi ko'rindi. Solay etip ha'zirgi waqi'tlari' fazali'q o'tiwler ori'n alatug'i'n kristallardi'n' ko'p sanli' klasslari'ni'n' ishinde ferroelastiklerdin' o'z aldi'na arawli' tu'rde izertleniwini'n' kerekligi gu'ma'n payda etpeydi. Soni'n' menen birge ferroelastikler fizikasi' bolsa qatti' deneler fizikasi'ni'n' teperish tu'rde rawajlani'p ati'rg'an bo'limlerini'n' biri boli'p tabi'ladi'.

Ferroelastik kristallardag'i' temperatura o'zgergende ori'n alatug'i'n spontan deformaciya da temperatura fazali'q o'tiw noqati' arqali' o'tkende payda boladi'. Biraq bul jerde situaciya ji'lli'li'q ken'eyiw indegi jag'daydan u'lken ayi'rmag'a iye. Ayi'rma sonnan ibarat, ferroelastiklerde fazali'q aylani'sti'n' na'tiyjesinde deformaciyani'n' jan'a qurawshi'si' ju'zege keledi. Joqari' temperaturali'q fazada qadag'an etilgen ha'm strukturali'q fazali'q o'tiwde payda bolatug'i'n deformaciyani'n' usi' jan'a qurawshi'si' g'ana o'tiw din' jan'a tu'ri bolg'an ferroelastiklik fazali'q o'tiwdi beredi [40-41].

Ferroelastiklerdi a'dette taza ferroelastikler ha'm aralas ferroelastikler dep ekige bo'ledi. Taza ferroelastikler tek ferroelastiklik qa'siyetlerge iye boli'p, ferroelektrik yamasa ferromagnetik boli'p tabi'lmaydi'. Al aralas ferroelastikler bolsa bir waqi'tta ferroelastik ha'm ferroelektriklik yamasa ferroelastik ha'm ferromagnitlik qa'siyetlerge iye boladi'. Bunday ferroelastik kristallar qatari'na qorg'asi'n ortofosfati'  $Pb_3(PO_4)_2$ ,

qorg'asi'n ortovanadati'  $Pb_3(VO_4)_2$ , kaliy ditrigidroseleniti  $KH_3(SeO_3)_2$  ha'm basqalar kiredi. Aralas ferroelastikler qatari'na bariy titanati'  $BaTiO_3$ , gadoliniy molibdati'  $Gd_2(MoO_4)_3$ , kaliy digidrofosfati'  $KH_2PO_4$  ha'm basqa da kristallar jatadi'. Ha'r bir ferroelektrik yamasa ferromagnetik ferroelastik boli'p tabi'lmasa da, ha'zirgi waqi'tlari' ferroelastik kristallardi'n' klassi'ni'n' strukturali'q fazali'q o'tiwdi basi'nan keshiretug'i'n kristallardi'n' en' ko'p sanli' klassi' boli'p tabi'latug'i'nli'gi' belgili. Ferroelektrikler si'yaqli' ferroelastik kristallar da bir ko'sherli boli'wi' mu'mkin. Bunday jag'daylarda spontan deformaciya kristaldi'n' tek bir ko'sheri bag'i'ti'nda payda boladi'. Al spontan deformaciya basqa da ko'sherler bag'i'ti'nda payda bolatug'i'n bolsa ferroelastikti kop ko'sherli ferroelastik dep ataymi'z.

Kristalli'q quri'li'sti'n' o'zgeriwi menen ju'retug'i'n fazali'q o'tiwler belgili bir substrukturani'n' – domenlik strukturani'n' ha'm kristalli'q quri'li's defektlerinin' payda boli'wi'na ali'p keledi. Payda bolg'an domenlik struktura da, kristalli'q quri'li'sti'n' defektleri de kristalli'q quri'li'sti'n' o'zi menen bir qatarda qatti' denelerdin' a'hmiyetli bolg'an qa'siyetlerin ani'qlaydi' (payda etedi). Sonli'qtan fazali'q o'tiwlerdi izertlew na'tiyjeleri ilim ha'm texnika menen ku'ndelikli turmi'sta a'hmiyetli ori'n tutatug'i'n berilgen qa'siyetlerge iye bolg'an kristalli'q materiallardi' ali'w mashqalalari' (problemalari') menen tikkeley baylani'sli'.

Usi' ayti'lg'anlarg'a baylani'sli' kristalli'q quri'li'sti'n' o'zgeriwi menen ju'retug'i'n fazali'q o'tiwlerdi izertlew Jer ju'zinde u'lken pa'tler menen ali'p bari'ldi'. Soni'n' saldari'nan ko'p sanli' izertlewlerdin' na'tiyjesinde fazali'q o'tiwler ha'm elastik deformaciya menen baylani'sli' bolg'an kristalli'q pa'njerenin' qayta quri'li'wlari' haqqi'nda ko'z-qaraslar toli'q qa'liplesti. Biraq qalay degen menen ferroelastiklerdin' domenlerinin' payda boli'w sebepleri usi' waqi'tlarg'a shekem toli'q tu'sinikli emes. Bul jerde ferroelastikler ha'm ferromagnetikler arasi'ndag'i' analogiya hesh qanday ku'shke iye emes. Sebebi ferroelastiklerde polyarizaciyalawshi' yamasa depolyarizaciyalawshi' maydanni'n' analogi' joq ha'm sonli'qtan bul materiallarda domenlerge bo'liniw ushi'n energiyali'q stimul payda bolmaydi'. Bir tekli mexanikali'q kernewler maydani'nda erkin turg'an kristallar ushi'n monodomenlik hal ten' salmaqli'q hal boli'p tabi'ladi'. A.L. Roytburd ta'repinen usi'ni'lg'an gipotezag'a muwapi'q ferroelastiklerdegi depolyarizaciyalawshi' maydan rolin kristal Kyuri noqati' arqali' o'tkende payda bolatug'i'n ha'm u'lken arali'qlarg'a tarqalatug'i'n bir tekli emes ishki kernewler

oynaydi. Fazaliq o'tiw noqati'  $T_K$  dan to'men temperaturalarda kristall ha'r qi'yli' menshikli deformatciyag'a iye domenlerge bo'linse bul kernewlerdin' shamalari' a'dewir kishireyedi. Bul jag'daylardin' barli'g'i' da fazaliq o'tiwler menen domenler sistemalari'ni'n' transformacijalari'nda ju'zege keletug'i'n kristallostrukturali'q o'zgerislerdi tikkeley eksperimentalli'q ha'm teoriyali'q izertlew din' aktualli'q ma'sele ekenliginen derek beredi.

Elektrik ta'sirler asti'nda o'tetug'i'n strukturali'q aylani'slar tiykari'nan optikali'q usi'llar menen ha'm kristalli'q dielektriklik gisterezislerin izertlew joli' menen a'melge asi'ri'ldi'. Al bariy titanati' menen kaliy digidrofosfati' kristallari'n izertlewlerge arnalg'an jumi'slardan basqa jumi'slar derlik joq [14, 38-39].

#### **4-§. Strukturali'q qayta quri'wlardi'n' qayti'mli'li'g'i' ha'm formani' este saqlaw effekti**

Biz joqari'da bag'i'tlang'an emes (strukturali'q fazali'q o'tiwler) ha'm bag'i'tlang'an (mexanikali'q ekileniw ha'm ferroelektriklerdegi strukturali'q monodomenizaciya) si'trqi' ta'sirler tu'skende ju'retug'i'n strukturali'q processlerge tiykarg'i' di'qqatti' awdardi'q. Endi temperatura joqari'lag'anda keru fazali'q o'tiw din' saldari'nan sol strukturali'q processlerdin' qayti'mli'li'g'i' haqqi'ndag'i' bar mag'li'wmatlardi' tallaymi'z.

En' da'slep strukturali'q qayti'mli' aylani'sli'ar Cu-Al quymalari'ndag'i'  $\beta$ ' fazani' qi'zdi'rg'anda joqari' temperaturali' fazag'a o'tiw processinde baqlandi' [42]. Mi'sti'n' tiykari'ndag'i' basqa da quymalardi' izertlegende de (Cu-Sn, Cu-Zn quymalari') fazali'q aylani'slardin' toli'q qayti'mli'li'g'i' baqlandi'. Usi'g'an baylani'sli' izertlewshiler temperatura to'menlegende ori'n alatug'i'n fazali'q tu'r leniwlerde atomlar bir ori'nnan ekinshi ori'ng'a qalay o'tetug'i'n bolsa, keru bag'i'ttag'i' fazali'q aylani'slardi' atomlardin' qarama-qarsi' bag'i'tta o'zlerinin' en' da'slepki ori'nlarina tap sonday boli'p qozg'alatug'i'nli'g'i'n ani'qladi'.

Mexanikali'q ta'sirlerdin' asti'nda ju'retug'i'n strukturali'q processlerdin' kristalli'q denelerdi qi'zdi'rg'anda ori'n alatug'i'n keru fazali'q o'tiwlerdin' bari'si'nda toli'q qayti'mli' ekenligi formani' este saqlaw effektinde ayqi'n tu'rde ko'rinedi. Bul processtin' ma'nisi mi'nalardan ibarat:

1. Kristalli'q denede bazi' bir temperaturada martensitlik fazali'q o'tiwidin' ori'n ali'wi' ha'm usi' o'tiwidin' saldari'nan polidomenlik haldi'n' payda boli'wi' kerek. Ani'qli'q ushi'n polidomenlik strukturag'a iye bolg'an fazani' to'mengi temperaturali' faza dep ataymi'z ha'm bul fazani' joqari' temperaturali' polidomenlik strukturag'a iye bolmaytug'i'n fazadan (yag'ni'y joqari' temperaturali' fazadan) martensitlik fazali'q o'tiwidin' saldari'nan payda boladi' dep esaplaymi'z.

2. Polidomenlik strukturag'a iye bolg'an kristaldi' deformaciyalaymi'z ha'm og'an biz qa'legen formani' beremiz. Deformaciyani'n' martensitlik mexanizm menen ju'riwin (yag'ni'y fazali'q o'tiwidin' saldari'nan strukturani'n' o'zgeriwinin' mexanizmindey mexanizm menen ju'riwin) ta'miyinleyimiz.

3. Deformaciyalang'an kristaldi' qi'zdi'rami'z ha'm keru' fazali'q o'tiwidin' ju'riwin boldi'rami'z. Usi'ni'n' saldari'nan strukturali'q o'zgerislerdin' qayti'mli'li'g'i'nan keru' fazali'q saldari'nan kristalli'q u'lginin' en' da'slepki formasi'ni'n' qaytadan tiklengenligin ko'remiz.

A'debiyatta formani' este saqlaw effektin geypara jag'daylarda martensitlik este saqlaw effekti, martensitlik ji'lji'wlardi'n' annigilyaciyasi' effekti, mexanikali'q este saqlaw effekti dep te ataydi'.

Formani' este saqlaw effekti kristalli'q denelerdegi martensitlik mexanizm menen ju'zege keletug'i'n strukturali'q o'zgerislerdin' qayti'mli'g'i' menen baylani'sli'.

## **5-§. Bazi' bir juwmaqlar ha'm ma'selenin' qoyi'li'wi'**

Joqari'da keltirilgen a'debiy sholi'wda biz to'mendegidey jag'daylardi' ko'rdik:

1. Kristalli'q denelerdegi strukturali'q processler (strukturali'q qubi'li'slar) si'rtqi' ta'sirlerdin' asti'nda ju'zege keledi (temperaturani'n' o'zgerisi, mexanikali'q, elektrlik ta'sirler). Kyuri principine sa'ykes strukturali'q aylani'stan (fazali'q o'tiw yamasa domenlerdin' transformaciyalari') keyin qaliplesken kristaldi'n' simmetriyasi' kristaldi'n' da'slepki simmetriyasi' menen si'rtqi' ta'sirdin' simmetriyasi'ni'n' uli'wmali'q elementlerine iye boladi'.

2. Polidomenlik haldi'n' payda boli'wi' martensitlik mexanizm (ekileniw, yag'ni'y dvoynikovanie menen) menen ju'retug'i'n fazali'q o'tiwlerdin' na'tiyjesi boli'p tabi'ladi'.

3. Bag'itlang'an si'rtqi' ta'sirlerde (mexanikali'q kernew, elektr maydani'n tu'siriw ha'm basqalar) polidomenlik kristallarda strukturali'q transformaciyalar ju'zege keledi. Usi'ni'n' saldari'nan domenlerdin' bir sistemasi' si'rtqi' ta'sirde saqlani'p qalatug'i'n domenlerdin' ekinshi sistemasi'na aylanadi'. Bul process mexanizmleri boyi'nsha martensitlik fazali'q o'tiwlerdin' mexanizmleri menen birdey. Sonli'qtan mexanikali'q ta'sirler asti'nda ju'retug'i'n domenlerdin' transformaciyalari'n u'yreniw fazali'q o'tiwlerdin' saldari'nan ju'retug'i'n strukturali'q aylani'slardi'n' mexanizmleri u'yreniwge ali'p klinedi.

4. Bunday qayti'mli'li'qti' tek u'lken elastik deformaciyalardi' payda etiw joli' menen saplasti'ri'wg'a boladi'. Biraq strukturali'q processlerdin' qayti'mli' ekenligin tikkeley ko'rsetetug'i'n eksperimentler sani' kem. Sonli'qtan bunday proceslerdin' ayqi'n tu'rdegi mexanizmleri elege shekem toli'q izertlenbegen. Soni'n' menen birge strukturali'q fazali'q o'tiwidin' saldari'nan jan'a strukturali'q defektler sistemasi'ni'n' payda bolatug'i'nli'g'i' ma'lim ha'm bul qubi'li's texnikada, atap aytqanda texnika menen tikkeley baylani'sli' bolg'an metallurgiyada (fazali'q naklep usag'an qubi'li'slar) ken'nen qollani'ladi'. Al usi'nday strukturali'q defektlerdin' ta'biyati', en' basli'si' olardi'n' termodinamikali'q qa'siyetleri (yag'ni'y termodinamikali'q ten' salmaqli'li'g'i') elege shekem toli'q sheshimin tappag'an fizikali'q qubi'li'slardi'n' biri boli'p tabi'ladi'.

Ko'p sanli' eksperimentler joqari'da keltirilgen to'rt punkttegi strukturali'q qubi'li'slardi'n' kristalli'q denenin' metall, yari'm o'tkizgish yamasa dielektrik (izolyator) boli'wi'nan g'a'rezsiz ekenligin ayqi'n ko'rsetedi. Sonli'qtan biz qarap ati'rg'an ma'sele kondensaciyalang'an hallar fizikasi'ni'n' a'hmiyetli eksperimentalli'q ma'selelerinin' biri boli'p tabi'ladi'.

Joqari'da atap o'tilgen strukturali'q processlerdi izertlew usi' waqi'tlarg'a shekem aktualli'q ma'selelerden boli'p kelmekte. Bunday ma'selelerdi sheshiw ushi'n qanday kristalli'q denelerdin' ha'm qanday eksperimentalli'q usi'llardi'n' qollani'li'wi'ni'n' za'ru'rli'gi haqqi'nda ga'p etemiz.

Birinshiden, atomli'q-kristalli'q strukturani'n' o'zgerislerinin' (aylani'slari'ni'n') ni'zamlari'n u'yreniw ushi'n modellik obektlerdin' paydalani'li'wi'ni'n' maqsetke muwapi'q ekenligi ani'q. Bunday obektler ushi'n strukturali'q processlerdi an'sat ju'zege keltiriwdi tiykarg'i' kriteriy si'pati'nda qabi'l etemiz. Soni'n' menen birge saylap ali'ng'an obektlerdin' strukturalari' sali'sti'rmali' tu'rde a'piwayi' boli'wi' kerek (mi'sali'

bir ko'sherli, yag'ni'y tetragonalli'q, trigonalli'q yamasa geksagonalli'q). Biz saylap alg'an kristalli'q denelerdin' strukturali'q domenlerge iye boli'wi' ha'm bul domenlerdin' si'rtqi' bag'i'tlang'an ta'sirlerde bir birine transformaciyalari'ni'n' ori'n ali'wi' za'ru'rli.

Ekinshiden, saylap ali'ng'an modellik obektlerdegi strukturali'q processlerdi izertlew usi'llari' o'zinin' ekspressligi, struktura ha'm substruktura haqqi'nda bir waqi'tta ko'p sanli' mag'li'wmatlardi' bere ali'wi' maqsetke muwapi'q keledi. Bunday jag'dayda sol atomli'q-kristalli'q struktura menen substrukturani' izertlewde og'ada u'lken mu'mkinshiliklerdi jarati'p beretug'i'n difrakciyalig' izertlew usi'llari', solardi'n' ishinde rentgenografiyalig' izertlew usi'llari'ni'n' kompleksi birinshi ori'ng'a shi'g'adi'. Bunday komplekske to'mendegi rentgendifrakciyalig' usi'llardi' kirgiziw mu'mkin:

Rentgenografiyalig' Laue usi'li'.

Rentgenografiyalig' aylani'w-terbeliw usi'li'.

Debay-SHerer usi'li'.

Rentgen difraktometriyasi' (monokristallardi' izertlew ushi'n).

Rentgen topografiyasi' (mu'yeshlik skannerlew usi'li').

Difrakciyalig' eksperimentlerdi sanli' modellestiriw.

## II bap. Izertlewlardin' usi'llari' ha'm apparaturasi'

### 6-§. Rentgenstrukturali'q tallawdi'n' fotografiyali'q usi'llari'

Difrakciyali'q eksperimenttin' principlerin en' birinshi ret ta'riyiplegende kristalli'q denelerdegi rentgen tolqi'nlarini'n' (yamasa elektronlar tolqi'nlarini'n') shashi'rawini'n' logikali'q ierarxiyasi'n paydalang'an maqsetke muwapi'q keledi:

atomdag'i' shashi'raw – atomli'q amplituda, atomli'q faktor;

elementar quti'dag'i' shashi'raw – strukturali'q amplituda, strukturali'q faktor;

kristaldag'i' shashi'raw – Lauenin' interferenciya'li'q funkciyasi'.

Biz bul jumi'sti' atomli'q faktor, strukturali'q faktor ha'm Lauenin' in terferenciya'li'q funkciyasi' haqqi'nda ga'p etpeymiz, al kristallar rentgenografiyasi'ni'n' en' tiykarg'i' difrakciya'li'q usi'llari'nan baslaymiz.

Rentgenstrukturali'q tallawda tiykari'nan to'mendegi difrakciya'li'q usi'llar qollani'ladi':

1. Laue usi'li'. Bul usi'lda polixromat rentgen nurlari' da'stesi qozg'almaytug'i'n monokristal u'lgige kelip tu'sedi. U'lginin' o'lshemleri a'dette 1-2 mm den u'lken bolmawi' kerek. Difrakciya'li'q su'wret qozg'almaytug'i'n fotoplenkada tu'siriledi. Laue kamerasi' 2-a su'wrette keltirilgen.

2. Aylani'w (terbeliw) usi'li'. Rentgen trubkasi'nan shi'qqan nurlar da'stesi (a'dette polixromat rentgen nurlari') bazi' bir kristallografiya'li'q ko'sher do'gereginde aylani'wshi' (yamasa terbeliwshi) kristalg'a kelip tu'sedi. Biz ushi'n za'ru'rli bolg'an kristallografiya'li'q bag'i'tti' aylani'w yamasa terbeliw ko'sheri menen betlestiriw Laue usi'li'ni'n' ja'rdeminde lauegrammalar tu'siriw joli' menen a'melge asi'ri'ladi'. Usi'ni'n' na'tiyjesinde sol kristallografiya'li'q bag'i't kamerani'n' aylani'w (terbeliw) bag'i'ti'na da'l parallel etip qoyi'ladi'. Difrakciya'li'q su'wret cilindr ta'rizli qozg'almaytug'i'n fotoplenkadag'a tu'siriledi. Ayi'ri'm jag'daylarda fotoplenka u'lgi menen sinxronli' ra'wishte aylani's jasadidi'; aylani'w usi'li'ni'n' bunday tu'rin qatlamli'q si'zi'qlardi' tu'sirip ali'w usi'li' dep ataydi' (2-b su'wret).

Aylani'w usi'li'nda monoxromat rentgen nurlari' emes, al a'dette polixromat rentgen nurlari' paydalani'ladi' (sebebi intensivli monoxromat rentgen nurlari'n ali'w an'sat

emes). Fotoplenkadagi difraktsiyaliq suvret bolsa tiykari'nan xarakteristikaliq nurlani'wdi'n' esabi'nan qaliplese. Al u'zliksiz spektr bolsa rentgen reflekslerinin a'tirapi'nda belgili bir bag'i'tlardagi' fondi' payda etedi.

3. Untalg'an kristallar (yamasa polikristallar) usi'li' (Debay-SHerer usi'li'). Bul usi'lda da monoxromat rentgen nurlari'n paydalani'w kerek. Izertlenetug'i'n u'lgi polikristal yamasa untalg'an kristal boli'p tabi'ladi'. Untalg'an kristaldi' shiyshe iynege rentgen nurlari'n kem shashi'ratatug'i'n jelimnin' ja'rdeminde jabi'sti'radi'.

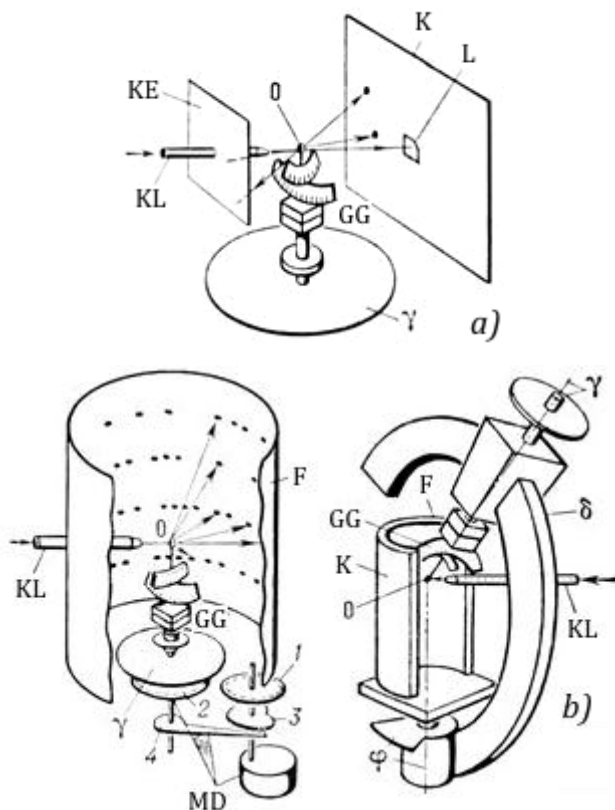
Bul usi'llar haqqi'nda to'mende toli'g'i'raq ga'p etemiz.

**Laue usi'li'.** Bul usi'l kristallardi'n' atomli'q-kristalli'q quri'li'si'n izertlew'din' en' baslang'i'sh etapi'nda qollani'ladi'. Laue usi'li'ni'n' ja'rdeminde kristallardi'n' singoniyasi' ha'm Laue klassi' ani'qlanadi'. Fridel ni'zami' boyi'nsha lauegramma (barli'q rentgenogramma) ja'rdeminde kristallardagi' simmetriya orayi'ni'n' joq ekenligin ani'qlaw'ga bolmaydi' (barli'q rentgenogrammalarda simmetriya orayi' ori'n aladi'). Sonli'qtan 32 noqatli'q toparg'a simmetriya orayi'n qosi'w olardi'n' sani'n 11 ge shekem kemeytedi. Sonli'qtan 11 Laue klassi' bar dep esaplaydi'.

Laue usi'li' monokristallardi', polidomenli kristallardi' ha'm iri kristallitlik u'lgilerdi izertlew ushi'n qollani'ladi'. Joqari'da aytili'p o'tilgenindey bul usi'lda qozg'almaytug'i'n kristalli'q u'lgige diametri 1-2 mm bolg'an u'zliksiz spektrge iye polixromat rentgen nuri' kelip tu'sedi.

2-su'wrette fotoplenkada qatlamli'q si'zi'qlardi'n' boyi'nda jaylasqan difraktsiyali'q maksimumlar ko'rinip tur. Eger toli'q aylani'wdi' belgili bir mu'yeshlik intervaldagi' terbeliw menen almasti'rsa (aylani'w usi'li'nda izertlenetug'i'n kristal kamera ko'sheri do'gereginde aylani'sta boladi' ha'm ekspozitsiya bari'si'nda bir neshe ret aylani'p shi'g'adi', al terbeliw usi'li'nda kristal ekspozitsiya bari'si'nda kamera ko'sheri do'gereginde belgili bir mu'yeshlik intervalda g'ana aldi'g'a ha'm keyinge bir neshe ret buri'ladi'), onda terbeliw intervali'ni'n' ma'nisine baylani'sli' qatlamli'q si'zi'qlardagi' refleksler sani' kemeyedi. U'lginin' aylani'wi' 1- ha'm 2-tislerdin' ja'rdeminde a'melge asi'ri'ladi', terbelis bolsa 3 penen 4-ri'shag ja'rdeminde ju'zege keledi. 2-su'wrette mi'naday belgilewler qabi'l etilgen:  $c$  - elementar quti'ni'n' formalari'n ha'm o'lshemlerin ani'qlaw kamerasi'.  $O$  - u'lgi;  $GG$  - u'lgi ornalasti'ri'latug'i'n goniometrlik du'zilis;  $\gamma$  - limb ha'm u'lgi ornalasti'ri'latug'i'n goniometrlik du'zilistin' buri'li'w ko'sheri;  $KL$  - kollimator;  $K$  bolsa  $F$  fotoplenkasi' bar kasseta;  $KE$  arqali' epigramma

tu'siriw ushi'n arnalg'an fotokasseta ko'rsetilgen (keri bag'i'tta su'wretke ali'w); MD arqali' u'lgini aylandi'ratug'i'n yamasa terbeletug'i'n mexanizm ko'rsetilgen.;  $\varphi$  - limb ha'm u'lginin' terbelis ko'sheri;  $\delta$  - goniometrlik du'zilistin' ko'sherin dog'a tu'rindegi bag'i'tlag'i'sh.



2-su'wret.

Monokristallardi' izertlew ushi'n arnalg'an rentgen kameralari'ni'n' tiykarg'i' sxemalari': a-Laue usi'li' menen qozg'almaytug'i'n kristallardi' izertlew kamerasi'; b - aylani'w (terbeliw) kamerasi'.

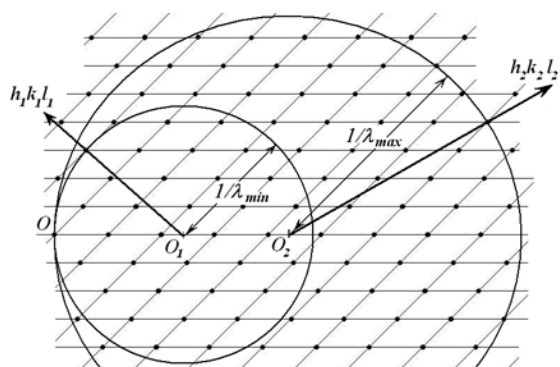
Rentgen trubkasi'nan shi'qqan en' kishi tolqi'n uzi'nli'g'i' trubkadag'i' anod penen katod arasi'na tu'sken kernewdin' ma'nisinen g'a'rezli. Haqiyqati'nda da  $eU = h\nu = \hbar\omega = 2\pi\hbar\frac{c}{\lambda}$ . Bul formulada  $e$  arqali' elektronni'n' zaryadi',  $U$  arqali' anodli'q kernewdin' ma'nisi,  $h$  arqali' Plank turaqli'si' ( $h = 2\pi\hbar$ ),  $\nu$  arqali' rentgen tolqi'ni'ni'n' jiyiligi,  $\omega$  arqali' tolqi'nni'n' ciklik jiyiligi,  $c$  arqali' jaqti'li'qti'n' vakuumdegi tezligi, al  $\lambda$  arqali' rentgen tolqi'ni'ni'n' tolqi'n uzi'nli'g'i' belgilengen. Bunnan  $\lambda$  menen  $U$  arasi'ndag'i' baylani'sti' an'sat tabami'z:  $\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{eU}$ . Eger biz anodli'q kernewdi kilovoltlerde beretug'i'n, al tolqi'n uzi'nli'g'i'n angstremlerde esaplaytug'i'n bolsaq, onda ken'nen ma'lim bolg'an  $\lambda_{min} = \frac{12,3}{U}$  formulasi'na iye bolami'z. Bunday jag'dayda anod kernewinin' ma'nisi 36 kilovolt bolg'anda (mi's anodi' bar rentgen trubkasi'nda usi'nday kernewde islew usi'ni'ladi')  $\lambda_{min} = 0,344 \text{ \AA}$  shamasina iye bolami'z. Difrakciyali'q su'wretti payda etiwge qatnasatug'i'n rentgen tolqi'ni'ni'n' maksimalli'q uzi'nli'g'i'n tabi'w ushi'n qa'ddi fonni'n' qa'dinen keminde 5-10 % joqari' bolg'an

tolqi'nni'n uzi'nli'g'i'n alami'z. Mi's anodi' (antikatodi') ushi'n bul tolqi'nni'n uzi'nli'g'i' shama menen 3 angstrommen u'lken emes. Usi'g'an baylani'sli' mi's anodi'nda payda bolg'an (qozg'an) u'zliksiz rentgen spektrinde lauegrammalardi' payda etiw ushi'n uzi'nli'g'i' shama menen 0,3 angstrommen 3 angstromge shekemgi uzi'nli'qtag'i' rentgen tolqi'nleri' qatnasadi' dep esaplaymi'z.  $\lambda_{max} - \lambda_{min}$  spektrine radiuslari'  $\frac{1}{\lambda_{min}}$  shamasidan  $\frac{1}{\lambda_{max}}$  shamasina shekemgi Evald sferalari' arasi'nda jaylasqan kerilme pa'njere tu'yinleri qatnasadi'. Bul jag'day 3-su'wrette keltirilgen. Bul su'wret boyi'nsha fotoplenkadag'i' difrakciyalıq daqlardi' radiuslari'  $1/\lambda_{min}$  ha'm  $1/\lambda_{max}$  bolg'an Evald sferalari' arasi'nda jaylasqan kerilme pa'njerenin' tu'yinleri beredi. Vulf-Bregg sha'rtinin' orinlanı'wi' ushi'n kerilme pa'njerenin' tu'yininin' Evald sferasi'ni'n' beti menen kesilisiwi kerek. Sonli'qtan ha'r bir tu'yin ushi'n belgili bir radiusqa iye (yag'ni'y belgili bir toqin uzi'nli'g'i'na sa'ykes keliwshi) Evald sferasi' sa'ykes keledi. Demek ha'r bir  $d$  (kristallografiyalıq tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'q) o'zine sa'ykes tolqi'n uzi'nli'g'i'n saylap aladi' degen so'z. Soni'n' menen birge indeksleri  $hkl$ ,  $2h2k2l$ ,  $3h3k3l$ , ... bolg'an bir tu'yinler tuwri'si'ni'n' boyi'nsha jaylasqan tu'yinler ushi'n difrakciyalıq mu'yesh  $\theta$  ni'n' ma'nisleri birdey boladi' ha'm olardi'n' barli'g'i' da fotoplenkani'n' bir noqati'nda difrakciyalıq daq payda etedi. Sonli'qtan lauegrammalardag'i' rentgen refleksleri «ren'li» bolı'wi' kerek (yag'ni'y bir refleksi payda etiw ushi'n ha'r qiyli' uzi'nli'qtag'i' tolqi'nlar qatnasadi').

Lauegrammada payda bolg'an reflekslerdin' sani'  $\lambda_{max} - \lambda_{min}$  ayırması'nan g'a rezli ekenligi rentgen nurlari' optikasi'nan belgili. Usi' g'a rezlilikki ayqinlastiri'w ushi'n kompyuterdin' ja'rdeminde Delphi programmalıq tilinde teoriyalıq lauegrammalar seriyasi' du'zildi. 4-a su'wrette  $\lambda_{min} = 0,36 \text{ \AA}$  ha'm  $\lambda_{max} = 3 \text{ \AA}$ . 4-b su'wrette bolsa  $\lambda_{min} = 0,036 \text{ \AA}$  ha'm  $\lambda_{max} = 30 \text{ \AA}$ . Bul su'wretlerde  $\lambda_{max} - \lambda_{min}$  ayırması'ni'n' lauegrammalardi'n' reflekslerinin' payda bolı'wi'na qanday ta'sirin tiygizetug'i'nli'g'i' ani'q ko'rinip tur.

3-su'wret.

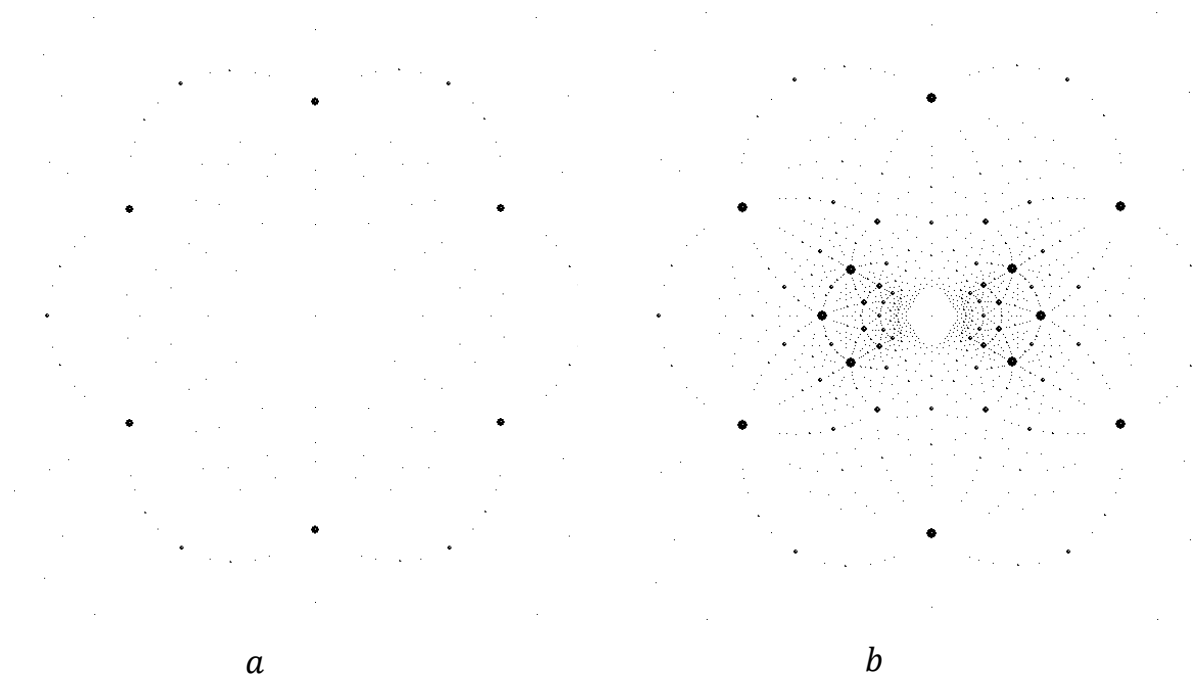
Lauegrammani'n' payda  
boli'wi'n keru ken'islikte  
sa'wlelendiretug'i'n sxema.



Lauegrammalar tu'siriw ushi'n a'dette Laue kamerasi' (RKSO kamerasi') paydalani'ladi'.

**Aylani'w (terbeliw) usi'li'.** Bul usi'l kristallardi'n' atomli'q-kristalli'q quri'li'si'n ani'qlawdag'i' tiykarg'i' usi'llardi'n' biri boli'p tabi'ladi'. Aylani'w (terbeliw) usi'li'ni'n' ja'rdeminde elementar quti'ni'n' o'lshemlerin, bir quti'g'a sa'ykes keliwshi atomlardin' yamasa molekullardin' sani'n, rentgen nurlari'ni'n' o'shiw ni'zamlari'n ani'qlap, kristallardi'n' simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi topari'n ani'qlawg'a shekemgi ma'seleler sheshiledi. Soni'n' menen bir qatarda bul usi'ldi'n' ja'rdeminde kristallardag'i' strukturali'q domenlerdin' quri'li'si', strukturali'q domenler arasi'ndag'i' orientაციyali'q qatnaslar, qatti' denelerdegi fazali'q o'tiwlerdi izertlew mu'mkin.

Rentgenogrammalardi' aylani'w (terbelis) usi'li' menen tu'sirgende kristal belgili bir kristallografiyali'q bag'i't a'tirapi'nda aylandi'ri'ladi' yamasa belgili bir mu'yesh intervali'nda mu'yeshlik skannerlenedi (mi'sali' rentgen kamerasi'nda 210 gradustan 225 gradus arali'g'i'nda arman-berman buri'ladi'). Kristalg'a monoxromat rentgen nurlari' yamasa polixromat rentgen nurlari' tu'siriledi. Rentgenogrammalardag'i' dirfakciyali'q refleksler (daqlar) xaraktristikali'q rentgen nurlari'ni'n' difrakciyasi'ni'n' saldari'nan ali'nadi'.



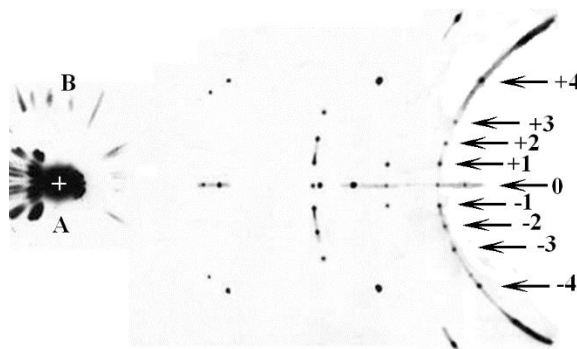
4-su'wret. Lauegrammadag'i' refleksler sani'ni'n' ha'm olardi'n' intensivliginin'  $\lambda_{max} - \lambda_{min}$  ayi'rmasi'nan g'a'rezli ekenligin illyustraciyalawshi' esaplaw joli' menen ali'ng'an su'wretler.

Rentgen trubkasi'nan shi'qqan (trubkani'n' fokusi'ni'n' noqatli'q bolg'ani' maqsetke muwapi'q keledi) rentgen nurlari' uzi'n kollimator arqali' izertlenetug'i'n kristalg'a kelip tu'sedi. Kollimatordi'n' eki ushi'nda diametri 0,5-22 millimetrlik do'n'gelek tesikler boli'p, bul tesikler kristalli'q u'glige do'n'gelek formadag'i' rentgen nuri'ni'n' tu'siwin ta'miyinleydi. Aylani'w (terbeliw) rentgenogrammalari'n almastan buri'n goniometrlik du'ziliske ornalasti'ri'lg'an u'lgi Laue usi'li'ni'n' ja'rdeminde qatan' tu'rde bag'i'tlanadi'. Usi'nday aldi'n-ala o'tkerilgen operaciyalar kristaldi'n' [100], [010], [001] yamasa basqa da bizin' ushi'n maqsetke muwapi'q bolg'an bag'i'tlari'n rentgen kamerasi'ni'n' aylani'w (terbeliw) ko'sherine da'l parallel etip qoyi'wg'a mu'mkinshilik beredi. Aylani'w rentgenogrammalari' a'dette diametri 86,6 mm bolg'an cilindr formasi'na iye fotokasseta ishindegi fotoplenkada payda boladi'.

Joqari'da ayti'li'p o'tilgenindey, aylani'w rentgenogrammasi'nda refleksler qatlamli'q si'zi'qlar dep atalatug'i'n si'zi'qlar boylap jaylasadi' (5-su'wret).

Nolinshi qatlamli'q si'zi'qtan birinshi (yamasa minus birinshi) qatlamli'q si'zi'qqa shekemgi arali'qti'  $l$  arqali' belgileyik. Bunday jag'dayda  $l$  arali'g'i'na keru pa'njerede  $d^*$  sa'ykes keledi (6-su'wret). Ani'qlama boyi'nsha tuwri' pa'njeredegi tegislikler semeystvosi' arasi'ndag'i' qashi'qli'q bolg'an  $d$  shamasi'  $1/d^*$  shamasi'na ten'. Olay

bolsa  $\frac{l}{R} = \tan \varphi$ . Bul an'latpada  $R$  arqali' cilindr ta'rezli rentgen plenkasi'ni'n' radiusi' belgilengen. Ekinshi ta'repten  $\frac{d^*}{R_E} = \tan \varphi = \frac{l}{R}$ . Bul an'latpada  $R_E = \frac{1}{\lambda}$  arqali' Evald sferasi'ni'n' radiusi' belgilengen. Bul an'latpalardan  $d = \frac{R}{l} \lambda$  formulasi'na iye bolami'z. Solay etip aylani'w (terbelis) rentgenogrammalari' ja'rdeminde biz aylani'w ko'sheri bag'i'ti'ndag'i' kristalli'q pa'njerenin' translyaciya vektori'ni'n' uzi'nli'g'i'n – kristalli'q pa'njerenin' turaqli'si'n ani'qlay alami'z.



5-su'wret. ZnS kristallari'ni'n' 6H politipinen ali'ng'an terbelis rentgenogrammasi'ni'n' fotosu'wreti. Strelkalar menen qatlamli'q si'zi'qlar, al sanlar menen olardi'n' qatar sani' belgilengen. A arqali' u'lgige tuwri' kelip tu'sken rentgen nuri'ni'n' izi, al V arqali' rentgen spektrinin' polixromat bo'leginin' rentgen plenkasi'nda payda etken daqlari' ko'rsetilgen. Aylani'w (terbeliw) ko'sheri [0001] bag'i'ti'na sa'ykes keledi ha'm ol vertikal bag'i'tta. Sonli'qtan su'wrettegi rentgenogramma kristaldi'n' [0001] bag'i'ttag'i' turaqli'si'n ani'qlawg'a mu'mkinshilik beredi.

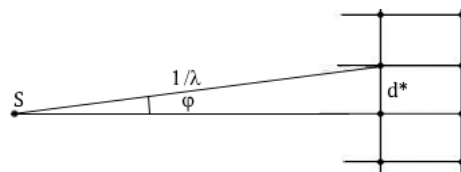
Terbelis rentgenogrammalari'n indekslew (yag'ni'y ha'r bir reflekske sa'ykes keliwshi kristallografiyali'q tegislikler semeystvosi'ni'n' kristallografiyali'q indekslerin, yag'ni'y Miller indekslerin ani'qlaw) arqali' izertlenip ati'rg'an kristalli'q u'lginin' simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi topari'n ani'qlaw mu'mkin. Biz usi' jerde rentgenogrammalarda ba'rqulla simmetriya orayi'ni'n' qatnasatug'i'nli'g'i'n esletip o'temiz (Fridel ni'zami'). Sonli'qtan rentgenografiyada biz kristalda simmetriya orayi'ni'n' bar yamasa joq ekenligin ani'qlay almaymi'z. Bunday jag'dayda ma'selenin' bir ma'nisli sheshiliwi ushi'n kristaldi'n' basqa da fizikali'q qa'siyetleri haqqi'ndag'i' mag'li'wmatlardi'n' za'ru'rli'gi payda boladi'. Mi'sali' kristal piroelektriklik qa'siyetke iye bolsa simmetriya orayi'ni'n' bunday kristallarda bolmaytug'i'nli'g'i'n ani'q ayta alami'z.

6-su'wret. Aylani'w (terbeliw)

rentgenogrammalari' ja'rdeminde aylani'w

(terbeliw) ko'sheri bag'i'ti'nda kristalli'q  
pa'njerenin' translyaciya vektori'ni'n' uzi'nli'g'i'n

ani'qlaw ushi'n si'zi'lg'an sxema.



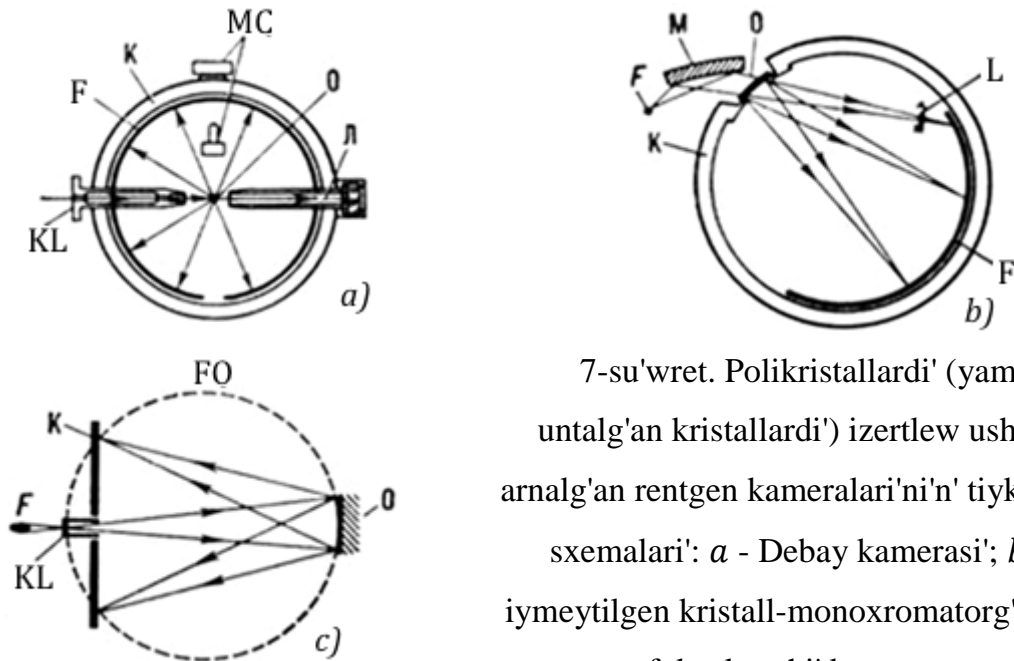
Kristallardi'n' simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi topari'n' ani'qlaw kristallardag'i' rentgen nurlari'ni'n' o'shiw ni'zami'n' tekserip ko'riw menen a'melge asi'ri'ladi'. Ken'isliktegi ha'r bir topar belgili bir o'shiw ni'zami' menen ta'riyiplenedi. O'shiw ni'zami' kristallografiyalig' indekslerdin' belgili bir topari' ushi'n strukturalig' faktordin' nolge ten' ekenligi menen baylani'sli'. O'shiw ni'zami' 230 topardi'n' ha'r bir ushi'n ta'n ha'm bul jag'day "Rentgen kristallografiyasi'ni'n' xali'q arali'q kestelerinde" (International Tables for X-Ray Crystallography. Volume I. Symmetry Groups. Published for the International Union of Crystallography by the Kyonch Press. Birmingham. England. 1969. 558 p.) toli'q tu'rde berilgen.

**Untalg'an kristallar usi'li' (polikristallar yamasa poroshok usi'li').** Polikristalli'q materiallardi' yamasa untalg'an kristalli'q zatlardi' izertleytug'i'n a'dettegi a'piwayi' usi'lda u'lgi rentgen nurlari'ni'n' jin'ishke da'stesi menen nurlandi'ri'ladi'. Monoxromat rentgen nurlari'n' ali'w u'lken mashqalalardi' payda etetug'i'n bolg'anli'qtan basi'm ko'pshilik jag'daylarda rentgen trubkasi'nan shi'qqan polixromat rentgen nurlari' qollani'ladi'. Rentgenogrammalardag'i' refleksler spektrdin' xarakteristikali'q nurlari'ni'n' difrakciyasi'ni'n' esabi'nan qa'liplesedi, al u'zliksiz spektr rentgen plenkasi'nda tutas fon payda etedi.

Polikristalli'q materiallardi' yamasa untalg'an kristalli'q zatlardi' izertleytug'i'n rentgenografiyalig' usi'ldi' Debay-SHerer usi'li' dep ataydi' (rentgenografiyani'n' en' birinshiler qatari'nda payda bolg'an usi'llari'ni'n' biri).

Difrakciyalig' su'wret a'dette cilindrlik betke ornati'lg'an eni kishi bolg'an rentgen plenkasi'na tu'siriledi ha'm oni' debaegramma dep ataydi'. Cilindrindin' orayi'nda izertleniwshi u'lgi jaylasti'ri'ladi' (7-su'wret). Geypara jag'daylarda debaegramma tegis fotoplenkag'a da tu'siriledi. 7-su'wrettegi kamera izertlenetug'i'n u'lgi arqali' o'tiwshi nurlarda, yag'ni'y kishi difrakciyalig' mu'yeshlerde isleydi. Sxemada c arqali' keribag'i'tta (u'lken difrakciyalig' mu'yeshler) tegis kassetada su'wret alatug'i'n fokuslawshi' kamera belgilengen. Strelkalar ja'rdeminde u'lgige tuwri' kelip tu'setug'i'n

ha'm difrakciyag'a ushi'rag'an nurlardi'n' bag'i'tlari' ko'rsetilgen. O arqali' u'lgi; F arqali' rentgen trubkasi'ni'n' fokusi'; M arqali' kristall-monoxromator; K arqali' fotoplenkasi' bar kasseta; L arqali' paydalani'lmag'an rentgen nuri'n' uslap qali'wshi'; FO arqali' fokuslani'w shen'beri (difrakciyali'q maksimumlar jaylasatug'i'n' shen'ber); KL arqali' kollimator; MC arqali' u'lgini orayg'a ali'p keliwge ja'rdem беретug'i'n' mexanizm belgilengen.



7-su'wret. Polikristallardi' (yamasa untalg'an kristallardi') izertlew ushi'n arnalg'an rentgen kameralari'ni'n' tiykarg'i' sxemalari': a - Debay kamerasi'; b - iymeytilgen kristall-monoxromatorg'a iye fokuslawshi' kamera.

Polikristallardag'i' kristallitlerdin' bag'i'tlari', soni'n' menen birge untalg'an kristallardag'i' mayda kristallardi'n' bag'i'tlari' ken'islikte ten'dey itimalli'q penen tarqalg'an. Sonli'qtan bunday u'lgige rentgen nuri' kelip tu'skende Vulf-Bregg sha'rtin (difrakciya sha'rtin) qanaatlandi'ratug'i'n' jag'dayda ko'plegen kristallitlerdin' yamasa mayda kristallardi'n' turi'wi' mu'mkin. Bunday kristallitler o'zine kelip tu'sken nurlardi' konusli'q bette jaylasqan bag'i'tlar boyi'nsha difrakciyag'a ushi'ratadi' ha'm tegis fotoplenkada bir daq emes, al do'n'gelek difrakciyali'q refleks payda boladi'. Bul do'n'gelek refleksdin' radiusi'n  $r$  arqali' belgileyik. U'lgi menen fotoplenka arasi'ndag'i' qashi'qli'q  $R$  shamasina ten' bolsi'n. Bunday jag'dayda  $\frac{r}{R} = \tan 2\theta$  shamasina ten' boladi' ( $\theta$  arqali' difrakciyali'q mu'yeshdin' ma'nisi belgilengen). Al difrakciyali'q mu'yesh  $\theta$  bolsi'n Vulf-Bregg ten'lemesi boyi'nsha kristallografiyali'q semeystvodag'i' tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'q  $d_{hkl}$  shamalari'n ani'qlawg'a mu'mkinshilik beredi.

Solay etip Debay-SHerer usi'li'nda kristallografiyali'q tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qlar tikkeley ani'qlanadi' eken. Eger bir sol tegislikler arasi'ndag'i'

qashi'qli'qlardi'n' dizimin du'zetug'i'n' bolsaq ha'm bul tegislikler ushi'n kristallografiyali'q indekslerdi ani'qlasaq, onda biz kristaldi'n' simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi topari' haqqi'nda tikkeley ga'p ete alami'z.

Debay-SHerer usi'li'ni'n' ja'rdeminde kristalli'q pa'njere turaqli'lari'ni'n' ma'nisin da'l ani'qlaw mu'mkinshiligine iye bolami'z. Haqi'yqati'nda da Vulf-Bregg ten'lemesinen sali'sti'rmali' qa'telik ushi'n

$$\frac{\Delta d}{d} = -ctg \theta \cdot \Delta \theta + \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

an'latpasi'n alami'z. A'dette  $\Delta \lambda = 0$  ten'ligi ori'nlanadi' qabi'l etiledi. Difrakciyali'q mu'yesh  $\theta$  ni'n' ma'nisi  $90^0$  qa umti'lg'anda bul sali'sti'rmali' qa'teliktin' ma'nisi nolge umti'ladi'. Biraq bunday u'lken difrakciyali'q mu'yeshlerde difrakciyali'q maksimumlardi' ali'w u'lken qi'yi'nshi'li'qlardi' payda etedi. Soni'n' menen birge bunday u'lken mu'yeshlerde Debay saqi'ynalari'ni'n' (reflekslerinin') eni a'dewir u'lkeyedi. Sonli'qtan Debay-SHerer usi'li'nda kristalli'q pa'njerenin' turaqli'lari'ni'n' ma'nislerin da'l esaplaw ushi'n  $\theta \rightarrow 90^0$ qa karay ekstropolyaciyalaydi'.

A'melde ko'pshilik jag'daylarda Nelson-Rayl ekstrapolyaciyali'q funkciyasi' qollani'ladi':

$$F(\theta) = \frac{1}{2} \left( \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right)$$

Bul funkciya ekstropolyaciyadag'i' en' jaqsi' si'zi'qli'li'qti' ta'miyinleydi.

## 7-§. Rentgen difraktometriyasi'

Ha'r qi'yli' strukturali'q domenler arasi'ndag'i' da'l orientaciyali'q qatnaslar, fazali'q o'tiwlerdegi kristalli'q pa'njerenin' turaqli'lari' menen kristaldi'n' simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi gruppasi'ni'n' o'zgeriwleri, kristallardi'n' fazali'q qurami'n' ani'qlaw, fazali'q o'tiwlerdin' kinetikali'q o'zgesheliklerin u'yreniw rentgen difrakciyali'q usi'llar ja'rdeminde sali'sti'rmali' an'sat a'melge asi'ri'ladi'. Usi' ayti'lg'anlarg'a baylani'sli' DRON-YM1 rentgen difraktometrinde to'mendegidey eksperimentalli'q ma'seleler sheshildi:

1. Kristalli'q pa'njerenin' turaqli'lari'ni'n' temperaturadan g'a'rezliligi o'zinen-o'zi jazi'p alatug'i'n' a'sbapti'n' lentasi'ndag'i' difrakciyali'q mu'yeshin' ma'nisin ani'qlaw

menen a'melge asi'ri'ldi'. O'lshevi ushi'n  $\theta > 50^0$  bolg'an (mu'yeshlik gradus) difraktsiyali'q maksimumlar saylap ali'ndi'.

Difraktsiyali'q mu'yeshiti ani'qlaw ushi'n sol difraktsiyali'q si'zi'qti'n' biyikliginin' ten' yari'mi'ndag'i' piktin' ten' yari'mi'na sa'ykes keliwshi mu'yesh ani'qlandi'. Lentag'a mu'yeshlik belgiler 1 mu'yeshlik gradustan berildi. Esaplag'i'shti'n' (sshetshtiktin') tezligi ( $1^0/\text{min}$  tan artiq emes) ha'm o'zi jazatug'i'n' a'sbaptin' lentasi'ni'n' tezligi lantadag'i'  $2\theta$  shkalasi'ni'n' ha'r bir mu'yeshlik minuti'na keminde 1 mm qashi'qli'q sa'ykes keletug'i'nday etip ali'ndi'.

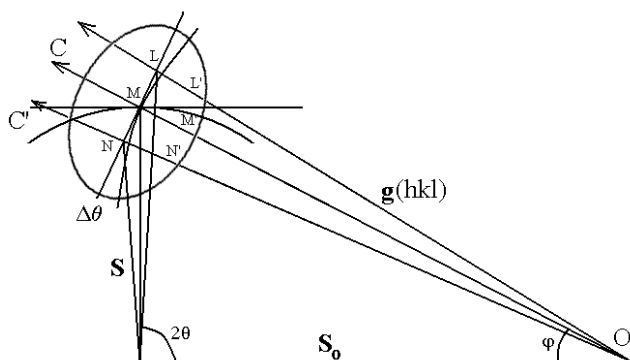
Difraktsiyali'q pik ha'r temperaturada eki ret jazi'ldi': esaplag'i'sh bir bag'i'tta ha'm sog'an qarama-qarsi' bag'i'tta qozg'alg'anda. Esapqa ali'wshi' du'zilistin' inertsiyasi'ni'n' na'tiyjesinde ha'm lyuftlerdin' esabi'nan sol eki ret jazi'wdag'i' ali'ng'an shamalar 2-3 mu'yeshlik minutqa pari'q qi'ldi'. Al ani'qlani'wi' kerek bolg'an difraktsiyali'q mu'yesh sol eki shamani'n' arifmetikali'q ortasha ma'nisi si'patin'nda ali'ndi'.

2. Fazali'q o'tiwler bari'si'ndag'i' difraktsiyali'q maksimumlardin' intensivliklerinin' o'zgerislerin tikkeley baqlaw shag'i'li'sqan rentgen nurlari'ni'n' intensivliklerin o'lshevi menen a'melge asi'ri'ldi'. Bunda rentgen goniometrini'n' esaplag'i'shi' (sshetshtigi) bir yamasa ekinshi fazani'n' difraktsiyali'q maksimumi'na qoyi'ldi'. Temperaturani'n' ha'r bir ma'nisinde a'sbap 10 – 40 sekund ishinde kelip tu'setug'i'n' rentgen impulslari'n' esapladi'. Eksperimenttin' na'tiyjesi fazali'q o'tiw da'rejesinin' temperaturadan yamasa waqi'ttan g'a'rezililigin o'lshevi boli'p tabi'ldi'. Bul usi'l birinshi ret prustit kristalli'ndag'i' fazali'q o'tiwlerdi izertlegende qollani'lg'an edi [20].

3. Keri pa'njerenin' kesimlerin du'ziw keri pa'njerenin' tu'yinlerinin' topografiyasi'n u'yreniw ushi'n qollani'ldi'. Eksperimentler noqatlar boyi'nsha skanirovanie sxemasi' boyi'nsha a'melge asi'ri'ldi'.

Keri pa'njerenin' tu'yinlerinin' kesimlerin tu'siriwdin' optikali'q sxemasi' 8-su'wrette berilgen. Eksperimentler bi'layi'nsha o'tkerildi: nurlani'w intensivliligini'n' o'lshevi birdey adi'm menen ( $2\theta$  mu'yeshi boyi'nsha  $0,1^0$ ) mu'yeshlik tezliklerinin' qatnasi'  $\frac{1}{2}$  bolg'andag'i' esaplag'i'sh penen izertleniwshi kristaldin' birgeliktegi qozg'ali'si'nda 4-10 sekund dawami'nda o'lshevi ( $1/2$  skanerlew). Skanerlewdin' toli'q intervali' shama menen  $2-4^0$ . Su'wretke ali'w bari'si'nda intensivliligi o'lshevi'ni'n' noqat **ON** vektori' boylap qozg'aladi' (bul keri pa'njerenin' vektori') ha'm  $N'N''$  intervali'n' o'tedi. O'lshevi'din' sikli tamam bolg'annan keyin izertlenip ati'rg'an kristal turaqli' **ON** da  $\varphi$

mu'yeshine buri'ladi' (a'dette  $\varphi = 0.1^0$ ) ( $\theta$  skanerlew) ha'm bunnan keyingi  $\frac{1}{2}$  skanerlew  $M'M''$  sheklerinde a'melge asi'ri'ladi'.



8-su'wret.

Keri pa'njerenin' tu'yininin' kese-kesimlerinin' su'wretin payda etiw usi'li'ni'n' ali'w'di'n' optikali'q sxemasi'.

Eger buri'li'w mu'yeshi  $\varphi$  kishi bolsa **OM** ha'm **ON** vektorlari'n o'z-ara parallel dep esaplawg'a boladi'.

Joqari'dag'i' operaciyalardi'n' juwmaqlari' boyi'nsha keri pa'njerenin' tu'yinlik tegisliginin' koordinatalari'ndag'i' sanli'q maydan du'ziledi. Izosi'zi'qlardi'n' ali'ng'an kartasi' kristaldi'n' aylani'w ko'sherine perpendikulyar bolg'an tegislik penen tu'yinnin' kesilisiw tegisligindegi tu'yinnin' kesimleri boli'p tabi'ladi'. Aylani'w ko'sheri KM zonasi'ni'n' qanday da bir ko'sheri menen sa'ykes kelse keri pa'njerede belgili bir bag'i'tti' beriwge boladi'.

Bunday usi'l menen o'tkerilgen eksperimentlerde tegis, bag'i'tlang'an kristallar paydalani'ladi'.

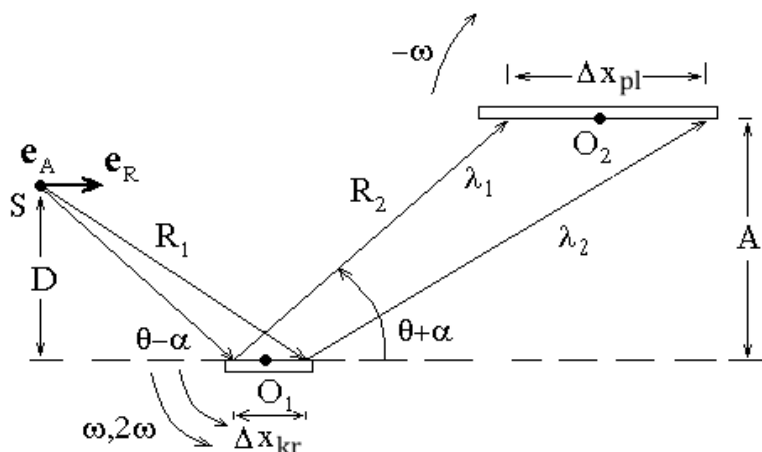
Sanlar maydanlari'nda individualli'q domenlerdin' keri pa'njerelelerinin' superpoziciyasi' da'slepki pa'njerenin' tu'yinlerinin' bo'leklerge bo'liniwi tu'rinde ko'rinedi. Payda bolg'an polidomenlik strukturani'n' ta'jiriyyeden ali'ng'an geometriyali'q xarakteristikasi' bo'liniw vektori'  $\Delta g$  boli'p tabi'ladi'. Bul vektordi'n' qurawshi'lari'  $\Delta g_{\parallel}$  ha'm  $\Delta g_{\perp}$  sa'ykes tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qti'n' o'zgeriwin ( $\Delta d_{hkl}$ ) ha'm ekileniw mu'yeshine sa'ykes keledi. Strukturali'q o'zgerislerdin' (tu'rleniwlerdin') basqa parametrleri: ekileniw tegisligi, invariantli'q tegislik, orientაციyali'q qatnaslar bir neshe tu'yinlerdin' qurawshi'larg'a bo'liniwi boyi'nsha ani'qlanadi'.

Eksperimentler usi' usi'ldi' qollang'anda ju'da' kishi bolg'an ekileniw (dvoynikovanie) mu'yeshlerin da'l (gradusti'n' ju'zlerden bir bo'ley da'llikte) ani'qlawg'a bolatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti.

## 8-§. Mu'yeshlik skannerlew usi'li'

Kristallar rentgenografiyasi'nda ko'p sanli' topografiyali'q usi'llardi'n' bar ekenligi belgili [42-50]. Solardi'n' ishinde noqatli'q derekten shi'qqan polixromatik rentgen nurlari' qollani'latug'i'n SHulc, Fudjivara ha'm monoxromat rentgen nurlari' qollani'latug'i'n Lang usi'llari'ni'n' en' ko'zge tu'setug'i'n kemshiliklerinin' biri u'lken ekspoziciya waqi'ti' boli'p tabi'ladi'. Bul usi'llar menen bir topografiyali'q su'wret onlag'an saat waqi't kerek boladi'.

Rentgentopografiyali'q usi'llardi'n' ekspressligin (kishi waqi'tlar ishinde topografiyali'q su'wretler ali'w) artti'ri'w maqsetinde kristallardi'n' topografiyali'q su'wretin ali'wdi' nurlani'wdi'n' xarakteristikali'q spektrin qosi'msha tu'rde paydalani'w usi'ni'ldi'. Bunday usi'ldi'n' optikali'q sxemasi' 9-su'wrette berilgen (su'wrette S arqali' rentgen nurlari' deregi,  $e_R$  ha'm  $e_A$  arqali' sa'ykes radialli'q ha'm azimutalli'q bag'i'tlar,  $R_1$  ha'm  $R_2$  arqali' sa'ykes derek-u'lgi ha'm u'lgi-fotoplenka qashi'qli'qlari' belgilengen).



9-su'wret. Mu'yeshlik skannerlew usi'li'ni'n' optikali'q sxemasi'.

Usi'lda S arqali' belgilengen noqatli'q rentgen nurlari' dereginen rentgen goniometri ko'sherine ornati'lg'an u'lgige kelip tu'sedi. Kristalli'q u'lgiden A qashi'qli'g'i'na jaylasti'ri'lg'an fotoplënkada SHulc usi'li'ndagi' jag'daydag'i'day ha'r bir waqi't momentinde kristaldi'n' betinin' topografiyali'q su'wreti qal'iplesedi. Ekspoziciya bari'si'nda kristall  $O_1$  ko'sherinin' do'gereginde  $\Delta\varphi$  mu'yeshlik intervali'nda  $\omega$  mu'yeshlik tezligi menen skannerlenedi (buni' mu'yeshlik skannerlew dep ataymi'z). Al plenka bolsa quramali' tu'rde qozg'ali'wi' kerek. Ol  $O_1$  ko'sheri do'gereginde  $2\omega$  mu'yeshlik tezligi, al  $O_2$  ko'sheri do'gereginde  $-\omega$  tezligi menen qozg'aladi'. Bunday qozg'ali'sta fotoplenkani'n' beti kristaldi'n' betine parallel boli'p qaladi', al  $O_1$

noqati'nda difrakciyag'a ushi'rag'an nur  $O_2$  noqati'na kelip tu'sedi. Kristaldi'n' ha'r bir ushastkasi'ni'n' topografiyali'q su'wreti ha'r qi'yli' waqi't momentinde ha'r qi'yli' uzi'nli'qtag'i' tolqi'nlar ta'repinen payda etiledi. Bunday geometriyada su'wretke tu'sirgende bir birinin' u'stine tu'sedi. Sonli'qtan su'wretti payda etiwshi tolqi'n uzi'nli'qlari' intervali'na xarakteristikali'q spektr si'zi'g'i' kiretug'i'n bolsa topogramma ali'w ushi'n ketetug'i'n waqi't SHulc usi'li'nda topogramma ali'w ushi'n kerek bolg'an waqi'tqa sali'sti'rg'anda a'dewir kemeyedi.

Kristaldi'n' fragmentlerinin' radialli'q  $P_R$  ha'm azimutalli'q  $P_A$  bag'i'tlardag'i' su'wretti u'lkeyiw koefficientleri to'mendegi formulalar ja'rdeminde esaplanadi':

$$P_R = 1 + \frac{1 + R_2' \sin(\theta - \alpha)}{R_1' \sin(\theta + \alpha)},$$

$$P_A = 1 + \frac{R_2'}{R_1'}.$$

Eger derek-u'lgi ha'm u'lgi fotoplenka qashi'qli'qlari'  $R_1$  ha'm  $R_2$  (yamasa A ha'm D) izertlenetug'i'n kristalli'q u'lginin' si'zi'qli' o'lshemlerine sali'sti'rg'anda a'dewir u'lken bolsa, onda kristaldi'n' ha'r qi'yli' noqatlari' arasi'ndag'i' qashi'qli'qlar  $R_1'$  ha'm  $R_2'$  shamalari'ni'n' o'zgerisin az dep esaplawg'a, soni'n' menen birge bul qashi'qli'qlardi'  $R_1$  ha'm  $R_2$  qashi'qli'qlari'na ten' dep qabi'l etiw mu'mkin. Bul usi'lda  $R_1$  ha'm  $R_2$  shamalari' o'zgerissiz qaladi', al kristaldi'n' su'wretin payda etiwge qatnasatug'i'n tolqi'n uzi'nli'qlari' ushi'n  $\theta$  mu'yeshi ha'r qi'yli' ma'nislerge iye boladi'.  $\alpha \neq 0$  ha'm  $\alpha \neq \frac{\pi}{2}$  bolg'an jag'daylarda  $P_R = P_R(\theta)$  ha'm usi'g'an sa'ykes kristaldi'n' su'wreti ha'r bir tolqi'n uzi'nli'g'i'nda o'zine sa'ykes  $P_R$  u'lkeyiw koefficienti menen beriledi. Usi'nday awhaldi'n' aqi'betinen mu'yeshlik skannerlew usi'li'ni'n' si'zi'qli' ha'm mu'yeshlik aji'rata ali'wshi'li'q qa'biletlikleri SHulc usi'li'ni'n' ayi'ra ali'w qa'biletliklerinen to'men boladi'.

Solay etip mu'yeshlik skannerlew usi'li' SHulc usi'li'ni'n' da'l analogi' boli'p tabi'lmaydi'. Bul usi'ldi'n' aji'rata ali'w qa'biletligi u'lginin' skannerlew intervali'  $\Delta\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$  mu'yeshlerinin' funkciyalari' boli'p tabi'ladi'.

Ko'p sanli' eksperimentalli'q jumi'slarda  $\Delta\varphi \leq 2 - 3^0$  bolg'an jag'daylarda ekspoziciya waqti'ni'n' (topogrammani' ali'w ushi'n ketetug'i'n waqi't) SHulc usi'li'ndag'i' ekspoziciya waqi'ti'na sali'sti'rg'anda 5-10 ese kem bolatug'i'nli'g'i' ani'qlandi'.

Kristallardagi fazaliq o'tiwlerdi izertlegende rentgentopografiyaliq usi'ldi' saylap ali'wda to'mendegidey talaplardi' basshi'li'qqa ali'wdi'n' za'ru'r ekenligin atap o'temiz:

a) sxema jetkilikli da'rejede u'lken bolg'an rentgen nurlari' deregi – izertlenetug'i'n u'lgi ja'ne izertlenetug'i'n u'lgi – fotoplenka qashi'qli'qlari'na iye boli'wi' kerek. Bul izertlenetug'i'n u'lgige ha'r qi'yli' fizikali'q ta'sirler (ji'lli'li'q, mexanikali'q, elektrlik, optikali'q ha'm basqalar) tu'siriw ushi'n kerek.

b) kristallardi'n' substrukturasi'ni'n' fragmentlerinen (bo'limlerin) ali'natug'i'n kontrastlar olardi'n' bag'i'tlari'ni'n' ha'r qi'yli' bolatug'i'nli'g'inan g'a'rezli bolmawi' kerek.

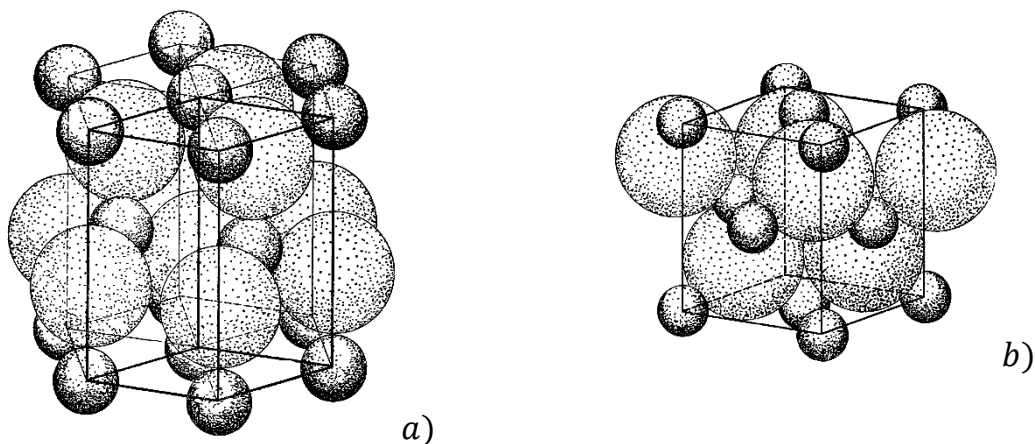
v) ha'r qi'yli' temperaturalarda rentgendifrakciyali'q izertlew jumi'slari'n ju'rgiziw ushi'n usi'l jetkilikli da'rejede ekspress boli'wi' kerek.

Mu'yeshlik skannerlew kamerasi'n izertlenetug'i'n kristalli'q u'lgi menen esaplag'i'shti'n tezlikleri sa'ykes  $\omega$  ha'm  $2\omega$  bolg'an qa'legen rentgen goniometri tiykari'nda sog'i'w mu'mkin. Bul dissertaciyani' ori'nlaw ushi'n GUR-4 (URS-50 apparati'), GUR-5 (DRON-2 apparati') ha'm GUR-8 (DRON-2 apparati') rentgen goniometrleri qollani'ldi'.

### III bap. Ali'ng'an eksperimentalli'q na'tiyjeler ha'm olardi' tallaw

#### 9-§. Vyurcit → sfalerit fazali'q o'tiwi

Bridjmen-Stokbarger usi'li' menen eritpeden o'sirilgen ku'kirtli cink (cink sulfidi) ZnS kristallari'nda joqari' temperaturali' vyurcit (eki qatlamli' geksagonalli'q) 2N-fazadan to'mengi temperaturali' sfalerit fazag'a o'tiw 150 den aslam politiplik, al ko'pshilik jag'daylarda ta'rtipke tu'spegen polisintetikali'q strukturag'a iye u'sh qatlamli' kubli'q 3C-fazani'n' qa'liplesiwi menen juwmaqlanadi' [2].



10-su'wret. a). Geksagonalli'q  $\beta$ -ZnS (vyurcittin') strukturasi'. Kishi o'lshemdegi sharlar Zn, al u'lkenirek o'lshemdegi sharlar S atomlari'na sa'ykes keledi. Tutas si'zi'qti'n' ja'rdeminde elementar quti' ko'rsetilgen.

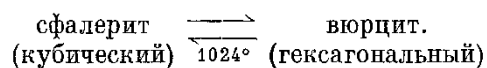
b). Kubli'q  $\alpha$ -ZnS (sfalerit) kristallari'ni'n' strukturasi'.

ZnS kristallari'ni'n' eki modifikaciyasi' bolg'an vyurcittin' (yamasa geksagonalli'q  $\beta$ -ZnS tin') ha'm sfalerittin' (yamasa kubli'q  $\alpha$ -ZnS tin') quri'li'si' 10-a ha'm b su'wretlerde keltirilgen. Bunday kristallarda cink ha'm ku'kirt atomlari' tetraedrlik tarqalg'an boli'p ha'm bir cink atomi' to'rt ku'kirt atomi' menen tetraedrlik qorshalg'an boladi' (ha'r bir ku'kirt atomi' to'rt cink atomi' menen tetraedrlik qorshalg'an). Kristaldi'n' quri'li'si'n ha'r bir sorttag'i' atomlardi'n' ekinshi sorttag'i' atomlar menen ti'g'i'z jaylasqanli'g'i' si'pati'nda qarawg'a boladi'. Solay etip bunday kristallarda ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an cink atomlari'ni'n' qatlamli' ku'kirt atomlari'ni'n' ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an qatlamli' menen gezeklesedi. Soni'n' menen birge ha'r bir atomli'q qatlam o'zinin' joqari'si'nda ha'm to'meninde jaylasqan qatlamlardi'n' tetraedrlik

bosliqlari'ni'n' yari'mi'n iyeleydi. Vyurcittin' quri'li'si' (10-*a* su'wret) ti'g'i'zlap jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlardi'n' ... AB AB AB ... izbe-izligine, al sfalerittin' quri'li'si' kubli'q... ABC ABC ABC ... izbe-izligine sa'ykes keledi. Bul jerde biz almaz quri'li'si' ushi'n jazi'lg'an ha'r bir ha'riptin' Zn ha'm S atomlari'nan turatug'i'n eki qatlamg'a sa'ykes keletug'i'nli'g'i'n an'g'ari'wi'mi'z kerek. Sonli'qtan almaz quri'li'si' ushi'n jazi'lg'an bir qatlam biz qarap ati'rg'an jag'daylarda  $A = A\alpha$  tu'rinde jazi'li'wi' kerek. Bunday jag'dayda ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an qatlamlar birinen son' biri kubli'q pa'njerenin' [111] bag'i'ti'nda ha'm geksagonalli'q pa'njerenin' [00.1] bag'i'ti'nda gezeklesedi.

Vyurcit  $\rightarrow$  sfalerit aylani'si' (yamasa fazali'q o'tiwi) mi'na sxema boyi'nsha a'melge asadi': Vyurcit (1020<sup>0</sup>C temperaturada)  $\rightarrow$  politip 4H (960<sup>0</sup>C temperaturasi'nda) ha'm basqa da politiplik modifikაციyalar  $\rightarrow$  sfalerit 3C.

Hindistan fiziklari A.Verma menen P.Krishnalardi'n' "Polimorfizm i politipizm v kristallax" atli' kitabi'nda [2] ZnS kristallari'ndag'i' fazali'q o'tiwler ushi'n



sxemasi'n bergen. Biraq bul sxemani' eski sxema dep esaplaw kerek dep esaplaymi'z.

Biz politiptin' tipin belgilew ushi'n Ramsdel ta'repinen usi'ni'lg'an belgilew ta'rtibi qollani'ladi'. Bul jerde san elementar quti'dag'i' qatlamlar sani'n, al ha'rip bolsa pa'njerenin' tipin an'g'artadi'. Mi'sali' 6H simvoli' alti' qatlamli' geksagonalli'q quti'g'a, al 3C u'sh qatlamli'q kubli'q elementar quti'g'a sa'ykes keledi. Bul o'tiw martensitlik mexanizm boyi'nsha a'melge asadi'.

Sfalerit  $\rightarrow$  vyurcit o'tiwi mi'naday izbe-izlikte ju'zege keledi:

Sfalerit (1030<sup>0</sup>C temperaturada)  $\rightarrow$  politip 4H (1072<sup>0</sup>C temperaturada), soni'n' menen birge basqa da politiplik modifikაციyalardi'n' ori'n ali'wi' mu'mkin  $\rightarrow$  vyurcit.

Ko'pshilik avtorlar  $\alpha \rightarrow \beta$  fazali'q o'tiwin diffuziyali'q mexanizm boyi'nsha ju'zege keledi dep boljaydi'. Biraq bunday boljawdi'n' qa'te ekenligin biz to'mende ko'rsete alami'z.

Joqari'da keltirilgen mag'li'wmatlar tiykari'nda biz ZnS kristallari'ni'n' politiplerin kristaldi'n' geksagonalli'q ha'm kubli'q modifikაციyalari' arasi'ndag'i' ornli'q emes arali'qli'q fazalar dep esaplaymi'z.

Biz endi ZnS kristallari'ni'n' geypara modifikatsiyalari'ni'n' (fazalari'ni'n') atomli'q-kristalli'q quri'li'si' haqqi'nda bazi' bir kristallografiyalik mag'li'wmatlari'n beremiz:

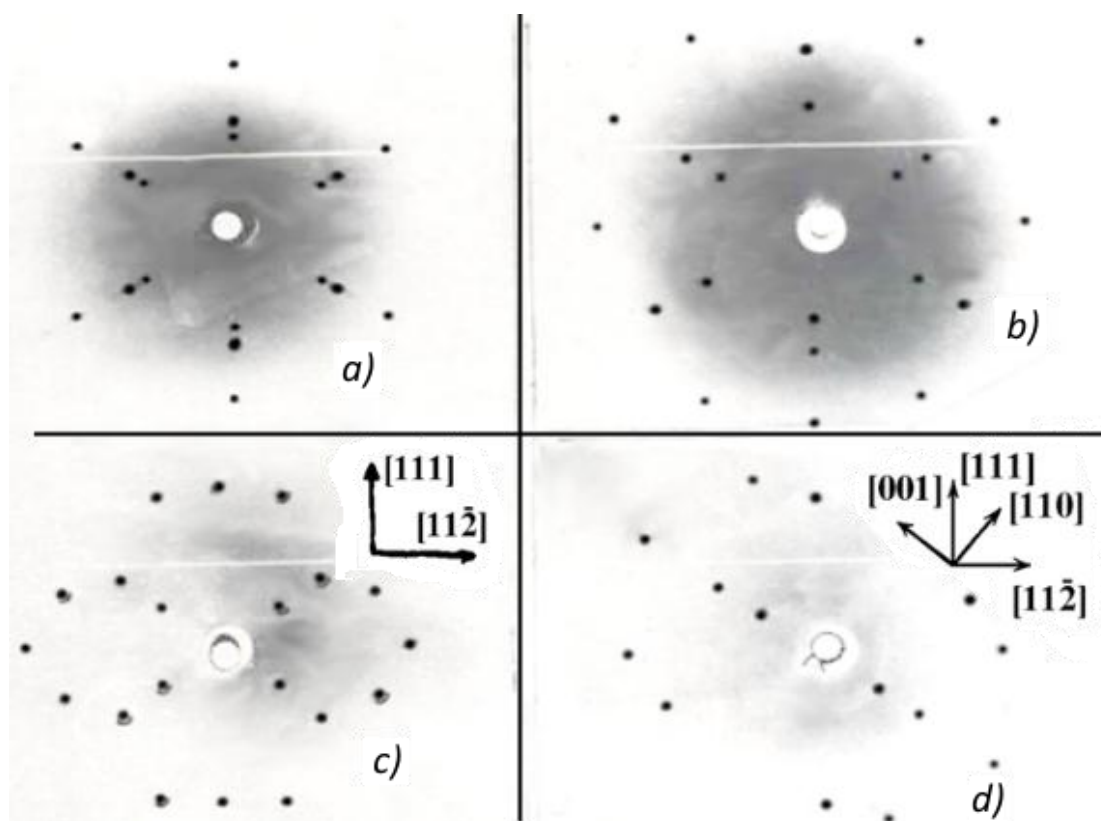
	Modifikatsiyalardi'n' belgileniwi		Simmetriyasi'ni'n' ken'isliktegi topari'	Geksagonalli'q elementar quti'ni'n' turaqli'lari', angstromlerde	
	Klassikalik	Ramsdel boyi'nsha		<i>a</i>	<i>c</i>
1	AB AB AB ...	2H	P <sub>6</sub> mc	3.819	6.246
2	ABC ABC ...	3C	F4mc	3.827	9.369 (kubli'q modifikatsiya ushi'n $a = 5.4091946 \text{ \AA}$ )
3	ABAC ABAC ...	4H	P <sub>6</sub> mc	3.814	12.46
4	ABCACB ABCACB...	6H	P <sub>6</sub> mc	3.821	18.73
5	ABCBACABACBCACB ...	15R	R3m	3.82	45,80

ZnS kristallari'ni'n' substrukturasi' ko'plegen avtorlar ta'repinen rentgenografiyalik usi'llar menen, al bir qancha izertlewshiler elektronli'q mikroskopti'n' ja'rdeminde izertledi. Olar polisintetikali'q kristallardi'n' sfalerittin' juqa qatlamlari'ni'n' turatug'inli'g'in, bul qatlamlardi'n' bir birinen jaylasti'ri'w defektlari ta'repinen ayi'ri'li'p turatug'inli'g'in ko'rsetti. Olardi'n' mag'li'wmatlari' boyi'nsha jaylasti'ri'w defektlari arasi'ndag'i' ortasha kashiqli'q 30 angstromnin' a'tirapi'nda.

ZnS kristallari'nda jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'wi' haqqi'nda ha'r qi'ylil' pikirler bar. Mi'sali' ayi'ri'm avtorlar jaylasti'ri'w defektlerin' vyurcit → sfalerit fazalik o'tiwini'n' toli'q ju'zege kelmewini'n' sebebi dep tu'sindiredi. Biraq bizin' ko'z-qaraslari'mi'z boyi'nsha bunday juwmaq haqiyqatli'qqa duri's kelmeydi. Sebebi jaylasti'ri'w defektlerinin' geksagonalli'q fazani'n' qaldiqlari' boli'wi' mu'mkin emes. To'mende bunday defektlerdin' kristaldi'n' to'mengi temperaturali' kubli'q fazasi'ni'n' strukturalik domenleri arasi'ndag'i' shegara ekenligi ayqi'n tu'rde ko'rsetiledi.

## 10-§. ZnS ha'm ZnSe kristallari'ni'n' polidomenlik strukturasi'

11-su'wrette ZnS kristallari'nan tu'sirilgen epigrammalar ko'rsetilgen. Altinshi' ta'rtipli simmetriya ko'sheri ha'm geksagonalli'q quri'li'sti'n' basqa da belgileri ayqi'n ko'rinedi. Eger  $[00.1]$  bag'i'ti'n terbeliw rentgenogrammalari'n tu'siretug'i'n rentgen kamerasi'ni'n' terbeliw ko'sheri menen betlestirsek, onda ali'ng'an terbeliw rentgenogrammalari' kubli'q kristallarg'a ta'n emes oktaedrlik tegislikke sali'sti'rg'andag'i' aynali'q simmetriyag'a iye ekenligin ko'remiz (11-a sa'wret). Bul rentgenogrammani' o'lshewdin' na'tiyjesinde ali'ng'an usi' ko'sher bag'i'ti'ndag'i' kristalli'q pa'njerenin' da'wiri  $9.53 \text{ \AA}$  kristaldi'n' kubli'q modifikaciyasi'na sa'ykes keledi.

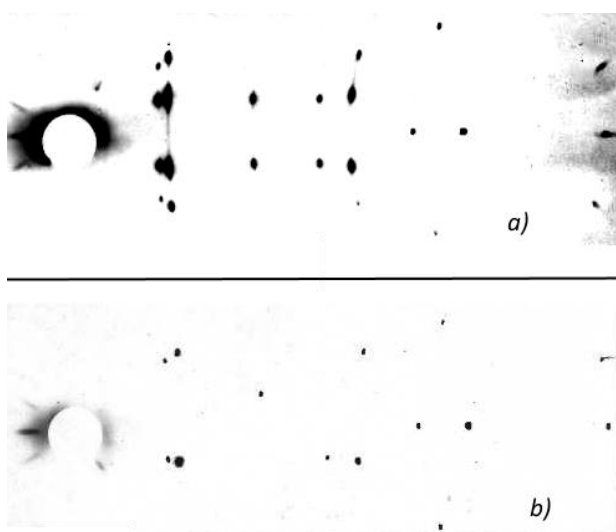


11-su'wret. ZnS kristallari'nan tu'sirilgen epigrammalardag'i' rentgen reflekslerinin' jaylasi'wlari'.

Terbeliw ha'm ken' tarqalatug'i'n rentgen nurlari' da'stesi rentgenogrammalari'n, Veysenberg usi'li' boyi'nsha tu'sirilgen rentgenogrammalardi' indekslew ZnS kristallari'ni'n' keru ken'isliginin' birdey bolg'an eki pa'njerenin' superpoziciyasi'nan turatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Bul pa'njereleler bir birine sali'sti'rg'anda  $g_{(111)}$  bag'i'ti'

do'gereginde (bul bag'i't kubli'q ustanovkada ali'ng'an)  $60^0$  qa (yamasa  $120^0$  ha'm  $180^0$  qa) buri'lg'an boli'p shi'qti'. Usi'ni'n' menen birge  $h + k + l = 3N$  sha'rtin qanaatlandi'ri'wshi' keru pa'njereleerdin' tu'yinleri eki pa'njere ushi'n da bir biri menen sa'ykes keledi. Bul tu'yinler [18, 21] lerge sa'ykes rentgenogrammalarda ani'q reflekslerdi payda etedi. Sebebi olar jaylasi'w defektleri arqali' sezilerliktey mayi'spastan o'tetug'i'n kristallografiyali'q tegisliklerge sa'ykes keledi. Keru pa'njereleerdin' barli'q basqa tu'yinleri bir birinen ayri'lg'an, olar  $\mathbf{g}_{(111)}$  vektorina parallel bolg'an sterjenler formalari'na iye. Bunday tegislikler juqa fragmentlerden turatug'i'n substrukturani' «sezetug'i'n» kristallografiyali'q tegisliklerge sa'ykes keledi.

PKB-86A kamerasi'nda ti'ni'sh turg'an ZnS u'lgilerden tu'sirilgen rentgenogrammalardag'i'  $h + k + l = 3N \pm 1$  sha'rtin qanaatlandi'ratug'i'n refleksler haqi'yqati'nda da  $\mathbf{g}_{(111)}$  vektorina parallel bolg'an sterjenler ta'rizli formag'a iye boli'p shi'qti' (bul jag'day 4-su'wrette keltirilgen). Reflekstin' uzi'nli'g'i' joqari'da ayti'li'p o'tilgen juqa fragmentleerdin' minimalli'q qali'nli'g'i' sfalerittin' elementar quti'ni'n' ko'lemlik diagonalini'n' uzi'nli'g'i'na ten' ( $\sim 9-10 \text{ \AA}$ ). Terbeliw rentgenogrammalari'nda birinshi ha'm ekinshi (tap sol si'yaqli' minus birinshi ha'm minus ekinshi qatlamli'q si'zi'qlarda) qatlamli'q si'zi'qlarda jaylasqan refleksler  $\mathbf{g}_{(111)}$  bag'i'ti'nda ku'shli sozi'lg'an (bul 12-a su'wrette ko'rsetilgen). Bul jag'day qali'nli'g'i'  $9 - 10 \text{ \AA}$  shamasindag'i' ha'm onnan da u'lken bolg'an sfalerittin' tegis-parallel qatlamlari'ni'n' statistikali'q tarqalg'anli'g'i' haqqi'nda mag'li'wmat beredi.



12-su'wret. ZnS kristallari'nan tu'sirilgen terbeliw rentgenogrammalari'.

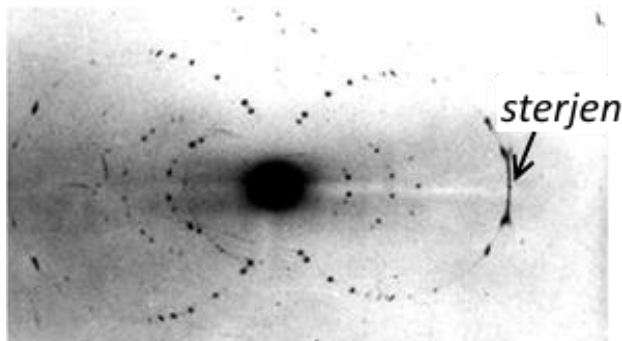
- a) da'slepki polisintetikali'q kristall,
- b) deformaciyalaw joli' menen monokristalg'a aylandi'ri'lg'an kristall.

10 % jaylasti'ri'w defektlerinin' bar ekenligi megzeslik shegaralari' (dvoynikovi'e granici') arasi'ndag'i' ortasha qashi'qli'qti'n' shama menen  $\sim 30 \text{ \AA}$  ekenligin an'latadi'.

Usi'g'an baylani'sli' polisintetikali'q ZnS kristallari'ndagi' atomli'q qatlamlardi'n' izbe-izligin mi'na tu'rde ko'rsetiw mu'mkin:

ACBACBABCABC... ABCABCACBACB... ACBACBABCABC...

→ | ← ~30 Å → | ← ~30 Å → | ←



13-su'wret.

Qozg'almaytug'i'n polisintetikali'q ZnS u'lginen tu'sirilgen rentgenogramma.

Bizler alg'an eksperimentalli'q mag'li'wmatlar eritpeden o'sirilgen cink selenidi ZnSe «jormal geksagonalli'q» qa iye ekenligin ko'rsetti. Biraq terbeliw rentgenogrammalari'ndagi' 1- ha'm 2- qatlamli'q si'zi'qlardagi' sozi'li'wdi'n' joqli'g'i' bul kristallardi'n' sfalerit fragmentlerinin' qali'n'li'g'i'ni'n' u'lken ekenliklerinen derek beredi. Bul jag'day bizge bunday kristallardi'n' substrukturasi'n' izertlew maqsetinde rentgen topografiyasi'n' qollani'wg'a mu'mkinshilik berdi. Ali'ng'an topografiyali'q su'wretler ji'ynagi' terbeliw rentgenogrammlari'ndagi' reflekslerdin' jaylasi'w ta'rtibinde jaylasti'ri'li'p 14-su'wrette keltirilgen (bul talqi'lawdi' an'satlasti'ri'w ushi'n islendi).

14-su'wrettin' on' ta'repinde (315), (404) ha'm (513) tipidegi kristallografiyali'q tegislikler semeystvolari'nan (a'wladlari'nan) ali'ng'an topografiyali'q su'wretler ko'rsetilgen. Terbelis rentgenogrammalari'nda bul su'wretlerge sa'ykes keliwshi refleksler nolinski, u'shinshi ha'm minus u'shinshi qatlamli'q si'zi'qlarda jaylasqan bolar edi. Kristaldi'n' strukturasi'ni'n' jetilisken ekenligi ani'q ko'rinip tur. Polidomenlik strukturani'n' belgileri baqlanbaydi. Bul qubi'li'sti'n' ta'biyiy kubi'li's ekenligin atap o'temiz. Sebebi joqari'da atali'p o'tilgen (315), (404) ha'm (513) tipidegi kristallografiyali'q tegislikler, yag'ni'y  $h + k + l = 3N$  (bul jerde  $N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) sha'rtin qanaatlandi'ratug'i'n' tegislikler izertlengen kristallardi'n' kubli'q modifikaciyasi'ni'n' mu'mkin bolg'an eki domenlik sistemasi' ushi'n uli'wmali'q boli'p, olar jaylasti'ri'w defektleri arqali' sezilerliktey mayi'spag'an halda o'tedi.

(113) ha'm (311) tipidegi kristallografiyali'q tegislikler sistemasi'nan ali'ng'an topogrammalarda ayi'ri'm domenlerdin' su'wretleri ko'rinip tur. Su'wrette keltirilgen

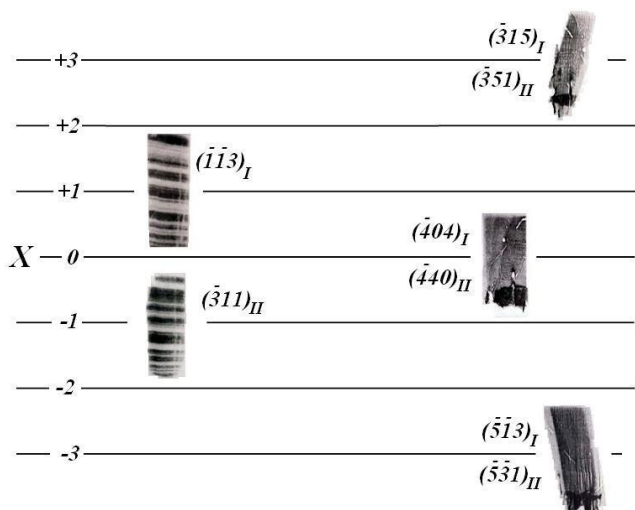
eki topogrammani' di'qqat penen u'yrengende olardi'n' birini'n' su'wretinin' ekinshisi negativlik su'wreti ekenligin an'g'ari'wg'a boladi'. Eger kristall juqa domenlerdin' eki sistemasi'nan turatug'i'n' bolsa bunday situaciyani'n' ali'ni'wi' so'zsiz. Sebebi sol sistemalardi'n' birinshisi to'mendegi su'wretti payda etetug'i'n' bolsa, onda birinshisi joqari'dag'i' su'wretti payda etedi. Solay etip cink selenidi kristallari'ni'n' ayi'ri'm domenleri  $h + k + l = 3N \pm 1$  sha'rtin qanaatlandi'ratug'i'n' kristallografiyali'q tegislikler semeystvosi'nan topogrammalar tu'sirilgunde baqlanadi' eken. Domenler  $h + k + l = 3N$  tipindegi kristallografiyali'q tegislikler a'wladlari'nan ali'ng'an topografiyali'q su'wretlerde baqlanbaydi'. Joqari'da ayti'li'p o'tilgenindey, bunday tegislikler sfalerittin' domenlerinin' eki sistemasi' ushi'n da uli'wmali'q. Al  $h + k + l = 3N \pm 1$  kristallografiyali'q tegislikler o'siw jaylasti'ri'w defektlerinde u'ziliske tu'sedi.

ZnSe kristallari'ni'n' polidomenlik kuri'li'si'ni'n' aytarli'qtay o'zgesheligi olardi'n' qali'n'li'qlari'ni'n' [111] bag'i'ti' boyi'nsha variaciyasi'ni'n' bar ekenliginde. 14-su'wrette ko'rsetilgenindey domenlerdin' qali'n'li'g'i' millimetrlerden mikronlarg'a shekem ciklik o'zgeriske ushi'raydi'. Qala berse bir orientaciyaldi'q haldi'n' en' qali'n' domeni ekinshi orientaciyali'q haldi'n' en' juqa domeni menen qon'i'si'las boladi'.

Solay etip izertlengen ZnS u'lgileri sfalerittin' eki orientaciyali'q hali'nan turadi' eken. Bul eki hal bir birine sali'sti'rg'anda «ayri'p ali'ng'an» (yamasa «ayri'qsha», bul bag'i't vyurcittin' [0001] bag'i'ti'na sa'ykes keledi) [111] ko'sheri do'gereginde 60 gradusqa buri'lg'an. Domenlerdin' ortasha qali'n'li'g'i' shama menen 30 angstromge ten'.

Ali'ng'an mag'li'wmatlar kristallardi'n' «geksagonalli'g'i'» ni'n' polidomenlik strukturani'n' belgisi ekenligin an'latadi'. Bunday «geksagonalli'q» biz qarap ati'rg'an jag'daylarda kristaldi'n' joqari' temperaturali'  $\beta$ -modifikaciyasi'ni'n' simmetriyasi'n qaytadan tikleydi. Usi' jag'dayg'a sa'ykes mi'naday boljawlardi' usi'nami'z:

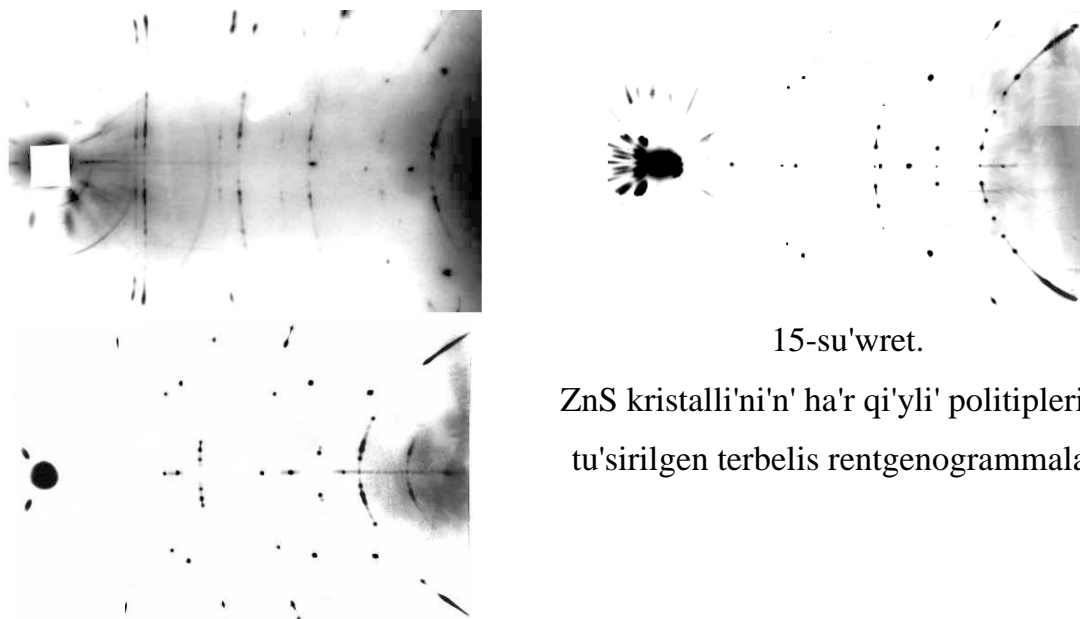
Polisintetikali'q quri'li'sti'n' payda boli'wi'n vyurcit  $\rightarrow$  sfalerit fazali'q o'tiwinin' saldari' dep esaplaw kerek. Bunday fazali'q o'tiwde geksagonalli'q pa'njerenin' ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlari'ni'n' oktaedr tegisliklerindegi kooperativlik ji'lji'wlari' sfalerit  $\alpha$ -ZnS tin' mu'mkin bolg'an eki orientaciyali'q hali'ni'n' payda boli'wi'n ta'miyinleydi.



14-su'wret.

ZnSe kristallari'nan ali'ng'an rentgenotopografiyali'q su'wretler.

Marganec atomlari' menen  $10^{-2}$  % ke shekem legirlenip Bridjmen-Stokbarger usi'li'ni'n' ja'rdeminde eritpeden o'sirilgen ZnS kristallari'ni'n' o'jire temperaturalari'nda 2H quri'li'sqa iye bolatug'i'nli'g'i' ani'qlandi'. Bunday kristallardan tu'sirilgen terbelis rentgenogrammalari'nda (bul rentgenogramma 15 – a su'wrette ko'rsetilgen, rentgenogrammalarda [0001] ko'sheri menen rentgen kamerasi'ni'n' terbeliw ko'sheri o'z-ara parallel) nolinshi qatlamli'q si'zi'qta joylasqan reflekslerdin' eki tipi bar boli'p shi'qti'. Bul rentgenogrammalardi' indekslew ani'q reflekslerdin' vyurcittin'  $\{h0.0\}$ ,  $\{hh.0\}$  tipindegi kristallografiyali'q tegisliklerine yamasa sfalerittin'  $\{hkl\}$  (bul jerde  $h + k + l = 3N \pm 1$ ) kristallografiyali'q tegisliklerin sa'ykes keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Al Bernal si'zi'g'i' bag'i'ti'nda sozi'lg'an refleksler geksagonalli'q quri'li'sqa sa'ykes keledi eken.



15-su'wret.

ZnS kristalli'ni'n' ha'r qi'yli' politiplerinen tu'sirilgen terbelis rentgenogrammalari'.

Ti'g'i'z jaylastiri'lg'an kristallardag'i'  $\{h0.0\}$  yamasa  $\{hh.0\}$  tipindegi kristallografiyati'q tegislikler [00.1] bag'i'ti'ndag'i' atomli'q qatlamlardi'n izbe-izliginen

g'a rezli emes. Sonli'qtan bunday tegislikler semeystvolari' kristallardag'i' jaylasti'ri'w defektlerinin' bar ekenligin «sezbeydi». Al [00.1] bag'i'ti'nda sozi'lg'an refleksler  $\{hk.l\}$  tipidegi tegisliklerdigi rentgen nurlari'ni'n' difrakciyasi'ni'n' na'tiyjesinde ali'nadi'. Bunday reflekslerdin' tu'ri kristaldi'n' deformაციyali'q jaylasti'ri'w defektleri menen bir birinen aji'rati'lg'an vyurcit qatlamlari'nan turatug'i'nli'g'i'n bildiredi.

Solay etip izertlengen 2H u'lgileri vyurcittin' juqa domenlerinen turadi' eken. Terbeliw rentgenogrammalari' ja'rdeminde o'lshegen vyurcit qatlamlari'ni'n' en' kishi qali'nli'g'i' 6.25 Å (ortasha qali'nli'q 30 Å). Bunday bo'limlerden turatug'i'n quri'li'sti' tallaw polisintetikali'q ZnS kristallari'nda vyurcit domenlerinin' bir birine sali'sti'rg'anda  $\langle 11.0 \rangle$  bag'i'ti'nda  $a_g/\sqrt{3}$  shamasina ji'li'sqan ekenligin ko'rsetti ( $a_g$  arqali' geksagonalli'q pa'njere turaqli'si' belgilengen). Bunday ji'lji'wlar translyaciyaali'q domenlerdin' u'sh tipinin' payda boli'wi'na ali'p keledi. Olardag'i' atomli'q qatlamlardi'n' izbe-izligin bi'layi'nsha jaza alami'z: ...AB AB ... ; ...AC AC ... ; ...BC BC ...

Polisintetikali'q  $\alpha$ - ha'm  $\beta$ - ZnS kristallari' menen bir qatarda eksperimentler o'tkeriw bari'si'nda oni'n' politiplik 6H ha'm 4H modifikaciyalari' da izertlendi. Bul kristallar baslang'i'sh ZnS kristallari'n  $10^{-2}$  % ke shekem legirlengen halda inert gaz argonni'n' 150 atm bolg'an basi'mi'nda eritpeden qadag'alawsiz salqinlati'w joli' menen Bridjmen-Stokbarger usi'li'ni'n' ja'rdeminde o'sirildi.

6H ha'm 4H politiplerinen tu'sirilgen terbeliw rentgenogrammalari' 6-su'wrette ko'rsetilgen ([00.1] kristallografiyaali'q ko'sher menen PKB-86 kamerasi'ni'n' terbeliw ko'sheri o'z-ara parallel). Rentgenogrammalarda u'sh qatlamli' jaylasti'ri'wg'a sa'ykes keliwshi reflekslerdi an'g'ari'wg'a boladi'. Bul jag'day kristaldi'n' 3C modifikaci'si'ni'n' bar ekenligi ha'm bul modifikaciya da jaylasti'ri'w defektlerinin' bar ekenliginen derek beredi (rentgenogrammalardag'i' 6H quri'li'sti'n' ekinshi qatlamli'q si'zi'g'i' 3C modifikaciyanin' birinshi qatlamli'q si'zi'g'i'na sa'ykes keledi).

Ali'ng'an eksperimentalli'q mag'li'wmatlar vyurcit  $\rightarrow$  sfalerit fazali'q o'tiwinin' kristallografiyaali'q o'zgeshelikleri haqqi'nda bir qansha juwmaqlar shi'g'ari'wg'a mu'mkinshilik beredi. Bul kristallardag'i'  $\beta \rightarrow \alpha$  (vyurcit  $\rightarrow$  sfalerit) fazali'q o'tiwi ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an quri'li'sqa iye metall quymalardag'i'day da'slepki geksagonalli'q kristaldi'n' geypara oblastlari'nda ta'rtipsiz jaylasqan jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'wi' menen ju'redi. Jaylasti'ri'w defektlerinin' ko'beyiwi menen olar a'tirapi'ndag'i'

serpimli kernewlerdin' payda boli'wi' menen jaylasti'ri'w defektleri arasi'ndag'i' ta'sirlesiw ku'sheyedi. Bul jag'day endi payda bolatug'i'n jaylasti'ri'w defektlerinin' da'slep payda bolg'an jaylasti'ri'w defektlerine sali'sti'rg'anda ta'rtplesiw ta'miyinleydi. Usi'ni'n' na'tiyjesinde vyurcit  $\rightarrow$  sfalerit fazali'q o'tiwinin' bari'si'nda kristaldi'n' ha'r qi'yli' politiplik modifikaciyalari' qa'liplesedi. Fazali'q o'tiwidin' na'tiyjesi kristaldi'n' jaylasti'ri'w defektleri menen toyi'ni'wi', sog'an sa'ykes polisintetikali'q kristaldi'n' qa'liplesiw boli'p tabi'ladi'. Usi'g'an baylani'sli' ZnS kristallari'ni'n' joqari'da keltirilgen 2H, 4H ha'm 6H modifikaciyalari' a'dettegi jag'daylarda (o'jire temperaturalari'nda) metastabillik qa'siyetke iye boli'wi' ha'm si'rttan tu'sirilgen qosi'msha ta'sirlerdin' na'tiyjesinde sfaleritke an'sat tu'rde aylani'wi' kerek. Bunnan keyin o'tkerilgen eksperimentler usi'nday boljawdi'n' duri's ekenligin da'lilledi.

## **11-§. Bag'i'tlang'an mexanikali'q ta'sirlerdegi jaylasti'ri'w defektlerinin' jog'ali'wi' ha'm fazali'q o'tiwler**

Joqari'da vyurcit  $\rightarrow$  arali'qli'q politiplik fazalar  $\rightarrow$  polisintetikali'q sfalerit o'tiwlerinin' geksagonalli'q kristalda (vyurcitte) o'siw jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'wi' menen ju'retug'i'nli'g'i' ayti'li'p o'tilgen edi. Basqa so'zler menen aytqanda strukturali'q qayta qurali'w proceslerinin' ju'zege keliwi jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'wi', yag'ni'y A tipindegi atomli'q qatlamlardi'n' C yamasa B qatlamlari'na sali'sti'rg'anda [10.0] bag'i'ti'nda  $a_g/\sqrt{3}$  arali'g'i'na ji'lji'wi' menen ju'redi [5].

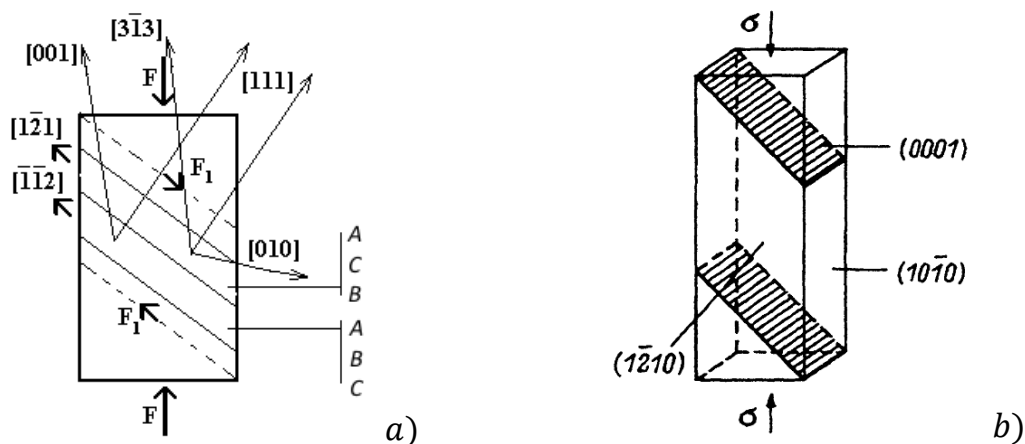
Dislokaciya'li'q teoriya'g'a sa'ykes jaylasti'ri'w defektinin' payda boli'wi' ha'm sog'an sa'ykes ti'g'i'z jaylasqan strukturag'a iye kristallardag'i' martensitlik fazali'q aylani'slar toli'q dislokaciyalardi'n' bo'leklik dislokaciyalarg'a bo'liniwinin' saldari'nan a'melge asadi' [5]:

$$\frac{1}{2} [10\bar{1}] \rightarrow \frac{1}{6} [2\bar{1}\bar{1}] + \frac{1}{6} [11\bar{2}] \text{ yamasa } \frac{1}{3} [\bar{1}2.0] \rightarrow \frac{1}{3} [\bar{1}1.0] + \frac{1}{3} [01.0].$$

Bul formulalarda birinshi an'latpa kubli'q modifikaciya'g'a, ekinshisi geksagonalli'q modifikaciya'g'a tiyisli. Bul an'latpalar mi'na na'rseni an'latadi': deformaciya'li'q

jaylasti'ri'w defektlerin payda etiw ushi'n kristalg'a bo'leklik dislokaciyani' kirgiziw ha'm oni'n pu'tkil u'lgi boylap (00.1) tegisliginde  $\langle 11.0 \rangle$  bag'i'ti'nda ju'rgiziw kerek. Bunday processti ju'zege keltiriw ushi'n kristalg'a (00.1) tegisligine uri'nba bag'i'ti'nda bag'i'tlang'an mexanikali'q kernew tu'siriw kerek. Dislokaciyani' (0001) tegisliginde  $\langle 11.0 \rangle$  bag'i'ti'nda qozg'awg'a ma'jbu'rleytug'i'n en' ku'shli ta'sirdi payda etiw ushi'n sxemasi' 15-a su'wrette kubli'q ko'sherlerde ko'rsetilgendey etip kristaldi' bir bag'i'tta qi'si'wi'mi'z kerek boladi'. Si'zi'lma tegisligi (110) tegisligine parallel ha'm usi'g'an baylani'sli' si'zi'lmada ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an (111) tegisliklerinin' izleri ko'rinip tur. Polisintetikali'q dvoyniktin' I qurawshi'si'nda qi'si'w bag'i'ti' [100] bag'i'ti'na, al II qurawshi'si'ndag'i' [313] bag'i'ti'na jaqi'n. Demek stereografiyali'q proekciyada  $F_1$  ku'shi vektori' I qurawshi'da  $[1\bar{2}1]$  tu'yinlik tuwri'g'a, al II qurawshi'da  $[\bar{1}\bar{2}\bar{1}]$  bag'i'ti'na qarama-qarsi' bag'i't penen betlesedi.

O'lshemleri  $3 \times 3 \times 6 \text{ mm}^3$ ,  $2 \times 2 \times 4 \text{ mm}^3$  ha'm  $1 \times 1 \times 2 \text{ mm}^3$  bolg'an prizma ta'rizli u'lgiler deformaciyalandi'. Al o'lshemleri bunnan u'lken bolg'an kristallardi' deformaciyalaw ku'tken na'tijjelerdi bermedi.



15-su'wret. ZnS kristallari'n deformaciyalaw sxemasi' (I ha'm II arqali' polisintetikali'q dvoyniktin' qurawshi'lari' belgilengen). a) su'wrette kubli'q, al b) su'wrette geksagonalli'q indeksler berilgen.

ZnS kristallari'ni'n' elastik deformaciyasi' tu'sirilgen rentgenogrammlardi'n' u'lken o'zgerislerge ushi'rawi'na ali'p keldi. 18-20 % deformaciyalang'an u'lgiler sfalerittin' monokristalli'na aylanadi' eken. Kubli'q kristalg'a ta'n bolg'an barli'q simmetriya elementleri tiklenedi, al geksagonalli'q kristallarg'a ta'n bolg'an «jormal» simmetriya elementleri jog'aladi'. Terbelis rentgenogrammlari'ndag'i' birinshi ha'm ekinshi

qatlamlıq si'ziqlardag'i' reflekslerdin' yari'mi' jog'aladi' ha'm nolınshi qatlamlıq si'zi'qqa sali'sti'rg'andag'i' «arti'qsha» aynalı'q simmetriya jog'aladi'.

Deformaciyalang'an politip ZnS kristallari'ni'n' rentgenogrammalari'n tu'siriw 18-20 procentlik elastik deformaciyani'n' na'tiyjesinde terbelis rentgenogrammlari'ndag'i' alti' qatlamlı' ha'm to'rt qatlamlı' izbe-izlikke sa'ykes keletug'i'n refleksler sistemasi'ni'n' jog'alatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Deformaciyani'n' en' aqi'rg'i' na'tiyjesi birden bir orientaciyag'a iye atomlı'q qatlamlardi'n' u'sh qatlamlı'q kublı'q modifikaciyasi'ni'n' qa'liplesiwi boli'p shi'qti'.

Bunnan keyingi eksperimentler deformaciyani'n' basqa da usi'llari'n qollang'anda da strukturalı'q o'tiwidin' ju'zege keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Mi'sali' debaegrammalardi' tu'siriw izertlengen 2H, 4H ha'm 6H modifikaciyadag'i' cink sulfidi kristallari'n untag'anda da u'sh qatlamlı' kublı'q fazani'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n ko'rsetti.

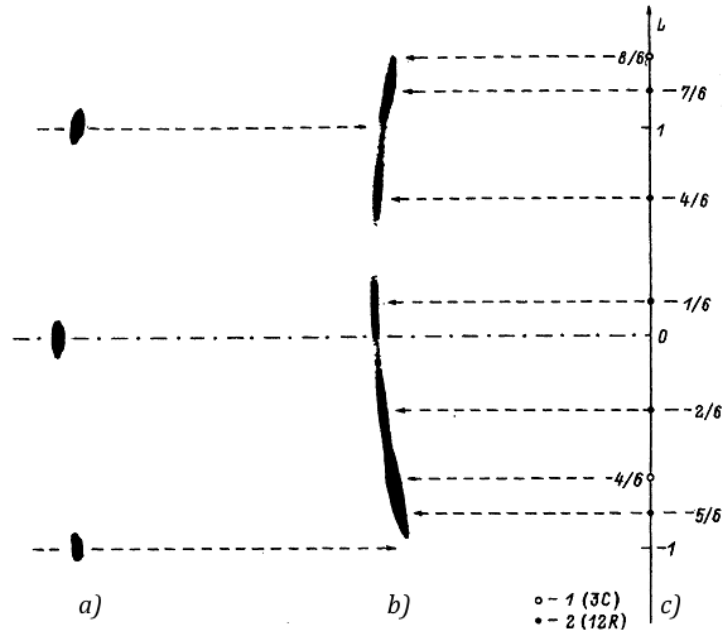
Lauegrammalar tu'siriw joli' menen o'tkerilgen eksperimentler serpimlilik shegine shekem qi'si'lg'an u'lgilerde strukturalı'q o'zgerislerdin' ju'zege kelmeytug'i'nli'g'i'n ko'rsetti (bizler o'tkergen eksperimentler bergen mag'li'wmatlar boyi'nsha da'slepki politiplik ha'm polisintetikali'q ZnS kristallari' ushi'n serpimlik shegi shama menen 2 kG/mm<sup>2</sup> shamasina ten').

Polisintetikali'q u'lgiler 2 kilobarg'a shekemgi shamada ha'r ta'repleme qi'si'wg'a ushi'rati'ldi'. Bul basi'm bir bag'i'ttag'i' qi'si'wdan shama menen 10 ese dey u'lken. Biraq lauegrammalar tu'siriw gidrostatikali'q basi'mni'n' ZnS kristallari'nda strukturani' o'zgeretpeytug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Bul faktlerdin' barli'g'i' biz izertlengen obektlerdegi strukturalı'q o'zgerislerdin' tek elastik deformaciyada g'ana ju'retug'i'nli'g'i'n ko'rsetti.

Polisintetikali'q ha'm politiplik kristallardan sfalerittin' monokristalli'n ali'w ushi'n za'ru'rli bolg'an elastik deformaciyani'n' shaması' terbeliw rentgenogrammalari'n tu'siriw joli' menen ani'qlandi' ha'm bul shama 18-20 % ke ten' boli'p shi'qti'. Qosi'msha baqlawlar deformaciyalang'an kristallardi'n' uli'wmali'q qos nur si'ndi'ri'wi'ni'n' ma'nisi elastik deformaciyani'n' shamasina proporcional o'zgeretug'i'n bolsa da, qali'nli'g'i' bir neshe mikron bolg'an kristaldi'n' ayi'ri'm qatlamlari' kublı'q quri'li'sqa deformaciyani'n' da'slepki basqi'shlari'nda-aq o'tetug'i'nli'g'i'n ko'rsetti ( $\epsilon \approx 3\%$ ).

Endi 2H strukturag'a iye bolg'an kristalli'q u'lgilerdi deformaciyalang'anda ali'ng'an na'tiyjelerdi bayanlawg'a o'temiz. Bunday u'lgilerde ZnS kristallari'ni'n' basqa modifikaciyalari'ni'n' bar ekenligi eksperimentlerde ani'qlanbadi'.

16-su'wrette deformaciyalang'an ZnS kristallari'ni'n' terbeliw rentgenogrammasi'ni'n' fragmenti (bir bo'limi) berilgen



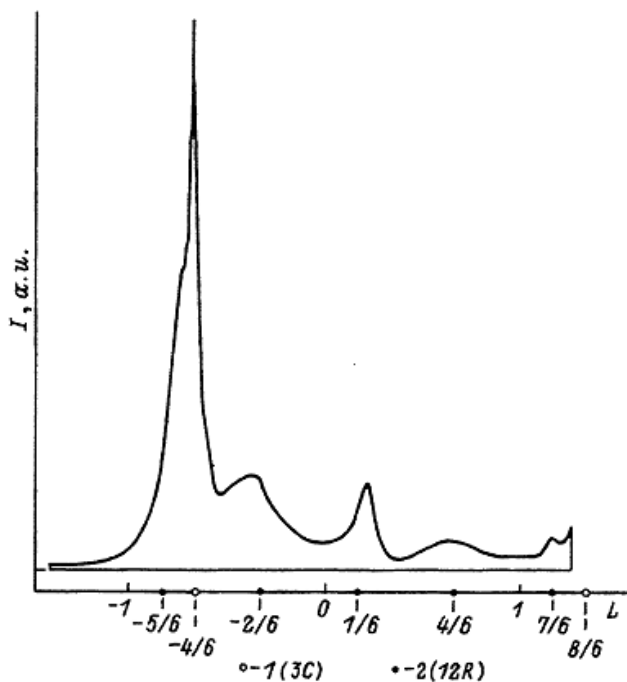
16-su'wret. Deformaciyalang'an ZnS kristallari'ni'n' terbelis rentgenogrammasi'ni'n' fragmenti. a) 2 procentke deformaciyalang'an, b) 10 procentke deformaciyalang'an, c) deformaciyalanbag'an u'lgi ushi'n reflekslerdin' toparlari'ni'n' jaylasi'wi'n tu'sindiriwshi sxema.

U'lginin' deformaciyasi'ni'n' baslang'i'sh stadiyasi' (2 % ke shekemgi deformaciyalarda) rentgenogrammalarda a'zzi diffuziyali'q reflekslerdin' (tajlardi'n') payda boli'wi' menen xarakterlenedi. Olar geksagonalli'q strukturani'n' refleksleri arasi'nda [0001] bag'i'ti'nda sozi'lg'an (16-su'wrettegi a). Bul jag'day geksagonalli'q 2H quri'li'stag'i' jaylasti'ri'w defektlerinin' ko'beyetug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Deformaciyani'n' shamasi' bunnan bi'lay u'lkeygende (5 % ke shekem) tajlardi'n' intensivlikleri u'lkeyedi, [0001] bag'i'ti'nda intensivliklerdin' modulyaciyasi' payda boladi'. Solay etip cink sulfidi kristallari'nda jan'a strukturali'q haldi'n' payda bolg'anli'g'i'n da'lilleytug'i'n qosi'msha refleksler izbe-iz payda boladi'. 16-su'wrettin' b ha'm c bo'limlerinde 10 procentke deformaciyalang'an u'lgi ushi'n qal'iplesken reflekslerdin' [olar  $(\bar{1}\bar{1}2L)$  tu'yinlik qatarda jatadi'] bir birine sali'sti'rg'anda qalayi'nsha jaylasatug'i'nli'g'i'n

tu'sindiretug'i'n sxema berilgen. Difraktometrde ( $\bar{1}\bar{1}2L$ ) tu'yinlik qatari'n skannerlegende ali'ng'an difrakciyalig' su'wrettin' bir bo'limi 17-su'wrette berilgen.

17-su'wret.

10 procentke deformaciyalang'an ZnS kristalli'ni'n' ( $\bar{1}\bar{1}2L$ ) tu'yinlik qatari' boyi'nsha ali'natug'i'n rentgen difrakciyasi'ni'n' spektrinin' bir bo'limi. L indekslerinin' ma'nisleri 2H strukturani'n' birliklerinde berilgen.



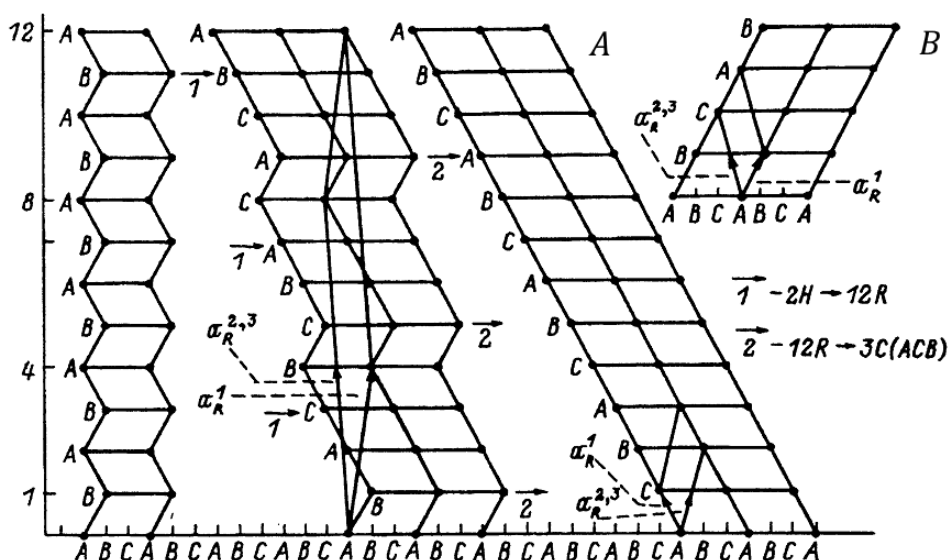
10 procentlik qi'si'wdan keyin (deformaciyadan keyin) terbeliw rentgenogrammalari'ndag'i' difrakciyalig' su'wret aytarli'qtay transformaciyalanadi': birinshiden, terbeliw ko'sheri [0001] din' bag'i'ti'nda translyaciya da'wirinin' 6 ese u'lkeyetug'i'nli'g'i'na sa'ykes keletug'i'n qatlamli'q si'zi'qlarda ornalasqan qosi'msha refleksler payda boladi'. Ekinshiden, terbeliw rentgenogrammalari'ni'n' nolinishi qatlamli'q si'zi'g'i'na qarata aynali'q simmetriya jog'aladi', 2H strukturani'n' refleksi baqlanbaydi'. U'shinshiden, rentgenogrammada jaylasi'wi'ni'n' xarakteri ha'm intensivliklerinin' izbe-izligi boyi'nsha "qosi'msha" reflekslerdi eki toparg'a ayiri'w mu'mkin. [0001] bag'i'ti'nda bir topardi'n' refleksleri ekinshi topardi'n' reflekslerine sali'sti'rg'anda 4 ese jiyi ushi'rasadi'. Birinshi gruppani'n' refleksleri ushi'n ani'qlang'an terbeliw da'wiri boyi'nsha (9,6 Å, bul jag'day 17-su'wrettin' c bo'liminde ko'rsetilgen) olardi'n' ZnS kristallari'ni'n' 3C modifikaciyasi'ndag'i' (yag'ni'y kubli'q modifikaciyasi'ndag'i') difrakciyani'n' natijyesi dep juwmaq shi'g'ari'wg'a boladi'. Ekinshi gruppani'n' refleksleri 4 ese jiyi ushi'rasadi', geometriyalig' tallawlar olardi'n' 12 qatlamli'q strukturag'a, yag'ni'y 12R strukturag'a sa'ykes keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Usi'nday 12R strukturag'a sa'ykes keletug'i'n reflekslerdin' rentgenogrammalardag'i' ori'nleri' idealli'q 12R strukturasi' ushi'n esaplang'an ori'nlar menen da'l sa'ykes keledi. Bul jag'daydi' kristallardi' deformaciyalag'anda jaylastiri'w defektlerinin' payda

boli'wi' menen tu'sindiriw mu'mkin. Biraq bul "duri's emes" refleksler rentgenogrammada belgili bir ta'rtip boyi'nsha jaylasqan ha'm romboedrlik kristaldi'n' simmetriyasi'n sa'wlelendiredi. Al 3C strukturani'n' reperlik refleksleri arasi'nda jaylasqan reflekslerdin' sani' 12 qatlamli'q strukturag'a da'l sa'ykes keledi. Bul jag'daylardin' barli'g'i' da 2H strukturag'a iye (yag'ni'y vyurcitti) deformaciyalag'anda payda bolatug'i'n reflekslerdin' elastik deformaciya processinde 12C strukturani'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n ayqi'n tu'rde ko'rsetedi.

$2H \rightarrow 12R$  strukturali'q o'tiwini'n' kristallgeometriyali'q sxemasi' 18-su'wrette berilgen. Bul su'wrette bul o'tiwidin' strukturani'n' ha'r bir to'rt qatlami' boyi'nsha bir bo'leklik dislokaciya o'tken jag'dayda ju'zege keletug'i'nli'g'i' ko'rinip tur. Usi'ni'n' saldari'nan da'slepki 2H kristallari'ni'n' barli'q ko'leminin' 0,25 bo'liminde qatlambaqatlam strukturali'q o'zgerislerdin' a'melge asi'wi' ju'zege keledi.

10 procentke deformaciyalang'an u'lgiden tu'sirilgen difrakciyali'q su'wrettegi deformaciyani'n' saldari'nan payda bolg'an 12R ha'm 3C strukturalardi'n' reflekslerinin' bir birine sa'ykes kelmewi boli'p tabi'ladi'. Reflekslerdin' bir birine sa'ykes kelmewi rentgenogrammalarda eki strukturani'n', yag'ni'y 12R ha'm 3C strukturalardi'n' keripanjelerinin' ha'r qi'yli' tu'yinlik qatarlari'ni'n' bir birinin' u'stine tu'siwi boli'p tabi'ladi'. YA g'ni'y olardi'n' panjereleri ha'm elementar quti'lardi'n' romboedrleri bir birine sali'sti'rg'anda 180 gradusqa (60 gradusqa) buri'lg'an. 12R politipti deformaciyalag'anda payda bolatug'i'n kubli'q 3C modifikaciyasi' ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlardi'n' ACD (A) yamasa ABC(B) izbe-izligine iye boli'wi' mu'mkin (18-su'wret). A jag'dayi'nda 12R ha'm 3C strukturalar ushi'n romboedrlerdin' bag'itlari'ni'n' ha'r qi'yli' ekenligi ko'rinip tur. Tap usi'nday variant elastik deformaciyani'n' na'tiyjesinde ju'zege keledi ha'm usi' jag'dayda refleksler bir birine sa'ykes kelmeydi. Eksperimentte atomli'q katlamlardi'n' izbe-izligi ACB... bolg'an 3C strukturani'n' A varianti'ni'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n, al 12R ha'm 3C strukturalari'ni'n' bir birine sa'ykes keletug'i'n ABC... izbe-izliginin' nelikten payda bolmaytug'i'nli'g'i'n ani'qlaw ushi'n o'tiwidin' deformaciyali'q-dislokaciyali'q modelin qarap o'temiz. 12R strukturani' kubli'q 3C (ABC) strukturasi'na o'tkeriw ushi'n (bul jag'day bizin' eksperimentlerimizde ju'zege kelmedi) ortasha u'sh bo'leklik dislokaciyani'n' strukturani'n' to'rt qatlami'nda qozg'ali'wi'ni'n' kerek ekenligin ko'rsetiw qi'yi'n emes. Bunday jag'dayda kristaldi'n' ko'leminin' 75 procenti

strukturali'q o'zgerislerge ushi'raydi'. Kerisinshe, 12R strukturani' kubli'q 3C(ACB) strukturag'a o'tkeriw ushi'n ha'r bir to'rt qatlamda bir bo'leklik dislokaciyani'n' qozg'ali'si' kerek boladi'. Bizin' eksperimentlerimizde ju'zege keletug'i'n bul jag'dayda kristaldi'n' ko'leminin' tek 25 procenti g'ana o'zgerislerge ushi'raydi'. A variantta 2H strukturani' 12R strukturag'a ha'm 12R strukturani' 3C(ACB) strukturag'a o'tkeriwdegi bo'leklik dislokaciyalardi'n' qozg'ali'slari'ni'n' bag'i'tlari'ni'n' birdey bolatug'i'nli'g'i'n' atap o'tiw kerek. Al B variantta 2H strukturani' 12R strukturag'a ha'm 12R strukturani' 3C(ABC) strukturag'a o'tiwde bo'leklik dislokaciyalardi'n' qozg'ali'slari'ni'n' bag'i'tlari'ni'n' arasi'ndag'i' mu'yesh  $60^\circ$  ( $180^\circ$ ) shamalari'na ten'. Bul jag'day, shamasi',  $12R \rightarrow 3C(ABC)$  o'tiwin qi'yi'nlasti'radi'. Sebebi bul bag'i'tlardi'n' biri kristaldi'n' si'rtqi' betine sa'ykes keledi ( $15b$  su'wret). Solay etip eksperimenttin' na'tiyjesinde 12R strukturani'n' 3C strukturag'a aylani'wi'ni'n' en' kishi deformaciyada a'melge asatug'i'n' energiyali'q jaqтан en' uti'mli' varianti' ju'zege keledi. Demek ZnS kristallari'ni'n' 2H modifikaciyasi'ni'n' 12R modifikaciyasi'na, bunnan keyin oni'n' 3C(ACB) modifikaciyasi'na aylani'wi' ushi'n bo'leklik dislokaciyalardi'n' ha'r bir ekinshi ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an qatlam arqali' o'tiwi kerek eken (biz sfalerit strukturasi'ndag'i' bo'leklik dislokaciyalar haqqi'nda ga'p etip atir'mi'z, olardi'n' parametrleri  $\mathbf{a} = \frac{1}{2}[1\bar{1}0]$ ,  $\mathbf{b} = \frac{1}{6}[11\bar{2}]$ ).



18-su'wret. ZnS kristallari'ndag'i' 2H modifikaciyadan strukturali'q o'tiwdin' sxemasi'. Bu su'wrette 1 ha'm 2 strelkalari' arqali' 2H modifikaciyasi'n 12R modifikaciyasi'na ha'm 12R modifikaciyasi'n 3C modifikaciyasi'na o'tkeriw ushi'n dislokaciyalardi'n' o'tiw ori'nleri' belgilengen. A – sxemada ko'rsetilgen 12R strukturani' elastik

deformatsiyaga ushirlatqanda payda bolatug'i'n 3C strukturani'n varianti'. B – qatlamlardi'n izbe-izligi ABC bolgan 3C strukturani'n varianti'.  $\alpha_R^1$  ha'm  $\alpha_R^{2,3}$  arqali romboedrik strukturalardi'n elementar quti'lari'ni'n vektorlari' belgilengen.

ZnS kristallari'ni'n 5 ha'm 10 procentke deformatsiyalangan u'lgilerinen ali'ng'an rentgendifraktsiyali'q su'vretleri salisti'ri'w tiykari'nda to'mendegidey juvmaqlardi' shi'g'ari'wg'a boladi': 1) 5 procentke deformatsiyalangan u'lgilerde 2H strukturaga sa'ykes keliwshi reflekslerdin' intensivlikleri 12R strukturaga sa'ykes keliwshi reflekslerdin' intensivliklerine salisti'rg'anda a'dewir kishi, al 10 procentke deformatsiyalangan u'lgilerden ali'ng'an rentgenogrammalarda 2H strukturaga sa'ykes keliwshi refleksler pu'tkilley bolmaydi' (bul jag'day rentgen nurlari'ni'n kishi mu'yeshke shashi'raw boyi'nda o'tkerilgen eksperimentlerde de baqlandi'); 2) 5 procentlik deformatsiyadan keyin 3C strukturaga sa'ykes keliwshi refleksler 12R strukturaga sa'ykes keliwshi reflekslerdin' intensivliklerinen a'dewir a'zzi, al 10 procentlik deformatsiyadan keyin 3C strukturaga sa'ykes keliwshi reflekslerdin' intensivligi 12R strukturaga sa'ykes keliwshi refleksdin' intensivliginen a'dewir u'lken. Bul natijeler ZnS kristallari'nda 2H modifikatsiyasi'ni'n da'slep 12R politipke, al bunnan keyin 12R politiptin' kubli'q 3R kristalg'a aylanatug'i'nli'g'i'n bildiredi. Haqi'yqi'y jag'daylarda eki qatlamli'q 2H strukturani'n u'sh qatlamli'q 3C strukturaga tikkeley o'tiwi de mu'mkin (mi'sali' deformatsiyalawdi'n basqa sharayatlari'nda, mi'sali' u'lgini' i'sqi'lap poroshokqa aylandi'rg'anda).

Jogari'da keltirilgen mag'li'wmatlar  $2H \rightarrow 12R \rightarrow 3C$  fazali'q o'tiwlerinin' dislokatsiyali'q mexanizm menen o'tetug'i'nli'g'i'n bildiredi. Baqlangan fazali'q o'tiwlerdin' dislokatsiyali'q mexanizm menen ju'riwinin' duri's ekenligin deformatsiyalangan u'lginin' ortasi'nda deformatsiyani'n shamasini' 10 procent bolgan jag'daylarda da toli'q  $2H \rightarrow 3C$  o'tiwinin' ori'n alatug'i'nli'g'i' bildiredi. Bul atomlar ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an ha'r bir ekinshi qatlam arqali' bir bo'leklik dislokatsiyani'n o'tiwine sa'ykes keledi. 12R politipi bo'leklik dislokatsiyani'n ha'r bir to'rtinshi qatlam arqali' ju'riwinin' saldari'nan payda bolatug'i'n bolganli'qtan 12R politipinin' payda bolu'wi' ZnS kristallari'ni'n 2H modifikatsiyasi'nda dislokatsiyani'n ortasha ha'r bir to'rtinshi qatlamda ju'retug'i'nli'g'i' haqqi'nda boljawdi' usi'ni'wg'a boladi'.

## 12-§. Kristalli'q pa'njerenin' qaytadan quri'li'wi'ni'n' mexanizmleri

Joqari'da keltirilgen polisintetikali'q ha'm politiplik strukturalardi' tallaw ha'm bag'i'tlang'an elastik deformaciyani'n' na'tiyjesinde sfalerittin' bir orientaciyali'q hali'ni'n' payda boli'wi' ZnS kristallari'nda buri'nleri' jaylasti'ri'w defektlerinin' energiyalari' kishi bolg'an polatlardag'i' ha'm basqa da quymalardag'i' strukturali'q aylani'slar si'yaqli' (biraq bag'i'ti' boyi'nsha qarama-qarsi') aylani'slardin' bolatug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Biz bul jerde ZnS kristallari' ushi'n da jaylasti'ri'w defektlerinin' kishi energiyag'a iye ekenligin atap o'temiz. Oni'n' ma'nisi  $\epsilon = 5.14 \pm 1.8$  erg/sm<sup>2</sup>. Al, mi'sali', CdS kristallari'nda bolsa  $\epsilon = 36$  erg/cm<sup>2</sup>. Usi'g'an baylani'sli' ZnS kristallari'ni'n' kristalli'q pa'njeresinin' quri'li'si'ni'n' qaytadan quri'li'wi'ni'n' sxemasi'n du'ziw ushi'n [10-11] jumi'slardin' avtorlari' ta'repinen Fe-Mn quymalari' ushi'n usi'ni'lg'an  $\epsilon$ - ha'm  $\epsilon'$ - fazalardi'n' payda boli'wi'ni'n' kristallgeometriyali'q sxemasi'nan paydalanami'z.

Joqari' temperaturali' faza bolg'an vyurcit monokristalli'nan polisintetikali'q quri'li'sti'n' payda boli'wi'n qaraymi'z (19-su'wret). Vyurcittegi ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlardi'n' jaylasi'wlari'ni'n' izbe-izligin ... AB AB AB ... tu'rinde ko'rsetemiz (19-a su'wret). Su'wrette keltirilgen sxema ha'r bir  $A_n B_n$  jubi'ni'n' [10.0] bag'i'ti'nda o'zinen keyingi  $A_{n+1} B_{n+1}$  jubi'na sali'sti'rg'anda  $a_g/\sqrt{3}$  shamasi'na ten' arali'qqa ji'li'satug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Usi'ni'n' na'tiyjesinde sfalerit ushi'n ta'n bolg'an u'sh qatlamli'q izbe-izlik hasi'l boladi'. Bunday jag'dayda qozg'almaytug'i'n koordinatalar sistemasi'nda elementar ji'lji'wdi'n' bag'i'ti'na baylani'sli' eki ... ABC ABC ... ha'm ... ACB ACB ... izbe izliklerinin' payda boli'wi' mu'mkin. Al bul eki izbe-izlik polisintetikali'q quri'li'sti'n' eki qurawshi'si'na sa'ykes keledi.



kerek). Olardi'n' sani'  $N = L/2c\sqrt{2}$  shamasina ten'. Bul an'latpada  $L$  arqali' strukturali'q o'zgeris ori'n alatug'i'n u'lginin' biyikligi  $c$  arqali' ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlar arasi'ndag'i' qashi'qli'q ( $c = 3,13 \text{ \AA}$ ) belgilengen. Qayta quri'li'w'di'n' ha'r bir elementar aktinde prizma ta'rizli u'lginin' biyikligi  $\Delta L = \frac{1}{6}d_{112} \cos 45^\circ = 2,2 \text{ \AA}$  shamasina kemeyedi. Bunnan toli'q elastik deformaciyani'n' shamasini ushi'n  $\Delta L = \frac{1}{L} \frac{\Delta L}{4c} 100\% = 17,6\%$  shamasini alami'z. Bul shama eksperimentte ali'ng'an elastik deformaciyani'n' shamasina toli'q sa'ykes keledi.

Endi ZnS kristallari'ni'n' simmetriyasi'ni'n' strukturali'q aylani'slardin' na'tiyjesindegi o'zgerislerin qaraymi'z. O'tkerilgen izertlewler strukturasi'  $2N$  bolg'an kristallardi' salqinlati'w (temperaturasi'n to'menletiw, yag'ni'y simmetriyasi'  $\infty m$  bolg'an si'rttan ta'sirdin' tu'siriliwi) kristallardi'n' makroskopiyali'q simmetriyasi'ni'n' o'zgerislerin ali'p kelmeytug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Fazali'q o'tiw'din' na'tiyjesi polidomenlik (polisintetikali'q) sfalerittin' payda boli'wi' boli'p tabi'ladi'. Al bunday kristallar bolsa tutasi' menen  $\beta$ -ZnS kristallari'ni'n' atomli'q-kristalli'q strukturasi'ni'n' simmetriyasi'n qayta tikleydi. Polisintetikali'q kristallardag'i' atomli'q qatlamlardi'n' izbe-izliginin' o'zgerisleri simmetriyasi'  $2/m$  bolg'an ji'lji'p ta'sir etiwshi kernewdin' ta'sirinde ju'redi. 2 ko'sherinin' bag'i'ti' sfalerittin'  $[10\bar{1}]$  ha'm  $[\bar{1}01]$  bag'i'tlari'na sa'ykes keledi. (orientaciyali'q hallar bir birine sali'sti'rg'anda  $[111]$  ko'sherinin' do'gereginde  $180^\circ$  qa buri'lg'an dep esaplaymi'z). Ta'sirdin' simmetriya tegisligi  $m$  ( $10\bar{1}$ ) ha'm ( $\bar{1}01$ ) tegisliklerine parallel. Bul tegislikler bolsa aynali'q shag'i'li'si'w ha'm ji'lji'w tegislikleri boli'p tabi'ladi'. Bunday jag'dayda simmetriyani'n' superpoziciyasi' principine sa'ykes kristalg'a ta'sir etiw'din' na'tiyjesinde tek bir simmetriya tegisligi  $m$  simmetriya tegisliginin' saqlani'wi', usi'g'an sa'ykes monoklinlik pa'njerenin' payda boli'wi' kerek. Biraq biz joqari'da elastik deformaciyani'n' aqi'betinde kristaldi'n' «jormal geksagonalli'qtan» basqa hesh bir simmetriya elementin jog'altpaytug'i'nli'g'i'n ko'rdik. Bul ma'selenin' sheshimi to'mendegilerden ibarat:

Mexanikali'q ta'sirdin' ta'sir etiw'i na'tiyjesindegi atomli'q tegisliklerdin' izbe-izligin qarag'ani'mi'zda biz birdey atomli'q tegisliklerden turatug'i'n sistemani' ko'rdik. Ji'lji'w deformaciyasi'n boldi'ratug'i'n kernew bir kristallografiyali'q bag'i't boyi'nsha atomli'q tegisliklerdin' jaylasi'wlari'ndag'i' ta'rtipti tikleydi. Bunday processler ushi'n simmetriyani'n' superpoziciya principin qollani'wg'a bolmaydi'. Sonli'qtan

bag'i'tlang'an ta'sirlerde ha'm simmetriyani'n' joqari'lawi' menen ju'retug'i'n processlerdegi strukturali'q o'zgerislerdin' kristallofizikali'q aspektlerin toli'q ha'm ha'r ta'repleme u'yreniw ushi'n simmetriya haqqi'ndag'i' ta'limatti'n' (aq-qara simmetriya, sur simmetriya ha'm ren'li simmetriya) barli'q talaplari'n paydalani'w kerek boladi'. Buni'n' ushi'n arnawli' teoriyali'q izertlewlerdi ju'rgiziw za'ru'r.

Paragrafti'n' aqiri'nda sfalerittin' «orni'qli' emes» qurawshi'si' ushi'n o'tiw matricasi'n esaplaymi'z. Ekileniw tegisligine tu'sirilgen birlik normal  $1/\sqrt{3}$ ,  $1/\sqrt{3}$  ha'm  $1/\sqrt{3}$  qurawshi'lari'na iye vektor boli'p tabi'ladi'. Normirovkalang'an ji'lji'w vektor  $\mathbf{d}_{[1\bar{2}1]}$   $1/\sqrt{6}$ ,  $-2/\sqrt{6}$  i  $1/\sqrt{6}$  qurawshi'lari'na iye. Na'tiyjede to'mendegidey tu'rdegi matricag'a iye bolami'z:

$$D = \begin{bmatrix} 1 + 1/\sqrt{18} & 1/\sqrt{18} & 1/\sqrt{18} \\ -2/\sqrt{18} & 1 - 2/\sqrt{18} & -2/\sqrt{18} \\ 1/\sqrt{18} & 1/\sqrt{18} & 1 + 1/\sqrt{18} \end{bmatrix}.$$

Bul matricani' sfalerittin' bir qurawshi'si'nan ekinshi qurawshi'si'na o'tkende bag'i'tlardin' indekslerin tu'rlendiriw ushi'n kerek boladi'.

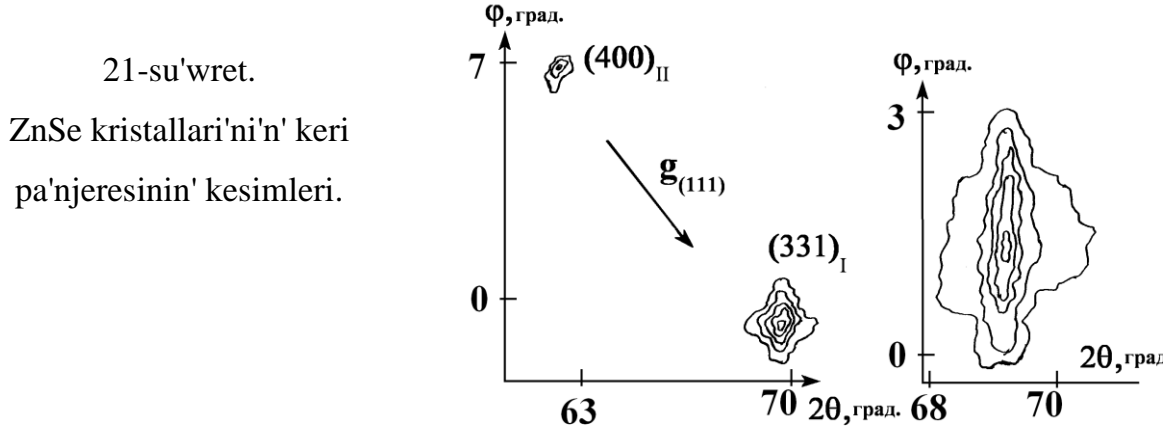
Solay etip ZnS kristallari'nda bag'i'tlang'an elastik deformaciya atomli'q tegisliklerdin' izbe-izlik ta'rtibin o'zgartetug'i'n strukturali'q qayta quri'li'wlar ju'zege keledi. Na'tiyjede jaylasti'ri'w defektleri jog'aladi' ha'm sfalerittin' monokristalli' payda boladi'. Bul baqlang'an strukturali'q processler menen jaylasti'ri'w defektlerinin energiyasi' kishi bolg'an polatlarda ha'm metall quymalarda ori'n alatug'i'n processler arasi'nda u'lken uqsasli'qlardi'n' bar ekenligi ayqi'n boldi' ( $\epsilon < 10 \text{ erg/sm}^2$ ).

### **13-§. Keri pa'njerenin' tu'yinlerinin' konfiguraciyalari'n izertlew**

Keri pa'njerenin' tu'yinlerinin' kese-kesiminin' profillerin ali'w ushi'n DRON-YM1 difraktometri paydalani'ldi'.

ZnSe kristallari'ni'n' keri pa'njeresinin' tu'yinlerinin' kesimleri 21-su'wrette berilgen. Strukturali'q faktorlardin' ma'nisin esapqa alg'anda bir orientaciyali'q haldi'n' indeksleri (400) tu'yininin' intensivligi ekinshi orientaciyali'q haldi'n' indeksleri (331) tu'yininin' intensivliginen shama menen 8 ese u'lken boli'p shi'qti'. Bul jag'daydi'n'

tu'sindiriliwi mi'nalardan ibarat: Difraktogrammalar tu'sirilgende kristalg'a kelip tu'siwshi rentgen nurlari' da'stesi bir orientaciyali'q haldi'n' domenleri qali'n'law ushastkag'a kelip tu'sken. Su'wrette keltirilgen tu'yinlerdin' kesimlerinin' profilleri ZnSe kristallari'ndag'i' domenlerdin' qali'n'li'g'i'ni'n' ZnS kristallari'ndag'i' domenlerdin' qali'n'li'g'i'nan a'dewir u'lken ekenligin da'lilleydi. Sebebi  $g_{(111)}$  bag'i'ti'ndag'i' tu'yinlerdin' sozi'li'wi' pu'tkilley baqlanbaydi'.



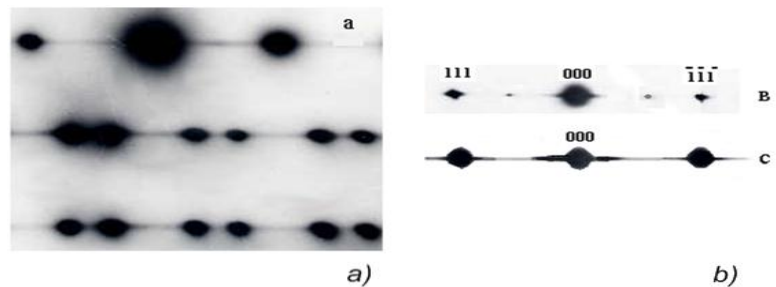
ZnSe kristallari'ni'n' domenlerinin' qali'n'li'g'i' haqqi'ndag'i' mag'li'wmatlardi' biz elektronogrammalar tu'siriw bari'si'nda domenlerdin' qali'n'li'g'i'n' izertleniwshi u'lgige kelip tu'siwshi elektronlar da'stesinin' diametri menen sali'sti'ri'w arqali' ani'qlandi'. Geypara jag'daylarda fotoplastinkada bir domennen ali'ng'an elektronogramma, geypara jag'daylarda eki domennen ali'ng'an elektronogrammalar payda boldi' (22-su'wret). Bulardi'n' barli'g'i' da ZnSe kristallari'ndag'i' domenlerdin' qali'n'li'g'i'ni'n' u'lgige kelip tu'siwshi elektronlar da'stesinin' diametrinen kishi emes, atap aytqanda bir neshe mikronnan u'lken ekenligi da'lillendi. Sonli'qtan biz ZnSe kristallari'ndag'i' domenlerdin' ayri'qsha [111] bag'i'ti'ndag'i' qali'n'li'g'i' onlag'an mikronlardi' quraydi' dep tasti'yi'qlay alami'z.

22-su'wret.  
Polisintetikali'q ZnSe kristalli'ni'n' (110) kristallografiyali'q tegisligine parallel bolg'an folgadan ali'ng'an elektronogramma.



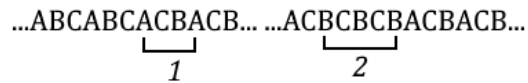
ZnS kristallari'nan ali'ng'an elektronogrammlar pu'tkilley basqa tu'rge iye boladi'. 23-su'wrette kristaldi'n' (110) kristallografiyali'q tegisligine parallel bolg'an folgadan ali'ng'an elektronogrammlar berilgen. Elektronogrammlarda ali'ng'an refleksler indeksleri [111] bolg'an kristallografiyali'q bag'i'tta sozi'lg'an ha'm bir biri menen tutasqan. Bul jag'day kristaldi'n' usi' bag'i'tqa perpendikulyar bag'i'tta kishi si'zi'qli' o'lshemlerge iye (onlag'an angstremlerge) juqa strukturali'q domenlerden turatug'i'nli'g'i'na sa'ykes keledi. Kristalli'q domenlerdin' basqa bag'i'tlardag'i' o'lshemleri u'lken ha'm sog'an sa'ykes reflekslerdin' sozi'li'wi' ori'n almaydi'.

23-su'wret.  
ZnS kristallari'nan  
tu'sirilgen  
elektronogrammlar.



Endi sulfid cinki ZnS kristallari'ni'n' strukturasi'n u'yreniw boyi'nsha o'tkerilgen tajiriybelerge o'temiz.

24-a su'wrette polisintetikali'q ZnS kristallari'ni'n' keru pa'njeresinin' kesimleri berilgen.  $h + k + l = 3N \pm 1$  sha'rti oti'nlanatug'i'n (400) ha'm (331) tu'yinlerinin' ayri'qsha bag'i't  $\mathbf{g}_{(111)}$  boyi'nsha o'z-ara baylani'sqan ekenligi ko'rinip tur. Tu'yinlerdin' sozi'li'wi' domenlerdin' usi' bag'i'ttag'i' qali'n'li'g'i'ni'n' ju'da kishi ekenligin bildiredi. Domenlerdin' en' kishi qali'n'li'g'i'n (minimalli'q qali'n'li'g'i'n) keru pa'njerenin' tu'yininin' uzi'nli'g'i' boyi'nsha ani'qlaymi'z. Elementar tallaw mi'nani' ko'rsetedi: tu'yinnin'  $\mathbf{g}_{(111)}$  bag'i'ti'ndag'i' uzi'nli'g'i'  $0.5|\mathbf{g}_{(111)}|$  shamasina ten'. Ani'qlama boyi'nsha  $|\mathbf{g}_{(111)}| = 1/d_{(111)} = 3^{-1}/a$ , bul jerde  $a = 5.4092 \text{ \AA}$  (bul shama ZnS kristallari'ni'n' pa'njere turaqli'si'na ten'). Demek biz izlep ati'rg'an domenlerdin' en' minimalli'q qali'n'li'g'i'  $L = 2a/3 = 6,25 \text{ \AA}$ , bul o'z gezeginde geksagonalli'q vyurcit modifikaciyasi'ni'n' "s" turaqli'si'ni'n' shamasina ten'. Bul qi'zi'qli' na'tiyje bizde ZnS kristallari'nda o'jire temperaturalarinda joqari' temperaturali' geksagonalli'q modifikaciyani'n' qaldi'qlari' saqlanadi' degen juwmaqqa ali'p keledi. Bul qaldi'q keru pa'njerele tu'yinlerinin'  $\mathbf{g}_{(111)}$  bag'i'ti'nda ja'ne de sozi'li'wi'n ta'miyinleydi. Bunnan polisintetikali'q ZnS kristallari'ndag'i' atomli'q qatlamlardi'n' izbe-izligin sxema tu'rde bi'layi'nsha jaza alami'z:

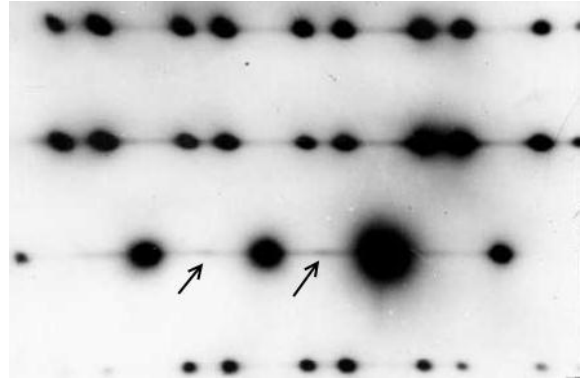


Bul sxemada 1 arqali' o'siw jaylasti'ri'w defekti (rus tilinde rostovoy defekt upakovki), al 2 arqali' geksagonalli'q modifikaciyani'n' qatlamlari' belgilengen.

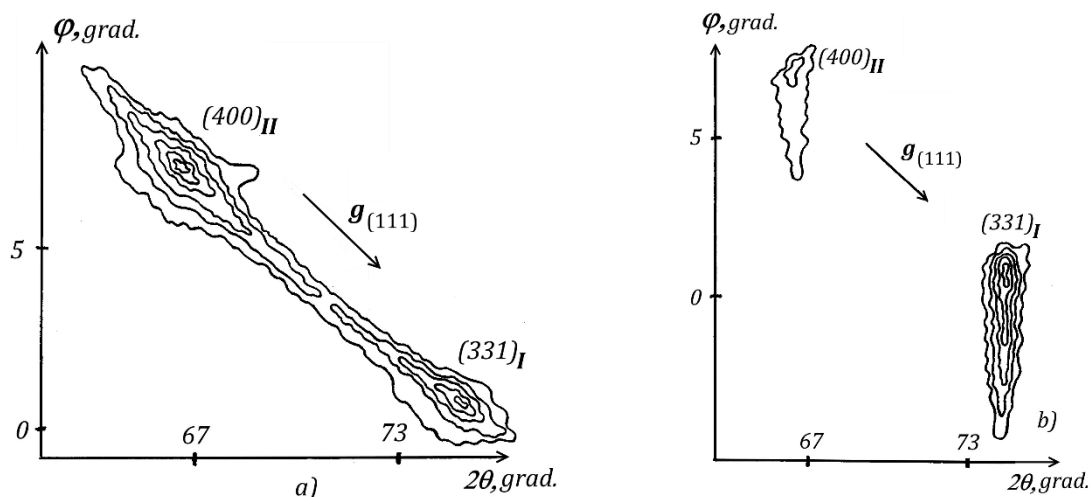
24-su'wret.

Polisintetikali'q ZnS kristallari'nda geksagonalli'q fazani'n' qaldi'g'i'ni'n' saqlanatug'i'nli'g'i'n' illyustraciyalaytug'i'n' elektronogramma.

Sa'ykes refleksler strelkalar menen ko'rsetilgen.



Polisintetikali'q ZnS kristallari'ndag'i' joqari' temperaturali' geksagonalli'q fazani'n' qaldi'qlari'ni'n' bar ekenligi elektronogrammalar tu'siriw joli' menen tasti'yi'qlandi'. Elektronogrammani' tu'siriw ushi'n juqa u'lgiler ultramikromlaw usi'li' menen ali'ndi'. Bul jag'dayda da refleksler [111] bag'i'ti'nda sozi'lg'an ha'm bir biri menen tutasqan. Bul su'wretlerdin' rentgenogrammalarg'a sali'sti'rg'anda u'lken ayi'rmasi'ni'n' bar ekenligin an'sat an'g'ari'wg'a boladi'. Birinshiden elektronogrammalarda hhh reflekslerinin' arasi'nda kristaldi'n' joqari' temperaturali' geksagonalli'q modifikaciyasi'na sa'ykes keliwshi a'zzi 000l tipindegi refleksler baqlanadi'. Ekinshiden rentgenogrammalardag'i' sfalerittin' eki orientaciyali'q hali'na da sa'ykes keliwshi  $h + k + l = 3N$  tipindegi kristallografiyali'q tegislikler semeystvolari' sozi'lmag'an ani'q reflekslerdi beriwi kerek. Biraq bul rentgenogrammalarda bunday situaciya baqlanbaydi'. Ali'ng'an elektronografiyali'q mag'li'wmatlar boyi'nsha izertlengen kristallardi'n' elektronogrammalari'ndag'i' barli'q refleksler ayri'qsha  $\mathbf{g}_{(111)}$  vektori'ni'n' bag'i'ti'nda sozi'lg'an. Bul barli'q kristallografiyali'q tegisliklerdin' sfalerittin' juqa domenlerinen ha'm 2N-fazani'n' juqa qatlamlari'nan turatug'i'n' substrukturani' «sezetug'i'nli'g'i'n» bildiredi.



25-su'wret. Rentgen difraktometrinda ali'ng'an ZnS kristallari'ni'n' keru pa'njeresinin' kesimi. Su'wret tegisligi keru pa'njerenin' tegisligi boli'p tabi'ladi' ha'm ol tuwri' pa'njerenin'  $(1\bar{1}0)$  tegisligine parallel. I ha'm II arqali' strukturali'q domenlerdin' eki qurawshi'si',

al  $\theta$  arqali' difrakciyalı'q mu'yesh belgilengen.

Endi bag'i'tlang'an elastik deformaciyada ju'zege keletug'i'n strukturali'q o'zgerislerdi izertlew'din' na'tiyjelerin tallawg'a o'temiz.

Biz ZnS kristallari'nda bag'i'tlang'an elastik deformaciyani'n' na'tiyjesinde bazi' bir kristalli'q defektler sistemasi'ni'n' payda bolatug'i'nli'g'i' haqqi'nda mag'li'wmatlarg'a iye boldi'q (keru pa'njerenin' tu'yinlerinin' sozi'li'wi' ha'm tag'i' basqalar). 25-su'wrette keltirilgen keru pa'njerenin' tu'yinlerinin' bir bag'i'tta sozi'li'wi' kristalli'q u'lgige ta'sir etetug'i'n ku'sh  $\mathbf{F}$  tin' bag'i'ti'na perpendikulyar bolg'an  $[1\bar{1}0]$  bag'i'ti' do'geregindagi kristallografiyalı'q tegisliklerdin' mayi'si'wi'na sa'ykes keledi. Geometriyalı'q tallaw o'tkeriw bunday rentgenoptikalı'q qubi'li'sti'n' shashi'rati'wshi' tegisliklerdin' "S" ta'rizli mayi'satug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Kristaldi'n' usi'nday deformaciyasi'ni'n' xarakteristikalarin' ani'qlaw ushi'n deformaciyalang'an kristallardan ali'ng'an ken' tarqali'wshi' rentgen nurlari'ni'n' rentgenogrammalari'ni'n' bir neshe seriyasi' tu'sirildi. Ali'ng'an rentgenogrammalar razorientaciya mu'yeshlerin ha'm ha'r qi'yli' ushastkalaridagi' kristaldi'n' mikromayi'si'wi'n ani'qlaw ushi'n paydalani'ldi'.

Kristallardi'n' makrostrukturasi'n izertlew'din' metodikalı'q principinin' tiykari'nda  $(111)$  tegisliklerinin' u'lgige ta'sir etetug'i'n ku'sh  $\mathbf{F}$  tin', en' jen'il ji'lji'w bag'i'ti'  $[11\bar{2}]$  bag'i'ti'na perpendikulyar bolg'an  $[1\bar{1}0]$  bag'i'ti' do'geregindagi turaqli' tu'rdegi mayi'si'wi' jatti'.

Pa'njerenin' mikromayi'si'wi'n analizlew ken' tarqali'wshi' da'ste sxemasi'ndag'i' difrakciyalig su'wrettin' payda boli'wi'ni'n'

$$\begin{cases} X = \mathbf{R} \cos \varphi + Z \operatorname{tg} \alpha, \\ Y = \mathbf{R} \sin \varphi, \end{cases} \quad (13.1)$$

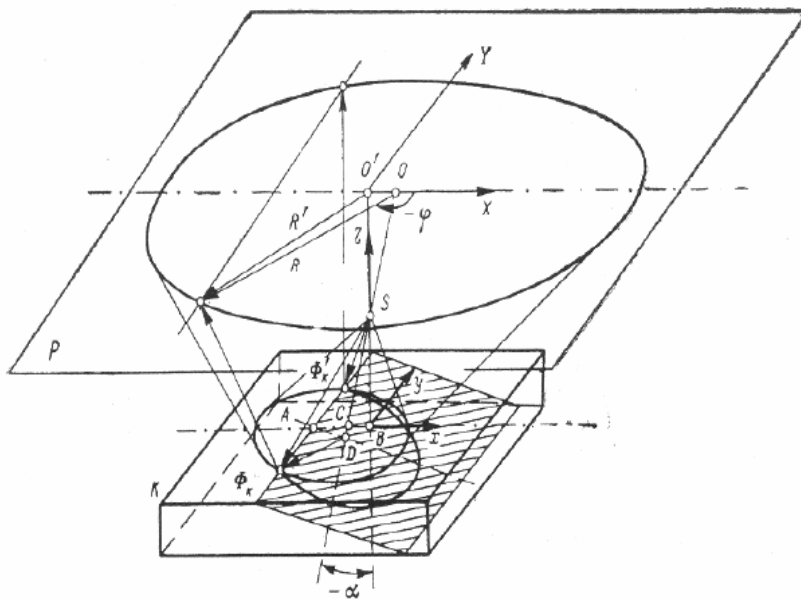
$$\mathbf{R} = \frac{\cos \theta}{\cos \alpha} \left[ \frac{t}{\sin(\theta + \chi)} + \frac{t + Z}{\sin(\theta - \chi)} \right],$$

tu'rdegi ten'lemesine tiykarlandi'. Bul an'latpada  $\varphi$  arqali' polyarli'q koordinata,  $\theta$  arqali' difrakciya mu'yeshi,  $\lambda$  arqali' u'lginin' betine sali'sti'rg'anda shashi'rati'wshi' tegisliklerdin' qanday mu'yeshke buri'lg'anli'g'i' belgilengen.  $\sin \chi = \sin \alpha \cos \varphi$ . (22-su'wret). Radius-vektor  $\mathbf{R}$  menen kristaldi'n' betindegi koordinata  $x$  arasi'ndag'i' baylani's polyarli'q mu'yesh  $\varphi$  menen  $x$  koordinatasi'nan

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left\{ \begin{array}{l} + \sqrt{\frac{t[\cos \alpha + \sin \alpha(x + t \operatorname{tg} \alpha)]^2 \operatorname{ctg}^2 \theta - [\cos \alpha(x + t \operatorname{tg} \alpha)]^2}{(x + t \operatorname{tg} \alpha)^2}} \\ - \sqrt{\dots} \end{array} \right.$$

tu'rindegi g'a'rezlik penen ani'qlanadi'.  $\alpha = \alpha(x)$ .

26-su'wrette  $O$  arqali' kristaldi'n' betinen tu'sirilgen nurlani'w deregi  $S$  arqali' o'tiwshi  $SB$  normalini'n' rentgenogrammani'n' tegisligi  $P$  ni'n' kesilisiw noqati',  $O$  arqali'  $SD$  normali' ha'm shag'i'li'sti'ri'wshi' tegislik  $\Phi_k C \Phi_k$  ni'n' rentgenogramma tegisligi menen kesilisiw noqati',  $SB = t$  arqali' kristalli'q u'lgi menen rentgen nurlari'ni'n' noqatli'q deregi arasi'ndag'i' qashiqli'q, al  $SO$  arqali' rentgen nurlari'ni'n' noqatli'q deregi menen rentgen plenkasi'ni'n' kassetasi'na shekemgi qashiqli'q belgilengen.



26-su'wret.  
 Ken' tu'rde  
 tarqalatug'i'n  
 rentgen  
 tolqi'nlari'ni'n  
 difrakciyasi'nda  
 difrakciyalig  
 su'wrettin' payda  
 boli'wi'ni'n  
 sxemasi'.

Birinshi ten'lemeden bir tekli mayi'si'w (qi'ysayi'w) ushi'n  $\alpha = \alpha_0 x$  ha'm Y ko'sheri do'gereginde mayi'sqan tegisliklarga sa'ykes keliwshi difrakciyalig si'zi'q ellips ta'rizli formag'a iye boladi'. Eger rentgen nurlari' deregi ta'repte kristaldi'n' mayi'si'wi' on' belgige iye bolsa, yag'ni'y  $\alpha_0 > 0$  bolg'an jag'dayda

$$|OX(\chi\varphi = 0)| = |OX(\chi\varphi = \pi\pi)| > |OX(\chi = \pi/2)| = |OX(\chi = 3\chi\pi/2)|$$

ha'm usi'g'an sa'ykes «psevdoellipstin'» u'lken diametri kristaldi'n' mayi'si'wi' boylap bag'i'tlang'an boladi' (X bag'i'ti). Eger teris linza orni' alsa, onda diametrlerdin' qatnasi' kerisine o'zgeredi:

$$|OX(\chi = 0)| = |OX(\chi = \pi)| < |OX(\chi = \pi/2)| = |OX(\chi = 3\pi/2)|.$$

Koordinatar orayi'na sali'sti'rg'anda mayi'sqanli'qti'n' belgisinin' o'zgeriwi menen bolatug'i'n bir tekli mayi'si'wda  $\alpha = \alpha |x|$ . Bunday jag'dayda difrakciyalig si'zi'qlar ma'yektin' formasi'nday formag'a iye boladi'

$$|OX(\chi = 0)| > |OX(\chi = \pi/2)| = |OX(\chi = 3\pi/3)| > |OX(\chi = \pi)|.$$

Kristaldi'n' ayi'ri'm bir bag'i'tti'n' do'gereginde mayi'si'wi'ni'n' en' uli'wmali'q jag'daylari'nda difrakciyalig si'zi'q u'lginin' betinin' tu'sirilip ati'rg'an u'shastkasi'ni'n' rentgen nurlari'ni'n' do'gerine sali'sti'rg'anda ji'li'sqani'nda da o'zinin' formasi'n o'zgertedi.

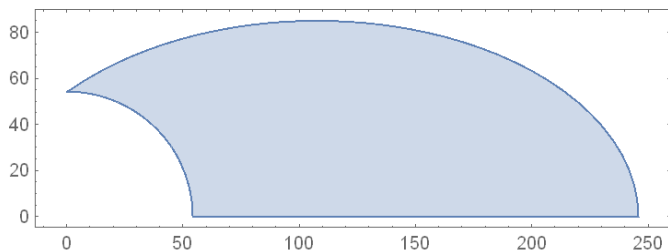
(13.1)-formula boyi'nsha grafik du'ziw mu'mkin. Bunday jag'dayda X ha'm Y koordinatalari' parametrlar boli'p tabi'ladi' (olar o'z gezeginde  $\alpha, \varphi, t, z, \chi$  o'zgeriwshilerinen g'a'rezsiz). Wolfram Mathematica tilindegi programma

t=0.5;tet=0.2;z=10;

```

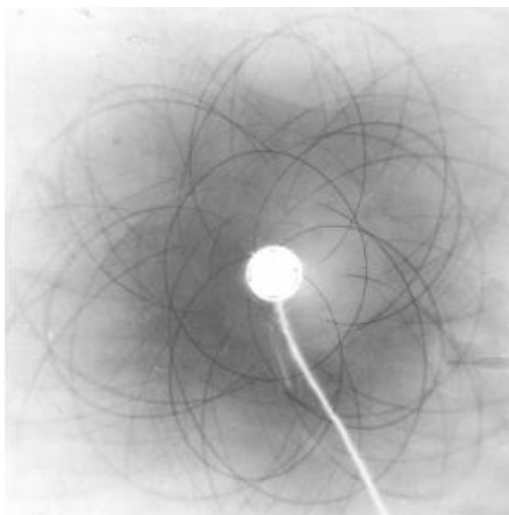
kap[alf_,fi_]=ArcSin[Sin[alf] Cos[fi]];
R[fi_,alf_]=Cos[tet]/Cos[alf] (t/Sin[tet+kap[alf,fi]]+(t+z)/Sin[tet-kap[alf,fi]]);
X[R_,fi_,alf_]=R[fi,alf] Cos[fi]+z Tan[alf];
Y[fi_]=R[fi,alf] Sin[fi];
ParametricPlot[{X[R,fi,alf],Y[fi]},{fi,0,π/2},{alf,0,π/20}]
tu'rine iye boladi'. Kompyuterlik esaplawlar

```

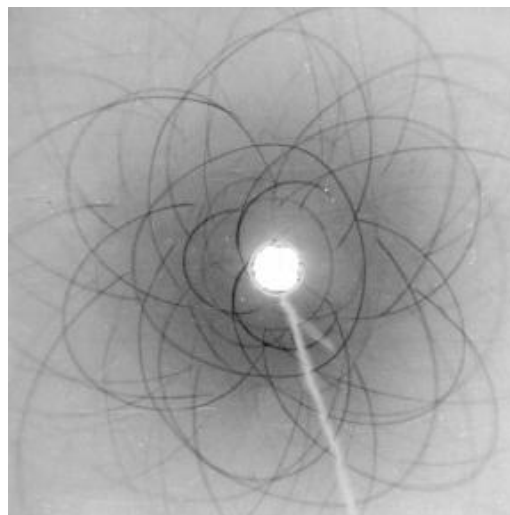


tu'rindagi grafikni beredi. Bul grafikte X abscissa ko'sherine, al Y ordinata ko'sherine qoyil'g'an. Grafiktegi su'wret kristaldi'n' betindagi difrakciya sha'rti ori'nlanatug'i'n si'zi'qqa sa'ykes keledi.

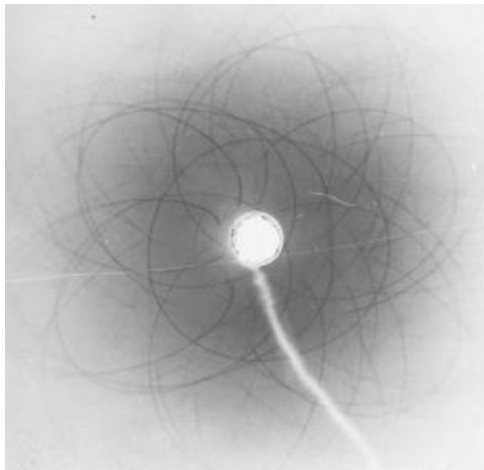
ZnS kristalli'ndagi' en' jen'il ji'li'si'w tegisligi bolg'an (111) tegisliginin' elastik deformaciyani'n' bari'si'nda S ta'rizli mayi'sati'g'i'nli'g'i'n da'lillew ushi'n ken' tarqalatug'i'n rentgen nurlari' rentgenogrammlari'ni'n' seriyasi' tu'sirildi. Usi' seriyani'n' tu'siriliw bari'si'nda u'lginin' beti  $[11\bar{2}]$  bag'i'ti'nda ji'li'sti'ri'ldi'. 27-su'wrette deformaciyali'ng'a ZnS kristallari'nan tu'sirilgen rentgenogrammlar'di'n' u'shewi keltirilgen.



a)



b)

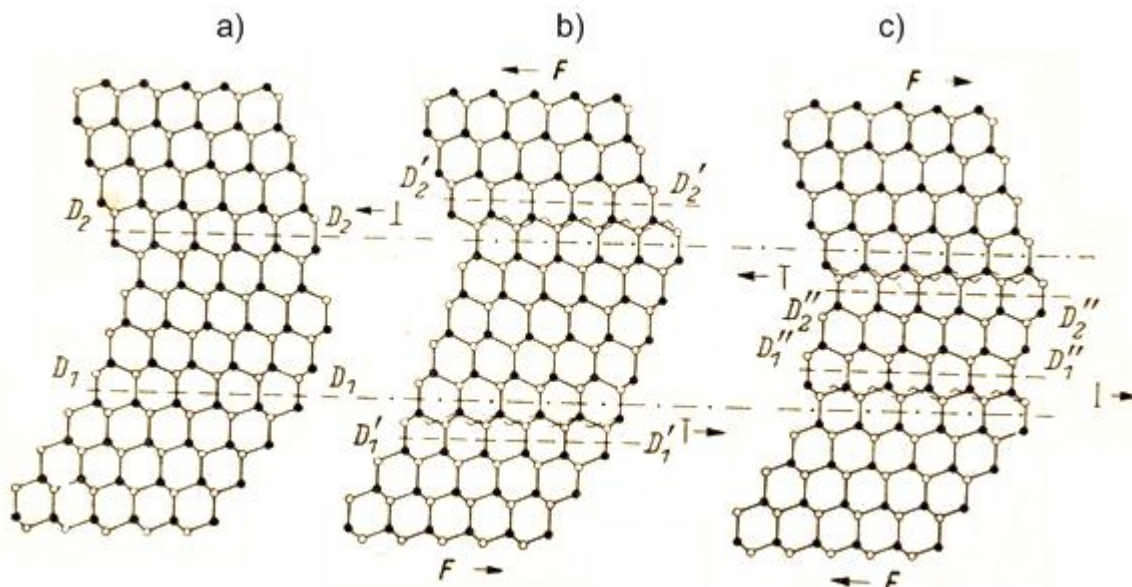


27-su'wret.

Indeksleri (333) bolg'an difrakciyalig' si'zi'g'i'ni'n' formasi'ni'n' o'zgeriwi.

O'tkerilgen izertlewler deformaciyalang'an ZnS kristallari'ndag'i' dislokaciyalardi'n' tarqali'wi' boyi'nsha bir qansha juwmaqlardi' shi'g'ari'wg'a mu'mkinshilik beredi. Ji'lji'w bag'i'ti'nda rentgen nurlari'ni'n' deregine sali'sti'rg'anda u'lgini ji'li'sti'ri'w bari'si'nda ali'ng'an rentgendifrakciyalig' su'wretler difrakciyalig' si'zi'qlardi'n' formalari'ni'n' o'zgeriwi menen olardi'n' yari'm ken'liginin' de o'zgeretug'i'nli'g'in ko'rsetti. Bul o'zgerislerdin'  $[1\bar{1}0]$  bag'i'ti'nda bolatug'i'nli'g'i' da ani'qlandi'. Difrakciyalig' si'zi'qlardi'n' ken'eyiwini'n' sebeplerin ani'qlaw ushi'n (333)  $SuK_{\alpha}$  difrakciyalig' si'zi'g'i'ni'n' yari'm ken'ligi rentgendifraktometrlik izertlendi. Bul izertlewler bari'si'nda  $[111]$  bag'i'ti'ni'n' do'gereginde u'lginin' kesilgen qaptali'n aylandi'ri'w arqali' a'melge asi'ri'ldi'. Usi'ldi'n' en' joqarg'i' sheginin' da'lliginde (bul shektin' ma'nisi 0.005 gradusqa ten') yari'm ken'lik o'zgerissiz qaldi' ha'm oni'n' ma'nisi deformaciyalanbag'an kristaldi'n' difrakciyalig' si'zi'g'i'ni'n' yari'm ken'ligine ten' boli'p shi'qti'. Bul birinshi ta'repten u'lgilerdegi ha'r qanday kristallografiyalig' bag'i'tlardag'i' sezilerliktey kernewlerdin' joqli'g'in bildiredi. Ekinshi ta'repten ali'ng'an na'tiyje subtu'yirtpekterdin' a'dewir u'lken o'lshemlerge iye ekenligin tasti'yi'qlaydi' ( $> 0.1$  mkm, eger bunday subtu'yirtpekler haqi'yqati'nda da bar bolatug'i'n bolsa). Difraktometrde u'lginin' 0,5 mm bolg'an si'zi'qli' o'lshemine sa'ykes keliwshi razorientaciyalardi'n' shamasii  $\pm 13^{\circ}$  qa ten' boli'p shi'qti'. Solay etip u'lginin' makromayi'si'wi' kristaldi'n' ko'lemi ishindeg'i' birdey belgige iye dislokaciyalardi'n' ko'pliginin' na'tiyjesi boli'p tabi'ladi' eken. Al rentgen reflekslerinin' ken'eyiwini'n' sebeplerin joqari'da keltirilgen u'sh ten'lemelerden ayqi'n boladi'. Bul ten'lemelerdi tallaw difrakciyalig' si'zi'qlardi'n' ken'eyiwini'n' sebebinin' rentgen nurlari'ni'n' kristalg'a kiriwinin' teren'ligine ha'm usi' teren'lik boylap difrakciyag'a ushi'rag'an da'stenin'

payda boli'w processindegi nurlardi'n' optikali'q joli'ndag'i' razorientaciyag'a baylani'sli' ekenligin ko'rsetedi. Si'zi'qlardi'n' ken'eyiwini'n' bir tekli emes ekenligi  $[1\bar{1}0]$  bag'i'ti'na parallel bolg'an shashi'rati'wshi' tegisliklerdin' qayi'si'wi' menen baylani'sli' boli'p shi'g'adi'.



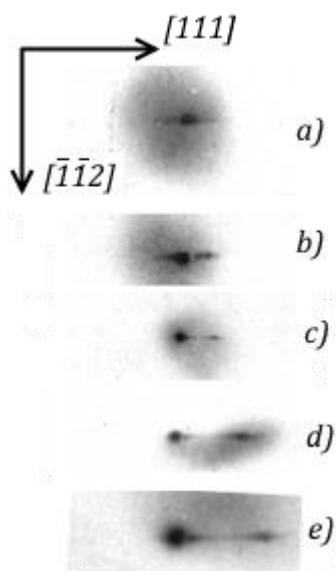
28-su'wret. D – D ekilengen shegara bar oblasttag'i' cink sulfidi kristalli'ni'n' quri'li'si'ni'n'  $(1\bar{1}0)$  tegisligine tu'sirilgen proekciyasi'.

- a) dislokaciyalar qozg'almastan buri'ng'i' awhal,
- b) ha'm c)  $\alpha$  ha'm  $\beta$  dislokaciyalari'ni'n' dvoyniktin' shegarasi' boylap o'tkennen keyingi awhal.

#### 14-§. Polisintetikali'q ZnS kristallari'ndag'i' rentgen nurlari'ni'n' kishi mu'yeshlerge shashi'rawi'

Polisintetikali'q ZnS kristallari'nan tuwri'dan-tuwri' rentgendifrakciyalı'q effekterdi ali'w maqsetinde rentgen nurlari'ni'n' kishi mu'yeshlerge shashi'raw metodi' qollani'ldi'.

Rentgen nurlari'nda su'wretke ali'w KPM-1 kamerasi'nda gu'mis anodti'n' nurlani'wi'nda a'melge asi'ri'ldi'. Noqatli'q kollimaciyali'q sistema qollani'ldi'.  $(110)$  kristallografiyalı'q tegisliklerine parallel bolg'an qali'n'li'g'i' 1 mm den kishi polisintetikali'q ha'm elastik deformaciyalang'an u'lgiler paydalani'ldi'.



29-su'wret.

KPM-1 kamerasi'nda ali'ng'an su'wretler.

29 – a su'wrette deformaciyalanbag'an ZnS kristallari'nan ali'ng'an rentgenogrammani'n' fotosu'wreti ko'rsetilgen. Bul jerde reflekslerdin' ayri'qsha [111] bag'i'ti'ndag'i' (bul ayri'qsha bag'i't geksagonalli'q pa'njerenin' [0001] bag'i'ti' boli'p tabi'ladi'). Buni'n' sebebi tu'sinikli ha'm ol sfalerittin' [111] ko'sherine perpendikulyar juqa domenlerinin' statistikali'q tu'rde tarqalg'anli'g'i'na baylani'sli'. Kristaldi'  $[\bar{1}\bar{1}2]$  ko'sherinin' do'geresinde kishi  $\varphi$  mu'yeshine buri'w (u'lgi kamerag'a oni'n' buri'w ko'sherine  $[\bar{1}\bar{1}2]$  bag'i'ti' parallel etip qoyi'ldi') fotoplenkada ja'ne bir difrakciyali'q daqti'n' payda boli'wi'na ali'p keledi (29-b su'wret). Bul jag'day ZnS kristallari'ndag'i' rentgen nurlari'ni'n' diskret tu'rdegi kishi mu'yeshlarga shashi'rawi'na sa'ykes keledi.  $\varphi$  mu'yeshin u'lkeytiw difrakciyali'q daqti'n' rentgen plastinkasi'ni'n' orayi'nan qashi'qlasi'wi'na ali'p keledi (29-c-e su'wretler).

Baqlang'an effekt rentgen nurlari'ni'n' a'dettegi teoriyasi' tiykari'nda an'sat tu'sindiriledi ha'm Vulf-Bregg ten'lemesi bolg'an  $2d \sin\theta = n\lambda$  ten'lemesi tiykari'nda ta'riyplenedi. Bul ten'lemede  $d$  arqali' o'siw jaylasti'ri'w defektleri arasi'ndag'i' qashi'qli'q (yag'ni'y sfalerittin' domenlerinin' qali'n'li'g'i'),  $\lambda$  arqali' eksperimentlerde paydalani'lg'an xarakteristikali'q  $K\alpha$  rentgen tolqi'nlarini'n' uzi'nli'g'i' belgilengen.  $n = 1, 2, 3, \dots$  Difrakciyali'q mu'yesh  $\theta$  ni'n' ma'nisi  $\varphi = \arctan \frac{l}{R}$  formulasi'ni'n' ja'rdeminde ani'qlanadi'. Bul jerde  $l$  arqali' fotoplenkadag'i' tuwri' kelip tu'sken da'stenin' izi menen difrakciyali'q daqqa shekemgi kashi'qli'q, al  $R$  bolsa izertlenip ati'rg'an u'lgi menen kristall arasi'ndag'i' qashi'qli'q. Kishi mu'yeshlerde  $\arctan \frac{l}{R} \approx \frac{l}{R}$ . Ekspermentlerde ani'qlanatug'i'n tiykarg'i' shamalar domenlerdin' qali'n'li'g'i'  $d$  ha'm

diskret shashi'rawdi'n' intensivligi boli'p tabi'ladi'. Biz qollang'an difrakciyalig' sxema boyi'nsha kishi mu'yeshli effektlerdi izertlegende, rentgen nurlari'ni'n' atomli'q ha'm mu'yeshlik faktorlari'n esapqa alg'anda baqlang'an shashi'rawlardi'n' intensivliklerinin' qatnaslari' berilgen qali'n'li'qqa iye domenlerdin' sali'sti'rmali' mug'dari'n beredi.

Eksperimentler ZnS kristallari'n izertlegende qali'n'li'g'i' 20-50 Å bolg'an domenlerdin' eki orientaciyali'q halda birdey mug'darda gezlesetug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Qali'n'li'g'i' 50 Å ha'm onnan da zi'yat bolg'an domenlerden shashi'rag'an rentgen nurlari'ni'n' intensivliklerinin' sezilerliktey to'menleytug'i'nli'g'i' tabi'ldi'.

Polisintetikali'q ZnSe ha'm 2-5 % ke elastik deformaciyalang'an polisintetikali'q ZnS kristallari'ni'n' domenlerinin' sali'sti'rmali' u'lken qali'n'li'qqa iye ekenligi joqari'da atap o'tilgen edi. Bunday qali'n'li'qtag'i' domenlerdin' u'lgilerde boli'wi' difrakciyag'a ushi'rag'an rentgen da'stelerinin' bergen refleksleri [111] bag'i'ti'nda sozi'lmawi' kerek. Rentgen nurlari'ni'n' bunday kristallardan shashi'rawi' bizin' bunday boljawlari'mi'zdi'n' duri'sli'g'i'n toli'q tasti'yi'qladi'.

Solay etip tuwri'dan-tuwri' qoyilg'an rentgenografiyalig' eksperimentte berilgen o'lshemlerge (berilgen qali'n'li'qlarg'a) iye domenlerden rentgen nurlari'ni'n' diskret shashi'rawi' ali'ndi'. Bul o'lshemleri onlag'an angstremlerge ten' mikroskopiyalig' qali'n'li'qqa iye strukturalig' domenlerde, ha'r qi'yli' kristallig' materiallarda ushi'rasatug'i'n uzi'n da'wirli politiplerde rentgen nurlari'ni'n' kishi mu'yeshlerge shashi'rawi'n baqlag'anda ali'ng'an tiykarg'i' na'tiyje boli'p tabi'ladi'.

Biz joqari'da ko'rgen bag'i'tlang'an elastik deformaciyani'n' saldari'nan dvoyniklerdin' jog'ali'wi' processinin' izbe-izligi haqqi'nda bazi' bir juwmaqlardi' shi'g'ari'wg'a mu'mkinshilik beredi. Haqi'yqati'nda da deformaciyani'n' bari'si'nda 2H qurawshi'si'ni'n' azayi'wi' dvoyniklerdi joq qi'latug'i'n dislokaciyalardi'n' korrelyaciyalang'an qozg'ali'slari' menen baylani'sli'. Sebebi ayi'ri'm dislokaciylar ta'rtipsiz tu'rde payda bolg'anda ha'm bunnan keyin olar strukturalig' domen ishinde (yag'ni'y dvoynik boli'p tabi'latug'i'n qatlamni'n' ishinde) qozg'alg'anda deformaciyali'q jaylasti'ri'w defektlerinin' koncentraciyasi' u'lkeygen, usi'g'an sa'ykes deformaciyani'n' mug'dari' u'lkeygen bolar edi (bizin' eksperimentlerimiz qarama-qarsi' mazmundag'i' na'tiyjelerdi berdi). Ko'p sanli' jumi'slarda dvoynikleniw tegisliginde bo'leklik dislokaciyalardi'n' qozg'ali'si' qosi'msha jaylasti'ri'w defektlerinin' payda boli'wi'na ali'p kelmeytug'i'nli'g'i' da'lillengen. Biraq bunday qozg'ali's dvoyniklenin' tegisligin

bir kristallografiyaliq tegislikler arasi'ndag'i' qashiqli'qqa ji'li'sti'radi' (bir qarap ati'rg'an jag'dayda bul qashiqli'q  $d_{(111)} = \frac{a}{\sqrt{3}}$  ke ten',  $a = 5,4318 \text{ \AA}$  arqali' ZnS ushi'n kristalli'q pa'njerenin' turaqli'si' belgilengen). Dvoyniklerdin' jog'ali'w processin dvoynikler arasi'ndag'i' shegara boyi'nsha bo'leklik dislokaciyalardi'n' izbe-iz qozg'ali'si' ha'm usi'ni'n' saldari'nan dvoynikleniw tegisliginin' bunnan keyingi ji'lji'wi' dep qaraw cink sulfidi kristllari'ndag'i' dvoyniklerdin' joq boli'w mexanizmin bazi' bir kooperativlik process dep qarawg'a mu'mkinshilik beredi. Bunday jag'dayda elementar quti'dag'i' atomlardi'n' qozgali'slari' barli'q dvoyniktegi strukturali'q qayta quri'li'wlar menen korrelyaciyalang'an. Makrokristall qa'ddinde dvoyniklerdin' jog'ali'wi' kooperativlik boli'p tabi'lmaydi'. Sebebi dvoyniklerdi joq qi'latug'i'n oraylar kristall boyi'nsha korrelyaciyalanbag'an. Bul jag'day deformaciyani'n' mug'dari'ni'n' arti'wi' menen 2H qatlamlardi'n' koncentraciyasi'ni'n' kemeyiwinen ko'rinip tur. Usi'ni'n' menen birge kristaldi'n' S ta'rizli maysi'wi' kristaldag'i'  $\alpha$  ha'm  $\beta$  dislokaciyalardi'n' kristall boyi'nsha tarqali'wi'ni'n' birdey xarakterge iye ekenligin ko'rsetedi. Bul jag'daylardi'n' barli'g'i' esapqa alg'an halda biz sfalerittin' polisintetikali'q quri'li'si'ndag'i' dvoyniklerdin' joq  $\mathbf{a} \parallel [1\bar{1}0], \mathbf{b} = \frac{1}{6}[112]$  qozg'ali'si'ni'n' saldari'nan ju'zege keletug'i'nli'g'i'nan derek beredi. Dvoyniklerdi joq etiwshi dislokaciyaalar dvoynikler arasi'ndag'i' shegarada payda boladi' ha'm o'zinin' qozg'ali'si'ni'n' bari'si'nda dvoynikleriw tegisligin  $[111]$  bag'i'ti'nda bir  $d_{(111)}$  arali'g'i'na ji'li'sti'radi'. Dvoyniklerdin' joq boli'w processin dvoynikler arasi'ndag'i' shegarani'n' orni'qli' emes qurawshi' ta'repke qaray oni'n' toli'q jog'ali'wi'na shekem dawam etetug'i'n qatlambaqatlam ji'lji'wi' si'pati'nda ko'z aldi'g'a keltiriw mu'mkin. Usi'nday poziciyada tursaq, onda dvoyniklerdin' joq boli'wi' processin mi'naday kooperativlik processtin' anoli'gi' dep qaray alami'z: bunday processte ayi'ri'm ali'ng'an elementar quti'dag'i' atomlardi'n' ori'n almasti'ri'wi' barli'q dvoyniktin' atomlari'ni'n' qaytadan quri'li'wi' menen korrelyaciyalang'an.

## 15-§. Sfalerit → vyurcit fazali'q kristalgeometriyasi'

Endi formani' este saqlaw effektine itibar beremiz. Bul effektin' baqlani'wi' kristallardi' qi'zdi'rg'anda ju'zege keletug'i'n fazali'q o'tiwlerdin' kristallografiyali'q

mexanizmleri haqqi'nda bahali' informaciyalardi' bere aladi'. Bul ma'selelerdi sheshiwge to'mende bayanlang'an eksperimentler ja'rdem berdi.

Aldi'n-ala ju'rgizilgen joqari' temperaturali' rentgenografiyali'q izertlewler (bunday izertlewler UNICAM kamerasi'ni'n' ja'rdeminde ju'rgizildi) sfalerit → vyurcit fazali'q o'tiwlerinin' 1025-1075<sup>0</sup>C intervali'nda ju'retug'i'nli'g'i'n ko'rsetti.

Deformaciyalang'an u'lgiler inert gaz tolti'ri'lg'an kvarc ampulalari'na sali'ndi' ha'm 1100<sup>0</sup>C g'a shekem qi'zdi'ri'ldi'. Usi'nday eksperimentlerdin' na'tiyjesinde qi'zdi'ri'w processinde ZnS kristallari'ni'n' ximiyali'q qurami'ni'n' turaqli' qali'wi'n ta'miyinledi.

Eksperimentler birinshi gezekte keru fazali'q o'tiwlerdin' saldari'nan u'lgilerdin' da'slepki formasi'ni'n' qayta tiklenbeytug'i'nli'g'i' haqqi'nda ayqi'n mag'li'wmatlardi' berdi. Biraq tu'sirilgen lauegrammalar menen epigrammalar, sonday-aq terbelis rentgenogrammalari' da'slepki ayi'ri'qsha [111] ko'sherinin' qaytadan tiklenetug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Politiplik ha'm polistintetikali'q kristallar atomli'q-kristalli'q strukturasi' boyi'nsha o'zlerinin' da'slepki hali'na qayti'p keledi. Biraq bag'i'tlang'an elastik deformaciyada qa'liplesken (defektlik) substruktura jog'almaydi'. Usi' mag'li'wmatlar tiykari'nda sfalerit → vyurcit → sfalerit fazali'q o'tiwlerinin' kristallgeometriyali'q o'zgeshelikleri haqqi'nda bazi' bir boljawlardi' keltirip shi'g'ari'wg'a boladi'.

Polisintetikali'q ha'm politiplik kristallardi'n' o'zlerinin' da'slepki hali'na qayti'p keliwi mi'na faktlerdin' ori'n alatug'i'nli'g'i'n da'lilleydi:

- Kristallardi' qi'zdi'rg'anda ju'retug'i'n sfalerit → vyurcit yamasa politip → vyurcit fazali'q o'tiwlerinde da'slepki kristallografiyali'q orinetaciyag'a iye vyurcit qa'liplesedi. Bunday qubi'li's tek diffuziyasi'z ju'retug'i'n strukturali'q qayta quri'li'wlarda g'ana ori'n aladi'.

- Polidomenlik modifikaciyasi'ni'n' substrukturasi' haqqi'nda kristall «yadi'nda saqlaydi'». Bunday este saqlawdi'n' sebebi vyurcit → sfalerit fazali'q o'tiwdin' termodinamikali'q o'zgeshelikleri ha'm kristalli'q quri'li'sti'n' defektleri menen baylani'sli' bolsa kerek.

Joqari'da keltirilgen mag'li'wmatlar formani'n' qaytadan tikleniwini'n' joqli'g'i' bag'i'tlang'an elastik deformaciyada payda bolg'an strukturali'q defektler menen baylani'sli' bolsa kerek. Bul defektler mexanikalikali'q qi'si'wdi'n' na'tiyjesinde ju'zege kelgen strukturali'q o'zgerislerdin' keru izbe-izlikte ju'riwine jol qoymaydi'. Sonli'qtan

deformaciyalang'an ZnS u'lgilerinde atomli'q qatlamlardi'n' kooperativlik ji'lji'wlari' tek sfalerittin' subtuyirtpeklerinin' sheklerinde g'ana ju'zege keledi dep juwmaq shi'g'arami'z.

Solay etip ali'ng'an eksperimentalli'q mag'li'wmatlar ZnS kristallari'nda 1025-1075<sup>0</sup>C intervali'nda ju'retug'i'n fazali'q o'tiwlerdin' martensitlik mexanizm boyi'nsha ju'retug'i'nli'g'i'n ko'rsetti. Polidomenlik fazani'n' substrukturasi' haqqi'nda kristaldi'n' «este saqlaytug'i'nli'g'i» ani'qlandi'. Da'slepki u'lgilerde (yag'ni'y ele deformaciyalanbag'an u'lgilerde) < 10.0 > bag'i'ti'ndagi' ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomli'q qatlamlardi'n' ji'lji'wi' pu'tkil u'lg'i boyi'nsha ju'redi, al deformaciyalang'an kristallarda bolsa bunday ji'lji'wlar ayi'ri'm subtuyirtpektin' sheklerinde g'ana ju'redi.

## **16-§. Terbiy monokristallari'ndag'i' gidrostatikali'q basi'mlardin' ta'sirinde ju'retug'i'n strukturali'q aylani'slar.**

Monokristalli'q terbiy (metall, Tb) kristallari'nda joqari' gidrostatikali'q basi'mdag'i' Mg (2H) → tip Sm (9R) tipidegi strukturali'q (fazali'q) o'tiw izertlendi. [00.1]<sub>TbI</sub> || [00.1]<sub>TbII</sub> orientaciyali'q qatnasi' tabi'ldi'. Tb kristalli'nda joqari' basi'mda payda bolg'an Sm tipidegi struktura domenleri bir birine sali'sti'rg'anda 60<sup>0</sup> (180<sup>0</sup>) qa burilg'an polisintetikali'q megzes boli'p tabi'ladi'. Usi'nday mag'li'wmatlar tiykari'nda Tb kristallari'ndag'i' strukturali'q o'tiwlerdin' ji'lji'w mexanizmi usi'ni'ldi'.

Joqari' basi'mlardag'i' terbiyidin' polimorfizmi (barli'q polimorfizm) birinshi ret joqari' basi'm kamerasi'ni'n' ja'rdeminde tabi'lg'an edi. Bunday o'tiwlerdin' 2N tipidegi ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomli'q tegisliklerdin' samariy kristallari'ndag'i'day tog'i'z qatlamli' strukturag'a o'tiwi menen baylani'sli' ekenligi ha'm bul tog'i'z qatlamli' quri'li'sti'n' orni'qli' ekenligi ma'lim boldi'. Fazalardi'n' strukturali'q parametrleri ilimiy a'debiyatlarda berilgen mag'li'wmatlar boyi'nsha mi'nalardan ibarat:

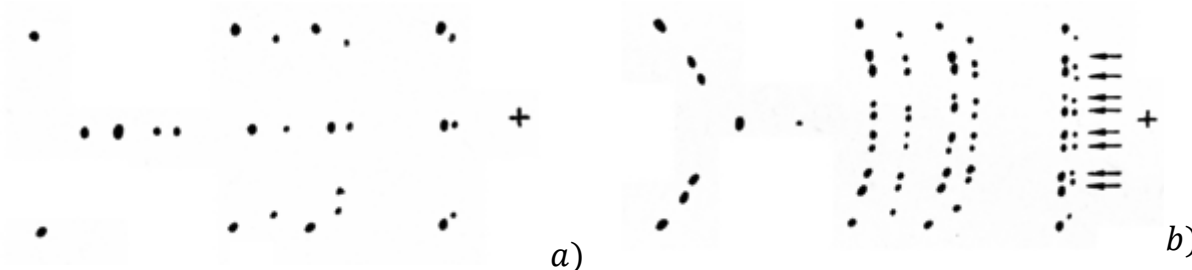
Strukturali'q tip	Simmetriyani'n' ken'isliktegi topari'	Pa'njere turaqli'lari'	
		a, Å	c, Å
Tb I	P6 <sub>3</sub> /mmc A3 – Mg tipi	3.6010	5.6936

Tb II	$R\bar{3}m$ Sm tipi	$3.578 \pm 0.007$	$25.81 \pm 0.5$
-------	------------------------	-------------------	-----------------

Polikristalli'q u'lgilerde o'tkerilgen eksperimentlerdin' na'tiyjleri boyi'nsha metastabill Sm tipindegi strukturadan kerri o'tiw  $\sim 200^0$  S temperaturadan joqari'raq temperaturalarda o'tkerilgen ku'ydiriw (otjig) menen birge Neel (antiferromagnitlik fazali'q o'tiw) temperaturasi'nan to'mengi temperaturalarda  $\sim 300$  ke bolg'an impulsli magnit maydani'nda da ju'retug'i'nli'g'i' ma'lim boldi'. Bul na'tiyjelerdin' barli'g'i' da Tb kristallari'ndag'i' atomli'q quri'li'sti'n' o'zgerislerinin' kooperativlik xarakterde ekenliginen derek beredi. Usi'g'an baylani'sli' monokristalli'q u'lgilerdi izertlewge qi'zi'g'i'wshi'li'q payda boldi'. Bunday jag'dayda biz fazalardi'n' o'z-ara bag'i'tlari'n ha'm strukturali'q o'tiwlerdin' mexanizmleri biliv mu'mkinshiligine iye bolami'z.

Tetraedr formasi'na iye terbiy monokristallari'ni'n' u'lgileri elektr ushqi'nli'q stanokta kesilip, bunnan keyin azot kislotasi'  $HNO_3$  tin' eritpesi ximiyali'q jollar menen o'lshemleri  $\sim 1 - 1,5$  mm bolg'ang'a shekem qayta islendi.  $\sim 30$  kbar basi'mg'a shekemgi gidrostatikali'q ta'sir o'jire temperaturalari'nda berildi. Da'slepki u'lgilerdi ha'm joqari' basi'm ta'sirinde uslani'p turi'lg'an u'lgilerdi rentgenografiyali'q izertlewler PKB-86A kamerasi'nda  $CuK\alpha$  nurlani'wi'nda ali'p bari'ldi'.

Lauegrammalar tu'siriv u'lgilerdin' kesimlerinde [001] ha'm [110] bag'i'tlari'n ani'qlawg'a mu'mkinshilik berdi. Bul bag'i'tlar keyninen terbeliw ko'sherleri si'pati'nda paydalani'ldi'. Joqari' basi'm ta'sir etken u'lginin' terbeliw rentgenogrammalari'nda  $I \approx 26 \text{ \AA}$  shamasina sa'ykes keliwshi jan'a qatlamli'q si'zi'qlar payda boldi'. Bul shama Tb II kristalli'ni'n' "c" da'wirine ju'da' jaqi'n. Bunday sharayatlarda "a" da'wirinin' shamasini'n' o'zgerisleri baqlanbadi'.



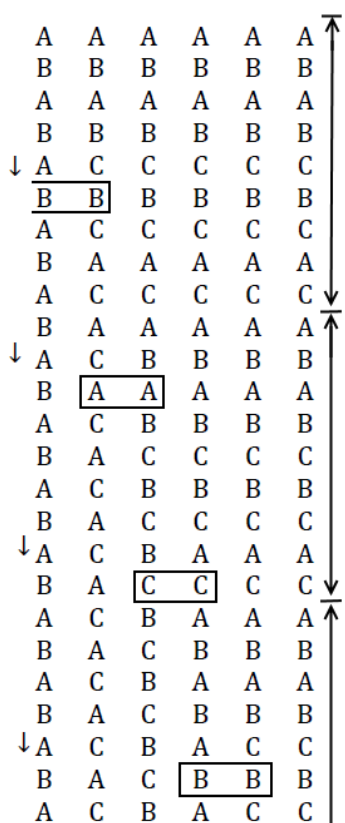
30-cu'wret. Terbiy kristallari'ni'n' rentgenogrammalari'. a) da'slepki haldag'i' kristaldan ali'ng'an, al b) 30 kbar basi'mda uslap turali'g'annan keyingi u'lgiden ali'ng'an rentgenogramma. Terbeliw ko'sheri [0001]. Strelkalar menen tog'i'z qatlamli'

strukturag'a sa'ykes keliwshi jan'a qatlamli'q si'zi'qlar belgilengen.

Terbelis rentgenogrammlari'ni'n' o'zgesheliklerinin' biri 2H ha'm 9R quri'li'sqa iye fazalardan ali'ng'an reflekslerdin' bar ekenliginde boli'p tabi'ladi' (30-su'wret). Solay etip ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an tegislikler fazali'q o'tiwidin' na'tiyjesinde o'z-ara parallel boli'p qaladi', yag'ni'y  $(00.1)_{TbI} || (00.1)_{TbII}$  Fazali'q o'tiwidin' o'zgeshelikleri boyi'nsha qosi'msha pikirler simmetriya ko'z-qarasi' tiykari'nda islendi.

$6/mmm$  topari'nan  $\bar{3}m$  topari'na o'tkende bas ko'sherge perpendikulyar bolg'an simmetriya tegisliginin' jog'ali'wi'ni'n' ori'n ali'wi'ni'n' kerekligi ma'lim. Biraq [00.1] ko'sheri do'gereginde terbeliwidin' na'tiyjesinde ali'ng'an rentgenogrammalarda jan'a qatlamli'q si'zi'qlardi'n' nollik qatlamli'q si'zi'qqa sali'sti'rg'andag'i' simmetriyasi' baqlandi'. Bul jag'daydan biz fazali'q o'tiwde  $TbII$  nin' polisintetikali'q simmetriyasi'ni'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n ko'rdik. Al arti'q aynali'q simmetriya tegisligi bolsa ZnS penen ZnSe kristallari'ndag'i' situaciyalardag'i'day ekileniw tegisligi menen ani'qlanadi'. Terbelis rentgenogrammlari'ni'n' toli'q seriyalari'n indekslew bul boljawdi'n' duri's ekenligin tasti'yi'qladi'. Rentgenogrammlaradag'i' barli'q refleksler u'sh keru pa'njerenin' superpozitsiyasi'ni'n' ja'rdeminde toli'q indekslenedi: bul pa'njereler mi'nalar - da'slepki  $TbI$  ha'm birdey bolg'an eki  $TbI$ , olar  $\mathbf{g}_{(00.1)}$  vektoru' a'tirapi'nda  $60^0$  ( $180^0$ ) mu'yeshke buri'lg'an.

Ali'ng'an na'tiyjelerdin' barli'g'i' da atomli'q tegisliklerdin' qaytadan quruli'w sxemasi' ushi'n ji'lji'wlarg'a tiykarlang'an ekileniwge jaqi'n sxemani' usi'ni'wg'a mu'mkinshilik beredi (31-su'wret). Bul qaytadan quruli'w 6 ti'g'i'z jaylasqan tegisliklerden turatug'i'n toparlardi'n' [100] bag'i'ti'ndag'i'  $\sqrt{3/2}a$  shamasina ji'lji'wdan, biraq ha'r bir pashkadag'i' tegisliklerdin' birewinin' qozg'almawi' kerek. Bunday qaytadan quruli'wlarda domenlerdin' tek eki orientatsiyasi'ni'n' payda bolatug'i'nli'g'i'n an'sat ko'rsetiwge boladi'. Bul domenler eksperimentlerde baqlang'an ekilengen quruli'sqa sa'ykes bir birine sali'sti'rg'anda  $60^0$  (yamasa  $180^0$ ) shamasina buri'lg'an boladi'. Ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomli'q tegisliklerdin' izbe-izliginin' o'zgerislerin to'mendegi sxema tu'rinde ko'rsetiw mu'mkin:



31-su'wret.

2H→9R o'tiwindegi 6 ti'g'i'z jaylasqan  
tegislikler topari'ni'n' ji'lji'wlari'ni'n' izbe-  
izliginin' sxemasi'.

## Dissertაციyalı'q jumi's boyi'nsha uli'wmali'q juwmaqlar

1. Kristalli'q denelerdin' atomli'q-kristalli'q ha'm substrukturasi'n izertlewge mu'mkinshilik beretug'i'n difrakciyalı'q usi'llardi'n' kompleksi [Laue, terbeliw usi'llari', rentgentopografiyalı'q mu'yeshlik skannerlew usi'li', rentgen difraktometriyasi', elektronografiya] ZnS, ZnSe ha'm Tb kristallari'nda boli'p o'tetug'i'n fazali'q o'tiwlerdi, domenler sistemalari'ni'n' transformaciyalari'n ja'ne olardi'n' substrukturalari'n izertlew ushi'n qollani'ldi'.

2. Yari'm o'tkizgishli ZnS ha'm metall Tb kristallari'nda ori'n alatug'i'n strukturalı'q fazali'q aylani'slardi'n' ayqi'n tu'rdegi mexanizmlerin tabi'w maqsetinde kristallgeometriyalı'q tallaw o'tkerildi. Atap aytqanda polisintetikali'q ZnS kristallari'ndag'i' bag'i'tlang'an elastik deformaciyalardag'i' dvoyniklerdin' joq boli'wi'ni'n' parametrleri  $\mathbf{a} = \frac{1}{2}[1\bar{1}0]$ ,  $\mathbf{b} = \frac{1}{6}[11\bar{2}]$  tu'rinde jazilatug'i'n bo'leklik dislokaciyalardi'n' (111) tegisliginde qozg'ali'wi'ni'n' saldari'nan bolatug'i'nli'g'i' ko'rsetilgen. O'z gezeginde bunday dislokaciyalardi'n' dvoynikler arasi'ndag'i' shegarada payda bolatug'i'nli'g'i' ha'm olardi'n' qozg'ali'si'ni'n' bari'si'nda atomli'q

tegislikti ji'lji'tatug'i'nli'g'i' haqqi'ndag'i' kristallgeometriyalig' mag'li'wmatlar keltirilgen.

3. Cink sulfidi kristallari'nda bag'i'tlang'an elastik deformაციyalarda politiplik hallardi'n' qaliplesiwinde bo'leklik dislokაციyalardi'n' korrelyaciyalang'an qozg'ali'slari'ni'n' en' tiykarg'i' ori'ndi' iyeleytug'i'nli'g'i' tabi'lg'an. Eksperimentlerde ali'ng'an mag'li'wmatlar dvoynikler arasi'ndag'i' shegaralardi'n' belgili bir o'lshemlerge iye o'tiw zonalari' ekenligin, bunday zonalardi'n' ishinde bir dvoyniklik orientaciyani'n' parametrleri basqa dvoyniklik orientaciyani'n' parametrlerine u'zliksiz tu'rde o'zgeretug'i'nli'g'i' da'lillengen.

4. Dissertaciyada keltirilgen mag'li'wmatlar ha'm o'tkerilgen tallawlardin' juwmaqlari' ZnS si'yaqli' sfaleritlik strukturag'a iye kristallardag'i' fazali'q o'tiwlerdin' izbe-izligin ani'qlag'anda energiyani'n' sari'plani'wi' en' kem bolg'an ha'm bo'leklik dislokაციyalardi'n' ju'riwi menen o'tetug'i'n' struktuli'q aylani'slardin' kristallgeometriyalig' o'zgesheliklerin tabi'wdin' mu'mkin ekenligin ha'm olardi' Tb kristallari'ndag'i' fazali'q o'tiwlerge qollani'wg'a bolatug'i'nli'g'i' ko'rsetedi.

5. ZnS kristallari'ndag'i' dvoynikler arasi'ndag'i' shegaralardi'n' joqari' temperaturali' geksagonalli'q (vyurcit) fazani'n' qatlamlari'na iye bolatug'i'nli'g'i' boljang'an. Fazali'q o'tiwlerdin' izbe-izligi ori'n alg'anda bul qatlamlar strukturalig' este saqlaw effektinin' ju'zege keliwin ani'qlaydi'.

## **Paydalani'lg'an a'debiyatlar dizimi**

### **Normativ hu'jjetler:**

- I. O'zbekistan Respublikasi Konstitutsiyasi. T., O'zbekistan 2014
- II. O'zbekistan Respublikasining "Bilimlendiriw haqqida" g'i nizami T., 1997
- III. O'zbekistan Respublikasining Kadrlar tayarlaw milliy da'sturi T., 1997
- IV. O'zbekistan Respublikasi Ministrlar Kabinetining 36-Qarari menen 2015-jil 2-martta tastiyiqlang'an «Magistratura haqqida» g'i nizam T., 2015

### **O'zbekistan Respublikasi Prezidenti I.A.Karimovtin' shigarmalari**

- I. Каримов И.А. Янгича фикрлаш ва ишлаш - давр талаби. T.V. -T.: Ўзбекистон. 1997.
- II. Каримов И.А. Биз келажакимизни ўз кўлимиз билан кураимиз. T.VII. -T.: Ўзбекистон. 1999. –410 б.
- III. Каримов И.А. Биз келажакимизни ўз кўлимиз билан кураимиз. T.VII. -T.: Ўзбекистон. 1999. –410 б.

### **Arnawli' a'debiyatlar**

1. Дж.Кристиан. Теория превращений в металлах и сплавах. Часть 1. Термодинамика и общая кинетическая теория. Под редакцией А.Л.Ройтбурда. Издательство "Мир". Москва. 1978. 806 с.
2. А.Верма, П.Кришна. Полиморфизм и политипизм в кристаллах. Издательство Мир. Москва. 1969. 274 с.
3. Л. Кауфман, М. Коэн. Успехи физики металлов. - М.: Metallurgizdat, 1961. - Вып. IV. - С. 192-289. (Kaufman, L. Thermodynamics and Kinetics of Martensitic Transformations / L. Kaufman, M. Cohen // Progress in Metal Physics VII. - Pergamon Press, 1958).
4. Pandey D., Lele S. Изучение ГЦК→ ГПУ-мартенситного превращения с использованием дифракционного подхода. I. ГПУ→ ГЦК-превращение. On the

study of the F.C.C. → H.C.P. martensitic transformation using a diffraction approach. I. H.C.P. → F.C.C. transformation. "Acta Met.". 1986. Vol. 34. No. 3. P. 415-424.

5. А.Келли, Г.Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах. Издательство "Мир". Москва. 1974. 496 с.

6. Абдикамалов Б.А., Аптекарь И.Л., Сергеева В.М., Тонков Е.Ю. Фазовый переход в сплаве  $\text{Sm}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{S}$  при низких температурах. Физика твердого тела. Т. 18. № 10. С. 2975-2979.

7. А.С.Сонин. Курс макроскопической кристаллофизики. Учебное пособие. Для Вузов. ФИЗМАТЛИТ. Москва. 2006. 256 с.

8. А.Л.Ройтбурд. Теория формирования гетерофазной структуры при фазовых превращениях в твердом состоянии. Успехи физических наук. Том 113. Вып. 1. 1974. С. 69-104.

9. А.Л.Ройтбурд. Влияние механических напряжений на образование доменной структуры при мартенситных и ферроэластических фазовых переходах. Известия АН СССР. Серия физическая. Т. 47. № 3. 1983. С. 435-449.

10. Л.И.Лысак, А.И.Устинов. Влияние внешних воздействий на формирование мартенситных фаз. ФММ. 1975. Т. 39. Вып. 6. С. 1233-1238. Лысак Л.И. Кристаллометрия образования  $\epsilon$ -,  $\epsilon'$ -,  $k$ - и  $k'$ -мартенситных фаз в стали. ФММ. 1978. Т. 45. Вып. 6. 1230-1243. Лысак Л.И., А.И.Устинов. Механизм образования мартенситных структур в сплаве медь-кремний. ФММ. 1977. Т. 44. Вып. 5. С. 1050.

11. Л.И.Лысак. В сборнике "Металлофизика". Издательство "Наукова думка". Киев. Вып. 27. 1970. С. 40.

12. Желудев И.С., Шувалов Л.А. Ферроэлектрические фазовые переходы и симметрия кристаллов. Кристаллография, 1956, т. I, № 6, с. 681-688.

13. Желудев И.С., Шувалов Л.А. Ориентация доменов и макросимметрия свойств ферроэлектрических кристаллов. Изв. АН СССР, сер. физич., 1957, т. 21, № 2, с. 264-274.

14. Л.Г.Шабельников, В.Ш.Шехтман, О.М.Царев. ФТТ. Том 18. Вып. 6. 1976. С. 1529-1537.

15. В.Ш.Шехтман. Рентгенографическое наблюдение структурных переходов в кристаллах с особыми физическими свойствами. В сборнике "Кристаллическая

структура и свойства металлических сплавов". Издательство "Наука". 1978. С.22-30.

16. Б.А.Абдикамалов. Memory Effect in Lead Orthovanadate Crystals (Эффект памяти в кристаллах ортованадата свинца). Узбекский физический журнал. 2000. Vol. 2 (№ 5-6), С. 469-470.

17. П.Грот. Физическая кристаллография и введение к изучению физических свойств важнейших соединений. I часть. Физические свойства кристаллов. II часть. Геометрические свойства кристаллов. III часть. Кристаллографические вычисления. Приборы. Методы кристаллографических и кристаллофизических исследований. Издательство Риккера, С.-Петербург. 1897.

18. А. Гинье. Рентгенография кристаллов. Теория и практика. Перевод с французского. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва. 1961. 604 с.

19. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. Электронная микроскопия тонких кристаллов. Издательство «Мир». Москва. 1968. 574 с.

20. Абдикамалов Б.А., Иванов В.И., Шехтман В.Ш., Шмытько И.М. Исследование низкотемпературного структурного превращения в кристаллах прустита. ФТТ, 1978. Том 20, № 10, стр. 2963 – 2968.

21. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей. Москва. Издательство иностранной литературы. 1950. 572 с.

21. В.Шехтман, Р.Диланян. Введение в рентгеновскую кристаллографию. Подмосковный филиал Московского госуниверситета имени М.В.Ломоносова. Черноголовка. 2002. 144 с.

22. Дудник Е.Ф., Е.В.Синяков, С.В.Вагин, В.В.Гене. Доменная структура ферроэластика ортофосфата свинца. ФТТ. 1975. Т. 17. № 6. С. 1846.

23. С.Д.Тошев. Кристаллография. 1963. Т. 8. С. 680.

24. Г.А.Смоленский, Б.А.Боков, В.А.Исупов и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Издательство Наука. Ленинград. 1971. 476 с.

25. Tanaka M., Yatsuhashi T., Honjo G. J. Phys. Soc. Japan, 1970, v. 28, Suppl, p. 386.

26. Yatsuhashi T., Honjo G., Acta Cryst. 1972, v. A28, p. S236.

27. Nakatani N. Japan J. Appl. Phys. 1973. V. 12. P. 313.

28. Е.В.Цинзерлинг. Искусственное двойникование в кварце. Издательство "Наука". Москва. 1968. 160 с.
29. Steinmetz, D.R.; Jäpel, T.; Wietbrock, B.; Eisenlohr, P.; Gutierrez-Urrutia, I.; Saeed (2013), Revealing the strain-hardening behavior of twinning-induced plasticity steels: Theory, simulations, experiments **61**, Acta Materialia, p. 494.
30. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Издательство иностранной литературы. Москва. 1962. 584 с.
31. Дж. Хирт, И.Лоте. Теория дислокаций. Москва. Атомиздат. 1972. 600 с.
32. И.И.Новиков. Дефекты кристаллического строения металлов. Издательство "Металлургия". Москва. 1983. 232 с.
33. Б.И.Николин. Многослойные структуры и политипизм в металлических сплавах. Отв. ред. К. В. Чуистов; Институт металлофизики АН УССР. Издательство "Наукова думка". Киев. 1984. 240 с.
34. Ф.Иона, Д.Ширане. Сегнетоэлектрические кристаллы. Издательство "Мир". Москва. 1965. 555 с.
35. Физика сегнетоэлектриков. Современный взгляд. Под редакцией К.М.Рабе, Ч.Г.Ана, Ж.-М.Тироскона. 3-издание. Электронное. Москва. БИНОМ. Лаборатория знаний. 2015. 443 с.
36. М.Лайнс, А.Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. Издательство "Мир". Москва. 1981. 736 с.
37. Современная кристаллография. Том четвертый. Л.А.Шувалов, А.А.Урусовская, И.С.Желудев, А.В.Зелесский, С.А.Семилетов, Б.Н.Гречушников, И.Г.Чистяков, С.А.Пикин. Физические свойства кристаллов. Издательство «Наука». Москва. 1981. 496 с.
38. В.Ш.Шехтман, Л.Г.Шабельников, И.М.Шмытько, С.Х.Акназаров. ФТТ. 14. 3123. 19 72.
39. С.Х.Акназаров, Л.Г.Шабельников, В.Ш.Шехтман. ФТТ. 17. 30. 1975.
40. K.Aizu. Possible species wof "ferroelastic" crystals and wof simultaneously ferroelectric and ferroelastic crystals. J. Phys. Soc. Japan. 1969. Vol. 27. No. 2. P.387-396.
41. Шувалов Л.А. Сегнетоэластики // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1979. Т. 43, № 8. С. 1554-1560.

42. М.Бургер. Рентгеновская кристаллография. Перевод с английского В.П.Тарасовой и М.П.Шаскольской. Под редакцией М.М.Уманского. Государственное издательство иностранной литературы. Москва. 1948. 484 с.

43. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982, 632 с.

44. А. А. Русаков. Рентгенография металлов. Москва. Атомиздат. 1976. 480 с.

45. Б. А. Абдикамалов, М. Т. Ережепов, У. К. Ерназаров. Наблюдение субструктуры полисинтетических кристаллов сульфида и селенида цинка. Физика твердого тела. 1992. 34. С. 1425-1428.

46. Абдикамалов Б.А. Аристов В.В., Шехтман В.Ш., Шулаков Е.В. Применение камеры углового сканирования для изучения совершенства реальной структуры монокристаллов. Тезисы докладов Всесоюзного совещания «50 лет отечественного рентгеновского приборостроения» и XII Всесоюзного совещания по рентгеновской спектроскопии. Ленинград. 1978.

47. Я.С.Уманский, Рентгенография металлов, Москва, Металлургия, 1967, с. 236.

48. Э.В.Суворов, Физические основы современных методов исследования реальной структуры кристаллов, Черноголовка, 1999, 231 с.

49. Лабораторный практикум, Рентгеновские и электронно-микроскопические методы анализа атомно-кристаллической структуры материалов, под ред. В.Ш.Шехтмана, Э.В.Суворова, Черноголовка, 2000, 138 с.

50. Е.В.Шулаков, В.В.Аристов. Формирование топографического изображения монокристаллов в методе углового сканирования. Препринт ИФТТ АН СССР. Черноголовка. 1977.

### **Internet materiallar**

- I. <http://www.webpoliteh.ru/subj/fizatom/611-rabota-4-difrakciya-elektronov-na-kristallicheskix-strukturax.html>
- II. <http://www.tpu.ru/files/nu/fiz-2007.doc>
- III. <http://donhist.fromru.com/el.microscopy2.htm>
- IV. <http://www.microscopist.ru/ru/events/sem03/>