

# **Berdaq ati'ndag'i' Qaraqalpaq ma'mleketlik universiteti**

## **Fizika-matematika fakulteti**

### **Uli'wma fizika kafedrası'**

## **FIZIKALI'Q MATERIALTANI'W**

**pa'ni boyi'nsha**

### **LEKCIYALAR TEKSTLERİ**

Fizika qa'nigeligi studentleri  
ushi'n du'zilgen, 3-kurs, 5-semestr.

Lekciyali'q sabaqlar 14, seminarlar 22 saat, studentlerdin' o'z betinshe  
jumi'slari'ni'n' ko'lemi 26 saat (ja'mi 62 saat).

Pa'nnin' sabaqlarg'a mo'lsherlengen oqi'w programmasi' Qaraqalpaq ma'mleketlik universitetinin' ilimiyy-metodikali'q ken'esinin' 2013-ji'l 29-iyun ku'ngi ma'jilisinde qarap shi'g'i'ldi' ha'm maqullandi'. Protokoldi'n' qatar sani' 8.

Pa'nnin' sabaqlarg'a mo'lsherlengen oqi'w programmasi' fizika-matematika fakultetinin' ilimiyy-metodikali'q ken'esinin' 2013-ji'l 28-iyun ku'ngi ma'jilisinde qarap shi'g'i'ldi' ha'm maqullandi'. Protokoldi'n' qatar sani' 9.

Pa'nnin' sabaqlarg'a mo'lsherlengen oqi'w programmasi' uli'wma fizika kafedrası'ni'n' ilimiyy-metodikali'q seminari'ni'n' 2013-ji'l 21-iyun ku'ngi ma'jilisinde qarap shi'g'i'ldi' ha'm maqullandi'. Protokoldi'n' qatar sani' 11.

Du'ziwshi professor B.Abdikamalov.

No'kis 2013

## Annotaciya

Birden-bir fizikali'q tiykarda ha'r qi'yli' materiallardi'n' qurami', quri'li'si' ha'm qa'siyetleri arasi'ndag'i' baylani's, olardi'n' si'rtqi' ta'sirler asti'ndag'i' o'zgerisleri qarap shi'g'i'lg'an. Sanaatta qollani'latug'i'n ko'plegen materiallar, olardi'n' quri'li'si', tiykarg'i' fizikali'q qa'siyetleri, sol qa'siyetlerge si'rttan ta'sirler tu'siriwdin' usi'llari', materiallardi'n' klassifikasiyasi' haqqi'ndag'i' mag'li'wmatlar keltirilgen. Sabaqlardi'n' bari'si'nda studentler o'ndiris penen sanaatta ken'nen qollani'latug'i'n temirdin' (polat penen shoyi'n), ren'li metallardi'n' (bronzalar ha'm basqalar) birikpeleri haqqi'ndag'i' bakalavrлardi'n' baslang'i'sh bilimlerge iye boli'wi' na'zerde tuti'lg'an.

## Kirisiw

"Materialtani'w" kursi'n u'yreniw fizika boyi'nsha bakalavr qa'nigeler tayarlawda to'mendegidey ma'selelerdi sheshiwge bag'darlang'an:

- materiallardi'n' quri'li'si' menen qa'siyetlerin ani'qlaytug'i'n tiykarg'i' ni'zamli'qlar haqqi'ndag'i' bekkem bilimlerge iye boli'w, materiallardi' qayta islewdin' usi'llari'n, materiallardi'n' qa'siyetlerinin' ekspluataciyalaw ha'm paydalani'w bari'si'nda qalay o'zgeretug'i'nli'g'i' haqqi'ndag'i' mag'li'wmatlarga iye boli'wi';
- texnikada ken'nen qollani'latug'i'n materiallardi'n' sapasi'n tekserip ko'riw usi'llari'n paydalani'wdi' u'yreniw;

Adamlardi' barli'q waqi'tta da ha'r qi'yli' bolg'an zatlar qorshap turadi'. Adamlar zatlar menen is ali'p baradi', olardi' paydalanadi', zatlardi' paydalanadi' ha'm olardan o'zleri ushi'n za'ru'rli bolg'an a'sbap-u'skenelerdi, turmi'sta ku'ndelikli paydalani'latug'i'n predmetlerdi sog'i'p aladi'.

Zatlar ushi'n a'dette mi'naday a'piwayi' ani'qlamani' paydalanadi': zatlar materiyani'n' tu'ri, diskret du'zilislerdin' ji'ynag'i' boli'p tabi'ladi'.

Paydalani'wdi'n' mu'mkinshiligine qarap zatlardi' shiyki zat, material yamasa buyi'm dep qaraw mu'mkin.

Shiyki zat – bunnan bi'lay qayta islew ushi'n arnalg'an zat.

Material – qanday da bir na'rsemi (predmetti, buyi'mdi') sog'i'w ushi'n arnalg'an zat. O'ndiriste materiallardi' tutqan orni' boyi'nsha tiykarg'i' ha'm qosi'msha materiallar dep ekige bo'ledi.

Tiykarg'i' materiallar – o'nimdi sog'i'w ushi'n tikkeley jumsalatug'i'n (paydalani'latug'i'n) material, bunday material o'nmnni' tiykarg'i' zatli'q bo'limin quraydi'.

Qosi'msha materiallar – o'ndiriste paydalani'latug'i'n, biraq o'ndirilgen o'nmnni' qurami'na kirmeytug'i'n materiallar boli'p tabi'ladi' (mi'sali' janar may, ag'ash materiallar ha'm sog'an usag'anlar).

Buyi'm (produkciya) – adam miynetinin' aq'i'rg'i' na'tiyjesi.

Materialtani'w – materiallardi'n' qurami', quri'li'si' ha'm qa'siyetleri arasi'ndag'i' baylani'slardi', solardi'n' mexanikali'q, ji'lli'li'q, ximiyali'q, elektromagnitlik ha'm basqa da ta'sirler asti'nda o'zgeris ni'zamlari'n u'yrenetug'i'n iliminin' ha'r qi'yli' pa'nler arasi'ndag'i' bo'limi. Materialtani'w u'yrenetug'i'n qa'siyetlerge zatlardi'n' strukturasi', bul zatlardi'n' elektronli'q, ji'lli'li'q, ximiyali'q, magnitlik, optikali'q ha'm basqa da qa'siyetleri kiredi. Materialtani'wdi' fizika menen ximiyani'n' materiallardi'n' qa'siyetlerin u'yrenetug'i'n bo'lime jatqari'wg'a boladi'. Usi'ni'n' menen birge bul ilim materiallardi'n' strukturasi'n izertlewge mu'mkinshilik beretug'i'n bir qatar usi'llardi' paydalanadi'. Sanaatta ilimdi ko'p talap etetug'i'n buyi'mlardi', a'sirese mikro- ha'm nanoo'lshemlerdegi ob'ektlerdi do'retkende materiallardi'n' xarakteristikalarini, qa'siyetlerin ha'm quri'li'si'n toli'q biliw

kerek. Bul ma'selelerdi sheshiwge materialtani'w ilimi bag'i'shlang'an.

Materiallardi'n' quri'li'si' menen qa'siyetlerin biliw principialli'q jaqtan pu'tkilley jan'a materiallardi'n' ha'm ha'tte industriyadag'i' jan'a bag'darlardi'n' rayda boli'wi'na ali'p keledi.

Materialtani'w paydalanatug'i'n usi'llar: metallografiyalı'q analiz, elektronli'q mikroskopiya, skannerlewshi zondli'q mikroskopiya, rentgenstrukturalı'q analiz, mexanikali'q qa'siyetlerdi ani'qlawshi' usi'llar, kalorimetriya, magnitlik rezonans, termografiya ha'm basqalar.

Materialtani'wdag'i' izertlewlardin' bag'darlari':

- Kosmosli'q materialtani'w – kosmos ken'isliginde paydalani'w mu'mkin bolg'an materiallardi' do'retiw ha'm u'yreniw.

- Nanotexnologiya – o'lshemleri bir neshe nanometr bolg'an materiallar menen konstrukciyalardi' do'retiw ha'm u'yreniw.

- Kristallografiya – kristallar fizikasi'n u'yreniw o'z ishine to'mendegilerdi aladi':

- kristallardi'n' defektleri – kristallardi'n' strukturasi'n'i'n' buzi'qli'qlari'n u'yreniw, olardi'n' ishine si'rttan kirgen basqa sorttag'i' bo'leksheler de kiredi ha'm olardi'n' barli'g'i'ni'n' kristaldi'n' tiykarg'i' materiali'ni'n' qa'siyetlerine ta'siri;

- difrakciyalı'q texnologiyalar (rentgenstrukturalı'q analiz si'yaqli') zatlardi'n' fazali'q kurami'n izertlew ushi'n qollani'ladi'.

- Metallurgiya (metall tani'w) – ha'r qi'yli' metallardi'n' qa'siyetlerin uyreniw.

- Keramika (elektronika ushi'n materiallardi' do'retiw ha'm u'yreniw, masali' yari'm o'tkizgishler, kompozitlik materiallar, kernewli zatlar ha'm olardi'n' transformaciyalari' menen shug'i'llanatug'i'n strukturalı'q keramika).

- Biomateriallar – adam denesine implantantlar si'pati'nda paydalani'w mu'mkin bolg'an materiallardi' izertlew.

Materialtani'w su'yenetug'i'n ilimlerdin' bo'limleri:

- Termodinamika – fazalardi'n' orni'qli'g'i'n ha'm o'zgerislerin u'yreniw, fazali'q diagrammalardi' quri'w ushi'n.

- Termik analiz, termogravimetriya - temperatura ha'm ha'r qi'yli' gazler ta'sir etkende materiallardi'n' qa'siyetlerinin' o'zgerislerin u'yreniw.

- Kinetika – zatlardi'n' fazali'q hali'ni'n' o'zgerislerin, strukturani'n' ji'lli'li'qti'n' ta'sirinde i'di'rawi'n ha'm diffuziya qubi'li'si'n izertlew ushi'n.

- Qattı' deneler ximiyasi' – qattı' fazada boli'p o'tetug'i'n ximiyali'q processlerdi u'yreniw ushi'n.

- Qattı' deneler fizikasi' – qattı' denelerdegi kvantli'q effektleridi, soni'n' ishinde yari'm o'tkizgishlerdi ha'm asa o'tkizgishlerdi u'yreniw ushi'n.

Materialdi'n' qurami' – materialdag'i' qurawshi'lardi'n' mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'. Quramlardi' qurawshi'lardi'n' ta'biyati' boyi'nsha bir birinen ayi'radi'. Mi'sali' ximiyali'q mineralli'q ha'm basqa da quramlardi' izertlew mu'mkin.

Ximiyali'q kuram – materiallardi'n' qurami'nda ximiyali'q elementlerdin' yamasa olardi'n' birikpelerinin' (mi'sali' oksidlerdin') mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'.

Mineralli'q kuram - tas materiallardi'n' kurami'ndag'i' minerallardi'n' mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'.

Materialdi'n' quri'li'si' -tiykarg'i' qa'siyetlerin payda etiwshi ha'm saqlap turi'wshi' zatta ori'n alg'an orni'qli' baylani'slari'ni'n' ji'ynag'i'.

Materialdi'n' strukturası' – zatti' qurawshi' qurawshi'lardi'n' formasi', o'lshemleri ha'm bir birine sali'sti'rg'anda qalayi'nsha jaylasqanli'g'i'ni'n' xarakteri. Atomli'q-kristalli'q struktura – zattag'i' atomlar menen molekulalardi'n' bir birine sali'sti'rg'andag'i' jaylası'wi'.

Materialdi'n' quri'li'si' - materialdi' basqa materiallardan ayi'ri'p turatug'i'n belgi.

Materialtani'wdi' u'yreniwdegi sheshiliwi kerek ma'sele mi'nadan ibarat: qurami', quri'li'si', strukturası'ni'n' materiallardi'n' qa'siyetleri arasi'ndag'i' baylani'sti' ornati'w ha'm usi'ni'n' tiykari'nda za'ru'rli bolg'an qa'siyetlerdi payda etiw ja'ne sonday qa'siyetlerdi

saqlap turi'w.

## 1. Zatlardi'n' agregat hallari'

Ali'ni'wi' (payda boli'wi') boyi'nsha (genezisi boyi'nsha) zatlardi' ta'biyyiy ha'm jasalma dep ekige bo'ledi.

Genezis – kelip shi'g'i'wi', payda boli'wi'. Ken' ma'niste tuwi'li'w momenti ha'm belgili bir halg'a, tu'rge, kubi'li'sqa ali'p keletug'i'n rawajlani'w processi.

Ta'biyyiy materiallardi' ta'biyyiy shiyki zattan da'slepki ximiyali'q quramdi' ha'm strukturani' o'zgertpey mexanikali'q qayta islew joli' menen aladi'. Bul materiallar shiyki zatti'n' tiykarg'i' qa'siyetlerine iye boladi'. Mi'sal retinde paydalani'w aldi'nda tek tazalanatug'i'n ta'biyyiy qumdi' keltiriw mu'mkin. Tek ayi'ri'm jag'daylarda g'ana kumdi' da'neshelerinin' o'lshemleri boyi'nsha ha'r qi'yli' sortlarga bo'ledi.

Jasalma materiallar – ta'biyyiy yamasa jasalma shiyki zatlardan arnawli' tu'rdegi qayta islewlerdin' na'tiyjesinde ali'nadi'. Usi'ni'n' saldari'nan oni'n' qa'siyetleri da'slepki shiyki zatti'n' qa'siyetlerinen ku'shli ayri'ladi'. Mi'sali' suwda jumsaratug'i'n i'laydan belgili bir forma bergennen ha'm ku'ydirgennen keyin suw ta'sir etpeytug'i'n gerbishti, diywalg'a jabi'sti'ratug'i'n plitalardi', basqa da buyi'mlardi' aladi'.

O'zinin' agregat hali' boyi'nsha barli'q zatlar menen materiallar qatti', suyi'q ha'm gaz ta'rizli tu'rde boli'wi' mu'mkin. Ha'r bir agregat hal zatti'n' bilgili bir quri'li'si' ha'm sog'an sa'ykes qa'siyeti boyi'nsha ayri'ladi'. Ha'r bir agregat hal ushi'n atomlardi'n' yamasa molekulalardi'n' bir birine sali'sti'rg'andag'i' jaylas'iwlari'nda belgili bir simmetriya ori'n aladi'. Plazmani' a'dette to'rtinshi agregat xal dep ataydi'.

Zatti'n' agregat hali' – bir zatti'n' ha'r qi'yli' hallari' (suw, temir, ku'kirt ha'm basqalar), ha'r qi'yli' agregat hallar arasi'ndag'i' o'tiwler (mi'sali' muzdi'n' suwg'a aylani'wi') zatti'n' fizikali'q qa'siyetlerinin' sekirmeli tu'rde o'zgeriwine ali'p keledi (mi'sali' ti'g'i'zli'qtin', elektr o'tkizgishliktin', ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' ha'm basqa da fizikali'q qa'siyetlerdin').

Ko'pshilik zatlar u'sh agragat haldi'n' ha'r birinde tura aladi'. Anaw yamasa mi'naw agregat haldi' ju'zege keltiriw bazi' bir fizikali'q sha'rtlerge baylani'si'. usi' sha'rtlerdin' ishinde temperatura menen basi'm en' basli' ori'nli' iyeleydi. Mi'sali' distillyaciyalang'an suw a'dettegi  $r = 101\ 325\ \text{Pa}$  normal basi'mdi' ha'm  $t = 0^\circ\text{C}$  temperaturada kristallanadi' ha'm muzg'a aylanadi', al  $100^\circ\text{C}$  temperaturada qaynaydi' ha'm puwg'a aylanadi'.

Agregat hallardi'n' o'zgerisi ji'lli'li'q energiyasi'n juti'w yamasa ji'lli'li'q energiyasi'n bo'lip shi'g'ari'w menen a'melge asadi'. Bul jag'day sa'ykes joqari'raq yamasa to'menirek temperaturalarg'a iye agregat xallarg'a o'tiwge tuwri' keledi.

Xatlardi'n' qatti' hali' – formani'n' orni'qli'g'i' menen xarakterlenetug'i'n zatti'n' agregat hali'. Qatti' haldag'i' zatlardi' qatti' deneler dep ataydi'. Olardi' ximiyali'q qurami' boyi'nsha bir ha'm eki (yamasa bir neshe) qurawshi'dan turatug'i'n quymalar, al ishki quri'li'si' boyi'nsha kristalli'q ha'm amorfli'q boli'p ekige bo'ledi.

Qurawshi' – quramli'q bo'lim, biz karap ati'rg'an jag'dayda ximiyali'q element.

Kristalli'q zatlar – qatti' halda kristalli'q quri'li's, yag'ni'y atomlardi'n' (molekulalardi'n') u'sh o'lshemli da'wirli jaylas'iwi' ori'n aladi'.

Kristalli'q zatlar kristallar, polikristallar, tas tu'rindegi agregatlar tu'rinde gezlesedi.

Dispersligi – disperslik agregatlardag'i' qanday da bir zatti'n' bo'lekshelerinin' o'lshemlerinin' (maydalani'w da'rejesinin') xarakteristikasi'. Disperslik o'lshemi – barli'q bo'lekshelerdin' uli'wmali'q betinin' maydani'ni'n' qos'i'ndi' ko'lemge qatnasi'.

Amorf zatlar – qatti' halda izotrop fizikali'q qa'siyetlerge iye ha'm eriw noqati' (eriw temperaturasi') bolmaydi' (qatti' haldan suyi'q halg'a o'tiw izbe-izlik penen ju'zege keledi). Ta'biyyatta amorf deneler kristalli'q denelerge sali'sti'rg'anda kemirek tarqalg'an.

Zatti'n' suyi'q hali' (suyi'qli'q) – zatti'n' ag'i'w ha'm zat sali'ng'an i'di'sti'n' formasini' qabi'l etiw qa'siyetlerine iye hali'.

Suyi'qli'qlarg'a qatti' (olar o'zlerinin' ko'lemin saqlaydi', u'ziliwge bazi' bir bekkemlikke iye) ha'm gaz ta'rızlı (i'di'sti'n' formasi'n qabi'l etedi, u'zlikiz gaz xali'na o'te aladi') zatlardi'n' qa'siyetleri ta'n. Soni'n' menen birge suyi'qli'qlar tek o'zlerine ta'n qa'siyetlerge de iye boladi'(mi'sali' aqqi'shli'q).

Suyi'qli'qlardi' ximiyali'q kurami' ha'm fizikali'q ta'biyati' boyi'nsha klassifikaciyalaw mu'mkin.

Ximiyali'q kurami' boyi'nsha bir qurawshi'g'a iye suyi'qli'qlar (taza suyi'qli'qlar), eki yamasa ko'p qurawshi'larg'a iye suyi'q aralaspalar – eritpeler dep bo'ledi. Ta'biyatta ushi'rasatug'i'n derlik barli'q suyi'qli'qlar eritpeler boli'p tabi'ladi'.

Eriwshilik – aralaspadag'i' zatti'n' basqa bir yamasa bir neshe zatlar menen bir tekli bolg'an sistemalar – eritpeler payda etiwge uqi'pli'g'i'. Bir qurawshi'ni' ekinshi qurawshi'g'a eritiw koncentraciyalardi'n' o'zgeriw sheklerinde ju'zege keledi. Qatti' deneler suyi'qli'qta tek belgili bir koncentraciyag'a shekem eriydi. Koncentraciyani'n' ma'nisi temperaturadan g'a'rezli ha'm oni' toyi'ni'w koncentraciyasi' dep ataydi'. Suyi'qli'qlar da bir biri menen aralasa aladi'. Biraq bul suyi'qli'qlardi'n' barli'g'i' ushi'n tiyisli emes. Ko'plegen suyi'qli'qlar bir biri menen sheksiz aralasa almaydi'.

Erigen zatlardi'n' koncentraciyasi' boyi'nsha eritpelerdi toyi'ng'an, toyi'nbag'an ha'm asa toyi'ng'an dep u'shke bo'ledi. Erigen kurawshi'ni'n' bo'lekshelerinin' o'lshemlerine baylani'sli' haqi'yqi'y eritpelerdi ha'm disperslik sistemalardi' bir birinen ayi'radi'.

Haqi'yqi'y eritpe – eki yamasa ko'p sanli' zatlardi'n' (qurawshi'lardi'n') ayi'ri'm atomlar, ionlar yamasa molekulalar tu'rindagi bir tekli aralaspasi'. Eritilgen zatti'n' bo'leksheleri eritkishtin' molekulalari' menen o'zinshe diffuziyani'n' saldari'nan aralasadi'. Haqi'yqi'y eritpeler barli'q waqi'tta mo'ladir ha'm ko'p waqi'tlar dawami'nda orni'qli' boli'p keledi.

Eritkishler – ha'r qi'yli' zatlardi' eritiwge uqi'pli' organikali'q emes (en' basli'si' suw) yamasa organikali'q (benzol, xloroform, aceton ha'm basqalar) birikpeler. Eritkishlerge qoyi'latug'i'n tiykarg'i' talaplar – eritiletug'i'n zatqa qatnasi' boyi'nsha ximiyali'q inertlik, qol jeterlikligi ha'm bahasi'ni'n' arzan boli'wi'.

Disperslik sistemalar – basqa bir zatti'n' (dispersiyali'q ortali'q, eritkish) bir tekli ortali'g'i'nda jaylasqan qanday da bir zatti'n' ko'p sanli' mayda bo'lekshelerinen (disperslik faza, eritilgen zat) turatug'i'n aralaspalar. Disperslik sistemalar bo'leksheler arasi'ndag'i' ku'shli rawajlang'an ayi'ri'w beti menen xarakterlenedi.

Bo'lekshelerdin' u'lkenlige (dispersligine) baylani'sli' turpayi' disperslik ha'm juqa dispersli sistemalar dep ekige bo'ledi. Turpayi' dispersli sistemalarda bo'lekshelerdin' o'lshemleri u'lken, olardi' optikali'q mikroskopeti'n' ja'rdeminde ko'riwge boladi', bunday sistemalardi'n' hali' orni'qli' emes: tiykari'nan salmaq ku'shinin' ta'sirinde bo'lekshelerdin' bo'liniwi ori'n aladi'.

Fizikali'q ta'biyati' boyi'nsha barli'q suyi'qli'qlardi' normal ekige, eritpelerge ha'm suyi'q kristallarg'a bo'ledi.

Normal suyi'qli'qlar (taza suyi'qli'qlar ha'm eritpeler) si'rtqi' ta'sirler bolmag'an jag'daylarda makorskopiyali'q jaqtan bir tekli ha'm izotropli'. Olardi'n' qa'siyetleri (ji'lli'li'q o'tkizgishligi, jabi'sqaqli'g'i', o'z o'zine diffuziya ha'm basqalar) qizdi'rg'anda yamasa ti'g'i'zli'g'i'n kemeytkende gazlerdin' qa'siyetlerine jaqi'nlası'wg'a umti'ladi'. Al kristallani'w temperaturasi'na jaqi'n temperaturalarda normal suyi'qli'qlardi'n' ko'pshilik qa'siyetleri (ti'g'i'zli'g'i', qisi'lg'i'shli'g'i', ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i', elektr o'tkizgishligi ha'm basqalar) sa'ykes qattı' zatlardi'n' tap sonday qa'siyetlerine jaqi'nlasadi'.

Suyi'q kristallar anizotropli'q fizikali'q qa'siyetlerge iye. Bunday anizotropiyani' molekulalardi'n' jaylasi'wi'ndag'i' orientaciyalı'q ta'rtip payda etedi. Suyi'q kristallardag'i' orientaciyalı'q ta'rtipleskenlik bettin' hali'nan g'a'rezli ha'm basi'mni'n', mexanikali'q ju'k tu'siriwdin', elektr, magnit maydanları'ni'n', qizdi'ri'wdi'n' ta'sirinde an'sat o'zgeredi.

A'melde suyi'q kristallardi'n' elektrooptikali'q qa'siyetleri ken'nen paydalani'lmaqta. Olar ha'tiplik-sanli'q indikatorlarda (elektronli'q saatlar, televizorlardi'n' ekranlari' ha'm

basqalar), basqari'wshi' ekranlardi'n' ha'r qi'yli' tu'rlerinde, optikali'q elektronli'q a'sbaplarda qollani'ladi'.

Zatti'n' gaz ta'rizli hali' – bul agregat xalda zatti'n' bo'leksheleri bir biri menen a'zzi baylani'sqan, sonli'qtan olar erkin qozg'aladi' ha'm si'rtqi' maydanlar bolmag'anda i'di'sti'n' barli'q ko'lemin bir tekli tolti'radi'.

Qa'legen zatti' gaz ta'rizli qalg'a temperatura menen basi'mdi' saylap ali'w menen o'tkeriwge boladi'. Zatti'n' qatt'i' haldan gaz ta'rizli halg'a tikkeley o'tiwin sublimaciya (vozgonka) dep ataydi'.

## 2. Molekulalar arasi'ndag'i' baylani's ku'shleri

Zatlardi'n' quri'li'si' oni'n' strukturali'q bo'leksheleri (atomlari', iondari', molekulalari') arasi'ndag'i' ta'sirlesiw ku'shlerinin' xarakteri boyi'nsha ani'qlanadi'. Ta'sirlesiw ku'shleri bo'leksheler arasi'ndag'i' normal ten' salmaqli'q qashi'qli'qtag'i' tarti'si'w ha'm iyterisiw ku'shlerinin' qosi'ndi'si'nan turadi'. Bul ku'shlerdin' ta'sir etiw radiusi' 10 nm den (nanometrden) artpaydi'. Ta'sirlesiw ku'shlerinin' xarakteri menen shamasini'n' o'zgerisleri ha'r qi'yli' agregat hallardi'n' payda boli'wi'na ali'p keledi. Mi'sali' qatt'i' zattan eritpenin' payda bolawi'na, kristalli'q kvarcti'n', oni'n' ha'r qi'yli' polimorfli'q formalari'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keledi. Qatt'i' zatlar jag'dayi'nda bul ku'shler fizikali'q denenin' ko'lemin ani'qlaydi'.

Zatlardi'n' ishki quri'li'si' oni'n' strukturali'q bo'lekshelerinin' bir biri menen ta'sirlesowi menen ani'qlanadi'. Bunday ta'sirlesiwdi baylani's dep ataydi'. Ximiyali'q ha'm molekulalari'q baylani'slardi' bir birinen ayi'radi'.

Atomlar (ionlar) arasi'ndag'i' ximiyali'q baylani's tiykari'nan elektrlik ta'biyatqa iye ku'shler arqali' ju'zege keledi. Bunday baylani's bir atomnan ekinshi atomg'a elektronni'n' o'tiwi yamasa atomlar jubi'nda (yamasa atomlar topari'nda) elektronlardi'n' ortali'qli'q elektronlarg'a aylani'wi' menen payda boladi'. Ximiyali'q baylani'sti' atomlar arasi'ndag'i' ten' salmaqli'q qashi'qli'qti'n' shaması' 1,5 ... 4 Å arali'g'i'nda boladi'. Ximiyali'q baylani'sti'n' energiyasi'ni'n' shaması' shama menen 8 den 1000 kDj/mol arasi'nda jaylasadi'.

Ximiyali'q baylani'slardi' atomlar arasi'ndag'i' elektronli'q ti'g'i'zli'qti'n' tarqali'wi' (elektronli'q ti'g'i'zli'qti'n' tarqali'wi'ni'n' simmetriyasi') boyi'nsha klassifikaciyalaydi'. Ximiyali'q baylani'sti'n' tiykarg'i' tu'rleri: ionli'q, kovalentlik, metalli'q ha'm vodorodli'q.

Molekulalar arasi'ndag'i' o'z-ara ta'sirlesiw ku'shleri tarti'si'w ku'shleri, biraq kishi arali'qlarda iyterisiw ku'shleri boli'p tabi'ladi'. O'z-ara ta'sir etisiw na'tiyjesi molekulalardi'n' ortasha kinetikali'q energiyasi' menen molekulalar arasi'ndag'i' ta'sir etisiwge sa'ykes keletug'i'n ortasha potencial energiya arasi'ndag'i' qatnasqa baylani'sli'. Suyi'q hal molekulalardi'n' ortasha toli'q energiyasi'ni'n' teris ma'niske shekem kemeygende ju'zege keledi.

Atomdag'i' elektronlar yadrolar a'tirapi'nda kulon ku'shleri ta'sirinde uslap turi'ladi'. Toli'g'i' menen alg'anda atom elektrlik jaqtan neytral. Molekulalar atomlardan turadi'. Molekulalardag'i' atomlardi' uslap turatug'i'n ku'shler de ta'biyati' boyi'nsha elektrlik ku'shler boli'p tabi'ladi'. Bul ku'shlerdin' payda boli'wi' quramali'raq. Molekulalardag'i' atomlar arasi'ndag'i' baylani'sti'n' tiykari'nan eki tu'ri bar.

**Ionli'q baylani's.** Geypara jag'daylarda elektrlik jaqtan neytral bolg'an atom basqa sorttag'i' atomni'n' elektronlari'n o'zine tarti'p ali'p teris zaryadqa iye iong'a aylanadi'. Bir elektrondi' tarti'p alg'an atom bir valentli iong'a, eki elektronli' tarti'p alg'an atom eki valentli iong'a aylanadi'. Al elektroni'n jog'altqan atom da o'z gezeginde on' zaryadli' iong'a aylanadi'.

Zaryadi' ha'r qi'yli' belgige iye ionlar arasi'ndag'i' o'z-ara tarti'si'w ku'shi (Kulon ku'shi) elektrlik jaqtan neytral molekulalardi'n' payda boli'wi'n ta'miyinleydi.

Usi'nday molekulalar si'pati'nda NaCl molekulasi'n ko'rsetiw mu'mkin. Bul molekulani' ionlar tu'rinde bi'lay jazi'w mu'mkin  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ .  $\text{Na}^+$  menen  $\text{Cl}^-$  ionlari' arasi'ndag'i' tarti'si'w

potencial energiyasi' (SI sistemasi'nda)

$$E_{pot}(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_0}.$$

Bul formulada  $r_0$  arqali' ionlar arasi'ndag'i' ten' salmaqli'q arali'q belgilengen. SGS sistemasi'nda bul formula a'piwayi' tu'rge iye boladi':

$$E_{pot}(r) = -\frac{e^2}{r_0}.$$

Bul energiya menen bir qatarda on' ma'niske iye ionlar arasi'ndag'i' o'z-ara iyterisiw energiyasi' da bar (iyterisiw ha'r bir ionni'n' belgili bir ko'lemdi iyelewine baylani'sli', ion menen iyelengen ko'lemge basqa ionlar kire almaydi'). Usi' iyterisiw na'tiyjesinde ionlar bir birine kishi arali'qlarg'a jaqi'nlasa almaydi'. Iyterisiw ku'shleri kishi qashi'qli'qlarda u'lken ma'niske iye boli'p, qashi'qli'q u'lkeygende tez kishireyedi. NaCl molekulasi'ni'n' dissociaciyasi' ushi'n  $E_{pot}(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_0}$  formulasi'nan mi'naday an'latpa alami'z:

$$\Delta E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$$

$r_0$  din' gaz ta'rizli haldag'i' o'zgerisi ushi'n  $r_0 = 2.5 \cdot 10^{-10}$  m. Demek  $\Delta E \approx 9 \cdot 10^{-19}$  Dj. Bul shama eksperimentke 5 procentlik da'llikte sa'ykes keledi. Usi'nday usi'l menen basqa molekulalar ushi'nda qanaatlandi'rarli'qtay na'tiyjeler ali'nadi'.

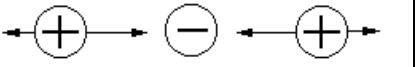
Fizikali'q ko'z-qaras boyi'nsha ionli'q baylani's elektronni'n' zaryadi'na eselik zaryadlar almasi'w arqali' a'melge asadi'.

Eger elektronni'n' zaryadi'na pu'tin san eselenbegen zaryad almasi'w bolg'an jag'daylarda kovalentlik baylani's du'ziledi.

**Kovalentlik baylani's.** Ionli'q baylani's ko'p sandag'i' molekulalardi'n' qalay payda bolatug'i'nli'g'i' tu'sindire almaydi'. Onday molekulalar si'pati'nda, mi'sali', O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> molekulalari'n ko'rsetiwge boladi'. Bul molekulalardi'n' qurami'ndag'i' atomlardı'n' ekewi de ten' huqi'qli'. Sonli'qtan olardi'n' birewi on', ekinshisi teris zaryadlanadi' dep ayta almaymi'z. Usi'nday molekulalardag'i' atomlar arasi'ndag'i' baylani's **kovalent baylani's** dep ataladi'.

Kovalent baylani'sti' tu'siniw tek kvant mexanikasi' ja'rdeinde a'melge asi'ri'ladi'. Biraq bul baylani'sti'n' fizikalı'q ma'nisi klassikali'q fizika tiykari'nda da beriliwi mu'mkin.

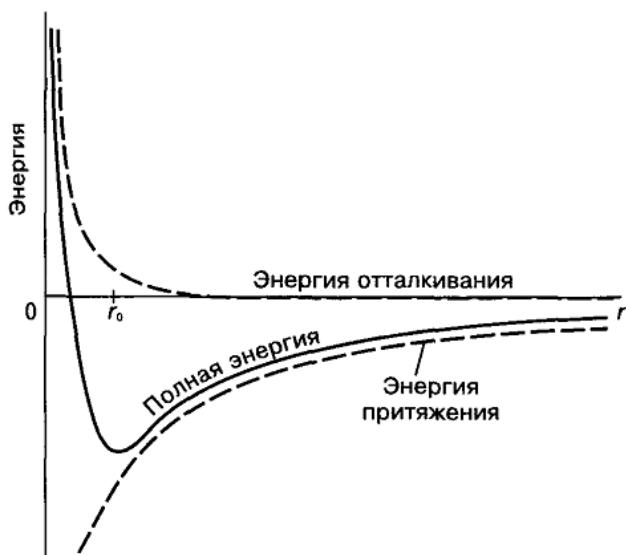
Eki on' zaryad bir birinen iyteriledi. Usi' eki birdey bolg'an zaryadtı'n' ortasi'na absolyut ma'nisi boyi'nsha eki on' zardti'n' qosı'ndı'sı'na ten' teris zaryadlang'an bo'leksheni jaylasti'rayi'q. Bunday jag'dayda teris zaryad ta'repinen on' zaryadlang'an bo'lekshelerge on' zaryadlang'an bo'lekshelerdin' iyterisiw ku'shinen 4 ese u'lken bolg'an tartı'si'w ku'shi ta'sir etedi. Na'tiyjede on' zaryadlang'an bo'lekshalarge olardi' jaqi'nlasti'ratug'i'n ku'sh ta'sir etedi. Teris zaryadqa on' zaryadlar ta'repinen ta'sir etetug'i'n ku'shler o'z-ara ten'lesedi. Kovalentlik baylani's tap usi'nday jollar menen a'melge asadi'. Bunday baylani's penen eki kislorod atomi'nan molekulani'n' payda boli'wi' ushi'n baylani's du'ziwshi eki atom si'rtqi' elektron qabi'g'i'nda jaylasqan elektronlardan ortali'qqa elektronlari'n shi'g'aradi'.

Birdey belgige iye zaryaqa iye bo'leksheler bir biri menen iyterisedi.	
Eger on' zaryadli' bo'leksheler ortasi'na absolyut shamasi' on' zaryadtay bolg'an teris zaryadli' bo'lekshe ornalasti'ri'lsa on' zaryadlang'an bo'lekshelerge iyterilisiw ku'shinen 4 ese arti'q bolg'an tartı'si'w	

ku'shi ta'sir etedi.	
Na'tiyjede on' zaryadlang'an bo'lekshelerdi bir birine jaqi'nlati'wg'a umti'ldi'ratug'i'n (tarti'li's) ku'shi payda boladi'.	

**Qattı' denelerdegi molekulalar aralı'q ku'shler.** Qattı' haldag'i' molekulalar arası'ndag'i' baylani's enerjiyası' olardi'n' ji'lli'li'q qozg'ali'si'ni'n' kinetikali'q enerjiyası'nan artı'q bolg'an jag'dayda qa'liplesedi. Na'tiyjede erkin energiyani'n' minimumi'na sa'ykes keliwshi kristalli'q quri'li's payda boladi'.

Ionli'q ha'm kovalentlik baylani'slar atomlardı' tek molekulalarda uslap turi'wda g'ana emes, al molekulalar menen atomlardı' qattı' denelerde uslap turi'wda a'hmiyetke iye boladi'.



Eger kristalli'q quri'li's kovalent baylani's esabi'nan payda bolsa, bunday kristallar kovalent kristallar dep ataladi' (almaz, germaniy ha'm kremniyge usag'an yari'm o'tgizgish kristallar). Baylani's ionli'q baylani's tiykari'nda payda bolg'an kristallardi' ionli'q kristallar dep esaplaymi'z. Kovalent baylani'sti'n' payda boli'w mexanizmi atomlar ta'repinen ortag'a shi'g'ari'lg'an elektronlardı'n' kristalli'q pa'njereni payda etiwshi ayqi'n atom yamasa molekula menen ti'g'i'z baylani'spag'anli'g'i'n ko'rsetedi. Bul jag'dayda baylani'sti' payda etiwshi elektronlar ionlar arası'nda tarqaladi'. A'dette bul elektronlar ionlar aralı'qları'nda baylani's bag'i'tlari' dep atalatug'i'n bag'i'tlarda koncentraciyalang'an boladi'. Ionli'q kristallarda elektronli'q bult ionlardı'n' a'tirapi'nda ji'ylang'an, al ionlar arası'nda bunday ionlar derlik bolmaydi'.

**Suyi'qli'qlardi'n' quri'li'si'.** Gazler menen suyi'qli'qlarda molekulalar bir biri menen stacionar, orni'qli' baylani's penen baylani'spag'an. Molekulalar o'zlerinin' sali'sti'rmali' ori'nları'n o'zgerte aladi'. Gazlerdegi molekulalar arası'ndag'i' qashi'qli'qlardi'n' ortalsha ma'nisi u'lken ha'm bir birine sali'sti'rg'anda olar o'zlerinin' ori'nları'n tez o'zgerte aladi'.

Suyi'qli'qlarda molekulalar arası'ndag'i' qashi'qli'q az, molekulalar suyi'qli'q iyelegen ko'lemdi ti'g'i'z etip tolти'ri'p turadi' ha'm bir birine sali'sti'rg'andag'i' ori'nları'n a'ste-aqi'ri'nli'q penen o'zgertedi. Sali'sti'rmali' uzaq waqi'tlar ishinde molekulalar birigip molekulalar associaciyalari'n payda ete aladi'. Bul molekulalar o'zinin' qa'siyetleri boyi'nsha qattı' denelerdi eske saladı'.

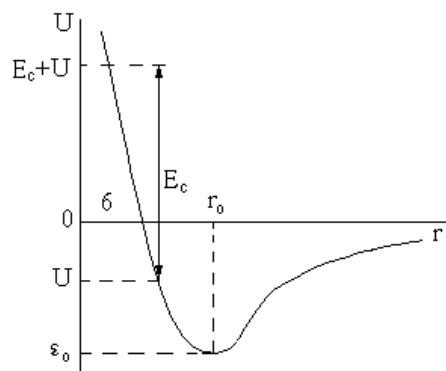
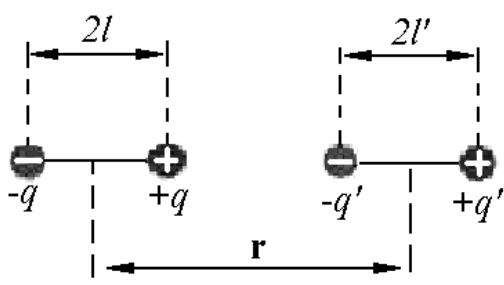
Solay etip suyi'qli'qlar o'zinin' quri'li'si' ha'm molekulalari' arası'ndag'i' baylani'slari' boyi'nsha gazlerdin' qa'siyetlerine de, qattı' denelerdin' qa'siyetlerine de iye boladi'. Sonli'qtan suyi'qli'qlar teoriyası' sali'sti'rma tu'rde quramali' ha'm to'men izertlengen.

**Van-der-Vaals ku'shleri.** Sali'sti'rmali' u'lken qashi'qli'qlarda molekulalar arasi'nda Van-der-Vaals ku'shleri dep atalatug'i'n tarti'li's ku'shleri ta'sir etedi.

Qurami'ndag'i' teris ha'm on' zaryadlari' bir birine sali'sti'rg'anda awi'sqanda neytral molekula elektrlik jaqtan dipolge aylanadi' (1-su'wret).

Dipol elektr momenti menen ta'riplenedi. Dipol momenti zaryad mug'dari' menen usi' zaryadlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qtin' ko'beymesine ten' ( $\mathbf{r} = \mathbf{e} \cdot \mathbf{d}$ ). Dipol o'zinin' a'tirapi'nda elektr maydani'n payda etedi ha'm sol maydan arqali' basqa dipollar menen ta'sir etisedi.

Turaqli' dipol momentine iye molekulalar boladi'. Bunday molekulalardi' polyar molekulalar dep ataymi'z. Olar jaqi'nlasqanda ha'r qi'yli' zaryadlari' menen qarap turatug'i'nday boli'p bir birine sali'sti'rg'anda buri'ladi'. A'dette polyar molekulalar o'z-ara tarti'sadi'. Bunday ku'shlerdi **dipolli'q-orientaciyalı'q** dep ataymi'z.



1-su'wret. Van-der-Vaals ku'shlerinin' (dipollar arasi'ndag'i' tarti'li's ku'shlerinin') payda boli'wi'n tu'sindiretug'i'n su'wret.

2-su'wret. Molekulali'q o'z-ara ta'sirlesiw potenciali'.

**Molekulalar arasi'ndag'i' ta'sir etisiwdin' potenciali'.** Kishi qashi'qli'qlarda molekulalar arasi'nda iyterisiw ku'shleri ori'n aladi'. Iyterisiw molekulalardi'n' belgili bir ko'lem iyeleytug'i'nli'g'i'ni'n', bul ko'lemge basqa molekulalardi'n' kiriwine jol qoyi'lmaytug'i'nli'g'i'ni'n' na'tiyjesi boli'p tabi'ladi'. Bul iyterisiw ku'shleri molekulalardi'n' o'lshemlerindey arali'qlarda ori'n aladi' (2-su'wretke qaran'i'z).

Potencial energiyani'n' r qashi'qli'qqa baylani'sli' o'zgerisi su'wrette ko'rsetilgen.  $r > r_0$  qashi'qli'qlari'nda molekulalar arasi'nda tarti'si'w ku'shleri ta'sir etedi, al  $r < r_0$  qashi'qli'qlarda iyterisiw ku'shi ori'n aladi'.  $E_n(r)$  ushi'n da'l ta'ripleme tek g'ana ayqi'n molekula ushi'n beriliwi mu'mkin. Barli'q molekulalar ushi'n  $E_n(r)$  ge universal formula joq. A'dette  $E_n(r)$  funkciyasi' to'mendegi formula ja'rdeinde approkciyalanadi':

$$E_n(r) = a_1/r^n - a_2/r^m.$$

Bul formuladag'i'  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $n$  ha'm  $m$  real potencial ushi'n saylap ali'nadi'. Izertlewler ko'phshilik jag'daylarda  $n = 12$ ,  $m = 6$ , ayqi'n atomlar ushi'n ali'ng'an  $a_1$  menen  $a_2$  lerde qanaatlandi'rarli'q na'tiyje ali'natug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi, yag'ni'y

$$E_n(r) = 4\epsilon_0 [(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r^6)].$$

Suyi'qli'qlar ha'm gazler teoriyası'nda ken'nen qollani'latug'i'n bul potencial **Lennard-Djons potenciali'** dep ataladi'.

Van-der-Vaals ku'shi to'mendegi formula menen beriledi:

$$G'(r) \sim 1/r^7,$$

yag'ni'y bul ku'sh qashi'qli'qqa baylani'sli' ju'da' tez kemeyedi. Sa'ykes potencial

$$E_n(r) \sim 1/r^6.$$

Demek Van-der-Vaals ku'shleri zaryad almasi'w pu'tkilley bolmaytug'i'n jag'daylarda payda boladi'.

**Molekulalar sistemalari'. Suyi'q ha'm gaz ta'rızlı hallar.** Molekulalar arasi'ndag'i' o'zara tarti'si'w potencial energiyasi' teris ma'niske iye.

Eger sistema molekulalari'ni'n' kinetikali'q ha'm potencial energiyalari'ni'n' qosi'ndi'si' on' shama bolg'an jag'dayda o'z erkine qoyi/lg'an molekulalar bir birinen sheksiz u'lken arali'qlarg'a qashi'qlasi'wg'a umti'ladi'. Bul gazdin' ken'eyiwge umti'li'wi'na sa'ykes keledi.

Gaz qi'si'lg'anda ti'g'i'zli'g'i' artadi' ha'm molekulalar arasi'ndag'i' ortasha qashi'qli'q kishireyedi. Usi'ni'n' menen birge joqari'da keltirilgen formulalarg'a sa'ykes sa'ykes potencial energiya da kemeyedi.

Eger ortasha kinetikali'q energiya ju'da' u'lken bolmag'an jag'dayda sistemadag'i' molekulalardi'n' kinetikali'q energiya menen potencial energiyalardi'n' qosi'ndi'si' teris bolatug'i'n jag'day payda boladi'. Molekulalardi'n' bunday sistemasi' o'zinshe u'lken ko'lemde tarqala almaydi'.

Bul jag'dayda baylani'sqan hal ju'zege keledi. Molekulalar u'lken arali'qlarg'a kete almaydi', al kerisinshe shekli ko'lemde bir birinin' a'tirapi'nda toplanadi'. Molekulalar sistemasi'ni'n' bunday hali' suyi'q yamasa qatt'i hal boli'wi' mu'mkin. Ko'binese (barqulla emes, al kritikali'q temperaturalardan to'men temperaturalarda) gaz qi'si'lg'anda suyi'q hal payda boladi'.

Qi'sqan jag'dayda gaz hali'nan suyi'q haldi'n' payda boli'wi' molekulalardi'n' kinetikali'q energiyasi' ju'da' u'lken bolmag'an jag'dayda a'melge asadi'. Belgisi teris bolg'an molekulalar arasi'ndag'i' ta'sirlesiw energiyasi' shekli ma'niske iye boladi'. Sonli'qtan jetkilikli da'rejedegi joqari' temperaturalarda kinetikali'q energiya menen potencial energiyalardi'n' qosi'ndi'si' hesh waqi'tta da teris ma'niske iye bolmaydi'. Sonli'qtan belgili bir temperaturadan joqari' temperaturalarda tek qi'si'w joli' menen gazdi suyi'qli'qqa aylandi'ri'w mu'mkin emes. Temperaturani'n' usi' belgili ma'nisin **kritikali'q temperatura** dep ataymi'z.

Basi'm azayg'anda process keri bag'i'tta rawajlanadi' - molekulalar sistemasi' suyi'q haldan gaz ta'rızlı halg'a o'tedi.

### 3. Fazalar ha'm fazali'q aylani'slar (fazali'q o'tiwler)

Zatlardi' olardi'n' agregat hallar boyi'nsha qaraw polimorfizm qubi'li'si'n esapqa ali'wg'a mu'mkinshilik bermeydi. Polimorfizm allotropiyani'n' dara jag'dayi' boli'p tabi'ladi'.

Allotropiya - ximiyalı'q elementlerdin' eki yamasa onnan da ko'p a'piwayi' zatlar tu'rinde jasawi' boli'p tabi'ladi'. Allotropiya molekulalardi'n' ha'r qi'yli' sandag'i' atomlar menen payda boli'wi' menen baylani'sli' boli'wi' mu'mkin (mi'sali', kislorod  $O_2$  ha'm ozon  $O_3$ ).

Polimorfizm - bir zatti'n' ha'r qi'yli' kristalli'q quri'li'sqa iye bola ali'w qa'biletilgi. Usi'nday ha'r bir kristalli'q quri'li'sti' polimorfli'q modifikasiya dep ataydi'. Polimorfli'q modifikasiya tek belgili bir temperaturalar ha'm basi'mlar oblastlari'nda g'ana orni'qli'. Bunday oblastlardi'n' si'rti'nda modifikasiya orni'qli' emes ha'm sonli'qtan polimorfli'q aylani's dep atalatug'i'n aylani'sti'n' ju'zege keliwi kerek. To'menirek temperaturalarda orni'qli' bolg'an polimorfli'q modifikasiyani'  $\alpha$  arqali', joqari'raq temperaturalarda orni'qli' bolg'an modifikasiyani'  $\beta$ , al onnan da joqari'raq temperaturalarda orni'qli' bolg'an modifikasiyani'  $\gamma$  arqali' (ha'm tag'i' basqalar) belgilew qabi'l etilgen.

Polimorfli'q aylani'slar ha'r qi'yli' si'rtqi' ta'sirlerdin' (mexanikalı'q, ji'lli'li'q ha'm

basqalar) asti'nda ju'zege keledi. Polimofri'q modifikasiyalardi'n' quri'li'si'ndag'i' ayi'rmashi'li'qlar olardi'n' qa'siyetlerinin' de ha'r qi'yli' bolatug'i'nli'g'i'n bildiredi. Polimorfli'q aylani'slar metall emeslerde (mi'sali' kvarcta) ha'm shama menen 30 dan aslam metalda baqlanadi'.

Zatlardi' polimorfli'q modifikasiyalari'n esapqa ali'w menen bir ma'nisli xarakterlew ushi'n olardi'n' atomli'q (molekulali'q) quri'li'si'ni'n' o'zgesheliklerin ta'riyiplew kerek boladi'. Zatlardi' ta'riyiplew ushi'n ken'irek tu'sinik bolg'an faza tu'sinigin paydalani'w bunday mu'mkinshilikti beredi.

Faza - zatti'n' termodinamikali'q ten' salmaqli'q hali' boli'p tabi'ladi'. Faza agregat hal, atomli'q (molekulali'q) quram ha'm quri'li's penen xarakterlenedi. Zatti'n' termodinamikali'q ten' salmaqli' emes hali'n metastabilli faza dep ataydi'.

Ha'r bir zat bir yamasa bir neshe fazadan (qatti', suyi'q ha'm gaz ta'rızli) tura aladi' ha'm fazali'q qurami' menen bir ma'nisli xarakterlenedi.

Zatti'n' haqi'yqi'y quri'li'si' menen strukturasi' ten' salmaqli'q halg'a jaqi'n emes jag'daylarda qa'liplesedi. Barli'q materiallar ashi'q sistemalar boli'p tabi'ladi', yag'ni'y barli'q materiallar qorshap turg'an ortalı'q penen zat, energiya, impuls almasa aladi'. Bunday almasi'wlar zatlardag'i' fazali'q o'tiwlerge ali'p kele aladi'.

Fazali'q aylani'w si'rtqi' sharayatlar (temperatura, basi'm, elektr ha'm magnit maydanlari' ja'ne basqalar) o'zergende zatti'n' bir fazadan ekinshi fazag'a o'tiwi boli'p tabi'ladi'. Fazali'q aylani's boli'p o'tetug'i'n fizikali'q shamani'n' ma'nisin fazali'q aylani's noqati' dep ataladi'.

Qatti' haldag'i' fazali'q o'tiwler buri'ng'i' (eski) fazadan quri'li'si' menen qurami' o'zgeshe bolg'an fazani'n' payda boli'wi' si'pati'nda ta'riyiplenedi.

O'tiwinin' xarakteri boyi'nsha fazali'q aylani'slardi' I (birinshi) ha'm II (ekinshi) a'wlad fazali'q o'tiwleri tu'rinde qaraladi'. Birinshi a'wlad fazali'q o'tiwlerinde bazi' bir fizikali'q shamalar (mi'sali' zatti'n' ti'g'i'zli'g'i', elektr o'tkizgishligi) yamasa termodinamikali'q xarakteristikalar sekirmeli tu'rde o'zgeredi ha'm usi'ni'n' menen birge fazali'q o'tiw ji'lli'li'g'i' jutu'ladi' yamasa bo'lip shi'g'ari'ladi'.

Birinshi a'wlad fazali'q o'tiwlerine puwlani'w ha'm kondensaciya, eriw ha'm qati'w, sublimaciya ha'm qatti' fazag'a kondensaciya, qatti' denelerdegi bazi' bir strukturali'q o'tiwler (mi'sali', "temir - uglerod" sistemasi'ndag'i' martensittin' payda boli'wi' ha'm basqalar) kiredi.

Birinshi a'wlad fazali'q o'tiwleri ushi'n fazali'q aylani's noqati' jani'nda metastabillik hal oblasti'ni'n' bar boli'wi' xarakterli. Mi'sali' suyi'qli'qtı' qaynaw temperaturasi'nan joqari' temperaturag'a shekem qi'zdi'ri'w yamasa qati'w temperaturasi'nan to'mengi temperaturalarg'a shekem salqi'nlati'w mu'mkin.

Ekinshi a'wlad fazali'q o'tiwlerinde zatlardi'n' ti'g'i'zli'g'i', entropiyasi', termodinamikali'q potenciallari' sekirmeli tu'rde o'zermeydi. Al ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i', ji'lli'li'q ken'eyiw koefficienti sekirmeli tu'rde o'zgeredi.

Ekinshi a'wlad fazali'q o'tiwlerinde aylani'w noqati'ni'n' bir ta'repinde noge ten' bazi' bir fizikali'q shama aylani's noqati'nan uzaqlasqan sayi'n nolden baslap u'zliksiz o'sedi. usi'ni'n' menen birge ti'g'i'zli'q ta u'zliksiz o'zgeredi, al ji'lli'li'q bo'linip shi'qpaydi' (yamasa juti'lmaydi'). Ekinshi a'wlad fazali'q o'tiwlerine to'mendegiler kiredi:

- antiferromagnitlik ta'rtiplesiwdin' payda boli'wi' menen ju'retug'i'n paramagnetik - ferromagnetik aylani'si' (o'tiwi);
- ayi'ri'm dielektriklerdin' segnetoelastiklik halg'a o'tiwi;
- magnit maydani' bolmag'an jag'dayda metallar menen quymalardi'n' normal xaldan asa o'tkizgishlik halg'a o'tiwi;
- geliydin' asa o'tkizgish halg'a o'tiwi ha'm basqalar.

**Birinshi a'wlad fazali'q o'tiwleri.** Meyli sistemanı'n' hali'  $F(p,T,\eta)$  termodinamikali'q potenciali' menen ta'riplenetug'i'n bolsı'n [Ten' salmaqli'q hali'nda  $F(p,T,\eta)$  funkciyası'  $\eta$

o'zgeriwshisine qatnasi' boyi'nsha minimumg'a iye boladi' dep boljaymi'z.  $F(p,T,\eta)$  funkciyasi' entropiya  $S$  oni'n' menen  $S = -\left(\frac{\partial \Phi}{\partial T}\right)_p$  tu'rindegi baylani'sqa iye bolatug'i'nday etip saylap ali'ng'an]. Oni'

$$\Phi(p,T,\eta) = \Phi_0(p,T) + a\eta + A\eta^2 + B\eta^3 + C\eta^4 + D\eta^5 + F\eta^6 \quad (1)$$

tu'rindegi da'rejeli qatar dep boljaymi'z. Bul an'latpadag'i' A, B, C ha'm basqa koefficientler temperatura T menen basi'm  $p$  ni'n' funkciyasi' boli'p tabi'ladi'.

$\eta = 0$  ha'm  $\eta \neq 0$  bolg'an hallar bir birinen simmetriyasi' boyi'nsha ayi'rmag'a iye bolg'anli'qtan ha'm  $\eta \neq 0$  bolg'an jag'dayda fazali'q o'tiwge jaqi'n qa'legen noqatta  $F$  funkciyasi' minimalli'q ma'niske iye bolatug'i'n bolg'anli'qtan temperatura o'zgeretug'i'n qa'legen noqatta  $a \equiv 0$  ten'ligi ori'nlanadi' dep boljawg'a boladi'. Soni'n' menen birge  $\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \eta^2}\right) > 0$

sha'rtine sa'ykes simmetriyali' fazada  $A > 0$  ten'sizliginin' ori'nlanatug'i'nli'g'i' da ani'q.  $\eta \neq 0$  bolg'an jag'dayda kerisinshe  $\Phi$  funkciyasi'ni'n' minimumi'  $A < 0$  ha'm  $C > 0$  ten'sizligi ori'nlanatug'i'n jag'daylarg'a sa'ykes keledi. Demek fazali'q o'tiw noqati'nda  $A_0 = 0$ . Usi'ni'n' menen birge joqari'da o'tkerilgen tallawlardan  $B_0 = 0$  ekenligi de kelip shi'g'adi'. Bul jerde ju'da' a'hmiyetli jag'dayg'a itibar beriw kerek boladi': eger  $B(p,T)$  bazi' bir oblastta simmetriya qa'siyetine baylani'sli' teppe-ten' nolge ten' bolatug'i'n bolsa, onda bul jag'dayda tek  $A_0(p,T) = 0$  sha'rti g'ana qaladi'. Usi'ni'n' saldarı'nan p,T tegisliginde fazali'q o'tiwler si'zi'g'i' payda boladi'. Eger  $B(p,T)$  teppe-ten' nolge ten' bolmasa, onda p,T tegisliginde tek  $A_0(p,T) = 0$  ha'm  $B_0(p,T)$  sha'rtlerinen ani'qlanatug'i'n fazali'q o'tiwlerdin' izolyaciyalang'an noqatlari' payda boladi'. Biz  $B(p,T) \equiv 0$  ha'm  $D(p,T) \equiv 0$  sha'rtleri ori'nlanadi' dep boljaymi'z.

Joqari'da keltirilgen tallawlardan termodinamikali'q potencial ushi'n an'latpa tek  $\eta$  ni'n' jup da'rejelerinen turatug'i'nli'g'i'n an'g'arami'z:

$$\Phi(p,T,\eta) = \Phi_0(p,T) + A\eta^2 + C\eta^4 + F\eta^6. \quad (2)$$

Minimum sha'rtinen (yag'ni'y  $A_{T<0} < 0$ ,  $A_{T=0} = 0$  ha'm  $A_{T>0} > 0$ )  $A(T)$  funkciyasi' temperaturani'n' si'zi'qli' funkciyasi' tu'rinde jazi'ladi':

$$A(T) = \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_\theta (T - \theta). \quad (3)$$

Bul an'latpada  $\theta$  arqali' Kyuri noqati' belgilengen.

Bunnan keyin  $\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = 0$  minimum sha'rtinen

$$\eta^2 = -\frac{A}{2C} = \frac{1}{2C} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \eta}\right)_\theta (T - \theta) \quad (4)$$

an'latpasi'n alami'z. Bunnan keyin fazali'q o'tiwdegi entropiyani'n' o'zgerisi  $\Delta S$  penen ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' o'zgerisi  $\Delta c_p$  shamasi'n alami'z:

$$\Delta S = S - S_0 \cong -\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_\theta \eta^2, \quad (5)$$

$$\Delta c_p = c_p - c_{0p} \cong \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_\theta^2 \frac{\theta}{2C}. \quad (6)$$

Bul an'latpada  $S_0$  ha'm  $c_{0p}$  arqali' ta'rtiplespegen fazadag'i' entropiya menen ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i' belgilengen.

Ginzburg ta'repinen do'retilgen segnetoelektriklerdin' termodinamikali'q teoriyası'nda joqarıda atap o'tilgen jag'daylar ha'm olardi'n' tiykari'nda ali'ng'an (5)-(6) formulalar paydalani'lg'an. Spontan polyarizaciya  $P_S$  ta'rtipleskenlik faktori' η ushi'n xarakterli bolg'an qa'siyetlerge iye bolg'anlı'qtan (ta'rtiplespegen fazada  $P_S = 0$  ha'm ta'rtiplesken fazada  $P_S \neq 0$ ) si'rtqi' E maydani' bolmag'anda  $F(\eta)$  funkciyasi'ni'n' tu'rine uqsas tu'rge iye boladi' [(2)-formula] Eger E nolge ten' bolmasa, onda F ushi'n jazi'lg'an an'latpada toli'q polyarizaciya  $P = P_S + P_i$  qatnasadi' (bul an'latpada  $P_i$  arqali' si'rtqi' elektr maydan ta'repinen payda etilgen polyarizaciya belgilengen). Usi'nday jag'daylardan kelip shi'qqan halda

$$\Phi = \Phi_0 + \alpha P^2 + \frac{\beta}{2} P^4 + \dots \quad (7)$$

an'latpasi'na iye bolami'z. Bul an'latpadan segnetoelektriklerdin' bizdi qi'zi'qtı'ratug'i'n xarakteristikaları'n alami'z.  $\frac{\partial \Phi}{\partial P} = 0$  ha'm  $\frac{\partial^2 \Phi}{\partial P^2} > 0$  sha'rtlerinen

$$2\alpha P + 2\beta P^3 = E, \quad (8a)$$

$$2\alpha + 6\beta P^2 > 0. \quad (8b)$$

Maydan bolmag'anda (8a) ten'lemesi mi'nani' beredi:

$$T < \theta \text{ sha'rti ori'nlang'anda } P_s^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\dot{\alpha}_\theta}{\beta} (\theta - T); \quad (9a)$$

$$T > \theta \text{ sha'rti ori'nlang'anda } P_s^2 = 0. \quad (9b)$$

Bunnan keyin (5)- ha'm (6)-formulalardi' paydalani'p ji'lli'li'q si'yamli'g'i'ni'n' fazali'q o'tiwdegi o'zgerisi ushi'n an'latpa alami'z:

$$\Delta c_p = \left(\dot{\alpha}_\theta\right)^2 \frac{\theta}{\beta}. \quad (10)$$

Dielektriklik sin'irgishlik  $P_s = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} E$  shamasi'n (8a) an'latpasi'na qoyg'annan keyin (9)-ten'liklerdi esapqa alg'an halda ali'nadi':

$$T > \theta \text{ sha'rti ori'nlang'anda } \varepsilon = 1 + \frac{2\pi}{\dot{\alpha}_\theta (T - \theta)}; \quad (11a)$$

$$T < \theta \text{ sha'rti ori'nlang'anda } \varepsilon = 1 + \frac{\pi}{\alpha_\theta(T - \theta)}. \quad (11b)$$

$\varepsilon(T)$  ushi'n ali'ng'an g'a'rezlilik magnitlik sin'irgishlik  $\mu(T)$  ushi'n belgili bolg'an ni'zamg'a sa'ykes Kyuri-Veys ni'zami' dep ataladi', al  $C = \frac{2\pi}{\alpha_\theta}$  shaması' Kyuri turaqlı'si' dep ataladi'.

**Ekinshi a'wlad fazali'q o'tiwleri.** (8)-an'latpa tiykari'nda ali'ng'an  $P_s(T)$ ,  $\varepsilon(T)$  ha'm  $c_p(T)$  funkciyalari' (g'a'rezlikleri) II a'wlad fazali'q o'tiwler ushi'n duri's. biraq ko'p jag'daylarda eksperimentalli'q iymeklikler (g'a'rezlikler) I a'wlad fazali'q o'tiwlerinin' ani'q tu'rdegi belgilerin ko'rsetedi. F funkciyasi'n qatarg'a jayg'andag'i' koefficientlerdin' san shaması'na ha'm olardi'n' belgilerine baylani'sli' fazali'q o'tiwdin' xarakteri o'zgere aladi'. Bunday jag'dayda I ha'm II a'wlad fazali'q o'tiwlernerinin' "u'zliksiz gammasi'n" payda etedi. Haqi'yqati'nda da II a'wlad fazali'q o'tiwlernerinin' teoriyası'na sa'ykes F ushi'n jazi'lğ'an (7.8)-an'latpada  $\beta$  koefficientinin' ma'nisi nolden u'lken, yag'ni'y  $\beta > 0$ . Eger  $\beta < 0$  ten'sizligi ori'nlanatug'i'n bolsa, onda 4-ta'rtipli ag'zalar menen shekleniwe bolmaydi' (F ushi'n minimum sha'rti ori'nlanbaydi'). Bunday jag'dayda 6-da'rejege proporsional bolg'an ag'zalardi' esapqa ali'wg'a tuwri' keledi

$$\Phi = \Phi_0 + \alpha P^2 + \frac{\beta}{2} P^4 + \frac{\gamma}{3} P^6. \quad (12)$$

Joqarı'da o'tkerilgen tallawdi' qaytalap polyariziciya ushi'n mi'na an'latpani' alami'z:

$$P_s^2 = -\frac{\beta}{2\gamma} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4\alpha\gamma}{\beta^2}} \right). \quad (13)$$

$\beta$  shaması'ni'n' kemeyiwi menen fazali'q o'tiwdin' xarakteri o'zgere baslaydi' ha'm  $\beta = 0$  ten'ligi ori'nlanatug'i'n jag'dayda ( $P_s^2 = 0$ ) biz Kyuridin' kritikali'q noqati' dep atalatug'i'n noqati'n alami'z. Bul noqattan to'mende

$$P_s^2 = \sqrt{\frac{\alpha_\theta}{\gamma}} (\theta - T), \quad (14)$$

$$c_p = c_{0p} + \frac{\theta \alpha_\theta}{2\sqrt{\gamma} \sqrt{\theta_c - T}}. \quad (15)$$

Usı' an'latpag'a sa'ykes Kyuri noqati'nda ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i' sheksiz u'lken shamag'a aylanadi'. Bunday fazali'q o'tiw  $\lambda$ -n'oqat dep te ataladi'.

$T < \theta$  oblasti'ndag'i' dielektriklik sin'irgishliktin' o'zgeriw ni'zami' (11a) ni'zami'na sa'ykes keledi. biraq Kyuri noqati'nan to'mengi noqatlarda

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2\alpha_\theta(\theta_c - T)}. \quad (16)$$

Bul an'latpada  $T < \theta$ .

Biz qarag'an jag'dayda Kyuri noqati'na jaqi'n jaylasqan bazi' bir oblastta  $\beta$  shaması' nolge teppe ten'. Biraq  $\beta$  ni'n' shaması' Kyuri noqati'ni'n' o'zinde yamasa oni'n' a'tirapi'nda nolge

teppe ten' bolatug'i'n kristallardi'n' bar boli'wi' da mu'mkin, yag'ni'y  $\beta = \beta'_\theta(T - \theta_c)$ . Bunday jag'dayda g'a'rezliliktin' xarakteri  $\beta \equiv 0$  bolg'an jag'daydag'i'dan azmaz g'ana o'zgeshelikke iye boladi'.

Endi II a'wlad fazali'q o'tiwlerin qaraymi'z.

Ta'rtiplesken ha'm ta'rtiplespegen fazani'n' ekewi de termodinamikali'q ten' salmaqli'q halda turadi', yag'ni'y fazali'q o'tiw noqati'nda  $\Phi_{P_s \neq 0} = \Phi_{P_s = 0}$  (duri'si'rag'i' fazali'q o'tiw oblasti'nda, sebebi temperaturali'q gisterezis ori'n aladi')  $P_s$  shaması' sekirmeli tu'rde o'zgeredi. Termodinamikali'q potenciallardı'n' ten'ligi ha'm  $\frac{\partial \Phi}{\partial P_s} = 0$  sha'rtlerinen fazali'q o'tiw noqati'nda  $P_{s\theta_1}^2 = -\frac{3\beta}{4\gamma}$  ten'lige iye bolami'z.

Bul jerde  $\alpha$  shaması'  $T = \theta_1$  noqati'nda nolge aylanbaydi'. II a'wlad fazali'q o'tiwinen ayi'rması', bul jag'dayda fazali'q o'tiw  $\Phi_{P_s \neq 0}$  yamasa  $\Phi_{P_s = 0}$  hallari'hı'n' biri metaornıqlı boli'p qaladi'. Sonlıqtan  $\alpha$  shaması'n fazali'q o'tiw oblasti'nda bi'layı'nsha ko'rsetken qolaylı':

$$\alpha = \alpha_{\theta_1} + \alpha'_{\theta_1}(T - \theta_1). \quad (17)$$

(6)-formulani' paydalani'p  $\varepsilon(T)$  funkciyası'n tabami'z:

$$T \geq \theta_1 \text{ sha'rti ori'nlang'anda } \varepsilon = \frac{2\pi}{\alpha_{\theta_1} + \alpha'_{\theta_1}(T - \theta_1)}, \quad (18)$$

$$T \leq \theta_1 \text{ sha'rti ori'nlang'anda } \varepsilon = \frac{\pi}{\alpha_{\theta_1}} \quad (19)$$

Solay etip fazali'q o'tiw oblasti'ndag'i' dielektriklik sin'irgishliktin' sekirmeli tu'rdegi o'zgerisi  $\Delta\varepsilon = \frac{3\pi}{2\alpha_{\theta_1}}$  ge ten' boladi'. Fazali'q o'tiwdin' jasi'ri'n ji'lli'li'g'i' entropiyani'n' sekirmeli o'zgerisi boyı'nsha bi'layı'nsha tabı'ladi':

$$Q = \theta_1 \Delta S = \theta_1 \alpha'_{\theta_1} P_{s\theta_1}^2. \quad (20)$$

Usı' waqi'tlarg'a shekem belgili bolg'an segnetoelektriklerdegi fazali'q o'tiwler (segnetoelektriklik fazali'q o'tiwler) Kyuridin' kritikali'q noqati'na jaqi'n bir inshi a'wlad fazali'q o'tiwleri boli'p esaplanadi'. Al biz joqari'da ko'rip shi'qqan jag'daylar Kyuridin' kritikali'q noqati'na jaqi'n bolg'an I a'wlad fazali'q o'tiwleri boli'p tabı'ladi'. YAg'ni'y  $\alpha$  ha'm  $\beta$  lar  $T = \theta_1$  noqati' qasi'nda ju'da' kishi ma'nislerge iye boladi'. Eger bul sha'rt ori'nlanbaytug'i'n bolsa, yag'ni'y  $\beta < 0$  ha'm shaması' boyı'nsha u'lken bolsa, ani'q ko'rinetug'i'n I a'wlad fazali'q o'tiwine iye bolami'z.

Biz joqari'da bir o'lshemli segnetoelektrikti qarap shi'qti'q. Bunday jag'dayda spontan elektr poliarizaciysi'  $P_s$  tin' bir qurawshi'si' menen ta'riyiplenedi ha'm usı'g'an sa'ykes kristall tek bir segnetoelektriklik ko'sherge iye boladi'.

Landau teoriyası'ni'n' tiykari'nda simmetriyani'n' o'zgeriwi menen baylani'sli' bolg'an fazali'q o'tiwler jataturg'i'n bolg'anlı'qtan u'sh o'lshemli jag'daylar ushi'n F termodinamikali'q funkciyani' fazali'q o'tiwdin' saldarı'nan kristaldi'n' simmetriyasi'ni'n' mu'mkin bolg'an barlı'q o'zgerislerin qamti'ytug'i'nday etip jazi'wi'mi'z kerek. Bul jag'dayda da bunday o'zgerislerdin' o'lshemi buri'ng'i' jag'daydag'i'day ta'rtipleskenlik parametri  $\eta$  ha'm boli'wi' kerek ha'm eki faza da (joqari'raq ha'm to'mengi simmetriyali' eki faza da) F funkciyası'ni'n' minimum boli'wi'n qanaatlandı'ri'wi' kerek.

Fazali'q o'tiwdi simmetriya teoriyası' pozisiyasi'nda turi'p ta'riyiplew ushi'n mi'na jag'daydi' esapqa ali'wi'mi'z sha'rt: ha'r bir fazani'n' termodinamikalı'q potencialı' usı' fazani'n' simmetriya gruppasi'n payda etetug'i'n barlı'q simmetriyalı'q operaciyalarg'a qarata invariant boli'wi' kerek. To'menirek simmetriyag'a iye fazag'a o'tiw simmetriyani'n' bir yamasa bir neshe simmetriya elementlerinin' jog'ali'wi' menen, yag'ni'y gruppanı'n' o'zinin' podgruppasi'na o'tiwi menen ju'zege keledi. Sonlı'qtan ta'rtipleskenlik faktori' da simmetriyalı'q operaciyalar menen sonday baylani'sta boli'wi' kerek, usı' faktordi'n' o'zgerisi gruppadag'i' simmetriyalı'q elementlerdin' sani'ni'n' o'zgerislerine sa'ykes boli'wi' sha'rt. Fazali'q o'tiwlerdi usı'nday jollar menen ta'riyiplew II a'wlad fazali'q o'tiwleri ushi'n Landau ha'm Lifshic ta'repinen rawajlandı'ri'ldi'.

Usı'ni'n' menen bir qatarda segnetoelektriklik fazali'q o'tiwlerdegi kristallardi'n' simmetriyasi'ni'n' o'zgerislerin kristallofizikalı'q Kyuri principinin' ja'rdeinde de ori'nlawg'a boladi'. Bul jag'dayda kristaldi'n' simmetriyasi' menen si'rtqi' ta'sirdin' simmetriyasi' arası'ndag'i' baylani'slar tabi'ladi'.

#### 4. Zatlardi'n' strukturalı'q bo'lekshelerinin' o'zinshe sho'lkemlesiwi

Barlı'q zatlardi'n' quri'li'si' ushi'n en' ulı'wmali'q jag'day o'zinshe sho'lkemlesiwe (barlı'q bo'lekshelerdin' jaylası'wi'ndag'i' ta'rtipke) umtılı'li'w boli'p tabi'ladi'. Bul jag'day ta'biyatti'n' mi'naday a'hmiyetli ni'zami'nan kelip shı'g'adi': energiyasi' minimalli'q bolg'an sistemani'n' xali' en' orni'qli' hal boli'p tabi'ladi'. Bir birinen izolyaciyalang'an atomlardan yamasa ko'p atomli' gruppalaridan molekulalar yamasa kristallardi'n' payda boli'wi' sistemani'n' energiyasi'ni'n' kishireyiwi, usı'g'an sa'ykes sistemani'n' orni'qli'li'g'i'ni'n' jokarı'lawi' menen baylani'sli'. Bul process termodinamika kursı'nda tolı'q bayanlang'an.

Ten' salmaqlı' emes sharayatlardag'i' zatlardi'n' strukturalı'q bo'lekshelerinin' o'zinshe sho'lkemlesiwi menen **sinergetika** shug'i'llanadi'. Sinergetikani'n' en' baslı' principi: ten' salmaqlı'qtı'n' joqlı'g'i' ta'rtiplesiwge qaray derek.

Materialeləti'w zatlardi'n' o'zinshe sho'lkemlesiwi menen baylani'sli' bolg'an mi'sallar menen bay. Zatlardi'n' o'zinshe sho'lkemlesiwine en' jaqsi' mi'sal **uglerod** boli'p tabi'ladi'. Uglerodti'n' kristalli'q, amorfli' ha'm basqa da tu'rdegi strukturalarda belgili. Bul jag'day uglerod atomi'ni'n' basqa uglerod atomları' menen ha'r qı'yı' valentli baylani'slardı' du'ze ali'wi' qa'biletligi menen baylani'sli'. Na'tiyjede ha'r qı'yı' - si'zi'qli', tarmaqlarg'a bo'lingen, ciklli'q uglerodli'q skeletlerdin' payda boli'wi' mu'mkin.

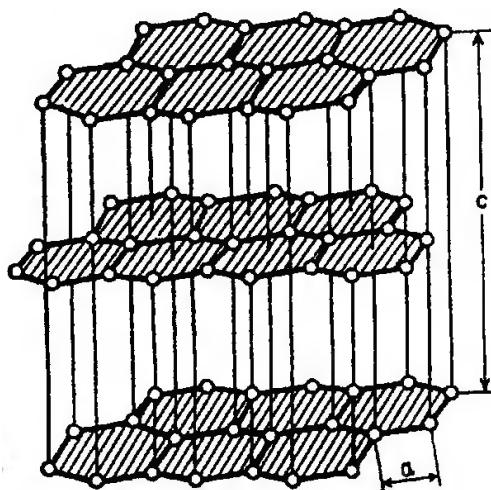
Uglerodta fizikalı'q ha'm fizikalı'q-ximiyali'q qa'siyetlerdin' o'zgerisleri tek onı'n' quri'li'si'na g'ana (al quramı'na emes) baylani'sli' (bunday jag'day di'm siyrek ushi'rasadi'). Al ko'p qurawshi'larg'a iye sistemalarda fizikalı'q ha'm fizikalı'q-ximiyali'q qa'siyetlerdin' o'zgerisleri tiykari'nan sistemani'n' quramı'na baylani'sli'.

Uglerodti'n' kristalli'q formalari'na almaz, grafit, karbin, fumeren ha'm lonsdeylitler kiredi. Uglerodti'n' amorfli'q ha'm shalama-shekki kristalli'q o'tiw formalari' si'patı'nda pirouglerodti', pirografitti, shıyshe uglerodti' (steklouglerodti'), koksti', talshi'qlardi', ku'yenı, plenkalardi' ha'm basqalardi' ko'rsetiw mu'mkin.

*Almaz* valentli baylani'slar tetraedrlik ra'wishte jaylasqan ken'isliklik polimer boli'p tabi'ladi'. Almazdi'n' makromolekulasi' en' joqarı' da'rejede bir qa'lipli, derlik ideal tu'rde sog'i'lgan u'sh o'lshemli polimer.

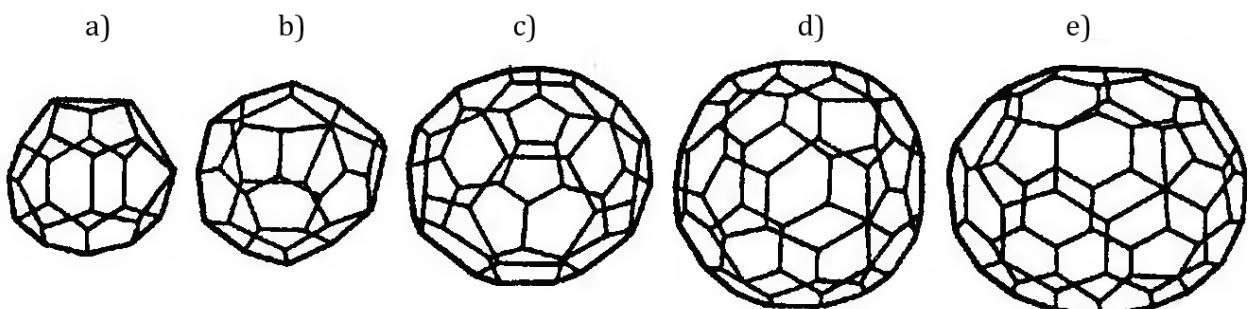
*Grafit* bolsa «parketli» polimer boli'p tabi'ladi'. Onı'n' quri'li'si' geksagonalli'q (3-su'wrette ko'rsetilgen). Atomlar qatlamları' tegisliklerinde atomlar arası'nda kovalentlik baylani'slar ori'n aladi', al qatlamlar bir biri menen Van-der-vaals ku'shleri menen baylani'sqan. Bunday jag'daydan graffittin' qatlamlarg'a parallel ha'm perpendikulyar bag'i'lardag'i' qa'siyetlerdin' ku'shli anizotropiyasi' kelip shı'g'adi'.

3-su'wret.  
 Grafittin' strukturasi'.  
 a ha'm c arqali' kristalli'q pa'njererin'  
 turaqli'lari' belgilengen.



*Karbin* - si'zi'qli' strukturag'a iye uglerodli'q polimer. Karbinnin' molekulasi'ndagi' atomlar sani' 2000 g'a jetedi, al polimerlik sabaqlardi'n' uzi'nli'g'i' 50 den 250 nm ge shekem. Karbinnin' ti'g'i'zli'g'i' 1900 - 3200 kg/m<sup>3</sup> shaması'na ten'. Xamiyali'q jaqtan karbin inertli, yari'm o'tkizgishlik qa'siyetlerge iye. Jaqtı'li'q tu'sirgende oni'n' o'tkizgishligi keskin tu'rde joqari'laydi'.

*Fulleren* - S<sub>60</sub> uglerodti'n' gipermolekulasi' (*klasteri*). S<sub>60</sub> ni'n' strukturasi' toli'q kesilgen ikosaedr. Bul iksoedrde to'belerinde atomlar jaylasqan 20 altı' mu'yeshlik ha'm 12 bes mu'yeshlik bar. Ti'g'i'zli'g'i' 1300 - 1650 kg/m<sup>3</sup>. Fulleren joqari' termodinamikali'q orni'qli'li'qqa ha'm tek o'zine ta'n bolg'an ko'p sanli' qa'siyetlerge iye: asa o'tkizgishlik, radiaciyalı'q turaqli'li'q, qattı'li'q ha'm basqalar. Uglerodti'n' basqa da orni'qli' klasterleri bolg'an S<sub>60</sub>, S<sub>120</sub>, S<sub>76</sub>, S<sub>84</sub> lar da fullerenler dep ataladi' (4-su'wret).



Uglerod atomlari'ni'n' sani' ha'r qi'yli' bolg'an fullerenlerdin' su'wretleri.  
 a) 28, b) 32, c) 50, d) 60, e) 70.

Fullerenlerdin' quri'li'si' 4-su'wrette ko'rsetilgen.

Cinergetikada klaster dep ko'p sanli' atomlar menen molekulalardan turatug'i'n sistemag'a aytadi'. Bul atomlar menen molekulalar sistemanı'n' ishinde o'zlerinin' individualli'gi'n saqlaydi'.

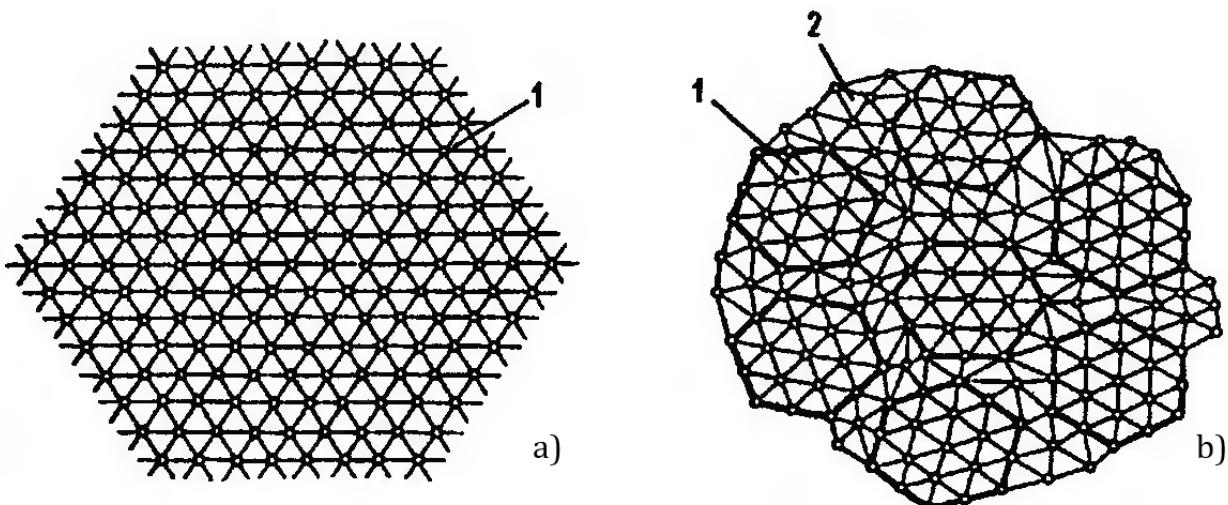
*Lonsdeylit* meteoritlerde tabi'ldi' ha'm laboratoriyalarda jasalma tu'rde ali'nadi'. Oni'n' strukturasi' menen qa'siyetleri usi' waqi'tlarga shekem toli'q ani'qlanbag'an.

Zatlardi'n' o'z-o'zinən sho'l kemlesiwi (samoorganizaciya veiçestva) oni'n' qa'legen strukturalı'q elementlerinin' ta'rtiplesiwi tu'rinde ko'rsetiliwi mu'mkin. Zatlardi'n' quri'li'si'ni'n' ta'rtiplesiwi oni'n' strukturalı'q bo'lekshelerinin' (atomlari', molekulalari') ta'rtiplesiwi, usi' atomlar menen molekulalardi' payda etiwshi elementlerdin' ta'rtiplesiwi (mi'sali' elektronlardı'n'), yamasa olardi'n' ken'isliklik orientaciyalari'ni'n' ta'rtiplesiwi qa'ddinde boladi'.

Atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlar menen barabar kashi'qli'qlardag'i' ta'rtiplesiwdi jaki'nnan ta'rtiplesiw, al sheksiz u'lken qashi'qli'qlarg'a shekem tarqalatug'i'n ta'rtiplesiwdi

enzaqtan ta'rtiplesiw dep ataydi'. Bir zatti'n' atomlari'ni'n' jaylasi'wlari'ndag'i' jaqi'nnan ta'rtiplesiw menen enzaqtan ta'rtiplesiw din' ju'zege keliwi atomlar arasi'ndag'i' ta'sirlesiwlerdin' saldari'nan a'melge asadi' (5-su'wret).

Enzaqtan ta'rtiplesiw kristalli'q zatlarda ori'n aladi'. Kristallarda bo'lekshelerdin' bir birine sali'sti'rg'andag'i' duri's jaylasi'wlari'ni'n' qaytalani'wi' qa'legenshe ko'p sandag'i' bo'lekshelerden keyin de dawam ete beredi. Enzaqtan ta'rtiplesiw din' basli' belgisi qa'siyetlerdin' anizotropiyasi'nda ko'rinedi. Bunday jag'dayda metall quymalardi'n' strukturasi' belgili bir sharayatlarda kristalli'q pa'njererin' podreshetkalarg'a bo'liniw mu'mkinshiligi menen baylani'sli'. Bul podreshetkalardi'n' ha'r biri atomlardi'n' tek bir tu'rinen turadi'.



5-su'wret. Atomlardi'n' enzaqtan ta'rtiplesiw (a) ha'm jaqi'nnan ta'rtiplesiw (b) jag'daylari'ndag'i' jaylasi'wlari': 1 - zatti'n' bo'lekshelerin ta'rtip penen jaylasqan quri'li'sti'n' elementi; 2 - bo'lekshelerdin' ta'rtipsiz jaylasi'wlari'.

Jaqi'nnan ta'rtip suyi'q ha'm amorfli' zatlarda ju'zege keledi. Bunday ob'ektlerde bazi' bir ni'zamli'q tek qon'si'las bo'leksheler arasi'nda ori'n aladi'. Biraq amorfli'q ha'm kristalli'q quri'li'slardag'i' jaqi'nnan ta'rtiplesiw principialli'q jaqtan pu'tkilley ha'r qi'yli'. Amorfli'q zatlarda jaqi'nnan ta'rtiplesiw ploiklasterlik boli'p tabi'ladi' (mi'sali', politetraedrlik), al kristalli'q quri'li's ushi'n klasterlerdin' u'sh o'lshemli ken'isliktegi jaylasi'wlari' xarakterli.

## 5. Tiykarg'i' fazali'q aylani'slardi'n' (fazali'q o'tiwlerdin') xarakteristikaları'

*Fazali'q o'tiw: gaz ta'rızlı hal - suyi'q hal.* Berilgen zat ushi'n suyi'q haldi'n' gaz ta'rızlı halg'a fazali'q o'tiwi basi'mnan ku'shli g'a'rezli bolg'an belgili bir temperaturada o'tedi.

Puw payda boli'wdi'n' ji'lli'li'g'i' kondensaciya ji'lli'li'g'i'na ten'.

Suyi'qli'q gaz ta'rızlı halg'a qaynaw temperaturasi'nan to'mengi temperaturalarda da o'tedi. Bunday processti puwlani'w dep ataydi'. Puwlani'w ji'lli'li'g'i' puw payda boli'w ji'lli'li'g'i'na sa'ykes keledi. Puwlani'w ji'lli'li'g'i'ni'n' deregi si'pati'nda suyi'qli'qtin' ishki energiyasi' xi'zmet etedi. Puwlani'wdi'n' saldari'nan suyi'qli'q salqi'nlaydi' (temperaturasi' to'menleydi).

*Suyi'q hal - qattı' hal fazali'q o'tiwi.* Qattı' zat temperatura to'menlegende usi' zatti'n' suyi'qli'g'i'nan yamasa gaz ta'rızlı xali'nan atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine jaqi'nlası'wi'ni'n' ha'm olardi'n' kristallikke (kristallizaciya orayı') toparlasi'wi'ni'n' saldari'nan payda boladi'. Kristallizaciya orayları' tek mikroko'lemlerde payda boladi'. Bul

mikroko'lemlerдин' qurami' menen quri'li'si' payda bolatug'i'n qatti' denenin' qurami' menen quri'li'si'na sa'ykes keliwi kerek. Salqi'nlaw tezligi, kristallizaciya oraylari'ni'n' sani', payda bolg'an kristallardi'n' o'siw tezligi qatti' denenin' quri'li'si'n anı'qlaydi' (kristalli'q, amorfli'q yamasa shiyshe ta'rızlı).

Suyi'q yamasa gaz ta'rızlı haldan kristalli'q zat hali'na fazali'q o'tiwdi *kristallizaciya* dep ataydi'.

*Kristallizaciya* - kristallardi'n' payda boli'w processi. Puwlardan, eritpelerden, balqi'ti'lg'an zatlardan kristallizaciyanı' da'slepki kristallizaciya, al qatti' haldan kristalli'q yamasa amorfli'q halg'a o'tiwdi ekinshi kristallizaciya dep ataydi'.

*Da'slepki kristallizaciya*. Kristalli'q zatti'n' suyi'q (eriw) ha'm keri qaray qatti' halg'a (qati'w) fazali'q o'tiwi berilgen zat ushi'n bası'mnan g'a'rezli bolg'an belgili bir temperaturada o'tedi. Balqi'w temperaturasi'ni'n' ma'nisi menen qati'w temperaturasi'ni'n' ma'nisleri birdey ha'm ol da'slepki kristallizaciya temperaturasi'na ten'.

Balqi'w menen suyi'qli'qtı'n' qatti' halg'a o'tiwi belgili bir mug'dardag'i' ji'lli'li'qtı'n' sa'ykes jutı'li'wi' yamasa shı'g'arı'li'wi' menen ju'redi. Balkı'w ji'lli'li'gi'ni'n' shamasi' qati'w ji'lli'gi'ni'n' shamasi'na ten'. Denenin' temperaturasi' balqi'w yamasa kati'w processinde o'zgerissiz qaladi'. Sebebiprocestin' ji'lli'li'g'i' deneni qı'zdi'ri'w yamasa salqi'nlatı'w ushi'n emes, al atamlar arası'ndagi' baylani'slardı' u'ziw yamasa usı'nday baylani'slardı'n' payda boli'wi' (yag'ni'y uzi'qtan ta'rtiptin' payda boli'wi' yamasa buzi'li'wi') ushi'n jumasaladi'.

Kristallizaciya bazi' bir sheklik sharayatqa jetken waqi'tta baslanadi'. Bunday sharayat retinde suyi'qli'qtı' asa salqi'nlatı'wdı' yamasa puwdı' asa toydi'ri'wdı' ko'rsetiwge boladi'. Bunday jag'dayda bir zamatta ko'p sanlı' kristallikler – kristallizaciya oraylari' payda boladi'.

*Asa salqi'nlatı'w* - zatti' basqa agregat halg'a ten' salmaqlı'q o'tiwi temperaturasi'nan to'mengi temperaturag'a salqi'nlatı'w.

## **6. Kristallardi'n' payda boli'wi'ni'n' (o'siwinin') fizikalı'q mexanizmları**

Ha'zirgi waqi'tlari' millionlag'an kristalli'q zatlar belgili. Olardi'n' ishine salı'sti'rmali' a'piwayı' metallar ha'm olardi'n' quymalari', ju'da' quramali' quri'li'slarg'a iye kristallar da kiredi. Sol kristallardi'n' o'zine ta'n qa'siyetleri ko'p sanlı' atomlardı'n' ayri'qsha tu'rde jaylası'wlari' menen baylani'sli'. biraq usı' jag'daylarg'a qaramastan bul kristallardi'n' barlı'g'i' da ko'p sanlı' emes, biraq bir birine salı'sti'rg'anda ha'r qı'yılı' boli'p jaylasqan atomlardan turadi'. Atomlar arası'ndag'i' elektromagnitlik ta'sirlesiwler atomlardı'n' bir biri menen baylani'si'wi'n ha'm kristalli'q pa'njereleldin' ha'r qı'yılı' tiplerinin' payda boli'wi'n ta'miyinleydi. Bul processte zaryadlırdı'n' ta'sirlesiwini' elektrostatikali'q energiyasi' tiykarg'i' ori'ndı' iyeleydi. Ayı'ri'm jag'daylarda magnitlik ta'sirlesiwini' de u'lesi ko'rinedi. Biraq magnitlik ta'sirlesiwini' u'lesi elektrostatikali'q ta'sirlesiwini' u'lesine salı'sti'rg'anda a'dewir kishi boladi'. Joqarı'da atap o'tilgen ta'sirlesiwler atomli'q elektronli'q qabi'qlar sı'yaqlı' belgili bir simmetriyag'a iye boladi'. Sonlı'qtan atomlar da bir biri menen simmetriyali' bolg'an quri'li'slardı' payda etip kristalli'q denelerdi payda etedi. Bunday simmetriyali'q quri'li'slar haqqı'nda joqarı'da ga'p etildi. Tap usı'nday sebeplerge baylani'sli' xarakteristikaları' boyı'nsha bir birine jaqı'n atomlar atomları'ni'n' jaylası'wi' bir birine sa'ykes keletug'i'n strukturalardı' payda etedi. Kristallardi'n' du'zilisinin' ulı'wmali'q ni'zamlı'qları'n bile oti'ri'p jan'a quri'li'slardı' boljaw, qolda bar kristalli'q materiallardı'n' fizikalı'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetlerin jaqsi'law mu'mkin.

Ha'zirgi waqi'tlari' atomlardı'n' bir biri menen baylani'si'ni'n' xarakteri boyı'nsha kristallardi' 5 tipke ayı'radi':

- 1). Ionlı'q kristallar,
- 2). Kovalentlik kristallar,
- 3). Metall kristallar,

- 4). Vodorodli'q baylani'sqa iye molekulali'q kristallar,  
 5). Van-der-Vaals kristallari'.

Van-der-Vaals kristallari'nan basqalari'ni'n' barli'g'i' da ta'biyatta ha'm ha'zirgi zaman texnikasi'nda a'hmiyetli ori'nlardı' iyeleydi.

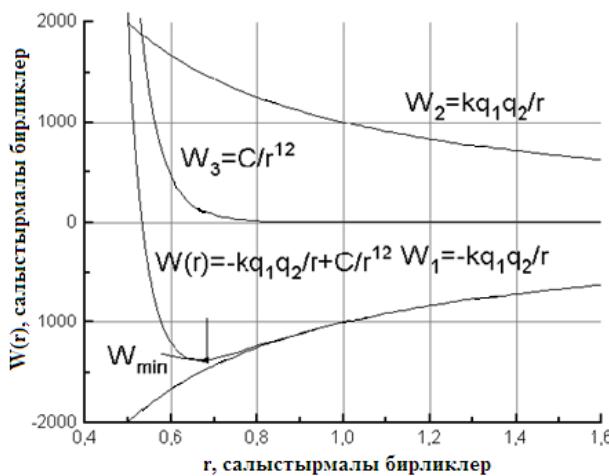
Kristallardi' joqari'dag'i'day ta'rтиpte bo'liwdin' qatan' tu'rdegi qag'i'ydasi' joq. Sebebi sonday tiplerdin' arasi'ndag'i' baylani'sqa iye kristallar da az emes. Baylani'sti'n' bir bo'legi kovalentlik, al qalg'an bo'legi vodorodli'q bolg'an kristalli'q zatlar de bar. Endi kristallardi' baylani'sti'n' tipleri boyi'nsha qarap shi'g'ami'z.

**Ionli'q kristallar.** Ionli'q kristallar birdey beglige iye ionlardi'n' iyterisiwinin' ha'm qarama-qarsi' belgilerge iye zaryadlarg'a iye ionlardi'n' bir birine tarti'si'wi'ni'n' na'tiyjesinde qa'lipleseedi. En' kop tarqalg'an mi'sal retinde NaCl ha'm CsCl kristallari'n ali'p qarawg'a boladi'. Ha'r bir on' zaryadlang'an ion (mi'sali' Na, Cs) o'zinin' a'tirapi'na qarama-qarsi' zaryadqa iye bolg'an ionlardi' (Cl) ji'ynawg'a ti'ri'sadi'. Al teris zaryadlang'an ionlar bolsa o'zlerin on' zaryadqa iye ionlar menen qorshaydi'. Ionlar bir birine olardi'n' elektronli'q qabi'qlari' tiyiskenshe jaqi'nlasadi'. Bunnan keyin olar arasi'nda kvantli'q ta'biyatqa iye iyteriw ku'shleri payda boladi'. Usi'ni'n' saldarı'nan 1- ha'm 8-su'wretlerde keltirilgen strukturalarday strukturalar jiyi payda boladi'. CsCl kristallari'nda ha'r bir ion qarama-qarsi' belgidegi zaryadqa iye segiz ion menen qorshalg'an. Olar bir birine sali'sti'rg'anda simmetriyali' boli'p ortadag'i' ionni'n' orayi'nan  $a\sqrt{3/2}$  qashi'qli'qta jaylasqan. Onnan armani'raq a qashi'qli'g'i'nda tap sonday zaryadqa iye 6 ion jaylasadi'. Quri'li's tap usi'nday izbe-izlikte dawam etedi. NaCl kristallari'nda ha'r bir ionni'n'  $a/2$  qashi'qli'qta jaylasqan qarama-qarsi' belgidegi zaryadqa iye alti' jaqi'n jaylasqan qon'i'si'si' bar, bunnan keyin  $a\sqrt{2}$  qashi'qli'qta tap sonday belgidegi zaryadqa iye 12 ion jaylasqan. Demek saylap ali'ng'an iondi' qarama qarsi' zaryadqa iye ionlardi'n' qorshap turi'w tendencyasi' ko'riniq tur degen so'z. Ionlardi'n' usi'nday ta'qlitte jaylasi'wlari'nda elektrostatikali'q energiyadan uti'w ori'n aladi'.

Endi elektrostatikali'q energiyadan qansha uti'w ori'n alatug'i'nli'g'i'n esaplaymi'z. Bunnan keyin usi'nday esaplalwar na'tiyjeleri paydalani'p ionlardi'n' kristallardi'g'i' baylani's energiyasi'n tabami'z. Esaplawi' bir birinen r qashi'qli'g'i'nda turg'an  $q_1$  ha'm  $q_2$  zaryadli' ionlar jubi' arasi'ndag'i' potencialli'q energiyani' qaraymi'z:

$$W(r) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} + C/r^{12}.$$

Birinshi qosılli'wshi' ionlar arasi'ndag'i' tarti'li's yamasa iyterilis ku'shlerin ta'ripleydi. Ekinshi qosılli'wshi' bolsa ionlardi'n' elektronli'q qabi'qlari' bir birine tiye baslag'anda payda bolatug'i'n iyterilis ku'shlerin da'l ani'qlaydi'. S parametrin esaplaw na'tiyjeleri menen eksperimentalli'q na'tiyjelerdi bir birine sa'ykeslendirliw arqali' a'melge asi'ri'ladi'.  $W(r)$  funkciyasi'ni'n' ha'm oni'n' eki qosılli'wshi'lari'ni'n' tu'rleri 6-su'wrette keltirilgen.



6-su'wret.

Eki ionni'n' ta'sirlesiw energiyasi'  $W(r)$  shaması'ni'n' ionlar arası'ndag'i' qashi'qli'q r den g'a'rezligi.

Bunnan keyin ionlardı'n' birewin saylap aladi' ha'm usi' ionni'n' a'tirapi'ndag'i' jaqi'n ha'm uzaqlaw jaylasqan ionlar menen jup-juptan ta'sirlesiw energiyaları'n tabadi' ha'm olardi' bir biri menen qosi'p shi'g'adi' (summatalaydi'). Esaplawlarda kristaldi' ju'da' u'lken dep esaplaydi' ha'm betlik effektlerdi esapqa almaydi'. Esaplang'an qosi'ndi' (summa) kristaldag'i' saylap ali'ng'an ionni'n' energiyasi'n beredi. Bunnan keyin bul energiyani' pa'njere turaqli'si' a ni'n' funkciyasi' dep esaplap energiya minimumg'a iye bolatug'i'n a shaması'ni'n' ten' salmaqli'q ma'nisin ani'qlaydi'. Esaplang'an energiyani'n' a boyi'nsha ekinshi ta'rtipli tuwi'ndi'si'n da esaplaw mu'mkin. Bunday jag'dayda serpimliktin' ko'lemlik moduli bolg'an  $B = -V(dp/dV)$  shaması'n esaplaw mu'mkinshilige iye bolami'z.

Eger C parametri duri's saylap ali'ng'an bolsa baylani's energiyasi'ni'n', pa'njere turaqli'si' a ni'n' ha'm modul  $B$  nin' da'l ma'nislerin esaplaw mu'mkinshiligi payda boladi'.

Ionlı'q kristallar a'dette sali'sti'rmali' a'piwayi', ku'shli ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an ha'm joqarı' simmetriyali' kristalli'q pa'njerege iye (mi'sali' kubli'q). Bul kristallardi'n' ko'pshiligi mort keledi.

**Kovalentlik kristallar.** Kovalentlik kristallar atomlar arası'ndag'i' kovalentlik baylani'slardı'n' esabi'nan payda boladi'. Al kovalentlik baylani's elektronlı'q bultlardi'n' (qabi'qlardi'n') bir birine tiyisiwinin' na'tiyjesinde elektronlardı'n' bir atomnan ekinshisine o'tiwinin' na'tiyjesinde payda boladi'. Usi'ni'n' aq'i'betinen atomlar arası'nda eki atomdi' bir birine tartatug'i'n teris zaryadı'n' qoyi'wlasi'wi' payda boladi'. Atom valentligine baylani'sli' bir biri menen ha'r qi'yli' mu'yesherleri jasap ornalasatug'i'n baylani'slardı'n' bir neshe tipin payda etedi. Kovalentlik kristaldag'i' atomlar bir biri menen kovalentlik baylani'slardı'n' esabi'nan birigedi. Qala berse baylani'slar arası'ndag'i' mu'yesher ha'm olardi'n' arası'ndag'i' «uzi'nli'qlar» ha'r qi'yli' bolg'an kristallar ushi'n azmaz ayri'ladi'.

Belgili kovalentlik kristalı'a mi'sal retinde almazdi' ko'rsetiwge boladi'. Oni'n' kristalli'q quri'li'si' 18-su'wrette berilgen. Almazdi'n' quri'li'si'nda (pa'njeresinde) ha'r bir atom tetraedrlik tu'rde jaylasqan to'rt atom menen qorshalg'an. Uglerod atomı'ni'n' kovalentlik baylani'sları' ko'pshilik jag'daylarda almazdag'i'day boli'p jaylasadi'.

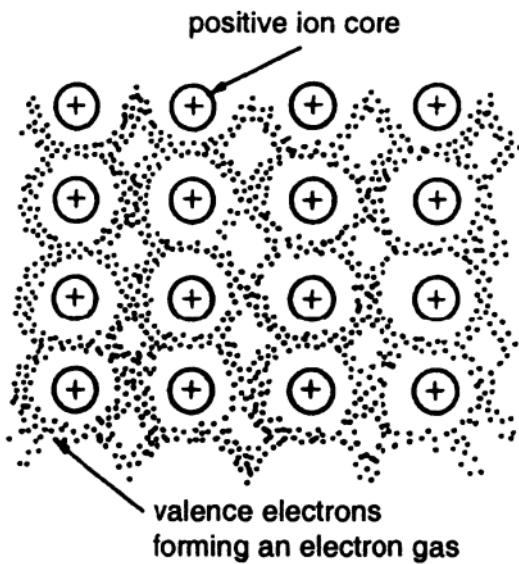
Kovalentlik kristallar jag'dayi'nda baylani's energiyasi'n esaplaw procedurasi' jetkilikli da'rejede quramali'. Sonli'qtan bunday esaplawlar jumi'si'n keltirmeymiz.

Kovalent kristallardi'n' kristalli'q pa'njereleri ha'm olardi'n' bazisleri ju'da' quramali' ha'm to'men simmetriyag'a iye boladi'. Sebebi kristal atomlar yamasa molekulalardi'n' bo'limlerindegi kovalentlik baylani'slardı'n' bag'i'tlari' ju'da' ko'p sanli'. Kovalent kristallardi' u'yrengende belgili bir sorttag'i' atomni'n' «atomni'n' kovalentlik radiusi"», «kovalent baylani'sti'n' uzi'nli'g'i», kovalent baylani'slar arası'ndag'i' mu'yesher si'yaqli' tu'siniklerdi jiyi qollanadi'. Bunday shamalardi'n' derlik barli'g'i' da kristaldag'i' bul atomlar basqa atomlar ta'repinen ha'r qi'yli' boli'p qorshalg'anda az shamag'a o'zgeredi.

Kovalent ha'm ionlı'q kristallar arası'nda kristallardi'n' ko'p sanli' arali'qli'q tipleri bar.

Bunday kristallardag'i' baylani's kovalentlik ha'm polyar. Bunday baylani'sta kovalentlik baylani'sqa juwap beretug'i'n elektronli'q ti'g'i'zli'qtin' u'lkenirek ma'niske iye bolg'an ori'nlerde ionlardan' birine qaray awi'sqan. Usi'ni'n' saldari'nan azmaz zaryadlang'an atomlar arasi'nda qosi'msha kulonli'q ta'sirlesiw ku'shi payda boladi'. Ionli'q baylani's a'dette elektronli'q qabi'qlari' derlik tolg'an atomlar arasi'nda payda boladi' (siltili metallar, Mendeleev kestesindegi birinshi ha'm jetinshi topar elementleri, ekinshi ha'm alti'nshi' topar elementleri arasi'nda kulonli'q baylani's siyregirek ushi'rasadi'). U'shinshi-besinshi topar elementleri a'dette kovalentlik baylani's payda etedi. Ayi'ri'm jag'daylarda eksperimentlerde kristaldag'i' ha'r bir atomg'a sa'ykes keletug'i'n elektronlardan' ortasha ma'nisin ani'qlaw mu'mkin (mi'sali' difrakciyalı'q usi'llardi'n' ja'rdeminde o'tkerilgen eksperimentlerde). Bul o'z gezeginde atomlardan' zaryadi' haqqi'nda da, kristaldag'i' baylani'sti'n' xarakteri haqqi'nda da juwmaqlar shi'g'ari'wg'a mu'mkinshilik beredi.

**Metalli'q kristallar.** Metalli'q kristallarda atomlardan' si'rtqi' elektronlari' ionlardan' tulg'alari' (ionni'e ostovi') arasi'nda erkin qozg'ali'p ju're aladi'. Bul elektronlardan' teris zaryadlang'an bulli' payda etedi dep ko'z-aldi'g'a keltiriwge boladi'. Bul bult ishinde metaldi'n' ionlari' jaylasqan boladi'. Ionlardan' bir biri ha'm elektronlar bulti' menen penen ta'sirlesowi metaldag'i' atomlardan' jaylas'i'wi'ni'n' ta'rtiplesiwine ali'p keledi. O'tiwshe metallarda (perexodni'e metalli') olardi'n' d qabi'qlari'ni'n' bir birine o'tiwi ha'm soni'n' aqi'betinde metaldag'i' baylani's energiyasi'ni'n' u'lkeyiwine ali'p keletug'i'n kovalentlik baylani'sqa usag'an baylani's ta payda boladi'. Metallardag'i' baylani's energiyasi'n esaplaw ju'da' qi'yi'n ma'seleler qatari'na kiredi ha'm sonli'qtan bunday esaplawlardan' keltirmeyiz.

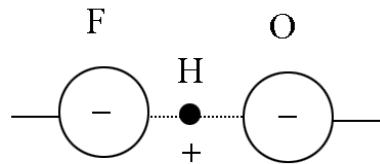


Metalli'q baylani'sti'n' payda boli'wi'n sa'wlelendiretug'i'n su'wret.

A'dette metallar ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an kristalli'q pa'njerelerdi payda etedi (ti'g'i'z etip jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q, QOK yamasa KOK).

**Vodorodli'q baylani'sqa iye molekulali'q kristallar.** Vodorodli'q baylani'sqa iye molekulali'q kristallarda vodorodli'q baylani's teris zaryadlang'an F, O, N atomlari' arasi'nda payda boladi'. Al bul atomlardan' o'zleri basqa atomlar menen (eger ortasi'nda vodorod bolsa) polyarli'q kovalentlik baylani'sqan boli'wi' kerek. Joqari'da formulalari' keltirilgen atomlardan' biri o'zine vodorod atomi'ni'n' elektroni'n qabi'l etedi. Usi'ni'n' saldari'nan vodorod atomi' shekli jag'dayda protong'a aylanadi'. Bul protong'a ko'pshilik jag'daylarda eki teris zaryadlang'an ion arasi'nda ornalasqan energiyali'q jaqtan uti'mli'raq boladi' (F, O, N atomlari' menen baylani'sqang'a sali'sti'rg'anda). Bunday jag'dayda teris zaryadlang'an ionlardan' vodorod ioni' menen tartasi'wi'ni'n' saldari'nan energiyasi' shama menen 0,1 eV bolg'an bekkem baylani's payda boladi'. Vodorod ioni'ni'n' kishiliginen ol tek eki atomdi' bir

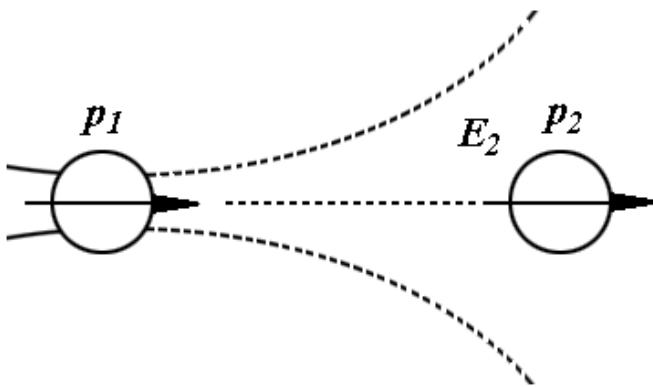
biri menen baylani'sti'radi' (7-cu'wret).



7-su'wret.  
Vodorodli'q baylani'sti'n' payda  
boli'w sxemasi'.

Vodorodli'q baylani's biologiyali'q molekulalarda ha'm kristallarda a'hmiyetli ori'ndi' iyeleydi. Mi'sali' DNK molekulasi'ni'n' eki spirali'ni'n' bir biri menen baylani'si'wi' vodorodli'q baylani'sti'n' ori'n ali'wi'ni'n' saldar'i'nan ju'zege keledi. Ayi'ri'm kristallardi'n' segnetoelektriklik (ferroelektriklik) qa'siyetleri ha'm suw menen muzdi'n' molekulalari'ni'n' 0°C temperaturadag'i' qa'siyetleri olarda vodorodli'q baylani'slardi'n' ori'n alatug'i'nli'g'i'n tu'sindiredi.

**Van-der-Vaals kristallari'.** Van-der-Vaals kristallari' elektrlik jaqtan neytral bolg'an atomlardan olar arasi'ndag'i' dipol-dipollik baylani'sti'n' esabi'nan payda boladi'. Bunday baylani'slardi'n' ta'sirinde to'mengi temperaturalarda inert gazlerdin' kristallari' payda boladi'. Bunday kristallar barli'q waqi'tlarda da ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an QOK quri'li'sqa iye boladi'. Van-der-Vaals baylani'si' joqari'da qarap o'tilgen baylani'slardi'n' ishindegi en' a'zzisi. Sonli'qtan ionli'q, kovalentlik ha'm metalli'q baylani'slardi'n' payda boli'wi' ushi'n sharayatlar do'retilmegen jag'daylarda ayqi'n ko'rinedi.



8-cu'wret.  
Dipol-dipollik baylani'sti'n'  
payda boli'w sxemasi'.

Van-der-Vaals baylani'si'ni'n' payda boli'wi'n a'piwayi' klassikali'q modelden ko'riwge boladi'. Eki neytral bolg'an atomni'n' bir biri menen ta'sirlesiwini qaraymi'z. Olardi'n' oraylari' arasi'ndag'i' qashi'qli'q  $r$  ge ten' bolsi'n. Waqi'tti'n' ha'r bir momentinde teris zaryadti'n' orayi' on' zaryadlang'an atomni'n' orayi' menen sa'ykes kelmeydi. Sonli'qtan 1-atom ushi'n bir zamatlilik dipol momenti  $p_1$  shamas'i'ni'n' ma'nisi nolge ten' bolmaydi'. Bul dipol momenti 2-atom jaylasqan ori'nda  $E$  elektr maydani'n payda etedi. Bul shaman'i'n' moduli

$$E_2 = \text{const} \cdot p_1 / r^3$$

Bul maydan ekinshi atomdi' polyarizaciyalaydi' ha'm sonli'qtan ekinshi atom da dipol momentine iye boladi':

$$p_2 = \beta \epsilon_0 E_2 = \beta \epsilon_0 \text{const} \cdot p_1 / r^3,$$

bul an'latpada  $\beta$  arqali' atomni'n' polyarizaciyalı'wshi'li'g'i' belgilengen. Eki dipol

arasi'ndag'i' ta'sirlesiw energiyasi'  $p_1 p_2 / r^3$  shaması'na proporsional. Sonlıqtan eki atom arasi'ndag'i' ta'sirlesiw energiyasi'  $1/r^6$  shaması'na proporsional boli'p, ma'nisi ju'da' kishi ha'm qashi'qli'qtı'n' o'siwi menen tez kemeyetug'i'n shama boladi'. Sonlıqtan Van-der-Vaals ta'sirlesiw tek kishi qashi'qli'qlarda g'ana sezilerliktey ma'niske iye boladi'. Ionlıq kristallardi' qarag'andag'i' ko'z-qaraslar boyi'nsha ta'sirlesiw energiyasi' ushi'n an'latpanı' jazi'w mu'mkin. Bul jag'dayda eki atom arasi'ndag'i'  $1/r^6$  shaması'na proporsional bolg'an ta'sirlesiw energiyasi'na  $1/r^{12}$  shaması'na proporsional bolg'an atomlar arasi'ndag'i' iyterilis energiyasi'n qosı'p kristalli'q pa'njerenin' payda boli'w energiyasi'n, pa'njere parametrin ha'm serpimlilik modulin esaplaw mu'mkin boladi'. Usı'nday izbe-izlikte o'tkerilgen esaplawlardı'n' na'tiyjeleri eksperimentte ali'ng'an mag'li'wmatlar arasi'nda jaqsi' sa'ykeslik ori'n alg'an.

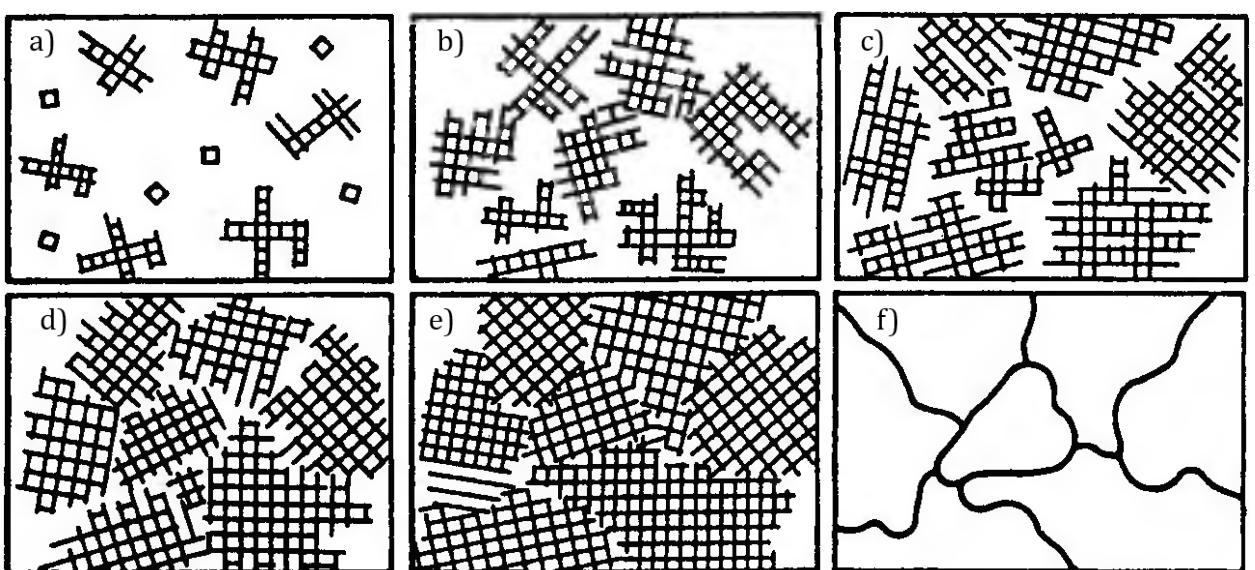
**Mono- ha'm polikristalli'q zatlar.** Texnikada qollani'latug'i'n materiallar menen olardi'n' bo'lekleri tek bir kristalli'q pa'njerege iye kristaldan siyrek jag'daylarda g'ana turadi'. Bunday zatlardi' monokristalli'q zatlar (yamasa monokristallar) dep ataydi'. Monokristallar tutas bir kristaldan turadi' (9-su'wret).

Texnikada tiykari'nan polikristallar dep atalatug'i'n materiallar qollani'ladi'. Polikristallar bir birinen o'sip shi'qqan og'ada ko'p monokristalli'q da'neshelerden turadi'. Bunday kristalli'q quri'li'sti'n' payda boli'wi'ni'n' sebebi mi'nadan ibarat: zatlardi'n' kristallani'wi' bir waqi'tta og'ada ko'p sanlı' kristallani'w oraylari'nda baslanadi'. Na'tiyjede polikristalli'q zat qa'liplesedi. Eger arnawli' ila'jar qollani'lsa eritpeden yamasa eritilgen (balqi'ti'lg'an) zattan monokristal ali'nadi'.

Ayi'ri'm jag'daylarda monokristalli'q zatlardi' yamasa olardan sog'i'lg'an bo'leklerdi paydalani'w za'ru'rli boladi'. Mi'sali' optikali'q nurlardi'n' polaryazatorlari'n, rentgen nurlari'ni'n' monoxromatorlari'n, elektronli'q saatlardag'i' rezonatorlardi' tek monokristallardan sog'adi'. Ayi'ri'm jag'daylarda monokristallardi' paydalani'w olardan sog'i'lg'an bo'leklerdin' sapasi'n keskin tu'rde joqarılatadi'.

Kristallikler (kishkene kristallar) suyi'qli'qtan yamasa puwdan atomlardı' yamasa molekulalardi' qosı'p ali'w joli' menen o'sedi. Kristallardi'n' o'siwinin' kristallizaciya sharayatlari'na g'a'rezligi o'siwdin' formalari'ni'n' ha'm strukturani'n' ha'r qi'yli' boli'wi'n (ko'p qaptalli'qlar, plastnka ta'rizli, iyne ta'rizli, dendiritlik ha'm basqa da) ta'miyinleydi. Kristallizaciya processinde ha'r qi'yli' defektlerdin' payda boli'wi' da mu'mkin.

En' da'slepki kishi kristallardi'n' payda boli'wi'ni'n' deregi orni'n mu'mkin bolg'an qatti' bo'leksheler (qosı'mtalar) iyeleydi. Olar tayar kristallizaciya oraylari' si'pati'nda xi'zmet etedi.



## 9-su'wret. Metall ushi'n kristallizaciya processinin' sxemasi'

Polimorfli'q aylani'slar jag'dayi'nda jan'a faza tek diffuzini'n' na'tiyjesinde emes, al ji'lji'wlardi'n' saldari'nan da payda bola aladi'. Mi'sali', salqi'nlatqanda jokari' temperaturali' modifikasiya to'mengi temperaturali' modifikasiyag'a o'tedi. Bunday fazali'q o'tiwi *martensitlik fazali'q o'tiw*, al payda bolg'an jan'a fazani' *martensitlik faza* dep ataydi'.

*Martensitlik aylani's* - salqi'nlatqanda ju'retug'i'n polimorfli'q aylani's, bunday fazali'q aylani'sta kristaldi' quraytug'i'n atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine sali'sti'rg'andag'i' jaylasi'wlari' olardi'n' ta'rtiplesken ori'n almasti'ri'wi'ni'n' (ji'lji'wi'ni'n') saldari'nan ju'zege keledi. Qon'si'las atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine sali'sti'rg'andag'i' ji'lji'wi'ni'n' shaması' atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlarg'a sali'sti'rg'anda a'dewir kishi. Quymalardag'i' martensitlik aylani'sti'n' na'tiyjesinde fazalardi'n' koncentraciyalari' o'zgermeydi.

Martensitlik aylani'sti'n' tiykari'nda atomlardi'n' kooperativlik ha'm ni'zamli' tu'rdegi ji'lji'wlari' jatadi'. Atomlar o'zlerinin' qon'si'lari'n saqlaydi' ha'm bir birine sali'sti'rg'anda atomlar arasi'ndag'i' kashi'qli'qlardan kishi bolg'an qashi'qli'qlarg'a g'ana ji'lji'ydi'. Jan'a faza buri'ng'i' faza menen kogerentli baylani'sqan, kogerentlik buzi/lg'an jag'dayda jan'a fazani'n' kristallari'ni'n' o'siwi toqtaydi'. Bul jag'dayda polimorfli'q aylani's da'slepki faza menen kogerentli baylani'sqan jan'a kristallardi'n' payda boli'wi' ha'm o'siwi menen ju'redi. Soni'n' menen birge jan'a fazani'n' kristallari'ni'n' o'siwi ko'pshilik jag'dayda sestin' tezligindey tezlik penen ju'zege keledi. ( $\sim 10^3$  m/s).

Polatti'n' shi'ni'g'i'wi', formani' este saqlaw effekti si'yaqli' effektler martensitlik aylani'slar menen baylani'sli'.

*Martensit* - martensitlik aylani'sti'n' na'tiyjesinde payda bolg'an kristalli'q qattı' denelerdin' strukturali'q qurawshi'si'.

## 7. Kristalli'q pa'njere

Kristalli'q qattı' denelerdin' en' basli' o'zgesheligi olardi' payda etiwshi atomlardi'n' yamasa molekulalardi'n' ken'isliktegi da'wirli tu'rde jaylasi'wi' boli'p tabi'ladi'. Sol atomlar menen molekulalar ken'isliklik u'sh o'lshemli kristalli'q pa'njereni payda etedi. Kristallardi'n' duri's geometriyali'q formalarg'a iye boli'wi' atomlardi'n' da'wirli jaylasi'wlari'na baylani'sli'. Kristalli'q pa'njeredegi atomlardi'n' anizotropiyali'q jaylasi'wlari' qattı' denelerdin' texnikada ken' tu'rde qollani'latug'i'n ko'p sandag'i' anizotropiyali'q qa'siyetlerinin' payda boli'wi'n ta'miyinleydi. Kristallardi'n' ji'lli'li'q qa'siyetleri oni'n' kristalli'q pa'njeresinin' terbelislerin tallawdan kelip shi'g'adi'. Elektronlardi'n' kristalli'q pa'njererin' da'wirli potenciali'ndag'i' qozg'ali'slari'n qaraw kristallardi'n' elektrlik qasiyetlerin tu'sindiredi. Kristalli'q pa'njererin' ishinde qozg'alatug'i'n bo'lekshelerdin' de, si'rttan kelip tu'setug'i'n bo'lekshelerdin' de (elektronlardi'n', neytronlardi'n', fotonlardi'n') difrakciyasi' baqlanadi'. Kristallarda qozg'alatug'i'n elektronlardi'n' difrakciyasi'ni'n' ja'rdeminde kristallardag'i' elektronlardi'n' energiyali'q qa'ddilerinin' jaylasi'wlari'ni'n' o'zgeshelikleri ani'qlanadi'. Kristalli'q pa'njeredegi elektronlardi'n', fotonlardi'n', neytronlardi'n' difrakciyalari' qattı' denelerdin' quri'li'si'n izertlewdin' en' ko'p informaciyag'a iye usi'llari' boli'p tabi'ladi'. Buzi'qli'qlar, yag'ni'y kristalli'q pa'njerinin' defektleri bolsa qattı' denelerdin' barli'q qa'siyetlerine ju'da' ku'shli ta'sir etedi.

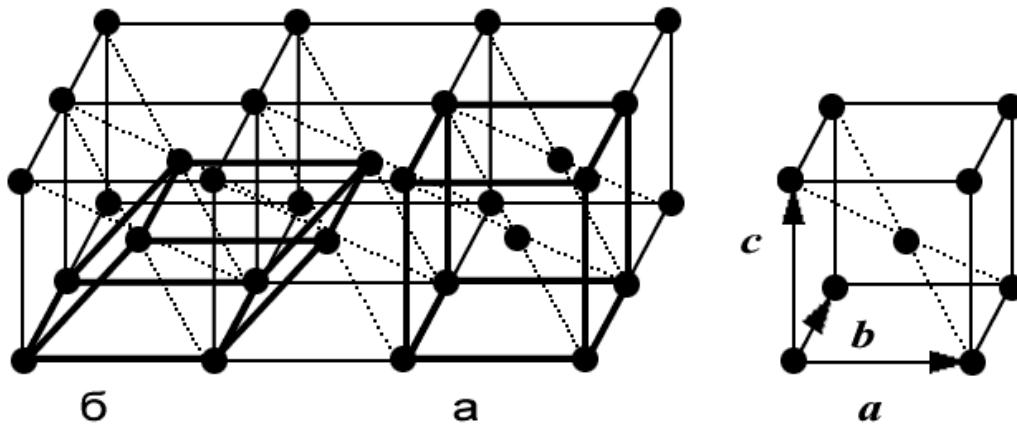
Biz to'mende kristalli'q pa'njere tu'siniginin' ja'rdeminde kristallardi' ta'riplewdin' usi'llari'n, kristallardi'n' payda boli'wi'ni'n' fizikali'q sebeplerin ha'm bo'lekshelerdin' kristallardag'i' difrakciyasi'ni'n' o'zgesheliklerin qarap shi'g'ami'z. Bunnan keyingi lekciyalarda qarap shi'g'i'latug'i'n qattı' denelerdin' ha'r qi'yli' qa'siyetleri usi' lekciyalardag'i' tu'sinikler menen koncepciyalarg'a tiykarlanadi'.

Kristaldi' ken'islikte da'wirli tu'rde qaytalanatug'i'n birdey strukturali'q birlik bolg'an

kristaldi'n' elementar quti'shalari'nan turadi' dep ko'z aldi'mi'zg'a keltiriwimiz mu'mkin. Elementar quti'sha bir yamasa bir neshe atomnan turi'wi' mu'mkin.

Elementar quti'sha uli'wma jag'dayda qi'ya mu'yeshli paralelopiped formasi'na iye boladi'. Bul quti'shada jaylasqan barli'q atomlardi' kristaldi'n' elementar quti'shasi'ni'n' bazisi dep ataw qabi'l etilgen. Elementar quti'shani'n' ha'm bazistin' quri'li'si'ni'n' ni'zamli'qlari' kristaldi'n' ko'plegen qa'siyetlerin ani'qlaydi'. Mi'sali' quti'shani'n' simmetriyali'q da'rejesi kristaldi'n' ko'plegen qa'siyetlerin, soni'n' ishinde elektrlik, magnitlik ha'm mexanikali'q qa'siyetlerin ani'qlaydi'. Elementar quti'sha o'z ishine bir yamasa bir neshe atomdi' ali'wi' mu'mkin. Temir, xrom, mi's, gu'mis si'yaqli' ko'pshilik metallarda elementar quti'sha tek bir atomnan turadi'. Kristal bir neshe ximiyali'q elementlerden turatug'i'n bolsa elementar quti'sha keminde eki atomnan turadi'. Bunday kristallarg'a mi'sal retinde xlorli' nartiydi keltire alami'z. Geypara kristallardi'n' elementar quti'shalari'nda bir birine ilinisen molekulali'q toparlar bar boladi' (muz kristallar, ko'plegen magnitlik materiallardi'n' kristallari'). Beloklardi'n' elementar quti'shalari' bolsa o'z ishine bir neshe mi'n' atomlardi' aladi'.

**Elementar quti'shani' saylap ali'w.** Qa'legen kristaldi'n' quri'li'si'n ta'riplew ushi'n oni'n' elementar quti'shasi'n saylap ali'w kerek boladi'. Bir kristaldi'n' elementar quti'shasi'n ko'p sanli' usi'llar menen saylap ali'wdi'n' mu'mkin ekenligi o'z-o'zinen tu'sinikli. (10-su'wret). Elementar quti'shani' saylap alg'anda quti'shani'n' formasi'ni'n' a'piwayi'li'g'i'na, tuwri' mu'yeshlerdin' mu'mkin bolg'ani'nsha ko'p boli'wi'na ha'm oni'n' ko'leminin' minimumg'a iye boli'wi'na ti'ri'sadi'. En' kishi ko'lemge iye bolg'an elementar quti'shani' a'piwayi' elementar quti'sha (primitivli'q elementarli'q yasheyka) dep ataydi'. Biraq ko'pshilik jag'daydarda elementar quti'shani' ko'lemin u'lkenlew, sonli'qtan oni'n' ishinde bir neshe atom bolatug'i'n, biraq oni'n' formasi'n a'piwayi' etip saylap aladi'. Bunday elementar quti'shalarda bazisti bir neshe atom quraydi'. 10-su'wrette  $\alpha$ -temirdin' kristalli'q pa'njeresi keltirilgen. Bul quri'li'sti' kublar menen tolti'ri'lg'an ken'islik tu'rinde su'wretlegen qolayli'. Kublardi'n' mu'yeshlerinde (1) ha'm orayi'nda (2) temir atomlari' jaylasqan boladi'. Tap usi'nday, soni'n' menen ko'p tarqalg'an pa'njereni ko'lemde oraylasqan kubli'q (KOK) pa'njere dep ataw qabi'l etilgen. Elementar quti'shani' kvadrat ultang'a iye qi'ya mu'yeshli paralelopiped (b) tu'rinde qabi'l etiwge boladi'. Biraq elementar quti'sha retinde ko'lemi 2 ese u'lken ha'm mu'yeshlerinin' barli'g'i' da tuwri' mu'yeshli bolg'an (a) quti'shani' saylap alg'an qolayli'. Bunday elementar katı'sha atomlardi'n' jaylası'wlari'ndag'i' simmetriyani' jaqsi'raq sa'wlelendiredi ha'm oni' matematikali'q jaqtan tallaw ushi'n qolayli'.



10-su'wret. Ko'lemde oraylasqan elementar quti'shani' saylap ali'w.

Saylap ali'ng'an elementar quti'shani' oni'n' qabi'rg'alari'na sa'ykes keliwshi ha'm bir

noqatta kesilesetug'i'n u'sh  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  translyaciyalari' menen ta'ripleydi.  $\vec{r}' = \vec{r} + n_1 \vec{a} + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c}$  qatnasi' menen baylani'sqan ( $n_1, n_2, n_3$  ler pu'tin sanlar) radius-vektorlari'  $\vec{r}'$  ha'm  $\vec{r}$  bolg'an eki noqat kristaldi'n' ha'r qi'yli' elementar quti'shalardag'i' bazistin' bir noqati'n ta'ripleydi. Bunday jag'dayda bazistin' atomlari'ni'n' jaylasi'wlari'n bir elementar quti'shani'n' sheklerinde ta'riplegen qolayli' boladi'. Al kristaldi'n' barli'q quri'li'si' usi' quti'shani' «tirajlaw» menen a'melge asi'ri'ladi'. «Tirajlaw» ushi'n quti'shani' translyaciya vektorlari' dep atalatug'i'n  $\vec{T} = n_1 \vec{a} + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c}$  vektori' shamalari'na ji'li'sti'ri'p shi'g'i'w kerek boladi'. Solay etip kristaldi'n' quri'li'si'n toli'q ta'riplew ushi'n to'mendegilerdi beriw kerek eken:

1) berilgen noqatti' barli'q  $\vec{T}$  vektorlari'na parallel ko'shiriw joli' menen ali'ng'an ken'isliklik pa'njere,

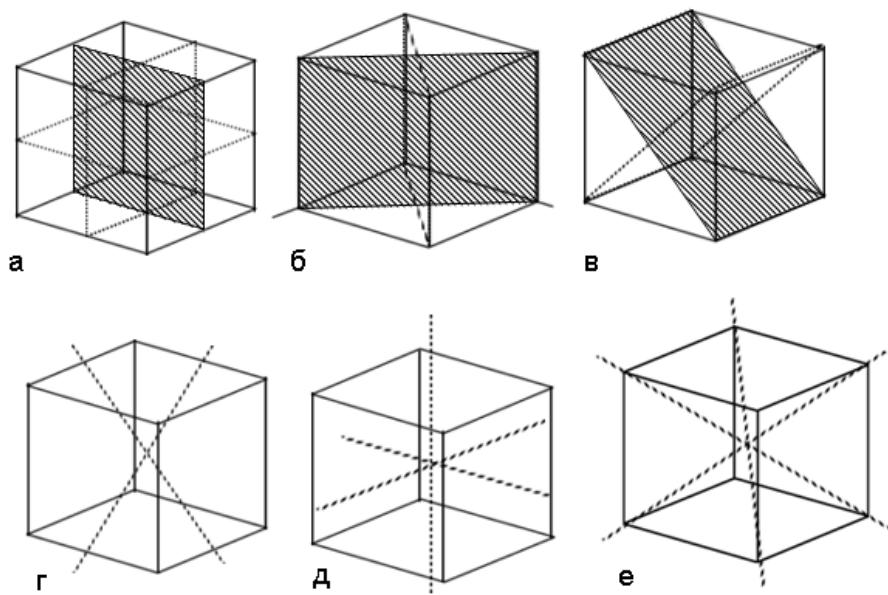
2) bazis.

Ken'isliklik pa'njereni a'dette  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  vektorlari' ja'rdeinde xarakterleydi. Buni'n' ushi'n usi' vektorlardi'n' uzi'nli'g'i'  $a, b, c$  shamalari'n ha'm olar arasi'ndag'i' mu'yesler  $\alpha, \beta, \gamma$  lardi' beriw kerek.  $a, b, c$  shamalari'n kristalli'q pa'njerinin' da'wirleri dep ataydi'. Bul parametrler zatlardi'n' quri'li'si' (strukturasi') boyi'nsha spravoshnikerde beriledi.

Bazisti  $\vec{r}_i = x_i \vec{a} + y_i \vec{b} + z_i \vec{c}$  radius-vektorlari'ni'n' ja'rdeinde bir quti'shada beriw arqali' ani'qlaw qabi'l etilgen.  $x_i, y_i, z_i$  sanları' atomlardi'n' qaysi' ori'narda jaylasqanlı'g'i'n  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  vektorlari' u'leslerine sa'ykes beredi.

Bazistegi atomlar sani'n quti'shani'n' qaptal betleri menen kesilgen ken'isliktegi atomlardı'n' sani'n esaplaw menen a'melge asi'ri'ladi'. Elementar quti'shani'n' ishindegi atomlar sani'na kaptal betler ta'repinen kesilgen yarı'm, to'rtten bir, segizden bir atomlardı'n' sanları' qosi'ladi'. 10 (b) su'wrette keltirilgen quti'shada to'belerde jaylasqan mu'yeslik segizden birlik 8 atom jaylasqan. Usi'g'an baylani'sli' bunday bazis koordinataları' 000 bolg'an 1 atomnan turadi' dep esaplaydi'. Kristallografiyada atomlardı'n' koordinataları'n a'dettegi () tu'rindəgi qawsı'rmag'a almaydi'. Sebebi bunday qawsı'rma ja'rdeinde kristallografiyali'q tegislikler belgilenedi. KOK pa'njerede (10- (a) su'wretke qaran'i'z) quti'shani'n' ishinde 1 atom ha'm quti'shani'n' to'belerinde segizden birlik 8 atom bar: bir atom 0,0,0 awhali'n, al ekinshi atom  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  awhali'n iyeleydi.

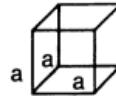
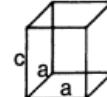
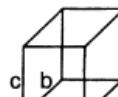
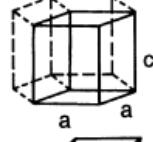
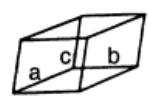
**Kristalli'q pa'njerelerdin' simmetriyası'.** Ko'pshilik zatlardi'n' kristalli'q pa'njereleri bir neshe simmetriya elementlerine iye boladi'. Simmetriya elementleri menen simmetriyali'q operacyalar baylani'sqan. Simmetriyali'q operacyalar ori'nlang'anda ken'isliklik pa'njere o'zinin' da'slepki awhali'na qayti'p keledi.  $2\pi/2, 2\pi/3, 2\pi/4, 2\pi/6$  mu'yeslerine buratug'i'n ko'sherler (bunday ko'sherlerdi ekinshi, u'shinski, to'rtinshi ha'm altı'nshi' ta'rtipli simmetriya ko'sherleri dep ataydi') simmetriya elementleri boli'p tabi'ladi'. 10 (a) ha'm 11-su'wretlerde keltirilgen pa'njereler ko'p simmetriya ko'sherlerine iye (mi'sali' to'rtinshi, u'shinski, ekinshi ta'rtipli simmetriya ko'sherleri). Basqa tu'rdegi simmetriya elementleri qatari'na simmetriya tegisligin (bunday tegislikti aynali'q shashi'rati'w tegisligi dep te ataydi') ha'm simmetriya orayı'n (bunday noqatti' inversiya orayı' dep te ataydi') kirgiziwge boladi'.



## 11-su'wret.

Kubti'n' bazi' bir simmetriya elementleri: a) kubti'n' qabi'rg'alari'na perpendikulyar bolg'an u'sh dana simmetriya tegisligi; b, v) kubti'n' qaptallari'ni'n' diagonallari'na perpendikulyar bolg'an 4 simmetriya tegisligi (bunday tegisliklerdin' sani' 6), g) kubti'n' qaptal diagonallari'na parallel bolg'an 2-ta'rtipli alti' simmetriya ko'sherinin' ekewi (bul ko'sherler qarama-qarsi' qabi'rg'alardi'n' ortalari' arqali' o'tedi), d) kubti'n' qaptal betlerine perpendikulyar ha'm olardi'n' oraylari' arqali' o'tiwshi 4-ta'rtipli simmetriya ko'sherinin' u'shewi, e) kubti'n' diagonallari'na parallel ha'm oni'n' to'beleri arqali' o'tiwshi to'rt dana 3-ta'rtipli simmetriya ko'sheri.

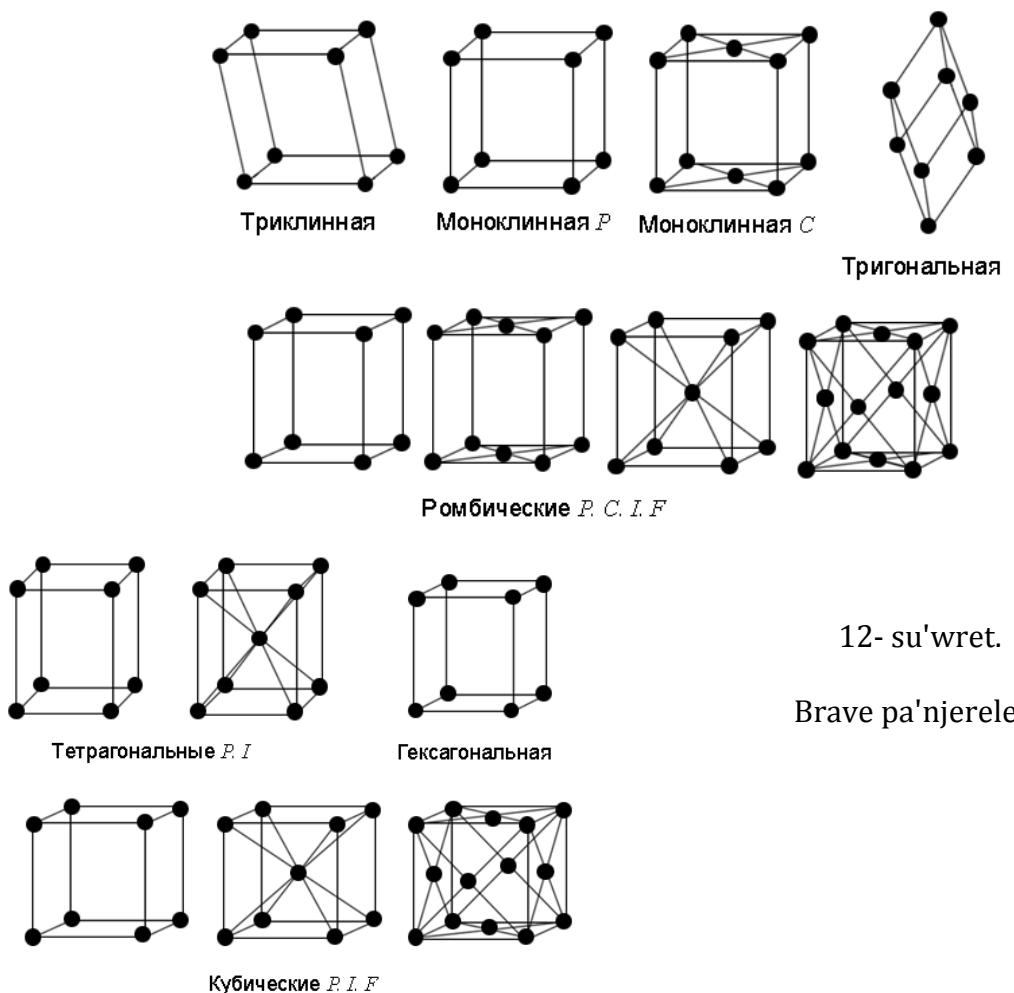
11-su'wrettegi kubli'q pa'njere qaptal betlerine parallel bolg'an u'sh simmetriya tegisligine, qaptal betlerdin' diagonallari'na perpendikulyar bolg'an alti' dana diagonalli'q simmetriya tegisligine, u'sh to'rtinshi ta'rtipli simmetriya ko'sherine, alti' dana ekinshi ta'rtipli simmetriya ko'sherine, to'rt dana u'shinski ta'rtipli simmetriya ko'sherine ha'm kubti'n' orayi'nda jaylasqan simmetriya orayi'na iye. Kristalli'q pa'njerenin' simmetriya operaciyalari'ni'n' mu'mkin bolg'an ji'ynag'i'n ta'ripleytug'i'n matematikali'q toparlar teoriyası' (teoriya grupp) bar.

system	axis lengths and angles	symmetry of the unit cell
cubic	$a=b=c$ , $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
tetragonal	$a=b\neq c$ , $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
orthorhombic	$a\neq b\neq c$ , $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
rhombohedral (trigonal)	$a=b=c$ , $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	
hexagonal	$a=b\neq c$ , $\alpha=\beta=90^\circ$ , $\gamma=120^\circ$	
monoclinic	$a\neq b\neq c$ , $\alpha=\gamma=90^\circ\neq\beta$	
triclinic	$a\neq b\neq c$ , $\alpha\neq\beta\neq\gamma$	

**Kristalli'q pa'njerelerdin' tipleri.** Toparlar teoriyası' ja'rdeinde kristallardi'n' barlıg'i'n 14 dana kristalli'q pa'njerenin' ja'rdeinde ta'riplewdin' mu'mkin ekenligin ko'rsetti. Bunday pa'njerelerdi Brave pa'njereleri dep ataymı'z ha'm olardi'n' su'wretleri 12-su'wrette keltirilgen. Olardi' elementar qutı'shalari'ni'n' tu'ri boyi'nsha ayri'latug'i'n jeti sistemag'a bo'liw qabi'l etilgen:

- triklinlik,
- monoklinlik,
- rombali'q,
- tetragonalli'q,
- trigonalli'q,
- geksagonalli'q,
- kubli'q.

Ha'r bir sistema  $a, b, c$  ha'm  $\alpha, \beta, \gamma$  shamarları' arası'ndag'i' belgili bir qatnas penen ayri'ladi' (1-kestede keltirilgen). Bul pa'njerelerdin' aysi'ri'mları' ha'r qanday tu'rge iye: primitivlik (a'piwayi') -P, ko'lemde oraylasqan (KO) - I, qaptalda oraylasqan (QO) - F ha'm bir birine qarama-qarsi' bolg'an bir kaptalı' oraylasqan - S.



12-su'wret.

Brave pa'njereleri.

1. Triklinlik sistemada barli'q mu'yeshler de, barli'q ta'replerdin' uzi'nli'qlari' da bir birine ten' emes. Bunday pa'njere elementar quti'shani'n' orayi'nda simmetriya orayi'na iye boli'wi' mu'mkin.

2. Monoklinlik sistemada quti'sha ha'r qi'yli' uzi'nli'qtag'i' qabi'rg'alarg'a iye tuwri' prizma tu'rinde boladi'. Quti'sha tuwri' prizmani'n' ultanlari'nda oraylasqan boli'wi' mu'mkin. Sonli'qtan monoklinlik S pa'njere menen P pa'njere bar. Usi'nday pa'njerege simmetriya elementleri qosi'ladi': tuwri' prizmani'n' ultani'na parallel simmetriya tegisligi ha'm ultanni'n' orayi' arqali' o'tiwshi 2-ta'rtipli simmetriya ko'sheri.

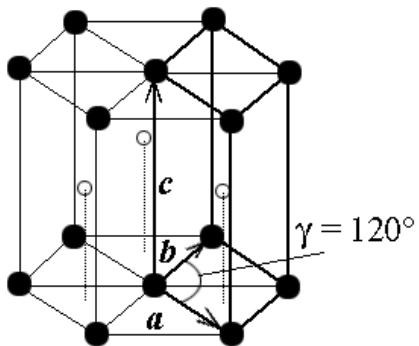
3. Rombali'q sistemada elementar quti'sha tuwri' mu'yeshli ha'm ha'r qanday uzi'nli'qtag'i' qabi'rg'alarg'a iye. Quti'sha kristalli'q pa'njerenin' barli'q 4 tu'rlerine iye: *P*, *I*, *F*, *A* (*B* yamasa *C*). Bunday pa'njerede simmetriya elementlerinin' sani' ko'p: qaptallarg'a parallel bolg'an u'sh simmetriya tegisligi, birdey bolg'an qarama-qarsi' qaptallardi'n' orayi' arqali' o'tiwshi u'sh 2-ta'rtipli simmetriya ko'sheri.

4. Tetragonalli'q sistemada quti'sha ultani' kvadrat bolg'an tuwri' mu'yeshli parallelepiped tu'rine iye. Quti'sha primitivlik (a'piwayi') *P* yamasa ko'lemde oraylasqan *I* boli'wi' mu'mkin. Rombali'q sistemag'a kiriwshi quti'sha menen sali'sti'rg'anda tetragonalli'q sistemada bir dana to'rtinshi ta'rtipli simmetriya ko'sheri ha'm basqa da bir neshe simmetriya tegislikleri bar.

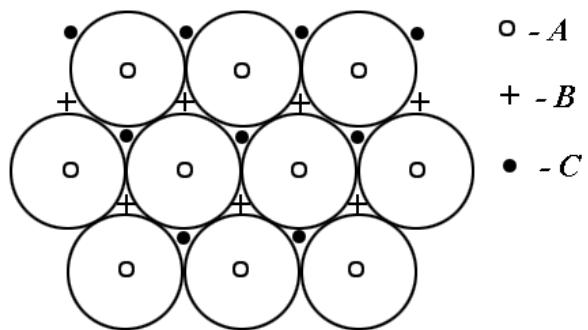
5. Kubli'q sistemada quti'sha kub tu'rine iye. Quti'shani'n' qaptal betleri oraylasqan (qaptaldan oraylasqan kub yamasa QOK), quti'shani'n' orayi' oraylasqan (ko'lemde oraylasqan kub yamasa KOK) yamasa pu'tkilley oraylaspag'an boli'wi' mu'mkin (primitivlik yamasa *P*-pa'njere). Bul en' joqari' simmetriyag'a iye pa'njere boli'p tabi'ladi'. Oni'n' simmetriya elementlerin biz joqari'da ko'rdik (11-su'wret).

6. Geksagonalli'q sistemada quti'sha tuwri' prizma formasi'na iye. Oni'n' ultani' romb boli'p tabi'ladi' ha'm rombadag'i' mu'yesh 60 gradusqa ten'. Ko'binese elementar quti'shadan u'sh ese u'lken quti'shani' paydalanyadi' (13-su'wrette ko'rsetilgen). Bunday quti'sha duri's alti' mu'yeshlik prizma formasi'na iye ha'm bunday prizmadag'i' alti'nshi' ta'rtipli simmetriya ko'sheri ani'q ko'riniq turadi'.

7. Trigonalli'q sistemada quti'shani' romboedr formasi'nda ko'rsetiw qabi'l etilgen. Oni'n' barli'q qabi'rg'alari'ni'n' uzi'nli'qlari' birdey. Oni'n' to'besindegi mu'yeshlerdin' ma'nisi 90 gradusqa ten' emes. KOK ha'm QOK pa'njerelerde ko'lemi saylap ali'ng'an kubli'q quti'shadan 2 ha'm 4 ese kishi bolg'an trigonalli'q quti'shalardi' saylap ali'w mu'mkin.



13-a su'wret.  
Geksagonalli'q pa'njererinin'  
elementar quti'shalari'.



13-b su'wret.  
Ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an quri'li'slardag'i'  
(strukturalardag'i') atomlardi'n' o'z-ara jaylasi'w  
variantlari'.

Pa'njerelerdin' basqa barli'q tu'rleri (tipleri)  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  vektorlari'n saylap ali'w joli' menen joqari'da keltirilgen tiplerdin' birewine ali'p kelinedi.

Pa'njererin' simmetriyası fizikali'q qa'siyetlerdin' anizotropiyasi'n ani'qlaydi' (ha'r qi'yli' bag'i'tlar boyi'nsha fizikali'q shamalardi'n' ha'r qi'yli' boli'wi'). Bazi' bir fizikali'q qa'siyetlerdin' anizotropiyasi'n elementar quti'shani'n' tu'ri boyi'nsha boljawg'a boladi'. Mi'sali' sali'sti'rmali' az sandag'i' simmetriya elementlerine iye rombali'q, monoklinlik ha'm triklinlik pa'njereler ushi'n ko'p xarakteristikalaridi'n' anizotropiyasi' belgili (mi'sali' sali'sti'rmali' elektr sin'irgishlik, ji'lli'li'q o'tkizgishlik koefficienti ha'm basqalar). Zatlardi'n' bunday xarakteristikalarini a'dette ekinshi ta'rtipli tensorlardi'n' ja'rdeinde ta'ripleydi. Simmetriyali' kubli'q pa'njerede bul shamalar skalyar shamalarg'a aylanadi'. Tetragonalli'q ha'm geksagonalli'q pa'njere jag'daylari'nda kristaldi'n' qa'siyetleri s ko'sherine perpendikulyar bolg'an qabi'rg'ag'a perpendikulyar bolg'an tegisliklerde birdey boladi'.

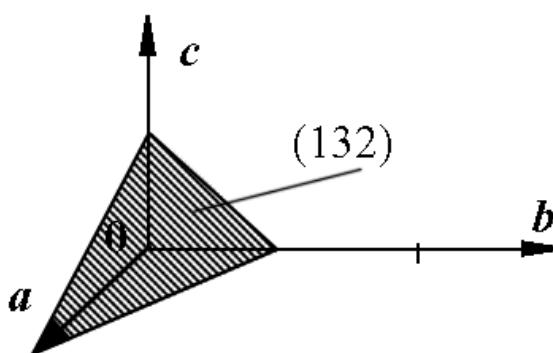
**Vigner-Zeyc quti'shası'.** Vigner-Zeyc quti'shası' dep atalatug'i'n elementar quti'shani' saylap ali'wdi'n' usi'li' bar. Bul quti'shani' kelesi lekciyalarda kristaldag'i' bo'lekshelerdin' qozg'ali'slari'n tallaw ushi'n qollanami'z. Quti'shani' saylap ali'w ushi'n kristalli'q pa'njererin' berilgen tu'yinine «en' jaqi'n jaylasqan» ken'isliktin' oblasti'n ayi'ri'p aladi'. Buni'n' ushi'n saylap ali'ng'an tu'yindi qon'i'si'las tu'yin menen tutasti'radi' ha'm ali'ng'an si'zi'qtin' da'l ortasi'nan usi' si'zi'qqa perpendikulyar tegislik ju'rgizedi. Bul tegislik ken'islikti eki ken'islikke bo'ledi. Berilgen tu'yinge iye ken'islikti ayi'ri'p aladi'. Barli'q ayi'ri'p ali'ng'an yari'm ken'isliklerdin' kesilmeleri Vigner-Zeyc quti'shasi'n beredi. A'piwayi' kubli'q, tetragonalli'q ha'm rombali'q pa'njereler ushi'n Vigner-Zeyc quti'shasi'ni'n' formasi' ha'm o'lshemleri boyi'nsha orayi' pa'njererin' tu'yinine sa'ykes keliwshi elementar quti'shag'a sa'ykes keledi. KOK ha'm QOK pa'njerelerinde Vigner-Zeyc quti'shasi' quramali'raq formag'a iye.

**Kristalli'q pa'njeredegi bag'i't.** Kristalli'q pa'njeredegi bag'i'tti'  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  bazislik vektori'ndag'i' bag'i'tlawshi' vektordi'n' koordinatalari' menen beredi. Bul koordinatalardı'

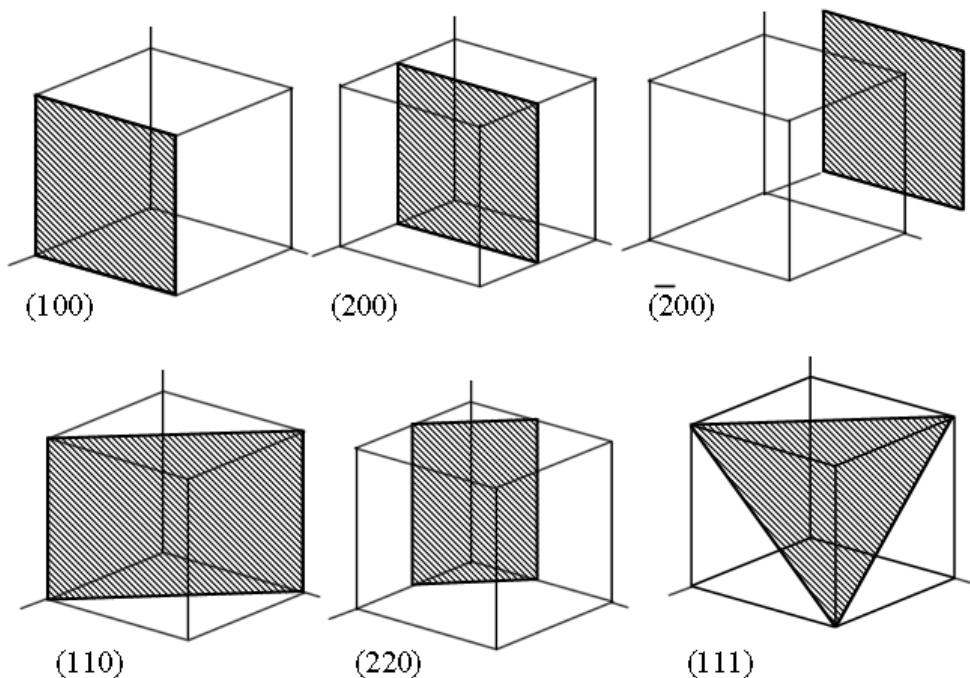
a'dette kvadrat qawsi'rmalarg'a ali'p jazadi'. Koordinatani'n' ma'nisi teris bolg'andag'i' minus belgisin sanni'n' u'stine minus belgisin qoyi'w menen a'melge asi'radi'. En' a'hmiyetlirek bolg'an bag'i'tlar pu'tin sanlar menen beriledi. 11-su'wrettegi [100] bag'i'ti' kubti'n' qabi'rg'asi'na parallel. [100] ha'm [110] bag'i'tlari' oni'n' to'mengi ultani'na parallel. Bazi' bir bag'i'tlar pa'njererin' simmetriyali'g'i'na baylani'sli' birdey (mi'sali' kubli'q pa'njerede [110], ]101], [011] ha'm [110] bag'i'tlari'). Bag'i'tlardi'n' usi'nday semeystvosi'n ta'riplew ushi'n <110> belgilewi qabi'l etilgen.

**Kristallografiyali'q tegislikler.** Kristalda kristalli'q pa'njererin' tu'yinleri arqali' o'tetug'i'n kristallografiyali'q tegislikler u'lken a'hmiyetke iye boladi'. Kristalli'q pa'njererin' tu'yinlerinin' en' ko'pshiligi jaylasqan kristallografiyali'q tegislikler kristallardi'n' qaptallari'n boljag'anda da, usi' tegislikler boyi'nsha bo'lekshelerdin' qozg'ali'slarin' qarag'anda da ju'da' u'lken a'hmiyetke iye.

Kristallografiyali'q tegisliklerdi Miller indeksleri menen belgilew qabi'l etilgen. Bunday indeksler u'sh sannan ibarat ha'm a'piwayi' qawsi'rmag'a ali'p jazi'ladi': ( $hkl$ ). Keri indekstin' teris belgisin joqari'si'na jazadi'. Bunday indeksler a'piwayi' geometriyali'q mag'anag'a iye. Eger  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  vektorlari' ja'rdeminde berilgen u'sh koordinatali'q ko'sheri boyi'na sa'ykes  $\frac{a}{h}, \frac{b}{k}, \frac{c}{l}$  shamasidag'i' kesindilerdi ju'rgizse (14-su'wretti qaran'i'z), onda ali'natug'i'n u'sh noqat usi' noqatlar arqali' o'tetug'i'n ( $hkl$ ) tegislikleri bir ma'nisi ani'qlaydi'. 15-su'wrette (100), (200), (110), (111) tegislikleri ko'rsetilgen. 14-su'wrettegi tegislikke parallel etip kristalli'q pa'njere tu'yinleri arqali' o'tiwshi ha'm bir birinen  $na/h, nb/k, nc/l$  qashi'qli'g'i'nda turg'an (n arqali' pu'tin san belgilengen) ko'p sandag'i' tegisliklerdi saylap ali'w mu'mkin ekenligin an'g'ari'wg'a boladi'. Sonday tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qtı'  $d_{hkl}$  arqali' belgileydi ha'm ( $hkl$ ) tegislikler semeystvosi' ushi'n tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'q dep ataydi'.  $d_{hkl}$  shamasidag'i' (000) noqati'nan og'an en' jaqi'n bolg'an ( $hkl$ ) tegislige shekemgi arali'q tu'rinde esaplaw qolayli'. (14-su'wrette ko'rsetilgen). Kubli'q quti'shadag'i' iye kristallarda Miller indekslerinin' ma'nisi usi' tegisliklerge tu'sirilgen normaldi'n' bag'i'ti'ndag'i' vektordi'n' indekslerine sa'ykes keledi. Biraq basqa tu'rdegi elementar quti'shalar jag'dayi'nda bunday sa'ykeslik ori'n almaydi'.



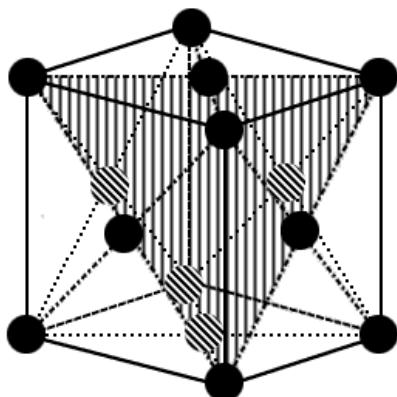
14-su'wret.  
Kristaldag'i' Miller  
indeksinin' geometriyali'q ma'nisi.



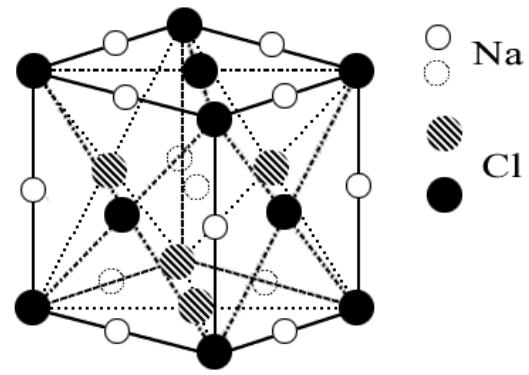
15-su'wret. Kubli'q pa'njerenin' bazi' bir kristallografiyalı q tegislikleri.

Jiyi ushi'rasatug'i'n strukturalar menen tanı'sami'z.

Qaptalda oraylasqan kubli'q pa'njere -su'wrette keltirilgen elementar quti'shag'a iye boladi'. Tu'yinler kubti'n' to'belerinde ha'm qaptallari ni'n' oraylari'nda jaylasqan. Quti'shadag'i' tu'yinlerdin' sani' 4 ke ten' (8 dana segizden birge ha'm 6 dana yari'mg'a iye). Ha'r bir atomni'n'  $a/\sqrt{2}$  qashiqli'g'i'nda 12 qon'i'si'g'a iye bolatug'i'nli'g'i' ko'rinp tur. Ko'p metallar tap usi'nday pa'njerege iye (temir, kobalt, mi's ha'm basqalar) ha'm olardi'n' atomlari' pa'njerenin' tu'yinlerinde jaylasqan.



16-su'wret.  
QOK pa'njerenin' elementar quti'si'.



17-su'wret. NaCl kristallar pa'njeresinin'  
elementar quti'shasi'

NaCl tipindegi quri'li'sti' (17-su'wret) QOK pa'njere tu'rinde ko'rsetiw mu'mkin. Bunday pa'njerede natriy ionlari' tu'yinierge sa'ykes keledi, al xlor ionlari' bolsa Na ionlari'na sali'sti'rg'anda kubti'n' ko'lemlilik diagonalisi boyi'nsha  $a/2$  shaması'na ji'li'sqan. Bul jag'dayda Bravenin' QOK pa'njeresinin' bazisin eki atom (eki ion) quraydi': koordinatalari' 0,0,0 bolg'an natriy ha'm koordinatalari'  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ . Biraq ko'pshilik jag'daydarda elementar quti'sha retinde 8 atomnan ibarat kub qabi'l etiledi. Olardi'n' to'rtiwi natriy ha'm to'rtewi xlor. Olar to'mendegidey koordinatalarg'a iye:

Na: 0 0 0;  $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$ ;  $\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}$ ;  $0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$ ;

Cl: 0 0 ½; 0 ½ 0; ½ 0 0; ½ ½ ½.

Tap usi'nday quri'li'sqa (strukturag'a) ko'p kristallar iye (KCl, KBr, PbS, MgO ha'm basqalar). Olar bir birinen tek a shamalari'ni'n' ma'nisi boyi'nsha g'ana pari'qlanadi'.

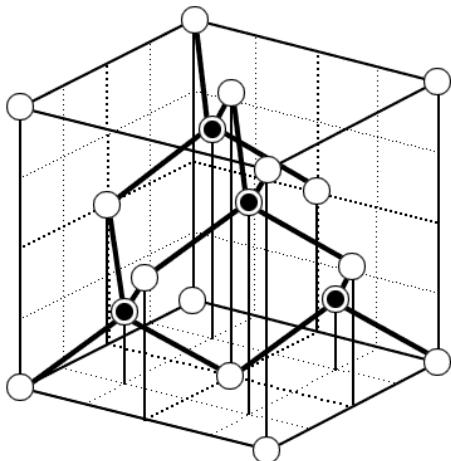
Almazdi'n' strukturasi' (18-su'wret) QOK pa'njere si'pati'nda ko'rsetiwge boladi'. Bul jag'dayda pa'njereni atomlari' tu'yinlerde ha'm ko'lemlilik diagonal boyi'nsha olarg'a sali'sti'rg'anda ken'isliklik diagonaldi'n' ¼ bo'legine ji'li'sti'ri'lg'an eki pa'njererin' qos'i'ndi'si' tu'rinde ko'z aldi'g'a elesletemiz. Bunday QOK pa'njererin' bazisin eki atom quraydi'. Olardi'n' koordinatalari' 0,0,0 ha'm ¼,¼,¼. Ko'pshilik jag'daydarda almazdi'n' elementar quti'shasi' retinde bazisi 8 atomg'a iye kubti' qabi'l etedi. Olardi'n' koordinatalari' to'mendegilerden ibarat:

Awi'spag'an QOK pa'njererin' to'rt atomi' ushi'n:

0 0 0; 0 ½ ½; ½ 0 ½; ½ ½ 0

Awi'sqan QOK pa'njererin' to'rt atomi' ushi'n:

¼ ¼ ¼; ¼ ¾ ¾; ¾ ¼ ¾; ¾ ¾ ¼.



18-su'wret.

Almazdi'n' (aq sharikler de, qara sharkler de uglerod atomlari') ha'm cink sulfidinin' (qara sharkler ku'kirt atomlari', aq sharkler cink atomlari') elementar quti'shasi'.

Ha'r bir uglerod atomi'ni'n' ken'isliklik diametrdin' ¼ shaması'na ten'dey qashi'qli'qta jaylasqan to'rt en' jaqi'n atom menen qon'si'las ekenligin ko'rsetiwge boladi'. Basqa so'z benen aytqanda ha'r bir uglerod atomi' tetraedrdin' orayi'nda jaylasqan boli'p, sol tetraedrdin' to'belerinde de uglerod atomlari' ornalasqan. Ha'r bir atom o'z qon'i'si'lari' menen kovalentli baylansqan ha'm bir biri menen ten'dey mu'yeshlerdi payda etedi (kelesi bo'limdi qaran'i'z). Uglerodtan basqa tap usi'nday quri'li'sqa to'rt valentli yari'm o'tkizgishler kremniy menen germaniy iye.

Cink sulfidi tipindegi quri'li'sti' ali'w ushi'n joqari'da keltirilgen almazdi'n' quri'li'si'nan paydalani'w kerek. Bul jerde cink atomlari'n «awi'spag'an pa'njerege», al ku'kirt atomlari'n «awi'sqan pa'njerege» ornalasti'ri'w kerek boladi'. Bunday quri'li'sta bir sorttag'i' atomni'n' ha'r biri tetraedrlerdin' to'belerinde jaylasqan ekinshi sorttag'i' to'rt qon'i'si'g'a iye. Olar bir biri menen kovalentli baylani'sqa iye. Bul baylani's bir biri menen ten'dey mu'yeshlerdi payda etedi.

Geksagonalli'q struktura (quri'li's) 13-su'wrette keltirilgen. U'sh elementar quti'shani'n' su'wretin paydalang'an qolayli'. Bunday jag'dayda quri'li's qatlamlardan turatug'i'n ha'rrenin' uyasi'n ko'z aldi'na elesletedi. Ko'plegen zatlar tap usi'nday quri'li'sqa iye. Bunday jag'dayda atomlar topari' ken'islikte duri's alti' mu'yeshliklerdi payda etedi. Bunday quri'li'sti'n' ha'r qi'yli' tu'rleri jiyi ushi'rasadi'. Bunday quri'li'sti' a'dette ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q (TJG) quri'li's dep ataydi' ha'm oni' qatlamlar menen sa'wlelendirliw mu'mkin (13- b su'wret): birinshi qatlam (A) - to'mendegi tegisliktin' tu'yinlerinde jaylasqan atomlar - sharlar. Ekinshi qatlamni'n' atomlari' (V) to'mengi qatlamdag'i' atomlardı'n' arasi'ndag'i' «oyi'qlarda» to'mengi qatlamni'n' atomlari' menen tiyisip jaylasqan. Al u'shinshi qatlamdag'i' atomlar bolsa 13-su'wrette ko'rsetilgendey

birinshi qatlamdag'i' atomlardi'n' da'l u'stinde yamasa ekinshi qatlamdag'i' atomlar arasi'ndag'i' «oyi'qlarda» jaylasadi'. Na'tiyjede  $\vec{c}$  vektori'ni'n' bag'i'ti'nda  $c$  da'wirine iye qatlamlardi'n' jaylasi'wlari'ni'n' da'wirligi payda boladi'. Bunday da'wirli quri'li'sti' bi'layi'nsha jazami'z: ABABAB ... Usi'ni'n' saldari'nan sharlardi'n' ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an quri'li'si' payda boli'p, bunda ha'r bir shar 12 jaqi'n jaylasqan qon'i'si'g'a iye boladi'. Qon'i'si'lar arasi'ndag'i' qashi'qli'q sharlardi'n' eki radiusi'na ten'. Bunday quri'li'sta  $\frac{c}{a}$  qatnasi'ni'n'  $\frac{c}{a} = (8/3)^{1/2} = 1,633$  shaması'n ten' ekenligine an'sat ko'z jetkeriwge boladi'. Ko'p metallar tap usi'nday quri'li'sqa iye (tek g'ana  $\frac{c}{a}$  qatnasi'ni'n' ma'nisi sa'l basqashalaw). Mi'sali' kobaltta  $\frac{c}{a} = 1,622$ , Magniyde  $\frac{c}{a} = 1,623$ , al titanda  $\frac{c}{a} = 1,586$ . Bul mag'li'wmatlar to'mnedegi kestede keltirilgen.

**Table 2.3.**  $c/a$  ratio of several elements with hexagonal structure.

	Cd	Zn	Mg	Co	Zr	Ti	Be
$c/a$	1.88	1.86	1.62	1.62	1.59	1.58	1.57

Sharlardi' jaylasti'ri'wdi'n' ja'ne bir usi'li'ni'n' bar ekenligin an'g'ari'wi'mi'z kerek: da'slepki eki qatlam joqari'dag'i'day boli'p jaylasti'ri'ladi', al u'shinsi qatlamdag'i' (bul qatlamdi' S arqali' belgileymiz) atomlar 13-su'wrette atanaqlar menen belgilengen ori'nda jaylasadi'. To'rtinshi qatlam birinshi qatlamni'n' u'stinde, besinshi qatlam ekinshi qatlamni'n' u'stinde, qalg'anlari' tap sonday ta'rtipte jaylasti'ri'ladi'. Bunday jag'dayda  $\vec{c}$  vektori'ni'n' bag'i'ti'nda  $3c/2$  da'wirine iye qatlamlardi'n' ABCABCABC ... izbe-izligindegi jaylasti'ri'wlari' ju'zege keledi. Bunday jag'dayda da jaqi'n qon'si' atomlardı'n' sani' 12 ge ten' boladi'. Bunday quri'li'sti'n' kaptaldan oraylasqan kubli'q (QOK) quri'li'sqa sa'ykes keletug'i'nli'g'i'n ko'rsetiwge boladi' (16-su'wret). Bunday kubli'q quri'li'sta [111] bag'i'ti'  $\vec{c}$  vektori' menen bag'i'tlas (13-su'wret).

Joqari'da bayan etilgen ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q ha'm qaptalda oraylasqan kubli'q quri'li'slardi'n' bir birine ju'da' uqsas ekenligin an'sat an'g'ari'w mu'mkin. Olar bir birinen tek ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an atomlardı'n' izbe-izligi menen pari'qlanadi'. Sonli'qtan olardi'n' payda boli'w energiyasi' derlik birdey boli'wi' kerek ha'm ko'plegen metallar sharayatlar azmaz o'zgergende TJG ha'm QOK pa'njerelerge iye bola aladi'. Mi'sali' neodim, ZnS, ZnSe kristallari' to'mengi temperaturalarda QOK pa'njerege, al joqari' temperaturalarda TJG pa'njerege iye.

Geypara metallar menen quymalar joqari'da keltirilgen atomlar qatlamlari'ni'n' izbe-izligindegi defektlerge iye boladi' (13-su'wretti qaran'i'z). Bunday jag'dayda qatlamlardi'n' izbe-izligi buzi'ladi'. Na'tiyjede TJG ha'm QOK pa'njereler haqqi'nda keskin tu'rde ani'q ayt'i'w mu'mkinshiliği bolmay qaladi'.

Ko'plegen zatlar ha'r qi'yli' sharayatlarda (mi'sali' temperatura, basi'm) ha'r qi'yli' kristalli'q pa'njerelerge iye boladi'. Mi'sali' temir o'jire temperaturalari'nda ko'lemde oraylasqan kubli'q (KOK), 910-1400 °C temperaturalari'nda QOK, al onnan da joqari' temperaturalarda qaytadan KOK quri'li'sqa iye. Zatti'n' bir bo'leginde eki tu'rli pa'njerenin' bir waqit'ta boli'wi' mu'mkin: olardi'n' biri ten' salmaqli'q, al ekinshisi metastabilli (metaorni'qli') boli'p, metaorni'qli' pa'njere ten' salmaqli'q pa'njerege o'tip u'lgermeggen halda saqlani'p qaladi'. Bunday situaciya shi'ni'qtiri'wdan (birden salqi'nlati'wdan) keyingi polatlarda (Fe-C quymalari'nda) ori'n aladi'. Shi'ni'qtiri'wdi'n' aqi'betinde QOK ha'm KOK pa'njerelerge iye oblastlardi'n' quramali' sistemasi' payda boladi'. Ha'r qi'yli' pa'njerelelige iye oblastlardi'n' formalari' menen jaylasi'wlari' materialdi'n' ko'plegen qa'siyetlerin ani'q laydi'.

## 8. Kristalli'q pa'njerenin' defektleri

Atomlari' qatan' tu'rde da'wirli jaylasqan kristallardi' ideal kristallar dep ataymi'z. Barli'q ideal kristallar idealli'q quri'li'sqa iye bolmaydi'. Quri'li'sti'n' idealli'qtan awi'tqi'wi'n quri'li's defektleri dep ataw qabi'l etilgen. Quri'li's defektlerin dinamikali'q ha'm statikali'q dep ayi'radi'. Dinamikali'q defektlerge ji'lli'li'q terbelislerinin' aqi'betinde yamasa kristallar arqali' elektromagnit tolqi'nlar' o'tkende pa'njerelerdin' mayi'si'wlari'n jatqaradi'. Bul defektler atomlardi'n' ten' salmaqli'q awhallari'nan awi'si'wi' menen baylani'sli'. Sonli'qtan bunday defektler ha'tte ideal kristallarda da boladi'. Biz to'mende qaratug'i'n statikali'q defektler kristalli'q pa'njeredegi atomlardi'n' jaylasi'wlari'ndag'i' buzi'li'wlar menen baylani'sli'. Mi'sali' pa'njererenin' tu'yininde atomni'n' bolmawi' yamasa basqa tu'rdegi atom menen almasi'wi' ori'n aladi'. Soni'n' menen birge atomlar kristalda toparlasi'p irirek defektti payda etiwi mu'mkin.

Statikali'q defektlerdi sol defektlerdin' formaları' tiykari'nda 4 toparg'a bo'ledi:

- 1). Noqatli'q defektler, mi'sali' pa'njererenin' tu'yininde atomni'n' bolmawi';
- 2). Si'zi'qli'q defektler bolg'an dislokaciylar. Bunday defektlerde da'wirliktin' buzi'li'wi' bir si'zi'qtin' boyi'nda ori'n aladi';
- 3). Betlik defektler. Bunday defektlerge kristaldi'n' beti yamasa polikristaldi'n' da'neshelerinin' betleri kiredi;
- 4). Ko'lemlik defektler bolg'an quwi'sli'qlar, mikrojari'qlar, basqa fazani'n' kishkene qaldi'qlari'ni'n' yamasa zarodi'shlari'ni'n' boli'wi' ha'm basqalar.

Kristallardi'n' ko'plegen fizikali'q qa'siyetleri ha'r qi'yli' toparlardag'i' defektlerge baylani'sli' ku'shli o'zgeredi. Mi'sali' materialdi'n' bekkemligi menen plastikligi si'zi'qli', betlik ha'm ko'lemlik defektlerge baylani'sli'. Elektr qarsi'li'g'i' tiykari'nan noqatli'q defektlerge baylani'sli'. Diffuziya koefficienti, ji'lli'li'q o'tkizgishlik, kristallardi'n' ren'i si'yaqli' qa'siyetler de noqatli'q defektlerge baylani'sli'.

## 8.1. Noqatli'q defektler

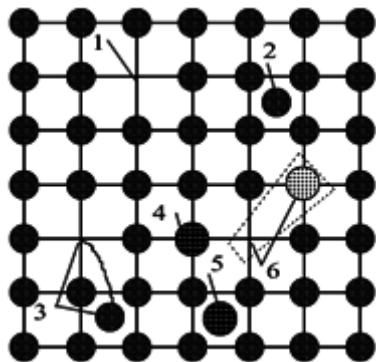
Noqatli'q defektler en' mayda defektler boli'p, olar a'dette bir atomni'n' a'tirapi'nda ori'n alg'an normal emes situaciylar menen baylani'sli' (bir atomni'n' orni'nda bolmawi', bir atomni'n' orni'n ekinshi atomni'n' iyelewi yamasa «arti'q» atomni'n' payda boli'wi'). 19-su'wrette sxema tu'rinde ko'rsetilgen ha'r qi'yli' noqatli'q defektlerdi qarataymi'z

**Vakansiya.** Atom kristalli'q pa'njererenin' bazi' bir tu'yininde bolmawi' mu'mkin (19 (1)-su'wretti qaran'i'z). Usi'nday bos ori'n vakansiya dep ataladi'. Vakansiya kristallizaciya processinde jiyirek payda boladi', bir tu'yin tosi'nnan bos qaladi'. Eger eritpedegi kelesi atom baska atom ushi'n joldi' jabatug'i'n bolsa tu'yinnin' bos qali'wi' mu'mkin. Vakansiyalardi' Shotki defekti dep te ataydi'.

**Tu'yinler arasi'ndag'i' atom.** Atom kristalli'q pa'njererenin' tu'yininde emes, al atomlar arasi'nda - tu'yinler arasi'nda jaylasi'wi' mu'mkin (19 (2)-su'wret). Bunday defektte tu'yinler arasi'ndag'i' atom dep ataydi'. Tu'yinler arasi'ndag'i' atom da tiykari'nan vakansiyalar si'yaqli' kristallizaciya processinde payda boladi'. Atomlardi'n' biri tosi'nnan ji'lli'li'q qozg'ali'slari'ni'n' sebebinen qon'si'las atomlardi'n' ortasi'na tu'sip qaladi'. Eger tu'yinlerdin' ortasi'na tu'sip qalg'an atomni'n' orni'n basqa atom iyelep qoyg'an bolsa, onda tu'yinler arasi'ndag'i' atom sol jag'dayda noqatli'q defekt tu'rinde qali'p qoyadi'.

**Frenkel boyi'nsha defekt.** Vakansiya menen tu'yinler arasi'ndag'i' atom ko'pshilik jag'daylarda jubi' menen payda boladi' (19 (3)-su'wretti qaran'i'z). Bunday jag'dayda tu'yinde turg'an atom tu'yinnin' ortasi'na sekirip o'tedi. Sali'sti'rmali' joqari' temperaturalardag'i' ji'lli'li'q qozg'ali'slari' bunday sekirip o'tiwdin' tiykarg'i' sebebi boli'p tabi'ladi'. Soni'n' menen birge bunday sekirip o'tiwdin' sebebi boli'p kelgen bo'leksheler de a'melge asi'ra aladi' (radiaciyalı'q defekt). Defektlerdin' usi'nday jubi'n Frenkel boyi'nsha defektler dep ataydi'.

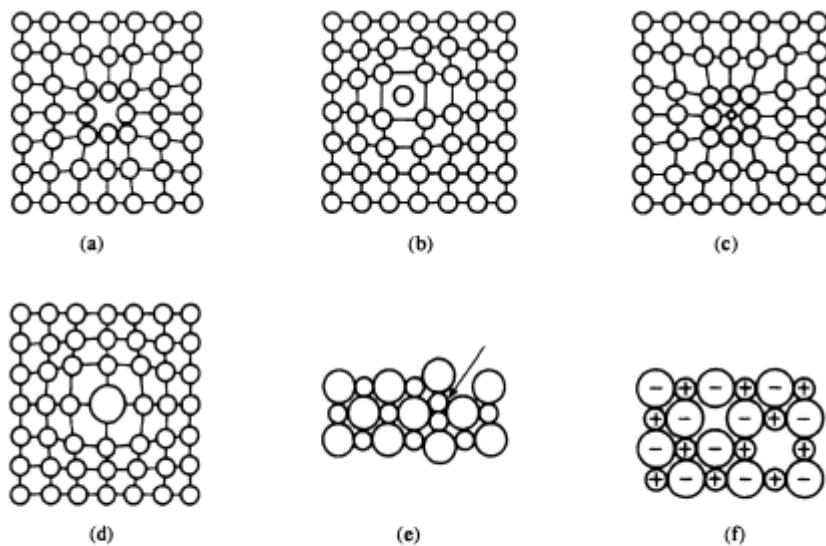
**Qosi'mta atom.** Atomlardi'n' biri qosi'mtani'n' (kristalg'a kirgizilgen qosi'mta) atomi' menen almasqan boli'wi' mu'mkin (19 (4)-su'wretti qaran'i'z). Bunday jag'dayda almasti'ri'wshi' qosi'mta atom dep atali'wshi' defekt payda boladi'. Qosi'mta atom tuyinler arasi'na kirip jaylasa aladi' (19 (5)-su'wret). Bunday defektti endirilgen qosi'msha atom dep ataymi'z. Bunday endirilgen atomlar a'dette endirilgen zatti'n' atomlari' kristaldi'n' atomlari'nan kishi bolg'an, tu'yinler ortalari'nda bunday atomlar ushi'n ori'nlar bolg'an jag'daylarda ju'zege keledi. Vodorod, bor, uglerod atomlari' ko'pshilik jag'daylarda endirilgen qosi'msha atomlardı'n' ori'nlarini' iyeleydi. Eger qosi'mtalardi'n' atomlari'ni'n' o'lshemleri kristaldi'n' atomlari'ni'n' o'lshemlerinen u'lken bolsa, endirilgen atomlar kristaldi'n' atomlari'n' almasti'radi'.



19-su'wret.

Noqatli'q defektlardin' tipleri: 1 - vakansiya; 2 - tu'yinler arasi'ndag'i' atom; 3 - Frenkel boyi'nsha defekt; 4 - almasti'ri'wshi' qosi'mta atomi'; 5 - endirilgen qosi'mta atomi'; 6 - u'lken valentlikke iye almasti'ri'wshi' atom.

Ko'pshilik jag'daylarda valentligi menen ayri'latug'i'n qosi'mta atomlari' vakansiyalardi'n' payda boli'wi'na ali'p keledi. Bunday jag'day  $KCl$  kristallari'na  $Ca$  atomlari'na kirgizgende ori'n aladi'. Bunday jag'dayda kristal neytralli'g'i'n saqlaydi' ha'm eki valentli kalciya atomi' bir kaliy atomi'ni'n' orni'n almasti'radi', al kaliy atomi' turatug'i'n ori'n bos ori'ng'a aylanadi' (19 (6)-su'wretti qaran'i'z).



**Fig. 3.1.** The different types of point defects. (a) vacancy; (b) interstitial atom; (c) small substitutional atom; (d) large substitutional atom; (e) Frenkel defect; (f) Schottky defect (a pair of positive and negative ion vacancies)

**Noqatli'q defekttin' energiyasi' ha'm oni'n' payda boli'w itimalli'g'i'.** Noqatli'q defekttin' payda boli'wi' ushi'n  $E_V$  energiyasi' talap etiledi: vakansiya jag'dayi'nda atomdi' kristaldi'n' betine shi'g'ari'w ushi'n kerek bolatug'i'n energiya; endirilgen atomda kristaldi'n' betinen atomdi' tu'yinler arasi'na jaylasti'ri'w ushi'n kerek bolatug'i'n energiya. Bul

energiyani'n' mug'dari' shama menen 1 eV shamasi'n quraydi'.

Noqatli'q defekttin' payda boli'w itimalli'g'i' Boltzman formulasi'ni'n' ja'rdeinde esaplanadi':

$$P = \frac{N_d}{N_{at}} = \exp(-E_V/kT).$$

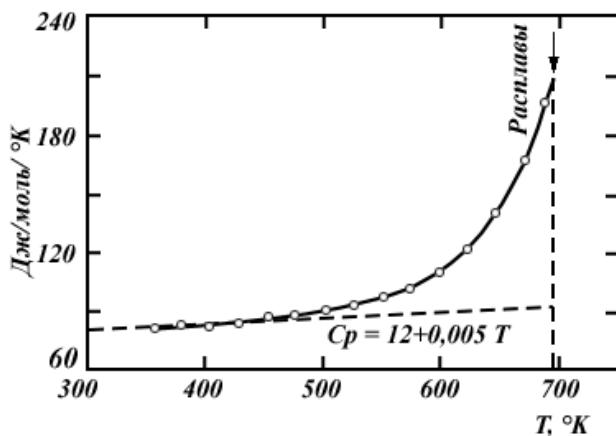
Bul formula boyi'nsha esaplang'an itimalli'qtin' ma'nisinin' qanday bolatug'i'nli'g'i'n ani'qlaymi'z. Meyli  $E_V = 1$  eV,  $T = 1000$  K bolsi'n. Bunday jag'dayda  $P \approx 10^{-5}$ . To'menirek temperaturalarda defektlerdin' ti'g'i'zli'g'i' eksponencialli'q ni'zam boyi'nsha kemeyedi ha'm o'jire temperaturalari'nan kishi temperaturalarda ju'da' kishi shamag'a aylanadi'. Biraq to'mengi temperaturalarda da noqatli'q defektlerdin' koncentraciyasi'n joqari' etiwe boladi'. Oni'n' ushi'n kristaldi' joqari' temperaturalarg'a shekem qi'zdi'rami'z ha'm bunnan keyin keskin tu'rde salqi'nlatami'z (yag'ni'y kristaldi' shi'ni'qtirami'z, taplaymi'z). Bunday jag'dayda noqatli'q defektlerdin' koncentraciyasi' joqari' temperaturalardag'i' koncentraciyag'a sa'ykes keledi.

Frenkel boyi'nsha defektlerde defektler jubi'n (vakansiya menen tu'yinler arasi'ndag'i' atom) payda etiw ushi'n za'ru'rli bolg'an energiyani'n' ma'nisin  $E_{Fr}$  arqali' belgileymiz. Oni'n' san shamasi' atomdi' kristaldi'n' betine shi'g'ari'w ushi'n kerek bolg'an energiya menen kristaldi'n' betinen tu'yinler ortasi'na atomdi' ji'li'sti'ri'w ushi'n kerek bolg'an energiyani'n' qosi'ndi'si'nan turadi'. Usi'nday defektlerdin' sani'ni'n' to'mendegidey formulani'n' ja'rdeinde ani'qlanatug'i'nli'g'i'n ko'rsetiwge boladi':

$$N_{Fr} = (N_A N_M)^2 \exp(-E_{Fr}/2kT).$$

Bul an'latpada  $N_A$  menen  $N_M$  arqali' kristaldag'i' tu'yinler menen tu'yinler arasi'ndag'i' ori'nlar sanlari' belgilengen.

Temperaturani'n' joqari'lawi' menen defektlerdin' ten' salmaqli'q sani' joqari'laydi' ha'm olardi'n' jan'adan payda boli'wi' ushi'n qosi'msha energiya talap etiledi. Sonli'qtan ayi'ri'm kristallarda balqi'w (eriw) temperaturasi'na jaqi'n temperaturalarda qi'zdi'ri'wdi'n' bari'si'nda defektlerdin' sani' azmaz ko'beyedi. Usi'ni'n' saldarai'nan ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' kristalli'q pa'njererin' terbelislerine baylani'sli' bolg'an mollik ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' ma'nisine shekemgi o'siw effekti baqlanadi'. Bul jag'day 20-su'wrette keltirilgen.



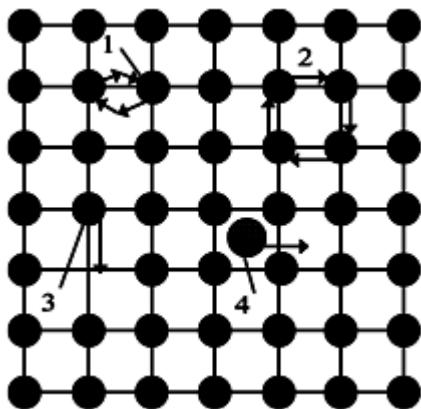
20-su'wret.  
Balqi'w (eriw) temperaturasi' jani'nda  
noqatli'q defektlerdin' payda  
boli'wi'ni'n' ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'na  
qosatug'i'n u'lesi.

**Noqatli'q defektlerdin' diffuziyag'a ta'siri.** Noqatli'q defektler kristallardag'i' diffuziyani'n' tezligine ha'm dielektrik kristallardi'n' elektr o'tkizgishligine en' u'llken ta'sir etedi. Da'slep kristallardag'i' diffuziyani'n' mu'mkin bolg'an barli'q mexanizmlerin ko'rip shi'g'i'wg'a toqtaymi'z.

Kristallardi'n' atomlar bir ori'nnan ekinshi ori'ng'a ko'ship o'te aladi' (sekirip o'te aladi', atlap o'te aladi'). Usi'nday ko'ship o'tiwlerdin' variantlari' 21-su'wrette keltirilgen. Eki yamasa to'rt atom bir biri menen ori'n almasti'ra aladi' (21 (1, 2)-su'wretler). Atomg'a en' an'sati' vakansiyag'a ko'ship o'tiw boli'p tabi'ladi' (21 (3)-su'wret). Tu'yinler arasi'nda turg'an atomg'a da (eger oni'n' o'lshemleri u'lken bolmasa) bir ori'nnan ekinshi ori'ng'a ko'ship o'tiw de qi'yi'n emes (21 (4)-su'wret). Sonli'qtan qatt'i' denelerdegi diffuziyani'n' tiykarg'i' mexanizmi mi'nalar boli'p tabi'ladi':

**Vakansiyali'q mexanizm.** Bul mexanizm vakansiyalardi'n' a'tirapi'nda atomlardi'n' qaytadan toparlas'iwi' menen baylani'sli' (21 (3)-su'wret);

**Tu'yinler arali'q mexanizm.** Bul jag'day tu'yinler arasi'nda sali'sti'rmali' mayda atomlardi'n' ko'shewleri menen baylani'sli' (21 (4)-su'wret).



21-su'wret.

Kristallardag'i' diffuziyani'n' en' ko'p tarqalg'an mexanizmleri: 1 – qon'si'las atomlardi'n' bir biri menen ori'n almasti'ri'wi'; 2 – bir neshe qon'si'las atomlardi'n' bir biri menen ori'n almasti'ri'wi'; 3 – atomni'n' vakansiyag'a sekirip o'towi; 4 – tu'yinler arasi'nda turg'an atomlardi'n' qon'i'si' tu'yinler arasi'na sekirip o'towi.

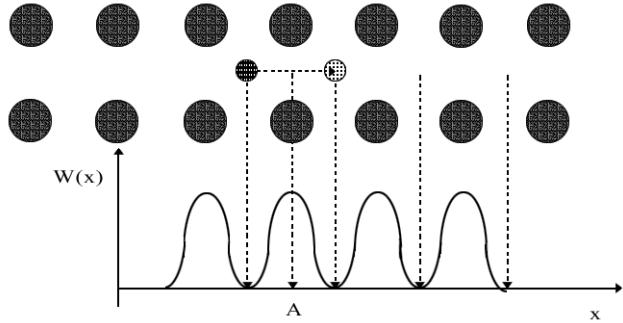
Barli'q jag'daylarda da atomlar potencialli'q barer arqali' o'tedi. Potencialli'q barerdin' payda boli'wi' atomlar bir birine jaqi'nlag'anda payda bolatug'i'n kvantli'q iyterilis ku'shleri menen baylani'sli'. Tu'yinler arasi'nda turg'an atomni'n' qon'si'las tu'yinlerdin' arasi'na ko'ship o'tiwin tallaw ushi'n en' a'piwayi' jag'daydi' qarap o'temiz. 22-su'wrette tu'yinler arasi'nda turg'an atomni'n' energiyasi'ni'n' x koordinatas'i'nan g'a'rezligi ko'rsetilgen. Usi'nday ko'shiw ushi'n za'ru'rli bolg'an energiyani'n' shamasi' aktivaciya energiyasi' dep ataladi' ha'm  $E_a$  arqali' belgilenedi. Aktivaciya energiyasi'ni'n' ma'nisi a'dette ji'lli'li'q energiyasi'ni'n' ( $\approx kT$ ) ortasha ma'nisinen a'dewir u'lken. Bunday waqi'yani'n' itimalli'g'i' ju'da' kishi ha'm Boltzman formulasi' menen beriledi:

$$P = P_0 \exp(-E_a / kT)$$

Sonli'qtan kristallardag'i' atomlar uzaq waqi'tlar dawami'nda o'zlerinin' ten' salmaqli'q awhallari' a'tirapi'nda bazi' bir v jiyiliqi menen terbeledi ha'm ji'lli'li'q terbelislerinin' energiyasi' tosi'nnan aktivaciya energiyasi'nan u'lken bolg'an jag'daylarda jan'a ori'n larg'a sekirip (ko'ship) o'te aladi'. Usi'nday ko'ship o'tiwlerdin' jiyiligin f arqali' belgileymiz ha'm bul shama bi'layi'nsha ani'qlanadi':

$$f = vP.$$

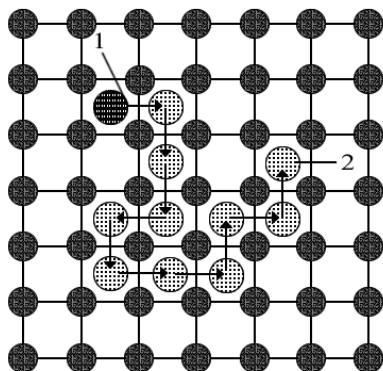
Solay etip qatt'i' denelerdegi atom siyrek bolatug'i'n sekiriwler joli' menen bir ori'nnan a qashi'qli'g'i'ndag'i' ekinshi ori'ng'a f jiyiliqi menen ko'shedi. Bul jag'day 2.5-su'wrette keltirilgen.



22-su'wret.

Tu'yinler arasi'nda turg'an atomni'n' energiyasi'ni'n' x koordinatasi'nan g'a'rezligi. Atomni'n' energiyasi' tu'yinler arasi'nda minimalli'q ma'nisine, al A jag'daylari'nda maksimalli'q ma'nisine iye.

Joqari'da keltirilgen modeldin' ja'rdemi menen parametri  $a$  bolg'an a'piwayi' kubli'q pa'njere ushi'n tu'yinler arasi'nda turg'an atomlardı'n' diffuziya koefficientin esaplaymi'z. Meyli berilgen tu'yinler arasi'ndag'i' ori'nnan qon'si'las sonday ori'ng'a ko'shiwdin' jiyiliği f shaması'na ten' bolsı'n.



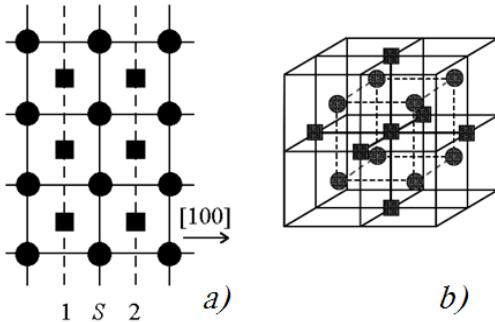
23-su'wret.

A'piwayi' (primitivlik) kubli'q pa'njeredegi tu'yinler arasi'nda turg'an atomni'n' diffuziyasi'ni'n' sxema tu'rindegi su'wreti.

Fiktin' diffuziya ni'zami'n eske tu'siremiz. Bul ni'zam  $S$  maydani'nan o'tip ati'rg'an atomlar sani'ni'n' ag'i'mi'  $dN/dt$  shaması'n ha'm koncentraciyalar gradienti  $dC/dx$  shaması'n bir biri menen baylani'sti'radi':

$$\frac{dN}{dt} = -DS \left( \frac{dC}{dx} \right). \quad (\text{A})$$

$D$  parametri diffuziya koefficineti dep ataladi'. Oni'n' ma'nisı diffuziyag'a ushi'raytug'i'n atomg'a ha'm usı' atomlar diffuziyag'a ushi'raytug'i'n zatqa baylani'sli'. Kristaldag'i' [100] bag'i'ti'n, og'an perpendikulyar ha'm pa'njerinin' tu'yinleri arqali' o'tiwshi  $S$  tegislikti (24- a su'wrette do'n'gelekler menen belgilengen), usı' tegisliktin' on' ha'm shep ta'replerinde turg'an ja'ne 1 ha'm 2 arqali' belgilengen,  $S$  tegisligine parallel bolg'an en' jaqi'n eki tegislikti qaraymi'z (kvadratlar menen belgilengen). 1 ha'm 2 tegislikleri arasi'ndag'i' qashi'qli'q (bul kashi'qli'q qon'si'las tu'yinler arasi'ndag'i' ori'nlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ten') a shaması'na ten' («ko'ship o'tiw uzi'nli'g'i'»). Meyli 1 tegisliginin'  $S$  tu'yinler arasi'ndag'i'  $N_1$  atom bolsı'n, 2 tegisliginin' tap sonday ushastkasi'nda  $N_2$  atom jaylasqan dep esaplayi'q (24- a su'wretti qaran'i'z).



24-su'wret.

Kubli'q primitivlik pa'njeredegi tu'yinler menen tu'yinler arasi'ndag'i' ori'nlardi'n' jaylas'iwlari' (a). Usi' pa'njerege jaqi'n jaylasqan tu'yinler arasi'ndag'i' ori'nlar (b).

Endi  $x$  noqatlari'ndag'i' diffuziya ni'zami'na kiriwshi tu'yinler arasi'ndag'i' atomlardi'n' sa'ykes koncentraciyalari' bolg'an  $C_1$  ha'm  $C_2$  shamalari'ni'n' ma'nislerin de esaplaw mu'mkin.

$$C_1 = N_1 / \Delta V = N_1 / (Sa); \quad C_2 = N_2 / \Delta V = N_2 / (Sa)$$

Ten'liklerinin' ori'nlanatug'i'ni' o'z-o'zinen tu'sinikli.  $\Delta t$  waqi'ti' ishinde  $S$  beti arqali' shepta'repten on' ta'repke qaray kesip o'tetug'i'n atomlar sani'  $\Delta N_1$  shaması'n esaplaymi'z. Birinshi tegisliktegi ha'r bir atom en' jaqi'n jaylasqan altı' ori'nni'n' birewine ko'ship o'te aladi' (24- b su'wretke qaran'i'z). Olardi'n' tek birewi g'ana saylap ali'ng'an orayli'q tegislikti kesip o'tedi. Bunday jag'dayda

$$\Delta N_1 = (1/6)f N_1 \Delta t$$

$\Delta t$  waqi'ti' ishinde  $S$  beti arqali' o'tetug'i'n  $\Delta N_2$  atomlar sani'n da tap sonday jollar menen esaplaymi'z:

$$\Delta N_2 = (1/6)f N_2 \Delta t$$

Tegislik arqali' o'tetug'i'n atomlardi'n' uli'wmali'q sani' mi'nag'an ten' boladi':

$$\Delta N = \Delta N_1 - \Delta N_2 = (1/6)f(N_1 - N_2)\Delta t = (1/6)f\Delta t(C_1 - C_2)Sa$$

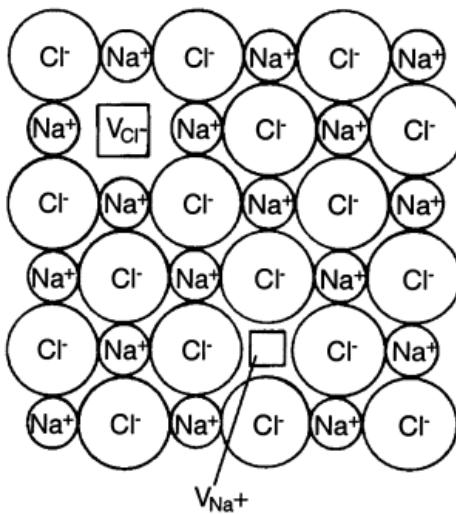
$C_1 - C_2 = -(dC/dx)a$  ekenligin esapqa alsaq to'mendegige iye bolami'z:

$$\Delta N / \Delta t = -(1/6)f((dC/dx)a)Sa \quad (B)$$

(A) menen (B) ni' sali'sti'ri'p diffuziya koefficientin alami'z:

$$D = fa^2 / 6$$

Tap usi'nday sxema tiykari'nda 21-su'wrette keltirilgen basqa da jag'daylar ushi'n diffuziya koefficientin esaplaw mu'mkin. Sol su'wrettegi 1- ha'm 2- jag'daylardag'i' aktivaciya energiyasi'ni'n' ma'nisleri 3- ha'm 4-jag'daylardag'i' aktivaciya energiyasi'ni'n' ma'nislerinen u'lken boladi'. Atomlar vakansiyani'n' a'tirapi'nda ori'nları'n almasti'rg'an jag'dayi'ndag'i' aktivaciya energiyasi'ni'n' ma'nisi onnan da u'lken.



**Fig. 5.31.** Schottky defect in NaCl. Due to charge neutrality there must be an equal number of anion vacancies  $V_{Cl^-}$  and cation vacancies  $V_{Na^+}$ .

21-su'wrette keltirilgen diffuziyalardi'n' barli'g'i' ushi'n da diffuziya koefficienti menen temperatura arasi'nda to'mendegidey eksponencialli'q baylani's ori'n aladi':

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right). \quad (\text{C})$$

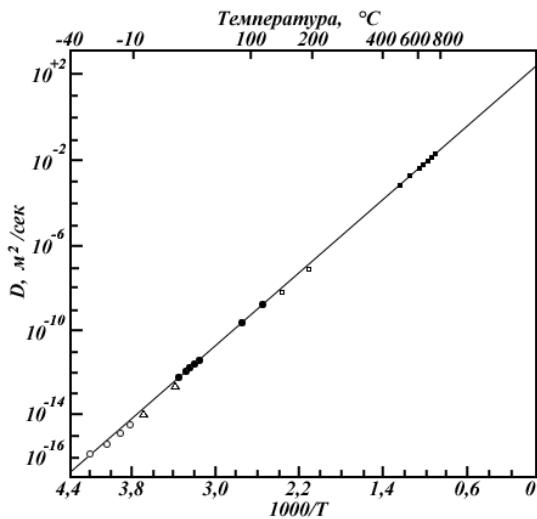
$D_0$  menen  $E_a$  parametrlerinin' ma'nisleri ha'r bir jup ushi'n (diffuziyalani'wshi' element - diffuziya qubi'li'si' ju'retug'i'n zat) ushi'n eksperimentte o'z aldi'na ani'qlanadi'. Na'tiyjeler 1-kestede berilgen.

1-keste.

Bazi' bir diffuziyalani'wshi' element - diffuziya qubi'li'si' ju'retug'i'n zat ushi'n  $D_0$  ha'm  $E_a$  parametrleri

Elementler	$D_0, \text{m}^2/\text{s}$	$E_a, \text{eV}$
Ge ishindigi Ge	$7,8 \cdot 10^{-4}$	3,0
Ge ishindigi As	$6,0 \cdot 10^{-4}$	2,5
Ge ishindigi P	$2,0 \cdot 10^{-4}$	2,5
Ge ishindigi In	$6,0 \cdot 10^{-6}$	2,5
Ge ishindigi B	$4,0 \cdot 10^{-4}$	4,5
Al ishindigi Cu	$2,3 \cdot 10^{-4}$	1,45
Cu ishindigi Cu	$2,0 \cdot 10^{-5}$	2,05
Cu ishindigi Zn	$3,4 \cdot 10^{-5}$	1,98
Fe (KOK temir) ishindigi C	$2,0 \cdot 10^{-5}$	0,9
U ishindigi U	$1,8 \cdot 10^{-7}$	1,20

2.7-su'wrette uglerodti'n' KOK temirdegi diffuziyasi' koefficientinin' temperaturadan g'a'rezligi keltirilgen. Bul su'wrette (C)-an'latpani'n' da'l ori'nlanatug'i'nli'g'i' ko'rinipli tur.



24-su'wret.  
Uglerodti'n' KOK (ko'lemde oraylasqan  
kubli'q) temirdegi diffuziyasi'  
koefficientinin' temperaturadan g'a'rezligi.

Joqari'da ko'rip o'tilgen modeldin' ja'rdeinde atomni'n'  $t = \frac{N}{t_1} = N/f$  waqi'ti' arali'g'i'nda ju'rip o'tetug'i'n ortasha joli' bolg'an  $\langle x^2 \rangle$  shamasi'ni'n' ma'nisin esaplaw mu'mkin. Bul jerde  $t_1 = 1/f$  arqali' birinen son' biri bolatug'i'n eki ko'shiw arasi'ndag'i' ortasha waqi't belgilengen. Buni'n' ushi'n  $\langle x^2 \rangle$  shamasi'n buri'ng'i' ko'shiwlerden pu'tkilley g'a'rezsiz dep esaplaymi'z. Bunday jag'dayda

$$\langle x^2 \rangle = a^2 N / 3 = a^2 f t / 3 = a D 2 t$$

formulası'n alami'z. Bul formula  $D$  shamasi'n eksperimentte ani'qlaw ushi'n paydalani'ladi'.

Qattı' denelerdegi diffuziyani' ha'zirgi waqi'tlari' «tamg'a sali'ng'an» atomlar usi'li'n paydalani'p effektivli tu'rde u'yrenedi. Bunday izertlewlerde zatlardi'n' betine radioaktivli «tamg'a sali'ng'an» atomlar «oti'rg'i'zi'ladi'». Bunnan keyin ali'ng'an u'lgi berilgen temperaturada «tamag'a sali'ng'an» atomlardı'n' 0,3-1 mm teren'likke o'tetug'i'nday waqi't ishinde uslap turi'ladi'. Bunnan keyin u'lginin' aktivligi o'lshenedi. Bul qatlam i'sqi'lap tegislew joli' menen joq etilgennen keyin aktivlik qaytadan o'lshenedi. Bunday operaciyalardi' bir neshe ret qaytalaydi'. Usi'nday jollar menen «tamg'a sali'ng'an» atomlardı'n' o'tiwinin' ortasha teren'ligi ha'm berilgen temperaturadag'i'  $D$  diffuziya koefficientin esaplaydi'. Ha'r qi'yli' temperaturalarda ta'jiriybeler seriyasi'n o'tkeriw joli' menen (2.12)-formuladag'i'  $D_0$  menen  $E_a$  parametrlerinin' ma'nisleri ani'qlanadi'.

$P = P_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$  ha'm  $f = \nu P$  formulalari' ja'ne 1-kestedegi mag'li'wmatlar ja'rdeinde ha'r qi'yli' temperaturalardag'i' atomlardı'n' ko'shiw jiyiliklerin bahalaw mu'mkin. Mi'sali' alfa-temirde 1800 K temperaturada uglerod atomi' 1 sekundta  $10^{11}$  ret ko'shedı. O'jire temperaturasi'nda bolsa onlag'an sekundta 1 ret ko'shedı. Solay etip diffuziya sezilerliktey ori'ndi' balqi'w temperaturasi'na jaqi'n temperaturalarda iye bola aladi' eken. Nikeldin' yamasa xramnni'n' o'jire temperaturalari'nda temirde derlik o'tpeytug'i'nli'g'i'n belgili. Biraq 1000-1300 K temperaturalarda bul process a'dewir tezleniwdi. Soni'n' ushi'n temirde islengen buyi'mlardi'n' betine qozg'awshi' nikel yamasa xrom qatlami' joqari' temperaturalarda diffuziyani' ja'rdeinde payda etedi eken. YArı'm o'tkizgishke ha'r qanday aralaspaları' kirgiziw (legirovanie poluprovodnika, yarı'm o'tkizgishti legiruy) ushi'n qi'sqa waqi'tlar ishinde qi'zdi'ri'wlar integralli'q sxemalardi' ali'w ushi'n qollani'ladi': shan'landı'ri'w joli' menen yarı'm o'tkizgishtin' betinin' belgili bir ushastkalari'na tu'sirilgen aralaspaları' (legirlewshi aralaspaları') bir neshe ju'z gradusqa qi'zdi'ri'w joli' menen diffuziyalaydi' ha'm oni' legirleydi. Na'tiyjede kristalda  $p$  ha'm  $n$  tipindegi yarı'm o'tkizgishlerdin' quramali' oblastlari' payda boladi'.

Defektlerdin' ori'n almasti'ri'wi'ni'n' esabi'nan ju'retug'i'n diffuziya zatlardag'i'

defektlerdin' sani'ni'n' kem-kemnen o'zgeriwinin' basli' mexanizmi boli'p.  $P = \frac{N_d}{N_{at}} = \exp(-E_V/kT)$  formulası' boyi'nsha zatti'n' balqi'w temperaturasi'nan a'dewir to'men temperaturalarda defektlerdin' payda boli'w itimalli'g'i' ju'da' kishi. Biraq defektlerdin' sani' a'dette ko'p ese u'lken boladi'. Sebebi olar joqari' temperturalarda payda boladi': kristaldi'n' o'siw bari'si'nda yamasa joqari' temperaturadan shi'ni'qtı'ri'w bari'si'nda. Defektlerdin' ti'g'i'zli'g'i' kem-kemnen kishireyedi. Bul qubi'li's tu'yinler arasi'nda turg'an atomlardı'n' vakansiyalarg'a o'tiwinin' (buni' defektlerdin' rekombinaciysi' dep ataydi') yamasa defektlerdin' kristaldi'n' betine yamasa kristaldag'i' da'nesheler arasi'ndag'i' shegarag'a o'tiwinin' saldari'nan ju'zege keledi. Ayi'ri'm jag'daylarda noqatli'q defektler bolg'an qosı'mta topertasadi' ha'm jan'a kristalli'q faza oblastlari'n payda etedi. Bul processlerdin' barlı'g'i' da defektlerdin' emleniwi dep ataladi'.

**Noqatli'q defektlerdin' elektr o'tkizgishlikke ta'siri.** Eger zonali'q teoriya tiykari'nda esaplawlar o'tkerilse haqi'yqi'y kristallardi'n' elektr o'tkizgishligi ideal kristal-dielektriktin' elektr o'tkizgishliginen a'dewir joqari' boli'p shi'g'adi'. Bul jag'day to'mendegidey eki sebepke baylani'sli':

Birinshiden donorli'q ha'm akceptorli'q qosı'mtalar dielektriktin' elektr o'tkizgishligin joqari'latadi' (tap yari'm o'tkizgishlerdegi si'yaqli').

Ekinshiden ionli'q kristallardi'g'i' vakansiyalardi'n' tusi'nan ionlardi'n' zaryadti' ali'p ju'riwinin' jen'illeniwi menen baylani'sli'. Bul jag'day sxema tu'rinde 21-su'wrette keltirilgen. Eger 3 vakansiyada on' zaryadlang'an ionni'n' turi'wi' kerek bolg'an bolsa ha'm ol  $\vec{E}$  elektr maydani'nda jaylasqan bolsa, onda bul vakansiyag'a on' zaryadlang'an ionni'n'  $\vec{E}$  nin' bag'i'ti'nda sekirip o'tiwinin' itimalli'g'i'  $\vec{E}$  ge qarama-qarsi' bag'i'tta sekirip o'tiwinin' itimalli'g'i'nan joqari' boladi'. On' zaryadlang'an ionlar ortasha si'rtqi' elektr maydani'n'i'n' bag'i'ti'nda qozg'aladi' ha'm elektr o'tkizgishlikke ta'sir etedi. Tap sol si'yaqli' teris zaryadlang'an iong'a  $\vec{E}$  bag'i'ti'nda qozg'alg'ang'a qarag'anda  $\vec{E}$  nin' keri bag'i'ti'nda qozg'alg'an uti'mli'raq. Soni'n' ushi'n teris zaryadlang'an ionlar  $\vec{E}$  nin' bag'i'ti'na qarama-qarsi' bag'i'tta qozg'aladi' ha'm elektr o'tkizgishlikke o'zinin' u'lesin qosadi'. Eki jag'dayda da vakansiya kristal boyi'nsha ori'n almasti'ri'p zaryadti'n' ko'shiwin tamiyinleydi. Biraq haqi'yqati'nda zaryadti' ionlar tasi'ydi' ha'm olar (on' ha'm teris zaryadlang'an ionlar) vakansiyalardi'n' a'tirapi'nda ha'r qi'ylı' boli'p topertasadi'. Bunday jag'daylarda zaryadti' ko'shiriwdin' vakansiyali'q mexanizmi haqqi'nda ga'p etedi (biz to'mende yari'm o'tkizgishlerdin' elektr o'tkizgishliginin' tesikleshik mexanizma haqqi'nda ga'p etemiz). Bunday mexanizm boyi'nsha zaryadlardı' ko'shiriw ushi'n a'dewir kishi potencialli'q barerden o'tiwdi talap etedi. Al elektrondi' ionnan iong'a o'tkeriw ushi'n u'lken potencialli'q barerden o'tiw kerek boladi'.

Tu'yinler arasi'nda turg'an ion da (4 arqali' belgilengen, 21-su'wretti qaran'i'z) ko'binese si'rttan tu'sirilgen elektr maydani'  $\vec{E}$  nin' bag'i'ti'nda ji'li'sadi' (bir ori'nnan ekinshi ori'ng'a sekirip o'tedi).

**Noqatli'q defektlerdin' kristallardi'n' ren'ine ta'siri.** Qosı'mta atomlar kristallardi'n' ren'in o'zgertedi. Mi'sali' almasti'ri'w qosı'mtalari' (primesi zaməşeniyə) bolg'an xrom ionlari'  $Al_2O_3$  kristallari'ni'n' qi'zi'l ren'in ta'miyinleydi (rubin kristalli' ali'nadi'), al  $Al_2O_3$  kristallari'na kirgizilgen titan ionlari' olarg'a ko'k ren' beredi (sapfir kristalli' ali'nadi').

**Noqatli'q defektlerdi u'yreniw usi'llari'.** Ko'lem birligindegi vakansiyalardi'n' sani'n ani'qlaw ushi'n a'dette to'mendegidey eki na'tiyje sali'sti'ri'li'p ko'riledi: birinshisi rentgenografiyalı'q usi'llardi'n' ja'rdeinde ali'ng'an pa'njere parametrinin' da'l ma'nisi, ekinshisi zatti'n' ti'g'i'zli'g'i'n da'l ani'qlaw (kristaldi'n' massasi'ni'n' ko'lemin qatnasi'ni'n' shamasi'n da'l ani'qlaw). Vakansiyalardi'n' kristalli'q pa'njererin' parametrin azmaz g'ana, biraq kristaldi'n' ko'lemin sezilerliktey o'zgertetug'i'nli'g'i' belgili. Usi'nday jollar menen joqari' emes da'llikte kristaldi'n' ko'lem birligindegi tu'yinler arasi'ndag'i' atomlardı'n' sani'n ani'qlaw mu'mkin. Sebebi tu'yinler arasi'nda jaylasqan atomlar zatti'n' ti'g'i'zli'g'i'n a'dewir

u'lkeytedi, al kristalli'q pa'njerenin' parametrinin' shamasi'n az shamag'a o'zgertedi. Eger kristalda vakansiyalar da, tu'yinler arasi'nda jaylasqan atomlar da bar bolatug'i'n bolsa, onda joqari'da bayanlang'an usi'ldi'n' ja'rdeinde kristaldi'n' ko'lem birligindegi vakansiyalar sani' menen tu'yinler arasi'ndag'i' atomlar sani'ni'n' ayi'rmasi'n bahalawg'a boladi'. Al Frenkel boyi'nsha defektlerdin' ti'g'i'zli'g'i'n qarap o'tilgen usi'ldi'n' ja'rdeinde ani'qlaw mu'mkin emes.

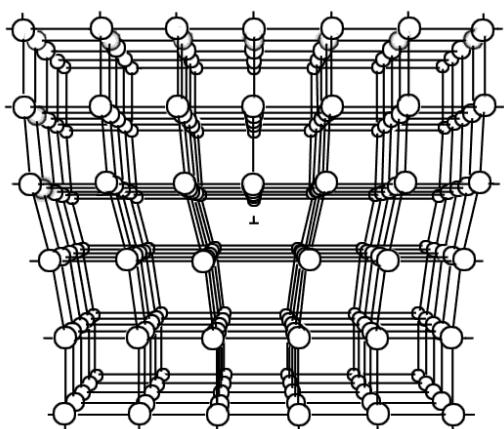
Joqari'da qarap o'tilgen elektr qarsi'li'g'i' menen diffuziyani' o'lshew, soni'n' menen birge ha'r qi'yli' elektromagnit nurlari'ni'n' juti'li'w koefficientlerinin' ma'nisin o'lshew kristallardag'i' noqatli'q defektlerdi u'yreniwge mu'mkinshilik beredi.

## 8.2. Dislokaciylar

Dislokaciylar dep atalatug'i'n kristalli'q pa'njerenin' si'zi'qli' defektlerin toli'g'i'raq u'yreniw olardi'n' barli'q konstrukciyali'q kristalli'q materiallardi'n' bekkemligi menen plastiklige u'lken ta'sir etetug'i'nli'g'i'na baylani'sli'. Defektlerdin' usi' tipin esapqa almag'an kristallardi'n' bekkemligi teoriyalari' ha'tte monokristalli'q ha'm polikristalli'q materiallardi'n' a'melde baqlani'p ju'rgen mexanikalı'q qa'siyetlerin tu'sindirip bere almadı'.

**Dislokaciyalardi'n' tipleri.** Dislokaciyalardi' shetlik ha'm vintlik dep ekige bo'ledi. Biraq eksperimenterde baqlani'p ju'rgen dislokaciylar tek ayi'ri'm jag'daylarda g'ana sol dislokaciyalardi'n' modellik tiplerinin' ekewinin' biri boli'wi' mu'mkin. Sebebi a'dette dislokaciylar eki tiptin' de elementlerine iye boladi'. Ko'rgizbelilik ushi'n modellik dislokaciyalardi' u'yreniwdi baslaymi'z. A'piwayi'li'q ushi'n a'piwayi' kubli'q pa'njereni qaraymi'z. Ali'ng'an na'tiyjeler azmaz o'zgerisler menen basqa tiptegi pa'njereler ushi'n da duri's boladi'.

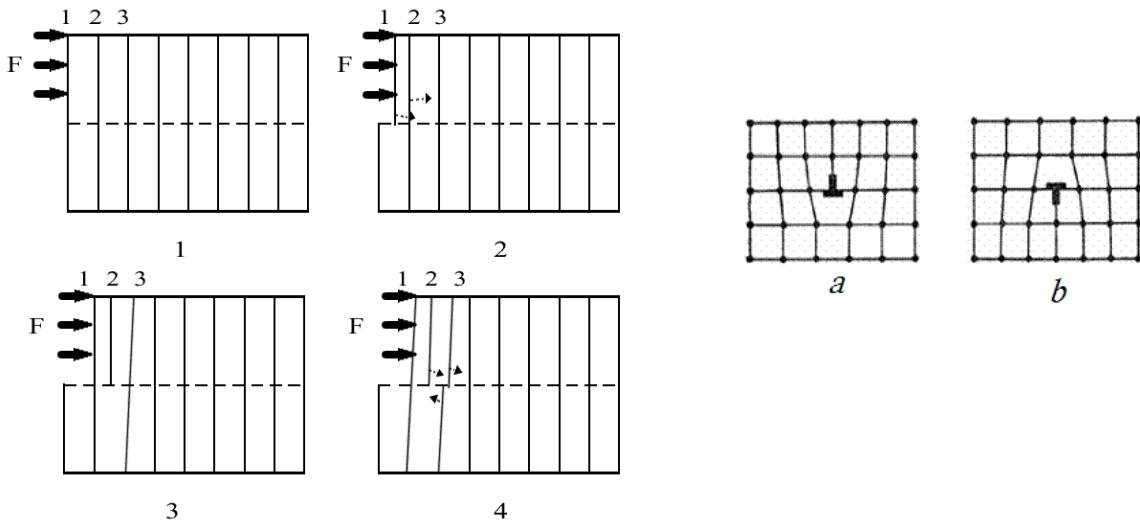
Shetlik dislokaciya ha'm oni'n' a'tirapi'nda atomlardi'n' jaylas'i'w sxemasi' 2.8-su'wrette a'piwayi' kubli'q pa'njere mi'sali'nda keltirilgen. Bul su'wrette 100 tipindegi qon'si'las toli'q tegislikler arasi'ndag'i' «yari'm tegislik» ko'rsetilgen. Bul pu'tin tegisliklerdin' atomları' su'wrettin' to'meninde bir biri menen a'dettegidey boli'p baylani'sqan, biraq yari'm tegisliktin' to'mengi shetinde ju'da' ku'shli deformaciylar payda bolg'an. Arti'q bolg'an yari'm tegisliktin' to'mengi shetin shetlik dislokaciya si'zi'g'i', al ayi'ri'm jag'daydarda a'piwayi' tu'rde shetlik dislokaciya dep ataydi'. Usi' jag'dayg'a baylani'sli' dislokaciyalardi' si'zi'qli' defektlerge jatqaradi'. Bul si'zi'q arti'q yari'm tegisliktin' sheti boyi'nsha jaylasadi'. dislokaciyalardi'n' a'tirapi'ndag'i' ku'shli deformaciyaq'a ushi'rag'an oblastti'n' o'lshemleri shama menen kristalli'q pa'njerenin' 2-3 da'wirine ten' boladi'. U'lkenirek qashi'qli'qlarda mayi'si'wdi'n' shamasi' kishi ha'm olardi' serpimlilik teoriyası' tiykari'nda ta'riplewge boladi'.



25-su'wret.  
Shetlik dislokaciya a'tirapi'ndag'i'  
atomlardi'n' jaylas'i'w sxemasi'.

Shetlik dislokaciylar ko'binese kristallardi' 26- ha'm 27-su'wretlerde keltirilgendey

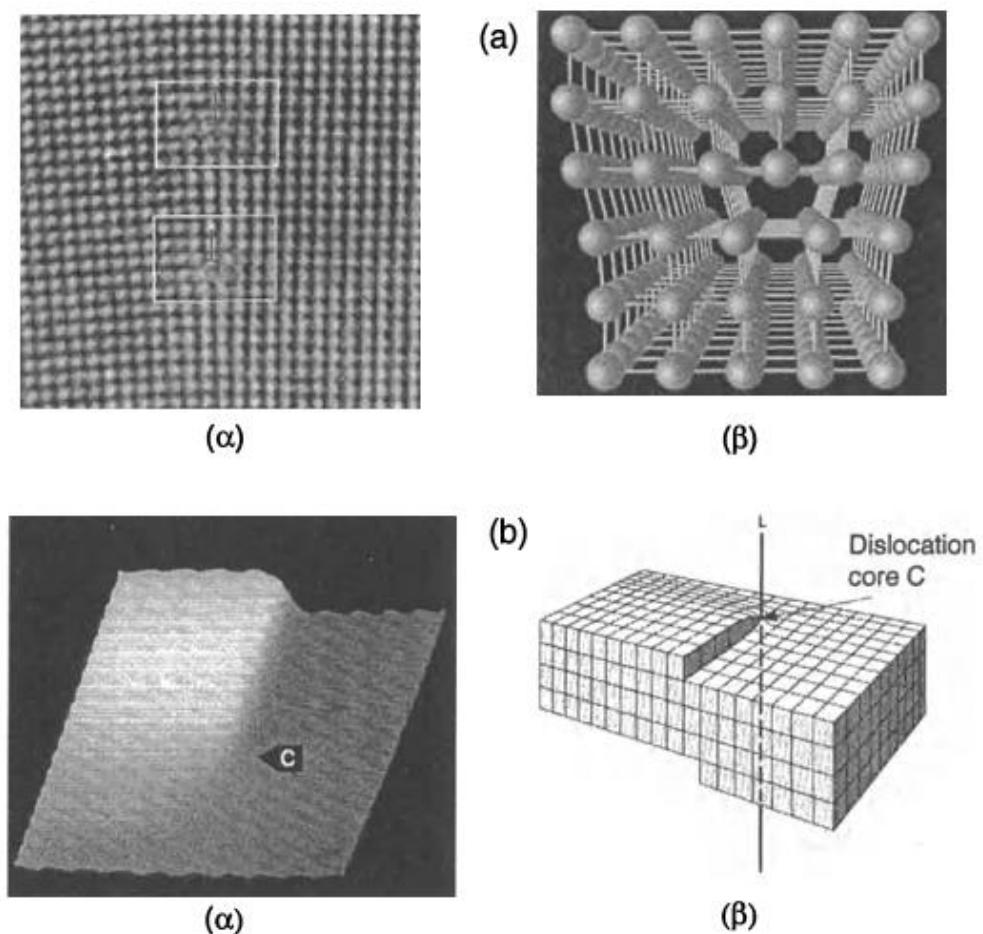
etip deformaciyyag'anda payda boladi'. Dislokaciyyalar ko'binese ji'lji'w deformaciyalari'nda ji'lji'w tegislikleri dep atalatug'i'n ti'g'i'z jaylasqan atomlarg'a iye tegisliklerde payda boladi'. Biz a'piwayi' kubli'q pa'njereni ha'm oni'n' {100} tegisligin qaraymi'z. KOK kristallarda {110}, {112} ha'm {123} tegisliklerinin', al QOK kristallardi' {111} tegisliklerinin' ji'lji'w tegislikleri ekenligin atap o'temiz. Eger kristalg'a  $\vec{F}$  ku'shi menen ta'sir etsek (27 (1)-su'wretke qaran'i'z), onda (100) tegisligi punktir menen belgilengen ori'nda «ji'rti'ladi» (26 (2)-su'wret), bunnan keyin 1 tegisliginin' joqarg'i' yari'mi' 2 tegisliktin' to'mengi yari'mi' menen tutasadi' (26 (3)-su'wret). Al 2 tegisliginin' joqarg'i' yari'mi' «arti'q» tegislik boli'p qaladi'. Eger kristalg'a ta'sir etiwdi dawam etsek, onda kelesi tegislik «ji'rti'ladi», bunnan keyin 2 tegisliginin' joqarg'i' yari'mi' 3 tegisliginin' to'mengi yari'mi'na qosi'ladi' (26 (4)-su'wret). Process tap usi'nday izbe-izlikte dawam etedi. Solay etip kristalda arti'q (100) yari'm tegisligi payda boladi'. Ol  $\vec{F}$  ku'shinin' ta'sirinde ji'lji'w tegisligi boyi'nsha qon'si' tegisliklerdin' «ji'rti'li'wi'ni'n» esabi'nan qozg'ala aladi'. Jan'a tegisliktin' ji'rti'li'wi' dislokaciya si'zi'g'i'ni'n' qasi'nda bolatug'i'nli'g'i'n an'g'ari'wi'mi'z sha'rt. Sebebi kristalli'q pa'njererin' mayi'si'wi' tap sol ori'nda maksimalli'q ma'niske iye (25-su'wret).



26-su'wret. Kristaldi'n' ji'lji'w deformaciyyasi'ni'n' bari'si'nda shetlik dislokaciyyani'n' payda boli'wi'ni'n' ha'm qozg'ali'wi'ni'n' sxemasi'.

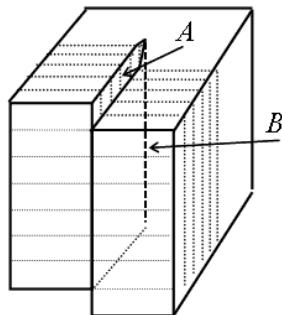
27 a ha'm b su'wretler.  
On' ha'm teris belgige iye dislokaciyyalar  
(on' ha'm teris dislokaciyyalar).

Shetlik dislokaciyalardi' sha'rtli tu'rde on' ha'm teris shetlik dislokaciyyalar dep ekige bo'ledi. On' belgige iye dislokaciyyada (27 a su'wret) arti'q yari'm tegislik joqari'da jaylasqan. Bunday jag'dayda kristaldi'n' joqarg'i' bo'leginde qi'si'wshi' kernew, al to'meninde sozi'wshi' kernew ori'n aladi'. Teris dislokaciya (27 b su'wret) jag'dayi'nda kristaldi'n' joqari' bo'leginde sozi'wshi' kernew, al to'mengi bo'leginde qi'si'wshi' kernew ori'n aladi'. Su'wrette on' ha'm teris dislokaciyalardi'n' belgileniwleri de keltirilgen. Eki dislokaciyyani'n' bir birinen tek  $180^\circ$  qa ayi'rmasi'ni'n' bar ekenligin an'g'ari'w qi'yi'n emes. Sonli'qtan tek bir dislokaciya bar jag'dayda oni'n' belgisi haqqi'nda ga'p etiwdin' keregi joq. Eger dislokaciyyani'n' qasi'nda basqa dislokaciya jaylasqan bolsa, onda dislokaciyalardi'n' belgisin aytii'w za'ru'rliyi payda boladi'. Dislokaciyyalar arasi'ndag'i' serpimli ta'sirlesiw ku'shleri dislokaciyyani'n' belgisine baylani'sli': birdey belgige iye dislokaciyyalar bir biri menen iyterisedi, al ha'r qi'yli' belgige iye bir biri menen tarti'sadi'.



**Fig. 3.17.** a: (α) Atomic resolution TEM micrograph of  $\text{SrTiO}_3$  crystal containing two  $\langle 100 \rangle$  edge dislocations marked in the figure [3.3]. (β) Schematic atomic arrangement of an edge dislocation. b: (α) Atomic resolution micrograph obtained on the surface of a GaAs crystal by scanning tunneling microscopy revealing a screw dislocation at location c [3.4]. (β) Schematic atomic arrangement of a screw dislocation. (The arrangement in (β) is rotated when compared to the image in (α).)

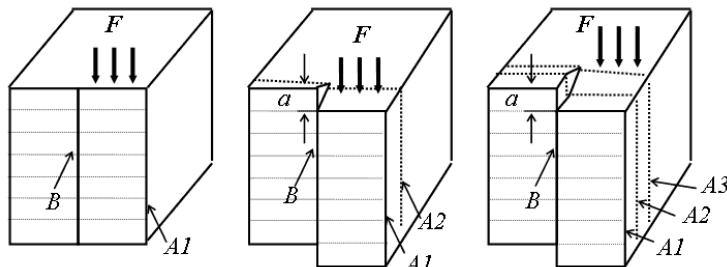
**Vintlik dislokaciya.** A'piwayi' kubli'q kristal ushi'n vintlik dislokaciya sxema tu'rinde 28-su'wrette keltirilgen. Bul su'wrette A tegisliginin' shep ta'repinde jaylasqan atomlar o'zlerinin' ori'nлari'nda qalg'an, al on' ta'repindegi atomlar on' ta'reptegige sali'sti'rg'anda to'menge qaray bir tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ji'lji'g'an. Usi'nin' saldari'nan B si'zi'g'i'ni'n' a'tirapi'nda ku'shli deformaciya payda boladi'. A yari'm tegisliginin' ha'm qalg'an yari'm tegisliktin' shegarasi' arqali' o'tiwshi B si'zi'g'i'n vintlik dislokaciya dep ataydi'. 28-su'wrette ko'riniп turg'ani'nday gorizont bag'i'ti'ndag'i' deformaciyalang'an (001) tipindegi tegislik boyi'nsha B si'zi'g'i'n bir ret aylani'p shi'qsa kristalli'q pa'njererin' 1 da'wirine joqari'g'a ko'teriliwge, al B si'zi'g'i'ni'n' do'gereginde bir neshe ret aylani'p shi'qsa pa'njererin' bir neshe da'wirine ko'teriliwge bolati'g'i'ni'li'g'i'n ko'remiz. Ko'teriliw vintlik baspaldaq yamasa vintlik avtojol menen ko'teriliwge usaydi'. Usi'nnan vintlik dislokaciya atamasi' kelip shi'qsan. Vintlik dislokaciyyada barli'q (010) tegislikleri bo'leklengen bolmay shi'g'atug'i'nli'g'i'n an'g'arami'z. Sebebi olardi'n' barli'g'i' da ko'sheri B bolg'an bir quramali' vintlik betke aylang'an. 28-su'wrette keltirilgen bet B si'zi'g'i'ni'n' a'tirapi'nda saat tilinin' bag'i'ti'na qarama-qarsi' bag'i'tta qozg'alg'anda ko'teriliwdi ta'miyinleydi (eger joqari'dan qarasaq). Eger B si'zi'g'i'ni'n' a'tirapi'nda saat tilinin' qozg'ali'w bag'i'ti'nda qozg'alg'anda da joqari'g'a ko'teriliwdi ta'miyinleytug'i'n betti quri'w mu'mkin (buni'n' ushi'n 28-su'wrette keltirilgen kristaldi'n' on' ta'repin to'menge emes, al joqari'g'a qaray ji'lji'ti'w kerek). Sonli'qtan vintlik dislokaciyyalar on' vintlik ha'm teris vintlik bola aladi'.



28-su'wret

Vintlik dislokaciyanı'n' a'tirapi'nda atomlı'q tegisliklerdin' jayłası'wi'ni'n' sxemasi'.

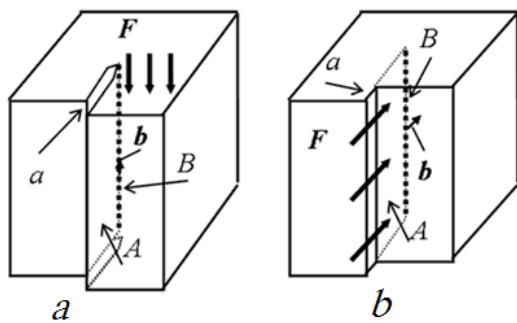
Vintlik dislokaciya kristaldi' 30-su'wrette ko'rsetilgendet etip deformaciyalag'anda payda boladi'. A'piwayı' kubli'q pa'njeredege {100} tipindegi tegislikti qaraymı'z. Eger kristalg'a  $\vec{F}$  ku'shi menen ta'sır jasasaq (29 a su'wret), onda A1 tegisligi strelka menen belgilengen ori'nda B si'zi'g'i' boyı'nsha «ji'rtı'ladi». Bunnan keyin A1 din' to'mengi ha'm joqarg'i' yarı'mlari' pa'njerenin' 1 da'wirine ji'lji'w menen birigedi (29 b su'wret). Eger kristalg'a ta'sır etiwdi dawam ete bersek, onda kelesi tegislik «ji'rtı'ladi», bunnan keyin A2 tegisliginin' to'mengi ha'm joqarg'i' bo'limleri ji'lji'w menen baylani'sadi' (29 v su'wret). Process tap usı'nday izbe-izlikte dawam etedi. Solay etip kristalda vintlik dislokaciya payda boli'p, ol kristallg'a ta'sır etiwdin' aqı'betinde tegisliklerdin' qon'sı' yarı'mlari'ni'n' «ji'rtı'li'wi» ha'm «birigiwlerinin» sebebinen ji'lji'w tegisligi boyı'nsha qozg'aladi'. Jan'a tegisliktin' «ji'rtı'li'wi» tek dislokaciya si'zi'g'i'ni'n' qasi'nda ju'zege keletug'i'nli'g'i'n an'g'aramı'z. Sebebi sol ori'nda kristalli'q pa'njerenin' mayı'sı'wi' en' u'lken ma'niske iye boladi' (29-su'wretke qaran'i'z).



29-su'wret.

Kristaldi'n' ji'lji'w deformaciyası'ndag'i' vintlik dislokaciyanı'n' payda boli'wi' ha'm ji'lji'wi'.

**Byurgers vektori'.** Vintlik dislokaciyanı' ali'w ushi'n kristaldi'n' u'stinen to'mendegidey modellik operaciya ju'rgizemiz (30- a su'wretti qaran'i'z). Kristalda pa'njerenin' tu'yinleri arasi'nan o'tetug'i'n (100) tegisliginde A yarı'm tegisligi boyı'nsha qi'yali'mi'zda kesim kesemiz. Bunnan keyin kesimnin' on' ta'repindegi atomlardı' bir tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa to'menge qaray ji'lji'tami'z ha'm A arqali' o'tiwshi baylani'slar menen baylani'sti'ramı'z. Kristaldi'n' «shep» ta'repine salı'sti'rg'anda «on» ta'repinin' awı'sı'w vektorı' B vintlik dislokaciyanı'n' Byurgers vektorı' boli'p tabı'ladi'. Onı'  $\vec{b}$  arqali' belgileymiz. Vintlik dislokaciyanı'n' Byurgers vektorı'ni'n' usı' dislokaciyanı'n' o'zine parallel ekenligi ko'rinipli tur.



30-su'wret.

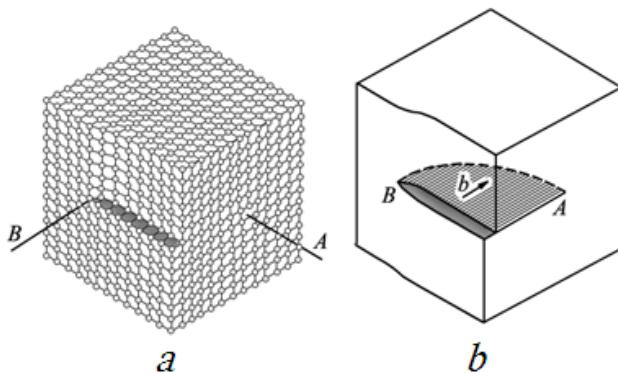
Vintlik ha'm shetlik dislokaciyalardag'i' kristaldi'n' atomlari'ni'n' awi'si'wi'ni'n' sxemasi'.

$\vec{b}$  arqali' Byurgers vektori' belgilengen.

Tap sonday jollar menen shetlik dislokaciyanı' da ali'wg'a boladi'. Buni'n' ushi'n kristaldi'n' «on» ta'repin A beti boyi'nsha «bizden arman qaray» ji'lji'ti'w kerek ha'm B dislokaciysi' si'zi'g'i'nan basqa ori'nlardag'i' baylani'slardı' biriktiriw kerek boladi' (30- a su'wret). Kristaldi'n' bul bo'liminin' awi'si'w vektori' Byurgers vektori' boli'p tabi'ladi'. Shetlik dislokaciyanı'n' Byurgers vektori'ni'n' dislokaciyanı'n' o'zine perpendikulyar ekenligi ko'rinipli tur.

**Aralas tiptegi dislokaciylary.** 31-su'wrette A ha'm B noqatlari'n tutasti'ri'wshi' aralas tiptegi qi'ysi'q si'zi'qli' dislokaciyaq'a mi'sal keltirilgen. A noqati'nda atomlardi'n' jaylası'wi' shetlik, al B noqati'nda vintlik dislokaciyaq'a sa'ykes keledi. Bunday dislokaciya  $\vec{b}$  bag'i'ti'nda ta'sir etetug'i'n  $\vec{F}$ ku'shinin' ta'sirinde ju'retug'i'n bir tekli emes ji'lji'w deformaciysi'ni'n' aqi'betinde payda boladi' (31-su'wretti qaran'i'z). Ta'sir etiwdi dawam etsek A - B dislokaciysi' ji'lji'ydi' ha'm shtrixlang'an oblastti'n' maydani' u'lkeyedi. Tap usi'nday aralas tiptegi quramali' dislokaciylary kristallarda jiyi ushi'rasadi'.

**Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i'.** **Dislokaciyalardi' baqlaw usi'llari'.** Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' kristaldi'n' ishinde ali'ng'an maydani' bir birlik bolg'an betti kesip o'tetug'i'n dislokaciyalardi'n' sani'na ten'. Bul shama kristaldi'n' ko'leminin' bir birligindegi barli'q dislokaciyalardi'n' uzi'nli'g'i'na ten'. Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'qlari'ni'n' jiyi ushi'rasatug'i'n ma'nisleri ha'm dislokaciyalardi'n' usi'nday ti'g'i'zli'qlari'n u'yreniw ushi'n qollani'latug'i'n usi'llar 2-kestede berilgen.



31-su'wret.

Aralas tiptegi qi'ysi'q si'zi'qli' dislokaciya.

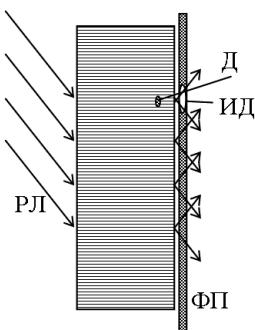
2-keste.

Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'qlari'ni'n' ma'nisleri ha'm olardi' baqlaw usi'llari'

Dislokaciyalardi' u'yreniw usi'lli'	U'lginin' kali'n'li'g'i', mkm	Dislokaciyalardi'n' su'wretinin' ken'ligi, mkm	Dislokaciyalardi'n' maksimalli'q ti'g'i'zli'g'i' (1 sm <sup>2</sup> mayandag'i')
Elektron mikroskopiyasi'	$10^{-0} \text{--} 10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{11} \text{--} 10^{12}$

Rentgen topografiyasi' (kristall arqali' o'tiwshi tolqi'nlardag'i')	$10^2-10^3$	5	$10^4-10^5$
Rentgen topografiyasi' (kristaldi'n' betinen shashi'rag'an tolqi'nlardag'i')	2-50	2	$10^6-10^7$
Optikali'q mikroskopiya (oyi'p nag'i'slaw oyi'qlari' boyi'nsha)	qa'legen qali'n'li'qtag'i' u'lgi	0,3-0,5	$10^{-6}-10^{-7}$

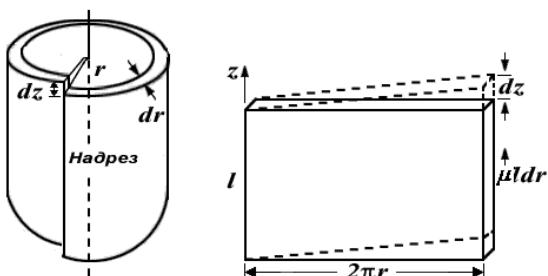
Elektron mikroskoplari'ni'n' ja'rdeinde qa'legen ti'g'i'zli'qtag'i' dislokaciyalardi' baqlaw mu'mkin. Quri'li'si' jetkilikli da'rejede jetilisken kristallardag'i' dislokaciyalardi' rentgen topografiyasi'ni'n' ja'rdeinde baqlaydi'. Dislokaciyalardi' baqlaytug'i'n usi'llardi'n' barli'g'i' da dislokaciyalardi'n' o'zlerin «ko'rmeydi», al dislokaciya a'tirapi'ndag'i' kristalli'q pa'njerinin' mayi'si'wi'n «ko'redi».



32-su'wret.

Rentgen topografiyasi' ja'rdeinde monokristaldag'i' dislokaciyanı'n' su'wretin payda etiw sxemasi' (kristall arqali' o'tiwshi tolqi'nlardag'i' rentgen topografiyasi').

**Dislokaciyalardi'n' energiyasi'.** Dislokaciya usi' dislokaciya payda etken kristalli'q pa'njeresinin' mayi'si'w energiyasi' baylani'sli'. Bul energiyani'n' shaması'n' dislokaciyanadan qashi'qlasqan tutas ortali'q jaqi'nlasi'wi'n (priblijenie) ha'm dislokaciyalarg'a jaqi'n qashi'qli'qlardag'i' bir biri menen ta'sirlesiwshi atomlar modelin qollani'p esaplawg'a boladi'.



33-su'wret.

Vintlik dislokaciya jani'ndag'i' kristaldi'n' deformaciyalı'ni'wi'.

Bunday esaplawdi' vintlik dislokaciylar ushi'n ori'nlag'an an'sat. Kristaldi' tutas izotrop ortali'q dep esaplaymi'z. 33-su'wrette vintlik dislokaciya jani'ndag'i' serpimli deformaciylar kartinası' ko'rsetilgen. Bunday jag'dayda dislokaciyanı'n' a'tirapi'ndag'i' ken'islikti ishki radiusi'  $r$  ha'm si'rtqi' radiusi'  $r + dr$  bolg'an juqa cilindrlik qatlamlarg'a bo'lemiz. YAri'm tegislikte ha'r bir qatlam kesilgen ha'm Byurgers vektori'  $b$  shaması'na

ji'li'si'w menen baylani'sqan. Bunday jag'dayda ha'r bir qatlam  $\varepsilon = b/2\pi r$  shaması'na ji'lji'w menen deformaciyalang'an dep esaplay alami'z (ko'rsetpelilik ushi'n 33-su'wrette ha'r bir cilindrди burawg'a ha'm payda bolg'an ji'lji'w deformaciyasi'ni'n' shaması'n ani'qlawg'a boladi'). Ji'lji'w deformaciyasi'ni'n' energiyasi'ni'n' ti'g'i'zli'g'i'n sali'sti'rmali' deformaciya ε ha'm ji'lji'w moduli μ arqali' to'mendegi formulani'n' ja'rdeminde tabi'wg'a boladi':

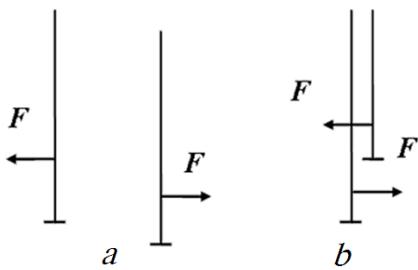
$$\omega = \mu \varepsilon^2 / 2 = (\mu/2)(b/2\pi r)^2$$

Eger bul formulani' ha'r bir cilindr'in ko'leminde ko'beytsek ha'm r din' mu'mkin bolg'an ma'nisleri boyi'nsha integrallasaq, onda uzi'nli'g'i' l ge ten' vintlik dislokaciyanı'n' energiyasi'n bahalaw mu'mkin.

$$U = \frac{b^2 l \mu}{3\pi} \ln\left(\frac{R_0}{r_0}\right).$$

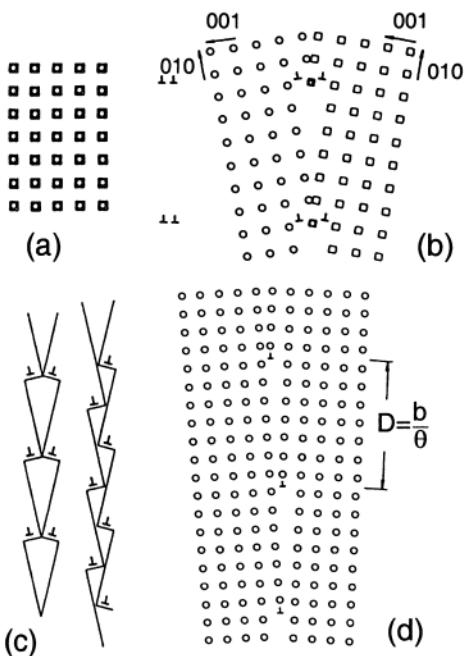
Bul formulada  $r_0$  di shama menen pa'njerenin' da'wirine ten' dep esaplwg'a boladi'.  $R_0$  bolsa dislokaciylar arasi'ndag'i' ortasha qashi'qli'q. Oni'n' ma'nisi pa'njere da'wirinin' ma'nisin shama menen 100-200 ese u'lken.  $U = (b^2 l \mu / 3\pi) \ln(R_0/r_0)$  formulada u'lken da'lilik talap etilmeydi. Sebebi  $R_0/r_0$  qatnasi' logarifm ishinde tur ha'm biz na'tiyjeni tek energiyani'n' ma'nisin bahalaw ushi'n isledik. Joqari'dag'i' formulada dislokaciyanı'n' «yadrosi'ni'n'» energiyasi' esapqa ali'nbag'an. «YAdro» da bolsa kristalli'q pa'njere ku'shli mayi'sqan. Oni'n' energiyasi'n esaplaw ushi'n sanli' usi'llar talap etiledi.  $\omega = \mu \varepsilon^2 / 2 = (\mu/2)(b/2\pi r)^2$  formulası'na a'melde jiyi ushi'rasatug'i'n  $b = 2,5 \cdot 10^{-10}$  m;  $\mu = 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>;  $r_0 = 5 \cdot 10^{-10}$  m ha'm  $R_0 = 200 \cdot 10^{-10}$  m ma'nislerin qoyi'p uzi'nli'q birligine sa'ykes keletug'i'n vintlik dislokaciyanı'n' energiyasi'ni'n'  $\frac{U}{l} = 4 \cdot 10^{-9}$  Dj/m, al ha'r bir atom arasi'ndag'i' qashi'qli'q ushi'n (yag'ni'y ha'r bir atom ushi'n)  $\frac{U}{b} = 10^{-18}$  Dj/atom shaması'na ten' bolatug'i'nli'g'i'n ko'remiz. Bul u'lken shama ha'm atomlardı'n' ji'lli'li'q terbelislerinin' energiyasi'nan a'dewir u'lken. Sonlıqtan dislokaciya ji'lli'li'q qozg'ali'sları'ni'n' ta'sirinde payda bola almaydi'. Dislokaciyalardi' payda etiw ushi'n ten' salmaqli' emes processler (mi'sali' kristallardi' deformaciyalaw) kerek.

**Dislokaciyalardi'n' bir biri menen ta'sirlesowi.** Dislokaciya deformaciylar maydani'n payda etedi ha'm usi' maydan arqali' basqa dislokaciyalarg'a ta'sir etedi. Mi'sali' 34 (a) su'wrette ko'rsetilgen dislokaciylar bir birin ibyteriwi, al 34 (b) su'wretteki bir biri menen tarti'si'wi' kerek. Dislokaciyalardi'n' uzi'nli'q birliginin' mexanikali'q kernewler maydani', basqa dislokaciylar menen ta'sir etisiw ku'shinin' ma'nisin esaplaw mu'mkin. Biraq bul esaplawlar a'dewir quramali'. Sonlıqtan biz olardi' tallamayimi'z.



34-su'wret.

Bir biri menen iytterisetug'i'n (a) ha'm tarti'satug'i'n (b) jag'daylardag'i' eki shetlik dislokaciyanı'n' jaylası'wi'.

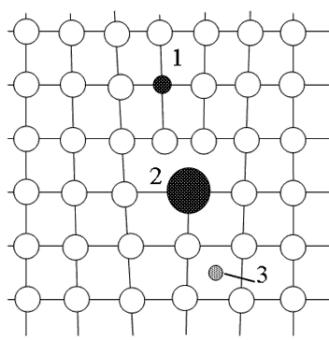


35-su'wret.

Kristalli'q pa'njereleri azmaz buri/lg'an eki monokristal arasi'ndag'i' bo'lip turi'wshi' bettegi (punktir si'zi'q) dislokaciylar.

34 (b) ha'm 35-su'wretlerde keltirilgen dislokaciylar monokristallardı'n' o'siw processinde payda bolatug'i'n kristalli'q pa'njereleri bir birinen azmaz buri/lg'an eki monokristaldi' bir birinen ayi'ri'p turatug'i'n betlerde payda boladi'. Esaplawlar dislokaciylar tap usi'nday boli'p jaylasqanda eki kristallik arasi'ndag'i' bettin' bir birligine sa'ykes keletug'i'n energiyani'n' minimum ma'nisine ten' bolatug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi.

**Dislokaciylar menen noqatlı'q defektlerdin' bir biri menen ta'sirlesowi.** Dislokaciya, a'sirese shetlik dislokaciya kristalli'q pa'hjerenin' ku'shli q'i'si'lg'an ha'm sozi'lg'an ushastkalari'n payda etedi. (36-su'wretti qaran'i'z). Sozi'lg'an ori'nllarda almasti'ri'wshi' iri qosı'mta atomlardi'n', al q'i'si'lg'an ori'nllarda almasti'ri'wshi' mayda atomlardi'n' jaylası'wi' energiyali'q jaqtan uti'mli'. Tu'yinler arasi'na endirilgen iri atomlardi'n' sozi'lg'an ori'nllarda, al q'i'si'lg'an ori'nllarda tu'yinler arasi'na endirilgen mayda atomlardi'n' jaylası'wi' uti'mli'. usi'nday jag'dayda dislokaciyalardi'n' a'tirapi'nda qosı'mta atomlardi'n' ji'ynag'i' payda boli'p, oni' «dislokaciyanı'n' posti'ni» dep ataydi'. Bul dislokaciylar a'tirapi'ndag'i' lokalli'q deformaciyalardi' ha'm dislokaciyanı'n' energiyasi'n kemeytedi. Plastikali'q deformaciyyada «posti'ni» bar dislokaciyalardi' ji'li'sti'ri'w «posti'ni» joq dislokaciyalardi' ji'li'sti'rg'annan q'i'yı'ni'raq boladi'. Sebebi birinshi dislokaciya energiyasi' joqarı'raq bolg'an ori'ng'a ko'shedi. Ayı'ri'm noqatlı'q defektleri yamasa olardı'n' ji'ynaqları' dislokaciyalardi' turg'an orni'na bekitedi dep esaplaydi'. Elektro mikroskopı'nda dislokaciyalardi'n' a'tirapi'ndag'i' iri ji'ynaqlar baqlanadi'. To'mende keltirilgen mi'salda bekkemlik teoriyası'ndag'i' «ag'i'w tisi» («zub tekushesti») biz aytqan jag'daydi' ani'q tu'sindiredi.



36-su'wret.

Noqatli'q defektlerdin' dislokaciyalardi'n' jani'nda jaylasi'wi' energiyali'q jaqtan uti'mli': almasti'ri'w qosimtasi' bolg'an kishirek atom (1), amlasti'ri'w qosimtasi' bolg'an irirek atom (2), endirilgen atom (3).

Dislokaciyalardi'n' quasi'ndag'i' sozi'lg'an kristalli'q pa'njerege iye ushastkalar diffuziyani'n' o'tiwi ushi'n jen'illestirilgen kanallar boli'p tabi'ladi'. Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' joqari' bolg'an deformaciyalang'an materiallarda deformaciyanbag'an materiallara salisti'rg'anda diffuziyani'n' tezirek ju'retug'i'nli'g'i' belgili.

Noqatli'q defektler «arti'q» yari'm tegisliktin' shegarasi'na jetip ko'p jag'daylarda jog'aladi' (36-su'wretti qaran'i'z). Usi'ni'n' saldari'nan bul «yari'm tegisliktin'» shetinin' formalari' o'zgeredi. Dislokaciylar qozg'alg'anda noqatli'q defektlerdi, soni'n' ishinde vakansiyalardi' payda etedi dep esaplaydi'. Bul vakansiyalar arti'q tegisliktin' shetlerinde payda boladi'. Bunday processlerde dislokaciya si'zi'g'i' jan'a ori'ng'a ji'li'sadi' («en'bekleydi»). Dislokaciyalardi'n' «en'beklewi» (perepolzanie) dep atalatug'i'n bunday process jiyi ushi'rasadi'.

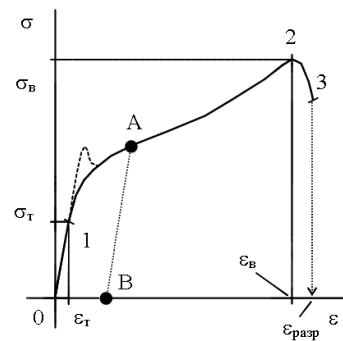
**Kristallardi'n' plastiklik (elastik) deformaciyası' ha'm dislokaciylar.** Detalg'a berilgen o'lshemlerdi ha'm formani' beriw ushi'n ko'p materiallardı' texnologiyali'q qayta islew processinde qayti'msi'z tu'rde deformaciyalaydi'. Qayti'msi'z deformaciylar Guk ni'zami' ori'nlanbaytug'i'n jag'daylarda baqlanadi'. Bul jag'daylarda detallardag'i' kernewlerdin' ma'nisleri salisti'rmali' deformaciyyadan quramali' tu'rdegi si'zi'qli' emes g'a'rezlikke iye.

Polikristalli'q u'lginin sozi'w processin qaraymi'z. U'lgener a'dette uzi'n cilindr forması'na iye boladi'. Olardi' bekitiw ushi'n ushlari'n juqartadi'. Bul process to'mendegidey tu'rde xarakterlenedi:

a) mexanikali'q kernew  $\sigma$  menen (ta'sir etetug'i'n ku'shtin' u'lginin' kese-kesiminin' maydani'na qatnasi'), a,

b) u'lginin' salisti'rmali' uzayi'wi'  $\varepsilon$  menen:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l - l_0}{l_0}.$$



37-su'wret.

U'lginini sozg'anda  $\sigma$  kernewinin' salisti'rmali' uzari'w  $\varepsilon$  shaması'nan g'a'rezligi.

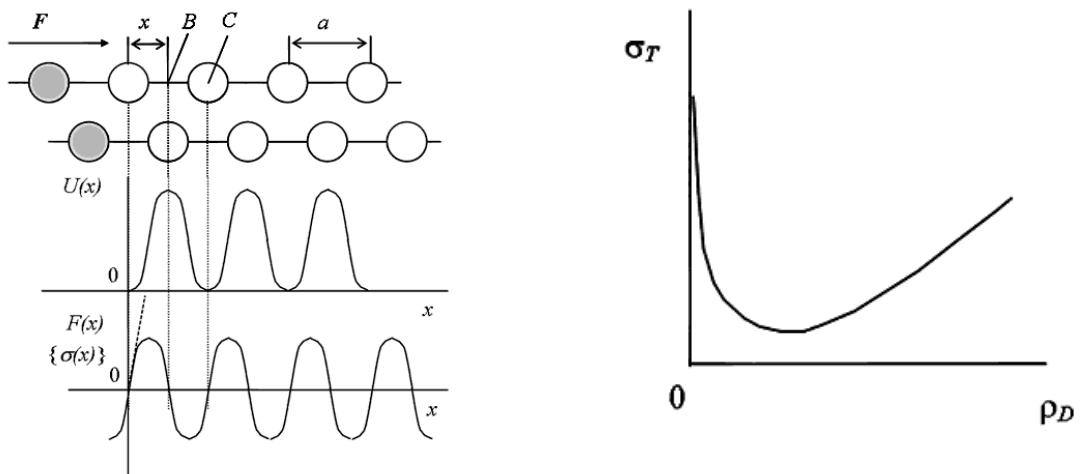
Bul an'latpada  $l$  arqali'  $\sigma$  kernewi ta'sir etkendegi u'lginin' uzi'nli'g'i',  $l_0$  arqali' u'lginin' da'slepki uzi'nli'g'i' belgilengen. 37-su'wrette u'lginin sozg'anda mexanikali'q kernew  $\sigma$  menen salisti'rmali' uzayi'w  $\varepsilon$  shaması' arasi'ndag'i' baylani's ko'rsetilgen. Iymeklik o'zine ta'n u'sh ushastkag'a iye. 0-1 ushastkasi' serpimli qayti'mli' deformaciyg'a sa'ykes keledi. Bul ushastkada Guk ni'zami' ori'nlanadi'. 1-2 ushastkasi' qayti'mli' emes plastikali'q deformaciyg'a tiyisli; eger A noqati'nda deformaciyalawdi' toqtatsa (buni'n' ushi'n  $\sigma = 0$  etiw kerek), onda u'lginin' xali' B noqati'na sa'ykes keledi. 2-3 ushastkasi' u'lginin' qi'yrawi'na sa'ykes keledi. 1 noqati'ni'n' jani'nda iymeklik ko'p jag'daylarda «ag'i'w tisi» ne iye boladi' (34-su'wrettegi punktir si'zi'q). Oni'n' payda boli'wi' dislokaciyalardi'n'

a'tirapi'nda toparasqan noqatli'q defektler menen baylani'sli'. Bunday ori'narda dislokaciyalardi' orni'nan ji'lji'ti'w qi'yi'ni'raq. Sebebi jan'a ori'nda oni'n' energiyasi'ni'n' joqari'lawi' kerek.

1 noqati'na sa'ykes keliwshi  $\sigma$  shaması'n aqqi'shli'q shegi  $\sigma_T$  dep ataydi', al 2 noqati'na sa'ykes keliwshi kernewdi bekkemlik shegi dep atap, oni'  $\sigma_B$  arqali' belgileydi.

Dislokaciyalardi' esapqa almay kristalli'q denelerdin' bekkemlik shegin esaplaza (bekkemliktin' teoriyalı'q shegi) haqi'yqi'y ma'nislerinen 100-1000 ese u'lken bolg'an shamalar ali'nadi'. Biz modellik kristalli'q pa'njere ushi'n ji'lji'w deformaciysi'ndag'i' aqqi'shli'q shegin esaplawg'a ti'ri'sami'z.

Eksperimentler plastikali'q deformaciysi'ni'n' ji'lji'w tegislikleri dep atalatug'i'n tegislikler boyi'nsha ju'retug'i'nli'g'i'n ko'rsetedi. Bunday tegislikler atomlar ti'g'i'z jaylasqan tegislikler boli'p tabi'ladi'. Bunday tegislikke mi'sal 38-su'wrette keltirilgen. Eger joqari'dag'i' tegislikke tangensialli'q ku'sh tu'sirilse atomlar ori'nları'nan ji'lji'ydi' ha'm shaması' tu'sirilgen ku'shtin' shaması'na ten' serpimlilik ku'shi payda boladi'. Deformaciya energiyasi'ni'n' ma'nisu usi' ku'shtin' ma'nisu menen baylani'sli'. Deformaciysi'joqari'dag'i' tegisliktegi atomlari' to'mengi tegisliktegi atomlardı'n' u'stinde jaylasqang'a shekem (yag'ni'y 38-su'wrettegi B noqati'nda) joqari'laydi'. Bunnan keyingi ji'lisi'wlarda atomlarg'a S awhali'na «tu'siw» uti'mli' boladi'. Solay etip joqari'da jaylasqan tegislik jan'a ori'ng'a ji'lisi'p o'te aladi'. Eger plastikali'q deformaciyanın keyin monokristallardı'n' betin abaylap tegislesse sonday ji'lisi'wlardi'n' izlerin «baspaldaqlar» tu'rinde ko'riwge boladi'.



38-su'wret. Atomlardı'n' joqari'da jaylasqan tegisliginin to'mende jaylasqan tegisligine salı'sti'rg'andag'i' ji'lji'wi'ni'n' esabi'nan ju'retug'i'n deformaciysi'ni'n' sxemasi'.

39-su'wret. Aqqi'shli'q sheginin' dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i'nan sxema tu'rindegi g'a'rezligi.

Joqarg'i' tegislikti to'mengi tegislikke salı'sti'rg'anda ji'lisi'ri'w ushi'n za'ru'rli bolg'an ku'shtin' ma'nisin bahalawg'a boladi'. (38-su'wretti qaran'i'z). Buni'n' ushi'n mexanikali'q kernew ha'm oni'n' menen baylani'sli' bolg'an potencial energiyadan paydalanami'z. 38-su'wrette usi' ku'sh ha'm oni'n' menen baylani'sli' potenciali'q energiyasi'ni'n'  $x$  koordinatasi'nan g'a'rezligi keltirilgen.  $\sigma_c(x)$  g'a'rezligin da'wiri  $a$  g'a ha'm amplitudası'  $\mu a/(2\pi d)$  bolg'an sinusoida menen ta'riplewge boladi'. Bul an'latpada  $d$  arqali' tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'q belgilengen. Bul sinusoidani'n' amplitudası'ni'n' ma'nisin biz esapladi'q. Buni'n' ushi'n  $x$  ti'n' kishi ma'nislerinde sinusoidani'n' qi'yali'g'i'ni'n' tangensi  $\mu\varepsilon = \mu(\frac{x}{d})$  shaması'na ten' boli'wi' kerekligin paydalandi'q (38-su'wretti qaran'i'z). Bunday jag'dayda  $\sigma_c(x)$  ushi'n to'mendegidey formula ali'nadi':

$$\sigma_c(x) = \{\mu / (2\pi d)\} \sin(2\pi x / a)$$

$x = a/4$  bolg'an jag'dayda  $\sigma_c(x)$  shaması' o'zinin maksimalı'q ma'nisine iye boladi'. Usı formula ja'rdeinde ori'nlang'an esaplaw  $\sigma_c(x)$  ushi'n ta'jiriybede ali'ng'an ma'nisinen ju'zlegen - on mi'n'day ese u'lken ma'nis beredi. Bunday ku'shli ayı'rmanı'n' sebebi mi'nadan ibarat: joqarı'dag'i' tegislikte jaylasqan atomlardı'n' barlı'g'i'ni'n' to'mengi tegislikte jaylasqan atomlarg'a salı'sti'rg'anda bir waqı'tta ji'li'sadi' dep esapladi'q. Bul duri's emes. Sebebi joqarı'dag'i' yarı'm tegisliktin' 1 atomlar arası'ndag'i' qashı'qli'qqa ji'lji'wi' dislokaciyanı'n' ji'lji'wi' menen de a'melge asadi' (bul 26-su'wrette ko'rsetilgen). Bunday ji'lji'w ushi'n a'dewir kishi ku'sh kerek boladi'. Sebebi endi ji'lji'wda barlı'q atomlı'q baylani'slardi'n' bir waqı'ttag'i' u'ziliwi ori'n almaydi', al dislokaciyanı'n' qasi'ndag'i' baylani'slar g'ana u'ziledi.

Plastikali'q deformaciyanı'n' dislokaciyalı'q mexanizmi ta'jiriybelerde baqlanatug'i'n ag'i'w sheginin' ma'nislerin ( $\sigma_T$  ha'm  $\sigma_B$  shamalari'n), 37-su'wrettegi 1-2 ushastkasi'ndag'i'  $\sigma(\varepsilon)$  g'a'rezliginin' o'siwin de tu'sindire aladi'. Deformaciyada da'slep a'zzi berkigen dislokaciylar, al keyin ku'shlierek berkigen dislokaciylar qozg'ala baslaydi'. Soni'n' menen birge deformaciyanı'n' bari'si'nda dislokaciyalardi'n' sani' ha'm basqa da defektler ko'beyedi.

Materialdi'n' ag'i'w shegi usi' materialdag'i' dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i'nan ju'da' ku'shli g'a'rezli. 39-su'wrette usi'nday g'a'rezlik ko'rsetilgen. Dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' ( $\rho_D$ ) kishi bolg'anda ag'i'w shegi  $\sigma_T$  shaması'ni'n' u'lken bolatug'i'nli'g'i', al  $\rho_D$  ni'n' shaması' u'lken bolg'anda ag'i'w sheginin' kishi bolatug'i'nli'g'i' ko'riniq tur. U'lken  $\rho_D$  shaması'nda  $\sigma_T$  ti'n' u'lkeyiwin dislokaciyalardi'n' bir biri menen ha'm kristalli'q pa'njererin' basqa da defektleri menen ta'sir etisiwinin' na'tiyjesi boli'p tabi'ladi'.

**Materialardi'n' bekkemligin joqarı'lati'w jollari'.** Ha'zirgi waqı'tlari' bekkemlik shegin 0,01 $\mu$  ge shekem jetkeriwge mu'mkinshilik beretug'i'n materiallardı'n' bekkemligin joqarı'latatug'i'n ko'p sanlı' usi'llar bar. Olardi'n' ko'pshılıq dislokaciyalardi'n' qozg'ali'wi'na mu'mkinshilik bermeytug'i'n qosı'msha tosqı'nli'qlardi' kirgiziw menen baylani'sli'. Usı'nday tosqı'nli'qlarg'a mi'sal retinde kristalli'q pa'njererin' to'mendegidey defektlerin ko'rsetemiz:

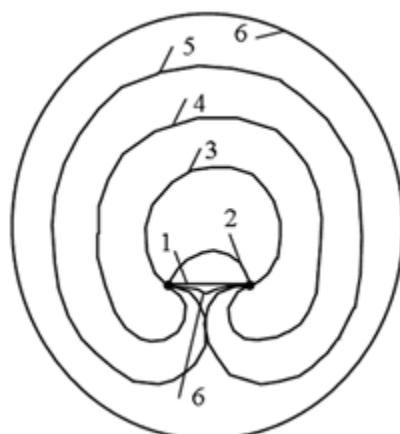
- 1) basqa fazani'n' ayri'li'p shi'g'i'wi' (bul haqqı'nda to'menirekte ga'p etiledi);
- 2) noqatlı'q defektler ha'm olardi'n' toparlari' (dara jag'dayda joqarı'da ga'p etilgen «dislokaciylar postı'ni»);
- 3) dislokaciyalardi'n' qozg'ali'wi'n qi'yi'nlastı'ratug'i'n dislokaciyalardi'n' o'zlerinin' ko'p boli'wi' (dislokaciyalardi'n' bir biri menen ta'sirlesiwleri olardi'n' qozg'ali'wi'na kesent beredi);
- 4) atomlardı'n' ornalasi'wi'ndag'i' jaqi'nnan ta'rtiptin' ori'n ali'wi' (bul haqqı'nda to'mende ken'irek ga'p etemiz).

Qo'pshılık quymalarda jaqi'nnan ta'rtip dep atalatug'i'n qubi'li's baqlanadi'. Bunday ta'rtipte bir sorttag'i' atom o'zin basqa sorttag'i' atomlardı'n' qorshap turi'wi'na ti'ri'sadi'. Usı'nday jollar menen quymanı'n' kishi energiyag'a iye boli'wi' ta'miyinlenedi. dislokaciyalardi'n' qozg'ali'w bari'si'nda atomlar arası'ndag'i' energiyali'q jaqtan utı'mli' baylani'slar u'ziledi ha'm energiyali'q jaqtan utı'mli' emes baylani'slar qa'liplesedi. Buni'n' ushi'n u'lken energiya talap etiledi, al bul o'z gezeginde dislokaciyalardi' ji'lji'ti'w ushi'n za'ru'rli bolg'an ku'shlerdin' o'siwine, aqı'rg'i' esapta kristalli'q materialdi'n' bekkemliginin' artı'wi'na ali'p keledi.

Joqarı'da keltirilgen usı'llar bekkemlikti a'dewir joqarı'latatug'i'n bolsa da, a'dette materialdi'n' plastikligin ku'shli to'menletedi.

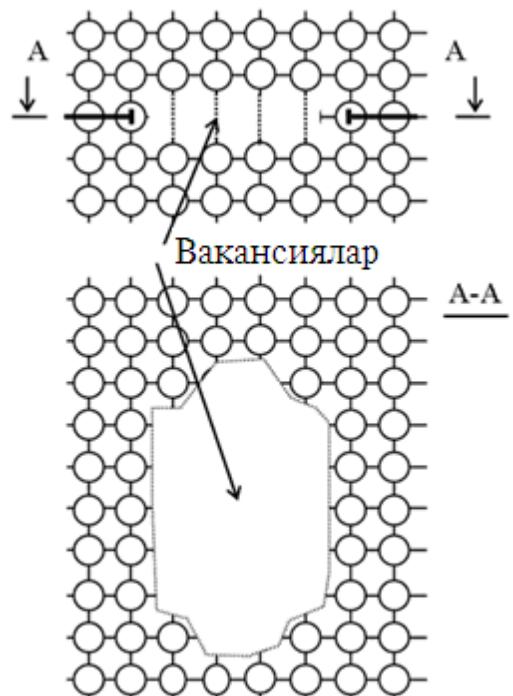
Kristaldi'n' bekkemligi dislokaciyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' kishi bolg'an jag'daylarda da ori'n aladi'. Bunday jag'daydarda kristallardi'n' dislokaciyalı'q mexanizm menen deformaciyalanı'wi' qi'yi'nshi'li'q penen ju'zege keledi (dislokaciylar az bolg'anlı'qtan).

**Dislokaciyalardi'n' payda boli'wi'.** Joqari'da aytıli'p o'tilgenindey, dislokaciyalardı tiykarı'nın kristallardı'n' plastiklik deformasiyasi'ni'n' na'tiyesinde payda boladı'. Plastikali'q deformaciya dag'i' dislokaciyalardi'n' payda boli'w istoshniklerinin' birin Frank-Rid istoshnigi (deregi) dep ataydı'. Ol 40-su'wrette ko'rsetilgen. Meyli dislokaciya 1 A ha'm B noqatlari'nda bekitilgen bolsi'n. Bunday noqatlardi'n' orni'n basqa o'lshemlerge iye atomlardi'n' ji'ynaqlari', basqa fazada oblastlari' ha'm basqalar boli'wi' mu'mkin. Si'rttan mexanikali'q kernew tu'sirilgende dislokaciya ji'lji'ydi' ha'm 2, 3, 4 awhallari'nan izbe-iz o'tedi. En' aqi'ri'nda 5-awhalda dislokaciyanı'n' shep ha'm on' ta'replerdegi yarı'm ilmekleri bir biri menen tiyisedi, do'n'gelek formag'a iye (6) dislokaciyalı'q ilmekti payda etedi. Bul ilmek bolsa mexanikali'q kernewdin' ta'sirinde 1 formasi'na keledi. Bunnan keyin process qaytalanadi' ha'm kelesi dislokaciya payda boladı'.



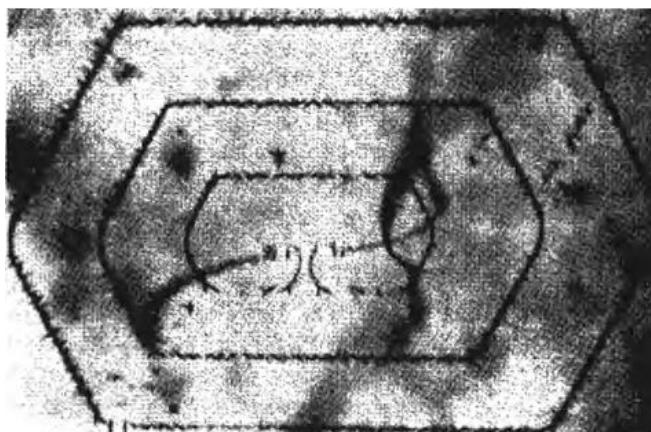
40-su'wret.

Dislokaciyalardi'n' Frank-Rid istoshnigi  
(deregi)

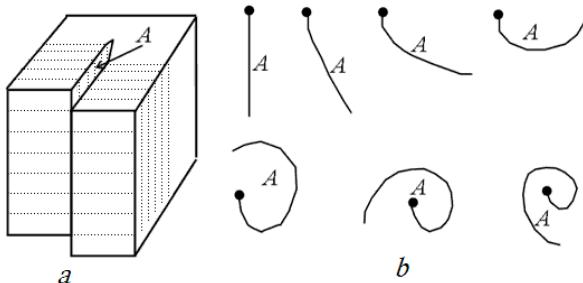


41-su'wret. Aralas tiptegi dislokaciyalarg'a  
ekvivalent bolg'an tuyi'q si'zi'q tu'rindagi  
vakansiyalardi'n' disk ta'rızlı ji'ynag'i'  
(toparlası'wi').

Kristallardı' salqı'nlatqanda vakansiyalardi'n' disk ta'rızlı ji'ynaqları' payda bolg'anda da tuyı'qlang'an dislokaciyalardı payda boladı'. Bul jag'day 41-su'wrette keltirilgen.



**Dislokaciylar ha'm kristallardi'n' o'siwi.** Vintlik dislokaciyalari' kristallardi'n' (balqi'g'an suyi'q fazadan, eritpeden ha'm puwlardan) o'siwin jen'illestiredi. Sebebi vintlik dislokaciyg'a baylani'sli' kristaldi'n' betinde payda bolg'an tekshe 42-su'wrette A arqali' ko'rsetilgen kristaldi'n' betine atomlardi'n' kelip oti'ri'wi'n jen'illestiredi. Tekshenin' asti'nda ko'p sanli' baylani'slar bar. Sonli'qtan atomlardi'n' tekshenin' asti'na kelip kristalg'a birigiwi tegis betke kelip kristal menen birigiwine qarag'anda a'dewir uti'mli'.



42-su'wret.

Vintlik dislokaciyanı'n' kristaldi'n' o'siwin jen'illestiriwi (a) ha'm A tekshesinin' asti'ndag'i' oblastqa atomlar kelip kristalg'a qosi'lg'anda dislokaciyanı'n' formasi'ni'n' o'zgeriwinin' izbe-izligi (b).

Jetkilikli da'rejede jetilisken kristallardi'n' betinde sonday teksheler jiyi baqlanadi'.

### 8.3. Betlik ha'm ko'lemlilik defektler

Betlik ha'm ko'lemlilik defektler ko'p sanli' atomlardan turatug'i'n sali'sti'rmali' iri defektler boli'p tabi'ladi'. Betlik defektler jag'dayi'nda atomlardi'n' da'wirli jaylasi'wlari' ku'shli buzi'lg'an oblastlar (yag'ni'y betlik defektler) qali'n'li'g'i' 1-2 atomli'q tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ten' kristaldi'n' betine tu'sirilgen normalg'a perpendikulyar bag'i'tlang'an bazi' bir bet formasi'na iye boladi'. Ko'lemlilik defektler jag'dayi'nda atomlardi'n' jaylasi'wi'ndag'i' da'wirlilik buzi'lg'an oblastlar bazi' bir denenin' (mi'sali' ellipsoidti'n') formasi'na iye boladi'. Oni'n' barli'q o'lshemleri atomlar arasi'ndag'i' qashi'qtan bir neshe ese u'lken.

**Betlik defektler.** Kristaldi'n' betinin' o'zi betlik defektke mi'sal bola aladi'. Kristaldi'n' betinin' qasi'nda atomlardi'n' da'wirli jaylasi'wi' belgili bir da'rejede buzi'latug'i'nli'g'i' belgili. Usi'ni'n' saldari'nan betlik qatlam kernewlik halda turadi', na'tiyjede bet bazi' bir energiyag'a iye boladi' (suyi'qli'qtin' betinin' bet kerimi energiyasi'na iye bolatug'i'nli'g'i'nday). Qa'legen sistema si'yaqli' kristaldi'n' da energiyani'n' minimumi'na qaray umti'li'wi' kristaldi'n' betinin' minimallasi'wi'na ali'p keledi. Tap sol sebeplerge baylani'sli' ko'pshilik jag'daylarda kristallar do'n'es ko'p mu'yeshlikler formasi'na iye boladi'.

Biraq betlik defektler kristallardi'n' ishinde de boladi'. Kristallardi'n' ko'pshiliqi bir biri menen baylani'spag'an bir neshe kristalliziciyalani'w orayi'nda o'se baslaydi'. Sonli'qtan olar kristalli'q pa'njerelerinin' orientaciyalari' bir birine jaqi'n da'neshelerden turadi'. Bul da'neshelerdin' arasi'ndag'i' shegarada atomlardi'n' jaylasi'wlari'ndag'i' da'wirlilik so'zsiz buzi'ladi' (35-su'wret). Bunday shegaralardi' kishi mu'yeshli shegaralar dep ataydi'.

Shegaralardi'n' basqa da tipi bar. Bul polikristalli'q materiallardag'i' da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralar boli'p tabi'ladi'. Bul jag'dayda qon'si'las da'neshelerdin' kristalli'q pa'njereleri arasi'ndag'i' razorientirovka i'qtigarli' ma'nislerdi qabi'l etedi.

Mayi'sqan kristalli'q pa'njererege iye da'nesheler arasi'ndag'i' shegarada mexanikali'q kernewler toplang'an boladi'. Sonli'qtan qosi'msha mexanikali'q kernewler tu'sirilgende sol oblastlarda kristallardi'n' bo'liniwi, si'ni'wi' yamasa qi'yrawi' baqlanadi'.

Da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralar boyi'nsha atomlardi'n' diffuziyasi' tezirek o'tedi (bunday diffuziyani' da'nesheler arali'q diffuziya dep ataydi'). Mi'sal retinde kristaldi'n' atomlari' menen unamlı' aqibetlerge ali'p kelmeytug'i'n reakciyag'a kirisetug'i'n gaz atomlari'ni'n' diffuziyasi'n ko'rsetiwge boladi'. Usi'ni'n' saldari'nan kristallardan sog'i'lg'an

buyi'mlardi'n' korroziyag'a shi'damli'g'i' to'menleydi. Reakciyalardi'n' o'nimleri (mi'sali' oksidler, nitridler ha'm tag'i' basqalar) da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralarda kristalli'q pa'njereni ja'ne de mayi'sti'radi'. Sonli'qtan da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralar boylap kristaldi'n' si'ni'w itimalli'g'i' ha'm oni'n' mortli'g'i' joqari'laydi'.

Joqari'da ko'rip o'tilgen betlik defektlerdin' kristallardi'n' mexanikali'q ha'm korroziyali'q qa'siyetine unamsi'z ta'sirlerin kemeytiwdin' ko'p sanli' usi'llari' bar.

Birinshi usi'l en' ko'p tarqalg'an usi'llardi'n' qatari'na kiredi. Bul kristallardi' balqi'w temperaturasi'nan shama menen 2 ese to'men temperaturada uslap turi'w. Bunday jag'dayda atomlardi'n' migraciysi' ori'n aladi' ha'm da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralardag'i' kernewlerdin' ma'nisi kemeyedi. Usi'ni'n' aqi'betinde shegara boylap diffuziyani'n' o'tiwi ki'yi'nlasadi' ha'm kristaldi'n' korroziyali'q bekkemligi artadi'.

Ekinshi usi'l siyrek paydalani'ladi' ha'm qi'mbat turadi'. Bul jag'dayda qon'si'las da'nesheler arasi'ndag'i' razorientaciya mu'yeshleri kishi bolg'an monokristallar paydalani'ladi'. Mi'sali' bunday monokristallardi' gaz turbinalari'ni'n' pa'rigin sog'i'w ushi'n paydalanimadi'. Bunday pa'rik joqari' temperaturalarda polikristallardan sog'i'lg'an pa'riklerge sali'sti'rg'anda shi'damli'g'i' a'dewir joqari' boladi'.

Da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralar ha'm basqa da defektler kristalli'q denelerdin' ji'lli'li'q o'tkizgishligine ha'm elektr qarsi'li'g'i'na ta'sir etedi. Sebebi bunday defektlerde ji'lli'li'q energiyasi'n tasi'wshi' fononlardi'n', energiya menen zaryad tasi'wshi' elektronlardi'n' qosi'msha shashi'rawi' ori'n aladi'. Betlik defektler a'sirese to'mengi temperaturalarda ji'lli'li'q o'tkizgishlik penen elektr o'tkizgishlikke u'lken ta'sir ko'rsetedi. Bunday temperaturalarda fotonlar menen elektronlardi'n' erkin ju'riw joli'ni'n' uzi'nli'g'i' kristalli'q da'neshelerdin' o'lshemleri menen barabar boladi'. Bul haqqi'nda to'mende toli'g'i'raq ga'p etiledi.

**Ko'lemlik defektler.** Ko'lemlik defektlerge kishi (mikro) ko'lemdi iyeleytug'i'n basqa kristalli'q fazalar, gewekler ha'm jari'qlar (san'laqlar) kiredi. Gewekler menen jari'qlardi'n' boli'wi' materiallarga ku'shli tu'rde unamsi'z ta'sirin tiyizedi. Sebebi olar kristaldi'n' barli'q fizikali'q qa'siyetlerin o'zgertedi (mayi'sti'radi'), buyi'mlardi'n' bekkemligi menen plastikligin a'dewir to'menletedi.

Kishi (mikro) ko'lemdi iyeleytug'i'n basqa kristalli'q fazalar materiallardı'n' bekkemligin joqari'lati'w ushi'n ken' tu'rde qollani'ladi'.

## 9. Metall quymalar

### Uli'wmali'q mag'li'wmatlар.

*Quymalar* – metallardi'n', metall emeslerdin', oksidlerdin', organikali'q zatlardi'n', basqa da zatlardi'n' atomlari'ni'n' eki yamasa onnan da ko'p sortali'ran ali'ng'an makroskopiyali'q bir tekli sistemalar boli'p tabi'ladi'. Quymani' payda etetug'i'n ximiyali'q elementler qurawshi'lar dep ataladi'. Uli'wma jag'dayda quymalar qurawshi'lardi'n' mexanikali'q aralaspasi' boli'p tabi'lmaydi'.

Quymalardi'n' klassifikasiyasi'n to'mendegidey belgileri boyi'nsha ayi'radi':

- ximiyali'q qurami' boyi'nsha;
- qurawshi'lari'ni'n' sani' boyi'nsha qos, u'shlik ha'm baskalar;
- fazalari'ni'n' sani' boyi'nsha - bir fazali' ha'm ko'p fazali';
- ali'ni'w usi'li' boyi'nsha - eritpeden kristalliziciya arqali', metallokeramikali'q usi'l menen, puwdan kondensaciya joli' menen, eritpeden elektrlik oti'rg'i'zi'w menen, diffuziyali'q toyi'ni'w menen ha'm basqalar.

Konstrukciyali'q materiallardı'n' tiykarg'i' tu'ri si'pati'nda texnikada ju'da' a'hmiyetli ori'ndi' metall quymalar iyeleydi.

*Metall quymalar* – metallardi'n' (ayi'ri'm jag'daylarda metall emeslerdin') atomlari'ni'n' eki yamasa onnan da ko'p sorti'nan turatug'i'n makroskopiyali'q jaqtan bir tekli sistemalar.

Bunday quymalarda metaldi'n' atomlari'ni'n' mug'dari' arti'q boladi' ha'm sonli'qtan quymalar metalli'q qa'siyetlerge iye boladi'. A'dette metall quymalar ximiyali'q qurami' boyi'nsha quymani'n' bas kurawshi'si'n ko'rsetiw arkali' klassifikaciyalanadi' (mi'sali', mi's - mi's quymalar, alyuminiy - alyuminiy quymalar ha'm basqalar). Quymani'n' bas kurawshi'si' boyi'nsha ani'qlang'an klasslardi'n' ishinde gruppalarg'a ha'm podgruppalarg'a bo'listiriw berilgen quymani'n' yamasa bir neshe quymani'n' paydalani'li'w oblasti' yamasa qa'siyetlerinin' xarakterli o'zgeshelikleri boyi'nsha ju'rgiziledi.

Metall quymalardi'n' qa'siyetlerin legirlew yamasa quymalardi' mexanikali'q, ji'lli'li'qt'i'n' ta'sirinde, termomexanikali'q, radiaciyal'i'q qayta islewlerdin' na'tiyjesinde o'zgertiw mu'mkin.

Legirlew – metall quymalardi'n' qurami'na usi' quymalarg'a belgili fizikali'q, ximiyali'q yamasa mexanikali'q qa'siyetlerdi beriw ushi'n legirlewshi elementler dep atalatug'i'n elementlerdi kirgiziw (mi'sali' polatqa Cr, Ni, Mo, W, V elementlerin qos'i'w).

## 10. Quymalardi' payda etetug'i'n fazalardi'n' xarakteristikasi'

Quymani'n' qurami'na kiretug'i'n kurawshi'lardi'n' to'mendegidey fazalardi' payda ete ali'wi' mu'mkin:

- suyi'q eritpeler,
- qatt'i' eritpeler,
- ximiyali'q birikpeler.

Metalli'q suyi'q eritpeler (balqi'g'an hal) metallar menen olardi'n' quymalari'ni'n' suyi'q, gomogenlik emes hali' boli'p tabi'ladi'. Olar xarakteristikalarini'n' basi'm ko'pshiligi boyi'nsha (mi'sali' elektr o'tkizgishligi menen ji'lli'li'q o'tkizgishligi boyi'nsha) qatt'i' halg'a jaqi'n. Suyi'q eritpenin' sapali'q ayi'rmasi' kristalli'q quri'li'stag'i' uzaqtan ta'rtiptin' joqli'g'i'nan ko'riniw turadi'.

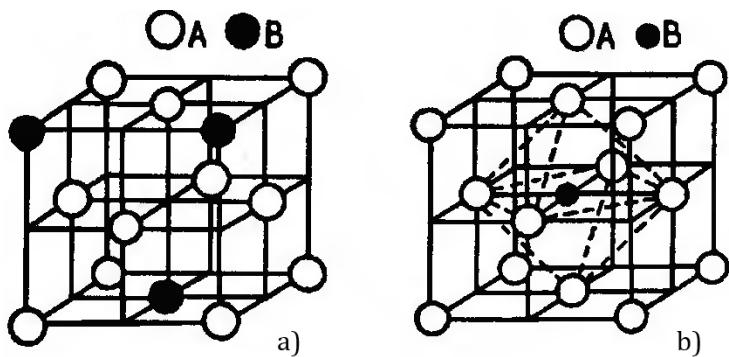
Metallardi'n' ko'pshiligi bir birinde sheksiz eriydi. Biraq ayi'ri'm metallar (mi'sali' suyi'q mi'stag'i' suyi'q qorg'asi'n) suyi'q xalda derlik toli'q erimeydi ha'm bir biri menen aralaspaytug'i'n ti'g'i'zli'qlari' menen ayri'latug'i'n eki suyi'q qatlampi' payda etedi.

Qatt'i' eritpeler – bir neshe kurawshi'lardan turatug'i'n bir tekli qatt'i' zatlar. Qurawshi'lardi'n' koncentraciyalarini'n' bir tekliklilikten' o'zgeriwisiz o'zgertiliwi mu'mkin. Qatt'i' eritpeler kristalli'q (metalli'q quymalar) ha'm amorfli'q (shiyshelerdin' ko'pshiligi) boladi'.

Metalli'q qatt'i' eritpeler dep qatt'i' halda bir fazali' quymalarg'a aytadi'. Bul quymalarda kurawshi'lar arasi'ndag'i' qatnasti'n' o'zgermeli boli'wi' mumkin, kurawshi'lardi'n' biri (eritkish) o'zinin' kristalli'q strukturasi'n saqlaydi', al ekinshi kurawshi'ni'n' atomlari' usi' kurawshi'ni'n' pa'njeresinde jaylasadi' ha'm pa'njererin' o'lshemlerin o'zgertedi (pa'njererin' da'wirin o'zgertedi).

Metalli'q qatt'i' eritpelertiykargi' metaldi'n' pa'njeresine baska metaldi'n' yamasa metall emestin' kiriwinin' saldari'nan payda boladi'. Almasti'ri'w qatt'i' eritpelerin ha'm endiriw qatt'i' eritpelerin bir birinen ayi'ri'p ko'rsetedi (su'wrette ko'rsetilgen). Almasti'ri'w qatt'i' eritpelerinin' ha'm endiriw qatt'i' eritpelerinin' payda boli'w itimalli'g'i' tiykarg'i' metaldi'n' atomlari'ni'n' ha'm qos'i'mta atomlardi'n' o'lshemleri menen ani'qlanadi'. Mi'sali' endiriw eritpelerin ko'p jag'daylarda uglerod, vodorod, azot, bor ha'm basqa da jen'il elemnetler payda etedi. Olardi'n' koncentraciyalarini'n' shaması' 1 – 2 procentke jetiwi mu'mkin.

Almasti'ri'w qatt'i' eritpelerin payda etiw ushi'n tiykarg'i' metal menen qos'i'mtani'n' atomlari'ni'n' radiuslari' 15 procentten ko'p shamag'a ayralmawi' kerek (Fe ha'm Cr, Cu ha'm Ni, Ti ha'm V atomlari' bir birin jaqsi' almasti'radi').



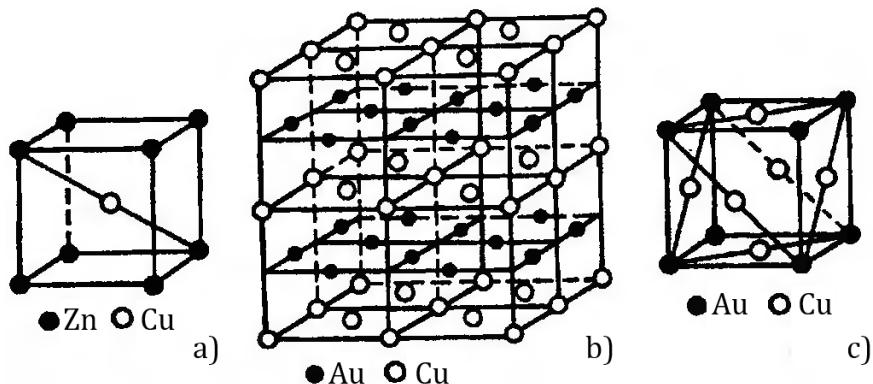
43-su'wret.  
Almasti'ri'w (a) ha'm endiriw (b)  
qatt'i eritpelerinin' kristalli'q  
pa'njereleri.

Tiykarg'i' metall menen eritilgen qurawshi'ni'n' atomlari'ni'n' elektronli'q quri'li'slari' ha'm o'lshemleri ha'r qi'yli' bolg'anli'qtan qatt'i metal eritpesi payda bolg'anda kristalli'q pa'njere barli'q waqi'tta mayi'sadi' ha'm pa'njenenin' da'wiri o'zgeredi. Endiriw aralaspis'i'n payda bolg'anda pa'njere da'wiri ba'rha' u'lkeyedi, al almasti'ri'w qatt'i eritpesi payda bolg'anda eritkish penen erigen zatti'n' atomlari'ni'n' radiuslari'ni'n' katnaslari'na saykes pa'njenenin' da'wirinin' u'lkeyiwi de, kishireyiwi de mu'mkin.

Metallardi'n' ko'pshiligi qatt'i halda bir birinde eriydi. Mi'sali', kristalli'q pa'njenenin' tipi o'zgermey alyuminiyde 5,5 procent ke shekem mi'sti'n', al mi'sta bolsa 39 procentke shekem cinktin' eriwi mu'mkin. Eger kurawshi'lar bir birin qa'legen sanli' qatnasta almasti'ra alatug'i'n bolsa, onda olar birdey kristalli'q pa'njerege iye qatt'i eritpelerdin' u'ziksiz qatari'n payda ete aladi'.

Qatt'i eritpederden' payda boli'wi' barli'q waqi'tta elektr qarsi'li'g'i'ni'n' o'siwine ha'm oni'n' temperaturali'q koefficientinin' kemeyiwine ali'p keledi. Qatt'i eritpeler a'dette kemirek elastiklik qa'siyetke iye. Soni'n' menen birge qatt'i eritpeler taza metallarg'a sali'sti'rg'anda qatt'iraq ha'm bekkemirek (mi'sti'n' tiykari'nda payda etilgen qatt'i eritpeler bug'an kirmeydi). Endiriw qatt'i eritpelerinin' payda boli'wi'nda fizikal'i'q qa'siyetler u'lken o'zgerislerge ushi'raydi', sebebi bul jag'dayda kristalli'q pa'njenenin' mayi'si'yai' u'lkenirek boladi'.

Almasti'ri'w qatt'i eritpelerin payda etetug'i'n ayi'ri'm quymalarda (mi'sali', Cu-Au, Fe-Al, Fe-Si ha'm basqalar) erigen qurawshi'ni'n' atomlari'ni'n' eritkishtin' kristalli'q pa'njerelerin o'zgeriske ushi'ratpay ta'rtiplesiwi mu'mkin. Temperatura joqari'lag'anda ta'rtiplesiw da'rejesi izbe-iz to'menleydi ha'm bazi' bir temperaturadan joqari'lag'anda qatt'i eritpe toli'q ta'rtiplespegen qatt'i eritpege aylanadi'. Temperaturani'n' usi'nday ma'nisin Kurnakov noqati' dep ataydi'.



44-su'wret. Ta'rtiplesken qatt'i eritpelerden' kristalli'q pa'njereleri: a) CuZn, b) CuAu, c) Cu<sub>3</sub>Au.

Toli'q ta'rtiplesken qatt'i eritpeler (asa strukturalar) Kurnakov noqati'nan to'mengi temperaturalarda quymani'n' qurami'ndag'i' qurawshi'lardi'n' mug'darlari'ni'n' katnaslari' pu'tin sang'a ten' bolgan jag'dayda payda boladi' (qatnasti'n' 1:1, 1:2, 1:3 ha'm basqa da

shamalarg'a ten' boli'wi' kerek). Solay etip ta'rtiplesken qatt'i' eritpelerdi qatt'i' eritpeler ha'm ximiyali'q birikpeler arasi'ndag'i' arali'qli'q fazalar dep karawg'a boladi'

Asa strukturalardi'n' payda boli'wi' fizikali'q qa'siyetlerdin' (mexanikal'i'q, elektrlik, magnitlik, optikali'q ha'm basqalardi'n') o'zgeriwi menen ju'redi. A'bette bekkemlik, elektr o'tkizgishlik, elektr karsi'li'g'i' koefficienti artadi'. Al elastiklik to'menleydi.

**Table 4.1.** Some example of binary systems with complete solubility.

Binary systems with complete solubility			
Au-Ag	Co-Re	$\alpha$ -Fe-V	Ni-Pd
Ag-Pd	Co-Rh	$\gamma$ -Fe-Co	Ni-Pt
As-Sb	Co-Ru	$\alpha$ -Fe-Ni	Pd-Rh
Au-Cu	Cr- $\alpha$ -Fe	$\alpha$ -Fe-Pd	Pd-Pt
Au-Ni	Cr-Mo	$\gamma$ -Fe-Pt	Pt-Rh
Au-Pd	Cr-Ti	Hf-Zr	Se-Te
Au-Pt	Cr-W	Ir-Pt	Si-Ge
Bi-Sb	Cs-K	K-Rb	Ta- $\beta$ -Ti
Ca-Sr	Cs-Rb	Mn-Ni	Ta-W
Co-Ir	Cu-Mn	Mo-Ta	Ti-Mo
Co-Ni	Cu-Ni	Mo-W	Ti-Nb
Co-Os	Cu-Pd	Nb-Ta	Ti-V
Co-Pd	Cu-Pt	Nb-Mo	Ti-Zr
Co-Pt	Cu-Rh	Nb-W	

Metalltani'wda taza qurawshi'lardi' grek alfavitindegi u'lken ha'ripler menen belgilew qabi'l etilgen: A, V, S ha'm basqalar; qatt'i' eritpelerdi kishi grek ha'ripleri menen belgileydi:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ha'm tag'i' basqalar. Al ta'rtiplesken qatt'i' eritpelerdi shtrixlar qoyi'lg'an grek ha'ripderinin' ja'rdeinde belgileydi:  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$  ha'm basqalar. Qatt'i' eritpeler arnawli' tu'rde tayarlanatug'i'n sanaatlili'q konstrukciyalı'q materiallardı'n' tiykari'n quraydi'.

"Ximiyali'q birikpe" ximiyali'q individuallı'q zatti' ani'qlaydi'. Bunday zatta bir (mi'sali' N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) yamasa ha'm qi'yli' (mi'sali' CuZn, Mo<sub>2</sub>C, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ha'm basqalar) elementlerdin' atomlari' qanday da bir ximiyali'q baylani's tu'ri menen birikken. tu'sinigi. Ha'zirgi waqi'tlari' 3 millionnan aslam ximiyali'q birikpeler belgili.

Metall quymalarda ximiyali'q birikpe tu'sinigi quymani'n' ha'r qi'yli' qurawshi'lari'nan payda bolg'an tek ximiyali'q birikpelerdi o'z ishine aladi'.

*Metall quymalardi'g'i' ximiyali'q birikpe* - singulyarli'q noqatqa iye quymani'n' kurawshi'lari'nan turatug'i'n arali'qli'q faza.

*Singulyarli'q noqat* - qa'siyettin' quram boyi'nsha tuwi'ndi'si' u'ziliske tu'setug'i'n "quram – qa'siyet" iymekligindegi maksimum.

Metall quymalardag'i' ximiyali'q birikpeler o'zlerine ta'n bir qatar o'zgesheliklerge iye boladi':

- birikpede qurawshi'lar arasi'ndag'i'  $A_pV_t$  formulasi' menen ani'qlanatug'i'n qatnas barli'q waqi'tta da saqlanadi', bul formuladag'i'  $p$  menen  $t$  ler a'piwayi' pu'tin sanlar;
- ximiyali'q birikpenin' kristalli'q pa'njeresi menen usi' birikpeni payda etiwshi qurawshi'lardi'n' kristalli'q pa'njereleri menen birdey emes;
- ximiyali'q birikpenin' qa'siyetleri menen usi' birikpeni payda etiwshi qurawshi'lardi'n' qa'siyetleri birdey emes;
- balqi'w temperaturasi' (dissociaciya temperaturasi') turaqlı';
- ximiyali'q birikpenin' payda boli'wi' barli'q waqi'tta da ji'lli'li'q effekti menen ju'redi (ji'lli'li'q shi'g'ari'ladi' yamasa juti'ladi').

Elektronli'q quri'li'si' ha'm qa'siyetleri boyi'nsha ximiyali'q birikpelerdi mi'naday klasslarg'a bo'ledi: *elektronli'q birikpeler, intermetallidler, endiriw fazaları'* ha'm basqalar.

*Elektronli'q birikpeler* (elektronli'q fazalar) bir valentli metallar (Cu, Ag, Li, Na ha'm basqalar), ko'shpeli metallar (Fe, Mn, So ha'm basqalar) ha'm valentligi 2 den 5 ke shekemgi

a'piwayi' metallar arasi'nda payda boladi' (Ve, Mg, Zn, Al ha'm basqalar) arasi'nda payda boladi'. Bul birikpeler o'zleri turg'an qurawshi'lari' menen koncentraciyani'n' ken' intervali'nda qatti' eritpelerdi payda ete aladi'.

Elektronli'q birikpeler valentlik elektronlari'ni'n' sani'ni'n' atomlar sani'na qatnasi' menen ayri'ladi'. Basqa so'z benen aytqanda elektronli'q birikpeler ayki'n elektronli'q koncentraciyag'a iye boladi', koncentraciyani'n' ha'r bir ma'nisine kristalli'q pa'njerenin' berligi bir tipi sa'ykes keledi. Mi'sali' elektronli'q koncentraciyasi' 3/2 (1,5) bolg'an barli'q ximiyali'q birikpeler ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a, quramali' kubli'q strukturag'a yamasa geksagonalli'q pa'njerege iye boladi' ha'm  $\beta$ -birikpe tu'rinde belgilenedi (SuBe, SuZn, Su<sub>3</sub>Al, Su<sub>5</sub>Sn, SoAl, FeAl ha'm basqalar). Elektronli'q koncentraciyasi' 21/13(1,75) bolg'an elektronli'q birikpeler quramali' pa'njerege iye ha'm  $\gamma$ -faza tu'rinde belgilenedi (Su<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub>, SuSd<sub>3</sub>, Au<sub>3</sub>Sn ha'm basqalar), koncentraciyasi' 7/4 (1.75) bolg'an ximiyali'q birikpeler ti'g'i'z jaylasti'ri'lg'an geksagonalli'q quri'li'sqa iye ha'm  $\epsilon$ -faza dep ataladi' (SuZn<sub>3</sub>, Su<sub>3</sub>Si, Au<sub>3</sub>Sn ha'm basqalar). Elektronli'q birikpelerdin' qa'siyetleri tiykari'nan qurawshi'lardi'n' atomlari'ni'n' ta'rtipleskenligi menen baylani'sli'.

*Intermetallidler* (intermetalli'q birikpeler) - metalli'q baylani'sqa iye metallardi'n' metallar ha'm metall emesler menen payda etetug'i'n ximiyali'q birikpeleri. Ko'shiwshi metallar (Fe, Mn, Sr, Mo ha'm basqalar) uglerod, azot, bor ha'm vodorod, kishi radiusqa iye elementler menen intermetalli'q birikpelerdi payda etedi.

*Endiriw fazalari' (fazi' vnedreniya)* mi'naday ximiyali'q formulalarg'a iye: M<sub>4</sub>X (Fe<sub>4</sub>N, Mn<sub>4</sub>N ha'm basqalar), M<sub>2</sub>X (W<sub>2</sub>S, Mo<sub>2</sub>S, Fe<sub>2</sub>N ha'm basqalar), MX (WS, VS, TiS, VN ha'm basqalar) ha'm MX<sub>4</sub> (ZrN<sub>4</sub>). Bul karbidler, nitridler, bordler ha'm gidridler tipindegi ximiyali'q birikpeler boli'p tabi'ladi'.

Endiriw fazalari' o'zgermeli quramdag'i' fazalar boli'p tabi'ladi'. Bunday fazalarda qurawshi'lardi'n' birewinin' atomlari' menen iyeleniwi mu'mkin bolg'an pa'njerenin' tu'yinlerinin' bir bo'limi bos, al stexiometriyali'q qatnasi' M<sub>n</sub>X<sub>m</sub> formulası' menen ani'qlanatug'i'n qurawshi'dan basqa kurawshi' arti'qmash boli'wi' mu'mkin. Endiriw fazalari' bazasi'nda *kemeytiw qatti' eritpeleri* an'sat payda boladi'. Bunday fazalardi' geypara jag'daylarda *pa'njeresi defekli* qatti' eritpeler dep te ataydi'. Kemeytiw eritpeleri VC, TiC, ZrC, NbC karbidlerde ha'm basqa da birikpelerde payda boladi'.

Endiriw fazalari'nda metalli'q baylani's ku'shlirek ori'n aladi'. Bunday baylani's jokari' elektr o'tkizgishlik, elektr qarsi'li'g'i'ni'n' on' ma'nisli koefficientin ani'qlaydi'. Bazi' bir endiriw fazalari' asa o'tkizgishlik qa'siyetlerge de iye. Bunday fazalardi'n' balqi'w temperaturasi' joqari', qatti'li'g'i' almazdi'n' qatti'li'g'i'na jaqi'n (mi'sali', karbidler ha'm nitridler). Bul jag'day endiriw fazalari'nda kovalentlik baylani'sti'n' a'dewir u'lesinin' bar ekenliginen derek beredi.

Endiriw fazalari'na kiretug'i'n karbidler menen nitridler korroziyag'a bekkem, i'ssi'g'i' bekkem konstrukciyali'q polatlardi'n' qa'siyetlerin ani'qlaydi'. Qi'yi'nshi'li'q penen balki'ytug'i'n metallardi'n' karbidleri kesiwshi instrumentlerdi ali'wda untalgan qatti' eritpelerdin' tiykari' boli'p xi'zmet etedi.

## 11. Quymalardi'n' strukturasi'

Birdey ximiyali'q quramg'a iye bolg'an metallar menen quymalar ali'ni'w usi'li'na (qi'zdi'ri'w joli' menen, mexanikali'q kayta islewdin' rejimlerine sa'ykes) baylani'sli' ha'r qi'yli' strukturag'a iye boli'wi' mu'mkin. Metallardi'n' makro-, mikro- ha'm substrukturalari'n bir birinen ayi'ra ali'w kerek. Metallar menen quymalardi'n' strukturasi'n qadag'alaw usi'llari' ma'mlekет ta'repinen standartlasti'ri'lg'an boladi'.

*Makrostruktura* - qurallanbag'an ko'z benen yamasa 30-40 esege shekem u'lkeytkende (mi'sali' lupani'n' ja'rdeminde) ko'rinetug'i'n materialdi'n' strukturasi'. Makrostruktura defektleri (ximiyali'q ha'm strukturali'q bir tekliktin' bolmawi') materialdi'n' qurami',

materialdi'n' ali'ni'w usi'li' ha'm materialg'a bunnan keyingi tiygen ta'sirlerge baylani'sli'. Mi'sali' qattı' deneler ushi'n en' jiyi tarqalg'an defektler qatari'na quwi'sli'qlar (mayda tesikler), ha'r qi'yli' jari'qlar kiredi.

*Quwi'sli'qlar* - materialdag'i' hawa yamasa suyi'q fazas menen tolg'an mayda quti'lar. Kuyai'sli'qlar ashi'q, jabi'q, mayda, iri ha'm basqa da tu'rde boli'wi' mu'mkin. Ashi'q quwi'sli'qlar qorshag'an ortali'q penen baylani'sqan ha'm olar bir biri menen baylani'sqan boli'wi' mu'mkin.

*Quwi'sli'li'q (porostost)* - materialdag'i' kuwi'sli'qlardi'n' sali'sti'rmali' ko'lemi. Quwi'sli'li'qtan materialdi'n' ortasha ti'g'i'zli'g'i', suwdi' sin'ire ali'wshi'li'g'i', materialdi'n' bekkemligi, ji'lli'li'q o'tkizgishligi, suwi'qqa shi'damli'g'i' ha'm basqa da qa'siyetleri baylani'sli'.

*Bosli'qlar* - jumsarti'lğ'an yamasa dispersli materialdi'n' bo'leksheleri arasi'ndag'i' hawa menen tolg'an ken'islik.

*Makroskopiyali'q analiz (makroanaliz)* - makrostrukturani' u'yreniw joli' menen materialdi'n' makrostrukturası'ni'n' strukturali'q, ximiyali'q o'zgesheliklerin ha'm defektlerin ani'qlaw.

Materialdi'n' makrostrukturası'n baqlaw ushi'n oni'n' beti shlifovkalanadi' ha'm kislotalarda ku'ydiriledi. Bunnan keyin bet etalon menen sali'sti'ri'ladi'.

Makroanaliz ko'pshilik jag'daylarda mikroskopiyali'q analizdi o'tkeriw ushi'n aldi'n ala o'tkerilgen izertlewlerdin' qatari'na kiredi

*Mikrostruktura* - optikali'q yamasa elektronli'q mikrokopti'n' ja'rdeinde baqlanatug'i'n materialdi'n' strukturası'. Mikrostrukturani'n' bir fazali' yamasa ko'p fazali' boli'wi' mumkin.

Mikrostrukturani'n' tiykarg'i' xarakteristikaları' ishinde en' a'hmiyetileri mi'nalardan ibarat:

- bir fazali' materiallar ushi'n - kristallitlerdin' (tu'yirtpeklərə) o'lshemleri, formaları' ha'm orientaciyaları' (bag'i'tləri');
- ko'p fazali' materiallar ushi'n - ha'r bir fazanı'n' tu'yirtpeklərinin' joqarı'da atap o'tilgen xarakteristikaları', ha'r bir fazanı'n' sali'sti'rmali' mug'darı' ha'm olardi'n' o'z-ara jaylası'wləri'.

*Optikali'q mikroskopiya* materialdi'n' su'wretin 2000 esege shekem u'lkeyte aladi' ha'm soni'n' saldarı'nan o'lshemleri 1-2 mkm bolg'an mikrostrukturani'n' elementlerin baqlaw mu'mkin.

*Substruktura (juqa struktura)* - ju'da' u'lken u'lkeytiwlerde baqlanatug'i'n kristalli'q zatlardi'n' tu'yirtpeklərinin' ishindegi struktura. Real metaldi'n' ha'r bir tu'yiri (tu'yirtpegi) sub tu'yirtpeklərden (mikrodefektlerden) turadi'. Olardi'n' tiykarg'i' xarakteristikaları' - ortasha o'lshemleri ha'm bir birine sali'sti'rg'andag'i' buri'li'w mu'yeshleri. Sub tu'yirtpeklər bir birinen kishi ha'm orta mu'yeshli sub shegaralar menen bo'lingen.

Metaldi'n' sub tu'yirtpeginin' kelip shi'g'i'wi'na baylani'sli' olardi' fragmentler, bloklar, poligonlar ha'm kogerentli shashi'rati'w oblastari' dep qaraydi'.

Haqi'yqi'y metallarda sub tu'yirtpklerdin' joqarı'da keltirilgen variantları'n tabi'w mu'mkin. Olardi'n' o'zgeshelikleri to'mendegi kestede berilgen.

Keste

Haqi'yqi'y metaldi'n' strukturası'ni'n' elementlerinin' o'lshemleri menen orientaciyalı'q klassifikasiyası'

Substrukturani'n' elementinin' ataması'	Substrukturani'n' elementinin' xarakteristikası'	
	Ortasha o'lshem, sm	bir birine sali'sti'rg'andag'i' buri'li'w muyeshi
Tu'yirtpek (zerno)	$10^{-1} \div 10^{-2}$	$1 \div 180^0$
Subtu'yirtpek (subzerno)	$10^{-2} \div 10^{-4}$	$1 \div 5^0$

Fragment, blok, poligon	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$20 \div 60'$
Kogerent shashi'rati'w oblasti'	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10 \div 60''$

Kristalli'q obъektlerdin' makro ha'm mikro strukturalari'n izertlegende elektronli'q mikroskopiya ken'nen qollani'ladi'. Bunlay izertlewlerde rastrli'q elektron mikroskoplari'ni'n tutqan orni' ulli'.

## 12. Quymalardag'i' fazali'q ha'm strukturali'q aylani'slar

Temperatura o'zgergende boli'p o'tetug'i'n fazali'q aylani'slardi'n' xarakterin mikrostrukturani' analizlewdin' ja'rdeminde baqlaw mumkin. Sebebi quymalardi'n' mikrostrukturasi' menen olardi'n' qa'siyetleri arasi'nda ani'q baylani's bar.

Kristalliziciya processinde suyi'q eritpeden ayi'ri'li'p shi'g'atug'i'n kristallitler temperaturag'a g'a'rezli o'zgermeli kuramg'a iye boladi'. Ximiyali'q quramni'n' bir tekliginin' buzi'li'wi' - *likvaciya* payda boladi'. Bunday jag'dayda ayi'ri'm tu'yirtpeklerdin' ishinde payda bolatug'i'n birdey emesliklerdi kristallitler ishindegi (yamasa dendritlik) likvaciya dep ataydi'.

Ju'da' kishi tezliklerde salqi'nlati'wda (mi'sali' qi'zdi'ri'w ushi'n paydalani'lg'an peshtin' o'zi menen birge salqi'nlati'w) quymalarda ten' salmaqli'q hal payda boladi'. Sebebi bul sharayatlarda suyi'q ha'm qatti' fazalardag'i' diffuziya processleri kristallizaciya processinin' izinen jetedi ha'm kristallitlerdin' kuramlari' ten'lesedi. Bunday jag'dayda fazalar bir waqi'tta jasaytug'i'n qa'legen i'qt'i'yarli' tu'rde saylap ali'ng'an temperaturada olardag'i' qurawshi'lardi'n' qurami' toli'q ani'q boladi', al quymani'n' ha'r bir fazasi' gomogenli boladi'.

**Table 9.1.** Allotropic modifications of selected elements<sup>#)</sup>.

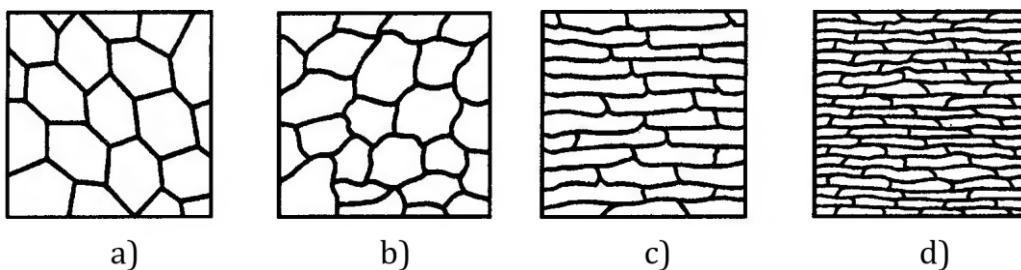
Element	a.n.	Phase	Structure	a/c [Å]	t-temp. [°C]
Calcium (Ca)	20	$\alpha$	fcc	5.58	$\alpha \xrightarrow{464} \beta$
		$\beta$	bcc	4.48	
Cobalt (Co)	27	$\alpha$	hcp	2.51/4.07	$\alpha \xrightarrow{450} \gamma$
		$\gamma$	fcc	3.54	
		$\delta$	bcc	2.93	
Iron (Fe)	26	$\alpha$	bcc	2.87	$\alpha \xrightarrow{909} \gamma$ $\gamma \xrightarrow{1388} \delta$
		$\gamma$	fcc	3.67	
		$\delta$	bcc	2.93	
Samarium (Sm)	62	$\alpha$	hcp	3.62/26.25	$\alpha \xrightarrow{917} \beta$
		$\beta$	bcc	4.07	
Tin (Sn)	50	$\alpha$ (grey)	cub	6.49	$\alpha \xrightarrow{13.2} \beta$
		$\beta$ (white)	tetr	5.83/3.18	
Strontium (Sr)	38	$\alpha$	fcc	6.09	$\alpha \xrightarrow{225} \beta$ $\beta \xrightarrow{570} \gamma$
		$\beta$	hcp	4.32/7.06	
		$\gamma$	bcc	4.85	
Titanium (Ti)	22	$\alpha$	hcp	2.95/4.68	$\alpha \xrightarrow{882} \beta$
		$\beta$	bcc	3.31	
Uranium (U)	92	$\alpha$	orthor		$\alpha \xrightarrow{662} \beta$ $\beta \xrightarrow{775} \gamma$
		$\beta$	tetr	10.76/5.66	
		$\gamma$	bcc	3.53	

#) a.n. - atomic number; t-temp. - transition temperature

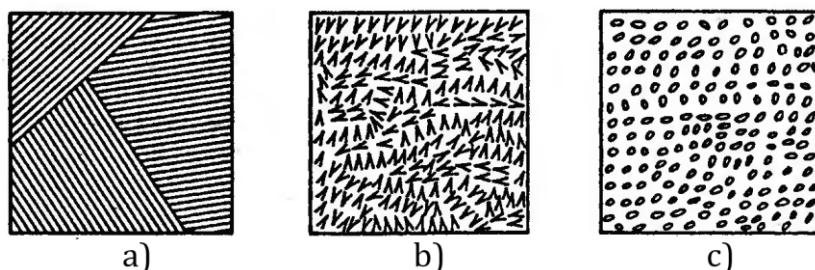
Qatti' halda ko'pshilik jag'daylarda metallar ha'm metalli'q quymalar polikristalli'q zat boli'p tabi'ladi'. Bul xat og'ada ko'p sanli', bir birine sali'sti'rg'anda ha'r qi'yli' boli'p

bag'i'tlang'an mayda ( $0.1\text{--}10^{-5}$  sm) kristallitlerden turadi'. Olardi'n' o'lshemleri menen formalari', bir birine sali'sti'rg'andag'i' jaylasi'wlari' salqi'nlati'w processinde kristallizaciya processinde qa'liplesedi. Ha'r bir kristallit a'dette duri's formag'a iye bolmaydi'. Bunlay polikristalli'q zatti'n' mikrostrukturasi' bir yamasa ko'p fazali' boli'wi' mu'mkin.

Bir fazali' mikrostruktura qurawshi'lardi'n' bir birinde toli'q eriytug'i'n, yamasa erigen qurawshi'ni'n' mug'dari' eriw sheginen u'lken bolmag'an jag'daylarda qa'liplesedi. Bunday quymalardi'n' mikrostrukturasi' qatt'i' eritpedin' tu'yirtpeklere boli'p tabi'ladi'. Tu'yirtpeklerdin' formalari' su'wrette keltirilgen.



45-su'wret. Bir fazali' metallar menen quymalardi'n' mikrostrukturalari'ni'n' sxemasi'. Tu'yirtpeklerdin' formasi': a - poliedrlik; b - ten'dey ko'sherli; v - sozi'lg'an tu'yirtpekli; g - plastinka ta'rızlı.



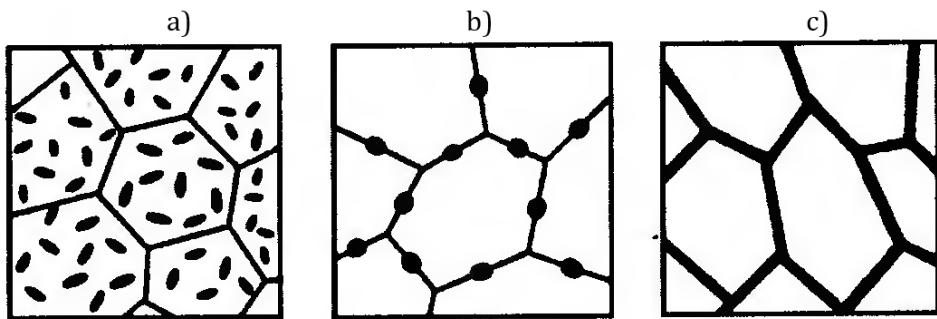
47-su'wret. Eki fazali' aralaspadag'i' arti'qmash fazani'n' ayri'li'p shi'g'i'w formasi': a - plastinka ta'rızlı; b - iyne ta'rızlı; v - sferali'q.

Tu'yirtpeklerdin' formalari' to'mendegidey boladi' (47-su'wretke qaran'i'z):

- *poliedrlik* - kristall sali'sti'rmali' tegis qaptallarg'a iye duri's ko'p kaptalli'q (poliedr) tu'rindle qa'liplesedi;
- *ten'dey ko'sherli* - barli'q bag'i'tlarda shama menen birdey si'zi'qli' o'lshemler;
- *sozi'lg'an* (yamasa *bag'ana* ta'rızlı) - si'zi'qli' o'lshemlerinin' biri basqalari'na sali'sti'rg'anda a'dewir u'lken;
- *plastinka ta'rızlı* - belgili bir bag'i'tlarg'a iye plastinkalar bar boladi'.

Qurawshi'lari'ni'n' bir birinde eriwi sheklengen quymalarda eki ha'm ko'p fazali' mikrostruktura xarakterli. Eger quymada eriytug'i'n qurawshi' tiykarg'i' metallda berilgen temperaturadag'i' eriw sheginen ko'birek mug'darda bar bolsa, onda matricadan (tiykarg'i' qatt'i' eritpeden) ha'm basqa eritpenin' ayri'li'p shi'qqan bo'lekshelerinen turatug'i'n struktura payda boladi'. Bunday strukturani' *matricali'q* (yamasa *geterogenlik*) struktura dep ataydi'.

Suyi'qli'qtan eki yamasa onnan da ko'p sanli' fazalardi'n' bir waqi'ttag'i' kristallizaciysi'ni'n' ori'n ali'wi' mu'mkin (-su'wrette ko'rsetilgen). Eger bul jag'dayda payda bolg'an fazalardi'n' suyi'q eritpenin' fronti' menen kontakti' bar bolsa, onda kristaldi'n' xarakterli plastinkali'q formag'a iye aralaspa qa'liplesedi. Eger fazalardi'n' biri tez o'setug'i'n, al ekinshisi tiykarg'i' suyi'q eritpeden izolyaciyalanatug'i'n bolsa, onda aralaspa matricali'q kristaldi'n turi'p, oni'n' ishinde basqa fazani'n' qosi'mtalari' boladi'. Bul fazani'n' kristallari' iyne ta'rızlı yamasa sferali'q formag'a iye boladi'.



47-su'wret. Ekinshi fazani'n' bo'linip shi'g'i'wi' ori'n alatug'i'n eki fazali' quymalardi'n' mikrostrukturasi'ni'n' sxemalari': a - tu'yirtpeki shihindegi bo'linip shi'g'i'w, b - tu'yirtpeklerdin' shegaralari' boylap bo'liniw; c - tu'yirtpeklerdin' shegaralari' boyli'p payda bolg'an tor.

Qatti' halda quymani'n' strukturasi'n' qa'liplestiretug'i'n aylani'slardi'n' tiykari'nan eki tu'ri ori'n aladi'. birinshiden qatti' eritpe suyi'q haldan kristallizaciya tipi boyi'nsha qaytadan kristallizaciya ushi'rawi' mu'mkin. Al kristalli'q pa'njere defektleri bar bolg'an jag'dayda matricali'q tu'yirtpeklerdin' shihinde qaytadan kristillizaciya ushi'raydi'. Ekinshiden strukturani'n' qa'liplesiwi temperatrura to'menlegende ertiwshiliktin' to'menlewinin' saldar'i'nan da ju'riwi mu'mkin. Mi'sali', eki fazali' quymalarda arti'qmash (ekinshi) faza qatti' eritpeden ayi'ri'li'p shi'g'a aladi': a'stelik penen salqi'nlatqanda (matricani'n') qatti' eritpenin' shegaralari' jetkilikli da'rejede iri ha'm birdey ko'sherli bo'leksheler tu'rinde bo'linip shi'g'adi' (joqari'dag'i' su'wrette keltirilgen)

Bo'linip shi'qsan fazalardi'n' formalari' ha'm qa'siyetleri barli'q quymani'n' qa'siyetlerine u'lken ta'sirin tiygizedi. Mi'saoi' arti'qmash faza qatti' ha'm mort bolsa, onda oni'n' tor tu'rindegi ayri'li'p shi'g'i'wi' barli'q quymani'n' elastikligin ja'ne jabi'sqaqli'g'i'n a'dewir to'menletedi; arti'qmash fanani'n' tuyirtpek formadag'i' bir tekli tarqali'wi' quymani'n' bekkemligin joqari'latadi', usi'ni'n' menen birge elastiklik qa'siyet sezilerliktey to'menlemeydi.

Mikrostrukturalardi' metallografiyalı'q ta'riyiplegende *strukturali'q qurawshi'* tu'sinigi ken'nen qollani'ladi'. Bul tu'siniki qollang'anda mi'na jag'day na'zerde tuti'ladi': (bir fazali' yamasa ko'p fazali') quymani'n' xarakterli strukturag'a iye bo'limi quymani'n' basqa bo'limlerinen ayi'ri'p turi'w beti menen ayri'li'p turg'an boli'wi' kerek. Demek o'z aldi'na strukturali'q qurawshi' (quymani'n' mikrostrukturasi'ni'n' elementi) si'pati'nda eki yamasa onnanda arti'q fazalardi'n' bir tuyirtpektin' shihindegi bir biri menen gezeklesip jaylasqan ha'm aralari'nda ayi'ri'p turg'an shegaralari' bar mexanikali'q aralaspani' ko'rsetiw mu'mkin (mi'sali', qatti' eritpelerdi, qatti' eritpeni ha'm ximiyali'q birikpeni). Mexanikali'q aralsapada qurawshi'lardi'n' ha'r biri o'ine ta'n qa'siyetlerin saqlaydi'.

Bunday mexanikali'q aralaspalar kristallizaciyaada kristallitlerdin' o'siwi menen payda boladi' ha'm olarg'a to'mendegidey atamalardi' beredi:

- evtektika yamasa peritektika - o'z aldi'na ju'rgen birinshi kristallizaciyaada payda bolg'anda;
- evtektoid yamasa peritektoid - ekinshi kristallizaciyaada payda bolg'anda.

Evtektika, evtektoid, peritektika ha'm peritektoid sa'ykes fazali'q aylani'slarda payda boladi'.

*Evtektikali'q aylani's* (quymalardag'i') dep berilgen sistema ushi'n en' to'mengi ja'ne turaqli' temperaturada bir waqi'tta eki fazani'n' kristallani'wi'na aytadi'. Al evtektoidlyaq aylani's ekinshi kristallizaciyatag'i'tap sonday processke sa'ykes keledi.

Evtektika eki yamasa onnan da ko'p fazalardan payda bolg'an strukturali'q qurawshi'lardi'n' bir tekli gezeklesip jaylasqan plastinkalari'nan turadi'. geypara jag'daylarda evtektikadag'i' fazalar bir birinde u'zliksiz shaqalang'an boladi'. Evtektikada

qattı' eritpelerdin' yamasa ximiyali'q birikpelerdin' bo'leklenen kristallari' da boladi'.

Evtektika menen evtektoidti'n' strukturalari' bir birine uqsas. biraq evtektoidlar disperslirek strukturali'q qurawshi'lar boli'p tabi'ladi'. Sebebi olar ekinshi kristallani'i w processinde qattı' eritpenin' i'di'rawi'ni'n' saldari'nan payda boladi'. Bunday jag'dayda diffuziya processi a'stelik penen ju'redi.

Quymalardag'i' peritektlik aylani'slarda bir waqi'tta eki emes, al ayri'li'p shi'qyan qattı' fazadan yamasa belgili bir quramg'a iye quymani'n' suyi'q bo'liminen bir faza kristallanadi'. Peritektiki strukturasi'n' ani'qlaw qi'yı'n. Sebebi texnikali'q metallardi'n' quymalari'n' salqi'nlati'w sharayatlari'nda peritektikali'q aylani's a'dette aqi'ri'na shekem ju'rmeysi.

Joqari'da karap o'tilgen fazali'q o'tiwler (fazali'q yamasa strukturali'q aylani'slar) ju'da' a'stelik penen salqi'nlatqanda diffuziyani'n' saldari'nan ju'redi ha'm orti'qli' (stabilli) fazalardi'n' payda boli'wi' menen pitedi. Salqi'nlati'w processinin' tezligi u'lken bolg'anda diffuziyali'q processti toqtati'wg'a boladi'. Bunday jag'dayda quyma salqi'nlatqannan keyin tomengi temperaturada usi'nday temperaturalarda metastabilli boli'p tabi'latug'i'n fazadan turadi'.

Asa salqi'nlatqanda metastabilli joqari' temperaturali' fazani'n' payda boli'wi' ko'binese ji'lji'w joli' menen martensitli aylani's tu'rinde ju'redi. Bunday aylani'slarda atomlardi'n' atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlarg'a sali'sti'rg'anda a'dewir kishi arali'qlarqa kooperativlik awi'si'wi' ori'n aladi' ha'm da'slepki ja'ne keyingi fazalardi'n' kristalli'q pa'njereleri arasi'ndag'i' kogerentlik saqlanadi'. Payda bolg'an martensittin' kristallari' da'slepki jokari' temperaturali' fazani'n' kristalli'q pa'njeresine sali'sti'rg'anda belgili bir ni'zamlar boyi'nsha orientaciyalang'an plastinkalar formasi'na iye boladi'.

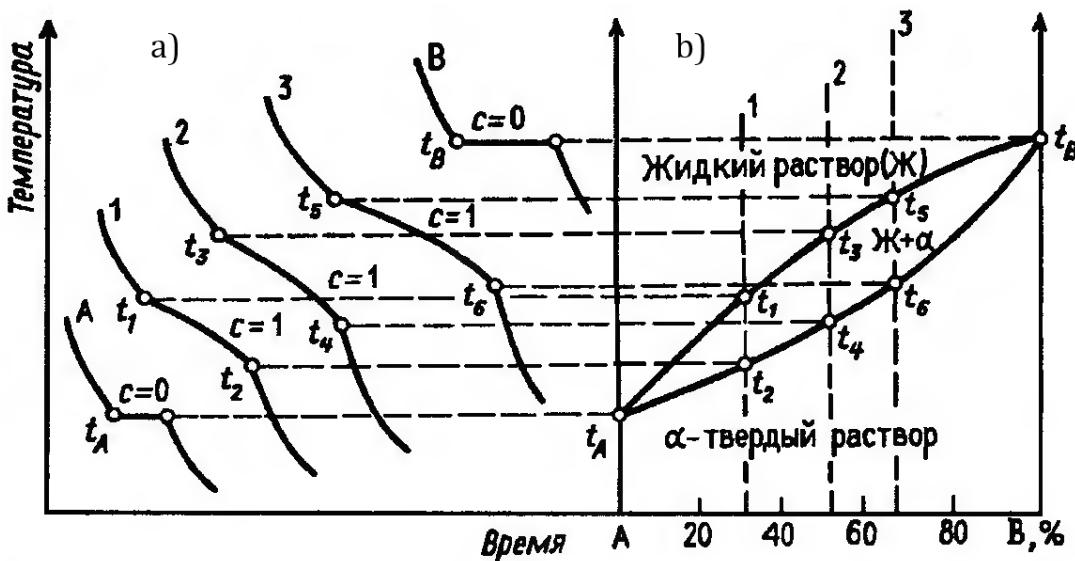
### **13. Quymalardi'n' hal diagrammaları'**

Ko'pshilik jag'daylarda quymalar metastabilli halda turadi'. Bunday halda olar sheklengen orni'qli'li'qqa iye boladi'. A'melde haqi'yqi'y ten' salmaqli'q ju'da' serek ornaydi'. Quymani'n' hali' si'rtqi' sharayatlardan (mi'sali' temperatura menen basi'mnan) g'a'rezli ha'm payda bolg'an fazalardi'n' sani' ha'm koncentraciyasi' menen xarakterlenedi. Ten' salmaqli'q halg'a jetkilikli da'rejede jaki'n sharayatlardagi' quymalardi'n' fazali'q qurami'n ta'riyiplew ushi'n hal diagrammasi'n paydalanadi'.

*Quymani'n' (fazali'q ten' salmaqli'g'i'ni'n') hal diagrammasi'* - termodinamikali'q ten' salmaqli'qli' sistemani'n' hal parametrleri (temperatura, basi'm, quram) arasi'ndag'i' qatnasmardi'n', yag'ni'y u'yrenilip ati'ri'lg'an sistemani'n' qa'legen quymasi'ni'n' fazali'q hali'ni'n' koncentraciyadan (massasi' boyi'nsha procentlerdegi, siyreklew atomli'q procentlerdegi) ha'm temperaturadan g'a'rezligi grafikali'q su'wretleniwi. A'dette ayi'ri'm parametrler turaqli' bolg'andag'i' hal diagrammasi'ni'n' koordinatali'q tegisliklerdin' birewindegi proekciyası'n paydalanadi'.

Hal diagrammasi' quymalardi'n' en' aqi'rg'i' yamasa sheklik hali'n xarakterleydi (yag'ni'y quymalardag'i' aylani'sli'r toli'q o'tip bolg'annan keyingi jag'daydi' xarakterleydi).

Hal diagrammalari'n eksperimentalli'q izertlewlerdin' na'tiyjeleri (ji'lli'li'q, mikroskopiyali'q, rentgenstrukturali'q, magnitlik ha'm basqa da) tiykari'nda du'zedi. En' tiykarg'i' ha'm en' a'piwayi' usi'l termoanaliz (ji'lli'li'q analizi) usi'li' boli'p tabi'ladi'. Ji'lli'li'q analizinde quymalardi'n' qati'wi'ni'n' basi' menen aqi'ri' (suyi'q xaldan qattı' halg'a o'tiw ori'n alatug'i'n jag'daylarda, qattı' haldag'i' quymalarda boli'p o'tetug'i'n fazali'q aylani'slardi'n' temperaturalari') ani'qlanadi'. Ali'ng'an na'tiyjelerdi "temperatura - quymani'n' qurami'" koordinatası'na qoyadi' (su'wrette keltirilgen).



48-su'wret. Qatti' ha'm suyi'q hallarda A ha'm B qurawshi'lari' bir birinde sheksiz eriytug'i'n qurawshi'lar ushi'n hal diagrammasi'n quri'w: a - salqi'nlati'w iymeklikleri; b - hal diagrammasi'.

Salqi'nlati'w iymekliginin' fazali'q analizin Gibbstin' fazalar qag'i'ydasi'n (fazalar ni'zami'n) paydalani'p isleydi: qanday da bir sistemada bir waqi'tta jasaytug'i'n fazalardi'n' sani' qurawshi'lardi'n' sani'na 2 ni qosqannan arti'q bolmaydi.

Bul qag'i'ya bar fazalardi'n' sani' F ti, quymani'n' qurawshi'lari'ni'n' sani' K ni' ha'm erkinlik da'rejelerinin' sani' S ni' bir ten'lemege biriktiredi:

$$S = K - F + 2. \quad (1)$$

*Sistemani'n' erkinlik da'rejesi (variantli'g'i')* dep o'zgeriske ushi'rag'anda ten' salmaqli'qta turg'an fazalardi'n' sani' o'zgermeytug'i'n g'a'rezsiz parametrlerge (temperatura, basi'm, koncentraciya) aytadi'. (1)-ten'lemedegi 2 sani' sistemni'n' fazali'q xali'ni'n' eki parametr – memperatura ha'm basi'm menen ani'qlanatug'i'nli'g'i'n bildiredi. Atmosferali'q basi'mg'a ten' turaqli' basi'mda karali'p ati'rg'an metalli'q sistemalar ushi'n fazalar ni'zami' bi'layi'nsha jazi'ladi':  $S = K - F + 1$ .

Gibbstin' fazalar qag'i'ydasi' fazalar sani' o'zgermey qalatug'i'n jag'daylarda sistemni'n' qanday parametrlerin (mi'sali', temperatura ha'm quram) o'zgertiwdin' mu'mkin ekenligin ani'qlawg'a mu'mkinshilik beredi.

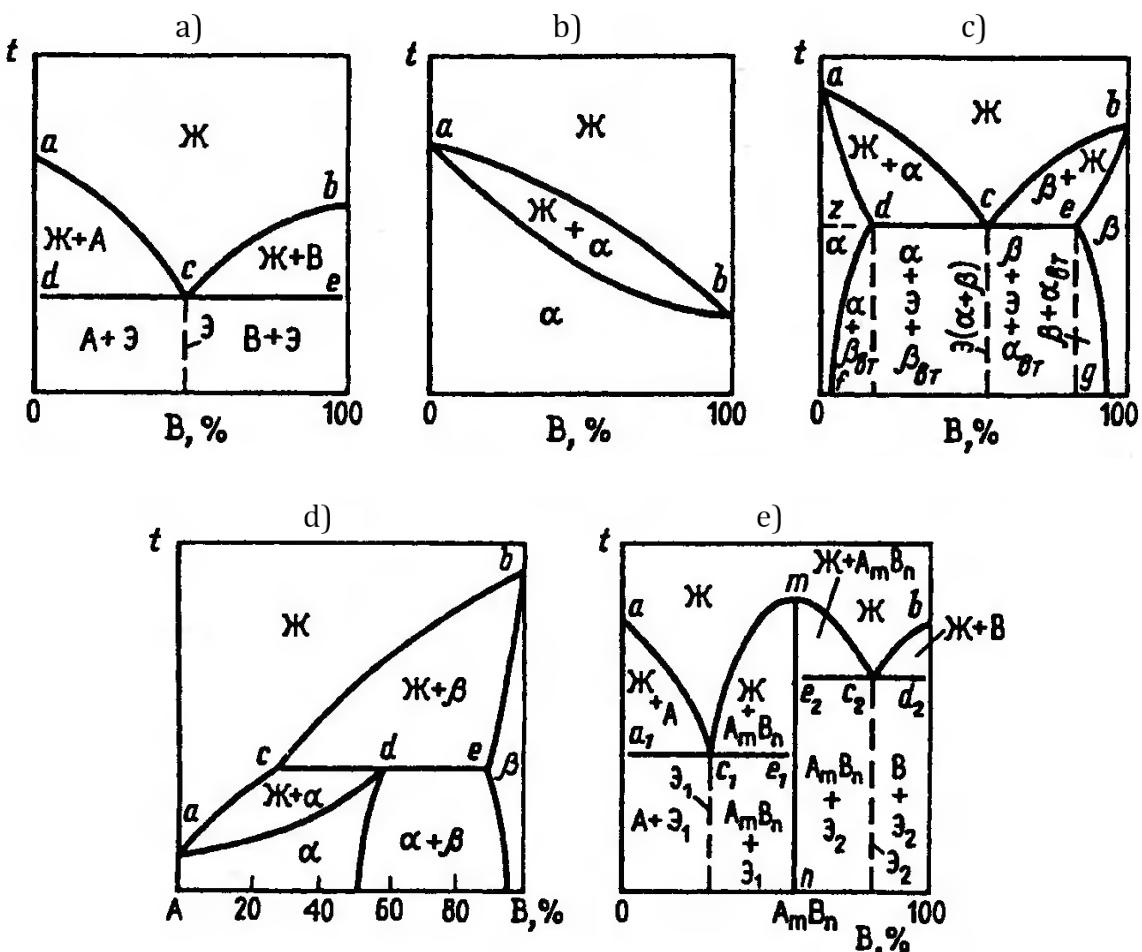
*Bir yamasa eki quramg'a iye sistemani'n' hal diagrammalari'* - sistemani'n' ayki'n xali' noqatlar yamasa si'zi'qlar si'yaqli' geometriyali'q oblazlar menen xarakterlenetug'i'n tegis su'wret.

*Ko'p qurawshi'larga iye sistemalardi'n' hal diagrammalari'* quramali' geometriyali'q obraz boli'p tabi'ladi'. Mi'sali' u'shlik sistemalardi'n' xal diagrammalari' u'sh qaptalg'a iye prizma si'yaqli' boladi'. Prizmani'n' ultani' ten' ta'repli u'sh mu'yeshlik boli'p, oni'n' qaptallari'ni'n' boyi'na qurawshi'lardi'n' koncentrasiyalari' qoyi'ladi'. U'shlik sistemalardag'i' fazali'q aylani'slardı' kenisliklik hal diagrammasi'nda emes, al sol ken'isliklik hal diagrammasi'ni'n' kesimlerinde baqlag'an qolayli'.

Eki qurawshi'g'a iye sistemalardi'n' hal diagrammalari'nda abscissa ko'sherinde noqatlardi'n' ja'rdeinde quymani'n' qurami', al eki ordinata ko'sherinde (olardi'n' ha'r qaysi'si' qurawshi'lardi'n' birewinin' 100 procentik mug'dari'n ani'qlaydi') olardi'n' temperaturasi' qoyi'ladi'. Diagrammadag'i' qa'legen noqat quymani'n' fazali'q ha'm ximiiali'q qurami'n, berilgen temperaturadag'i' oni'n' strukturasi'n ani'qlaydi'. Vertikal bag'i'ttag'i' si'zi'q belgili bir ani'q quramg'a sa'ykes keledi.

Sistemadag'i' birdey aylani'slardi'n' kritikali'q noqatlari'n tutasti'ratug'i'n si'zi'qlar ten' salmaqlı'q fazalardi'n' jasaytug'i'n oblastlari'n sheklep turadi' Mi'sali', *likvidus* si'zi'g'i' ha'm *solidus* si'zi'g'i' - qurawshi'lari'ni'n' mug'dari' ha'r qi'yli' bolg'an qos (ekilik) quymalardi'n' qati'wi'ni'n' sa'ykes basi' menen aqi'rg'i' noqatlari'ni'n' geometriyali'q orni'.

Ekilik sistemani'n' hal diagrammasi'ni'n' tu'ri oni'n' qurawshi'lari'ni'n' suyi'q ha'm qattı' hallardag'i' ta'sirlesowi (suyi'q ha'm qattı' eritpelerdin', ximiyali'q birikpelerdin' ha'm arali'qli'q fazalardi'n' payda boli'wi'), soni'n' menen birge qurawshi'lari'ndag'i' polimorfli'q aylani'slardi'n' bar yamasa joqli'g'i' menen baylani'sli'. Ko'plegen ekilik (binar) quymalardi'n' hallari'ni'n' diagrammalari' quramali' tu'rge iye. Sebebi quymada bir yamasa eki qurawshi'ni'n' polimorfli'q aylani'slari'ni'n' ori'n ali'wi' mu'mkin. Bunday aylani'slar sanaatta o'ndiriletug'i'n ko'plegen quymalarda, soni'n' ishinde temirdin', titanni'n' ha'm basqa da elementlerdin' quymalari'nda baqlanadi'. Biraq ko'pshilik jag'daylarda bul diagrammalar a'piwayi' tiptegi bir neshe diagrammalardi'n' qosi'ndi'si'nan turadi' dep esaplanadi'.



49-su'wret. Eki qurawshi'g'a iye sistemalardi'n' hal diagrammalari': a - evtektikani'n' payda boli'wi' menen; b - suyi'q ha'm qattı' eritpelerdin' u'zliksiz qatari'n payda etiwshi; c, d - sa'ykes evtektikali'q ha'm peritektikali'q aylanslarg'a iye ha'm qattı' halda qurawshi'lari' sheklengen eriwshilikke iye; e - qattı' halda fazali'q aylani'slarg'a iye emes ximiyali'q birikpelerdin' payda boli'wi' menen (*J* - suyi'q quyma; *E* - evtektika; *AmVn* - ximiyali'q birikpe; *A* ha'm *V* - sa'ykes *A* ha'm *V* qurawshi'lari'ni'n' kristallari'; *a* - *A* qurawshi'si'ndag'i' *B* qurawshi'si'ni'n' qattı' eritpesi; *b* - *B* qurawshi'si'ni'n' *A* qurawshi'si'ndag'i' qattı' eritpesi).

Birinshi tiptegi hal diagrammalari' qurawshi'lari' *A* menen *B* bir birinde suyi'q halda sheksiz eriytug'i'n ha'm qattı' halda erimeytug'i'n jag'day menen baylani'sli' (a-su'wret). acb

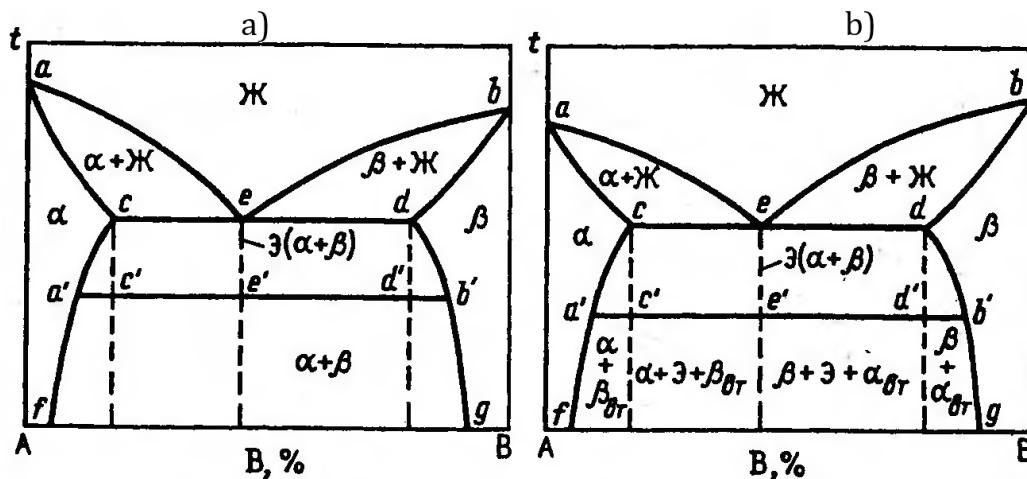
si'zi'g'i'nan joqari'da quyma suyi'q halda turadi'. Quymani' ac si'zi'g'i'nan to'mengi temperaturalarg'a shekem salqi'nlatqanda (likvidus si'zi'g'i') A qurawshi'si'ni'n' kristallizaciysi' baslanadi' ha'm acd oblasti'nda suyi'q quyma menen A qurawshi'si'ni'n' kristallari' jaylasadi'. To'mperaturani'n' to'menlewi menen A kristallari'ni'n' mug'dari' ko'beyedi ha'm usi'g'an sa'ykes A qurawshi'si'ni'n' mug'dari' suyi'q quymada azayadi'. dc si'zi'g'i'na sa'ykes temperaturada (solidus si'zi'g'i') qalg'an suyi'q quymadag'i' qurawshi'si'ni'n' mug'dari' s noqati'na sa'ykes keledi ha'm suyi'q quymani'n' qati'wi' ori'n aladi'. Usi'ni'n' na'tiyjesinde mayda A ha'm B kristallari'nan turatug'i'n ten' o'lshewli tarqalg'an mexanikali'q aralaspa payda boladi'. Bunday mexanikali'q aralaspani' evtektika dep ataymi'z. Suyi'q quymada s evtektika nokati'na sa'ykes keletug'i'n qurawshi'lardi'n' koncentraciyasi' bar bolatug'i'n bolsa, onda suyi'q aralaspani'n' birden evtektikag'a o'towi ju'zege keledi. cb si'zi'g'i'nan to'mendegi (likvidus si'zi'g'i') kristallizaciya B qurawshi'si'nan baslanadi', al bunnan keyin ce si'zi'g'i'ni'n' temperaturasi'na shekem salqi'nlatqanda da (solidus si'zi'g'i') evtektika baslanadi'. dce si'zi'g'i'nan to'mende (solidus si'zi'g'i') quymalar qatt'i halda boladi'.

Ekinshi tiptegi hal diagrammalari' bir birinde suyi'q halda da, qatt'i halda da sheksiz aralasatug'i'n (eriytug'i'n) quymalar ushi'n xarakterli (16-b su'wret). Usi'nda xal diagrammalari'na iye quymalardi'n' basli' o'zgesheligi evtektikani'n' bolmawi' menen baylani'sli'. Bunday sisteman'i'n' quymalari' ten' salmaqli' kristallizaciyan dan keyin qatt'i eritpenin' tu'yirtpelerinin' ji'ynag'i'nan turadi' ha'm oni'n' mikrostrukturasi' principinde taza metaldi'n' mikrostrukturasi'nan ayi'rmag'a iye bolmaydi' (12-su'wretke qaran'i'z).

U'shinski tiptegi hal diagrammalari' qurawshi'lari' suyi'q xalda bir birinde sheksiz eriytug'i'n, al qatt'i halda erigishligi sheklengen quymalarg'a tiyisli. Eriwshiliktin' usi'nday tipi matell quymalarda jiyi ushi'rasadi'. Sheklengen qatt'i eritpeler payda bolg'anda hal diagrammalari'ni'n' eki tipi payda boladi': evtektiklik ha'm peritektlik aylani'slarga iye bolg'an.

Evtektikali'q aylani'sqa iye u'shinski tiptegi hal diagrammasi'nda (16-s su'wret) ad si'zi'g'i'nan to'mende qatt'i eritpe (A dag'i' B), be si'zi'g'i'nan to'mende de qatt'i eritpe payda boladi' (B dag'i' A). B qurawshi'si'ni'n' A qurawshi'si'ndagi' maksimalli'q erigishligi zd kesindisine sa'ykes keledi. adeb si'zi'g'i' solidus si'zi'g'i' boli'p tabi'ladi'. s noqati'nda evtektika payda boladi'. Solidus si'zi'g'i'na sali'sti'rg'anda temperatura to'menlegende A qurawshi'si'edagi' B qurawshi'si'li'n' erigishligi df si'zi'g'i'na sa'ykes kemeyedi, sonli'qtan qatt'i eritpeden B qurawshi'si' bo'linip shi'g'adi'. Toli'q kristallizaciyan dan keyingi quymalardi'n' mu'mkin bolg'an mikrostrukturalari'ni'n' xarakteri 13-su'wretke sa'ykes keliwi mu'mkin.

Peritektlikag'a iye quymalardi'n' hal diagrammasi' 16-d su'wrette keltirilgen. Diagrammadag'i' acb si'zi'g'i' likvidus si'zi'g'i'na sa'ykes keledi, al adeb si'zi'g'i' bolsa solidus si'zi'g'i'. d noqati' B qurawshi'si'ni'n' A qurawshi'si'ndagi' maksimalli'q erigishligi xarakterleydi. Al e noqati' bolsa A qurawshi'si'ni'n' B noqati'ndagi' maksimalli'q erigishligi xarakterleydi. cde si'zi'g'i' peritektlik aylani's si'zi'g'i' dep ataladi'.



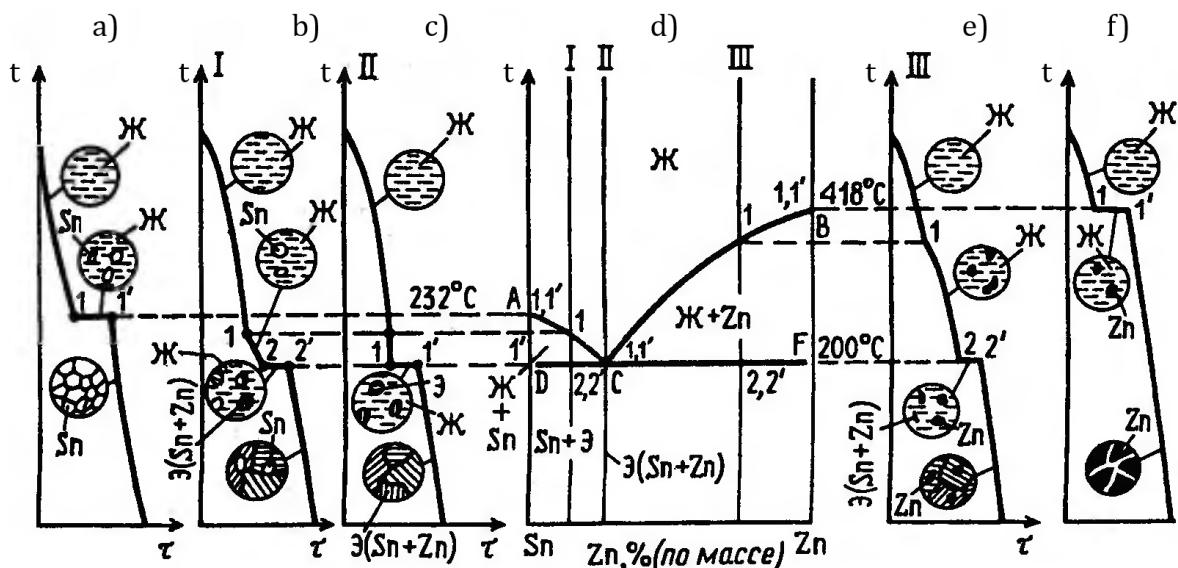
50-su'wret. Qatt'i halda qurawshi'lari' bir birinde sheklengen eriwshilikke iye quymalardi'n' hal diagrammasi': a) - fazali'q, b) – strukturali'q. dc'e'db' – konoda.

Eger A ha'm B qurawshi'lari'ni'n' belgili bir qatnaslari'nda ximiyali'q birikpe payda bolatug'i'n bolsa, onda eki sistemadan turatug'i'n sistemalardi'n' (bizler bunday sistemalardi' ekilik sistemalar dep atadi'q) hal diagrammalari' quramalasadi' (49-d su'wret). Ximiyali'q birikpenin' qurasi'na saykes keletug'i'n mn si'zi'g'i' boyi'nsha baylani'sqan eki diagramma ali'ng'anday boladi'. Shep ta'reptegi fragment A elementinen ha'm  $A_m B_n$  ximiyali'q birikpesinen turatug'i'n eki qurawshi'g'a iye quymani'n' hal diagrammasi', al on' ta'reptegi fragmenti bolsa B elementi menen  $A_m B_n$  ximiyali'q birikpesinen turatug'i'n quymani'n' hal diagrammasi'. Ha'r bir fragment boyi'nsha hal diagrammasi'ni'n' menshikli tipi saylap ali'nadi'. Bul jag'dayda eki fragment te birinshi tiptegi hal diagrammasi' boli'p tabi'ladi'.

Birinshi ha'm u'shinshi tiptegi hal diagrammalari' beriliw usi'li' boyi'nsha fazali'q ha'm strukturali'q boli'wi' mu'mkin (50-su'wret). Bul jag'dayda vertikalli'q shtrixlang'an si'zi'qlardi' ha'r qi'yli' strukturalarg'a iye oblastlardı' ayi'ri'p ko'rsetiw ushi'n si'zi'ladi'.

Diagrammani'n' qa'legen oblasti'ndag'i' quymalardi'n' fazali'q qurami'n konodani'n' ja'rdeinde an'sat ani'qlawg'a boladi'. Konoda – ushlari' bir waqi'tta bar bolatug'i'n fazalar ja'ne olardag'i' qurawshi'lar menen sheklengen gorizont bag'i'ti'ndag'i' si'zi'q. Qag'i'ya boyi'nsha fazani'n' massali'q yamasa ko'lemlik mug'dari'n ani'qlaw ushi'n konodani'n' kesindilerinin' uzi'nli'qlari'ni'n' qatnasi'n' esaplaydi'.

Likvidus ha'm solidus si'zi'qlari'ndag'i' konodalardi' paydalani'p suyi'q fazadag'i' ha'm qatt'i fazalardag'i' qurawshi'lardi'n' mug'dari'n ani'qlaw mu'mkin.



51-su'wret. Sn-Zn sistemasi' quymalari ni'n' hal diagrammasi' (d) ha'm salqi'nlati'w iymeklikleri: a) - 100 procent Sn; b) - 4 procent Zn + 96 procent Sn; c) - 9 procent Zn + 91 procent Sn; d) 60 procent Zn + 40 procent Sn; e) 100 procent Zn. Fazalardi'n' sha'rtli belgileri: J - suyi'q eritpe; E (Zn + Sn) - evtektika; S - salqi'nlati'w iymekliginin' ha'r qi'yili' ushastkalari' ushi'n erkinlik da'rejelerinin' sani'.

"Qalayi'-cink" sistemasi' ushi'n hal diagrammasi'na ayqi'n mi'sal 51-su'wrette oni'n' fazali'q ha'm strukturali'q qurami'n'i'n' analizi menen keltirilgen. Bul sisteman'i'n' qurawshi'lari' suyi'q xalda sheklenbegen ra'wirshte eriydi, al qatt'i' halda bolsa bir birinde erimeydi ha'm jen'il eriytugi'n evtektikani' payda etedi.

Ayqi'n quymani'n' hal diagrammasi' boyi'nsha kristallizaciya temperaturasi' ha'm qatt'i' haldag'i' fazali'q aylani'slar temperaturasi', qa'legen temperaturadg'i' quymalardi'n' strukturasi' ani'qlanadi'. Ali'natug'i'n informaciya quymalardi'n' mexanikali'q, fizikali'q ha'm ximiyali'q qa'siyetlerinin' qanday ekenligin shamalap boljawg'a, quymalardi' qayta islewdin' rejislerin saylap ali'wg'a mu'mkinshilik beredi.

#### 14. Tiykarg'i' fizikali'q-ximiyali'q processlerdegi zatlar menen materiallardı'n' qa'siyetleri

*Tozi'w (starenie)* – o'jire temperaturalari'nda uzaq waqi't uslap turi'wdi'n' (ta'biyyi tozi'w) yamasa qi'zdi'ri'wdi'n' (jasalma tozi'w) na'tiyjesinde materialdi'n' fizikali'q ha'm ximiyali'q qa'siyetlerinin' o'z-o'zinen o'zgeriwi.

Tozi'w a'dette materialdi'n' jetkilikli emes orni'qli' halla turi'wi' ha'm oni'n' (materialdi'n') a'ste-aqi'ri'nli'q penen orni'qli' halg'a o'tiwi menen baylani'sli'. Materialdi'n' tozi'wi' oni'n' ayi'ri'm qa'siyetlerinin' jaqsi'lani'wi'na da, to'menlewine de ali'p keliwi mu'mkin. Ko'p jag'daylarda texnologiyali'q processlerdin' ja'rdeminde qa'siyetlerin jaqsi'li'w maqsetinde materialdi'n' jasalma tu'rdegi tozi'wi' na'zerde tuti'ladi'.

Metallar menen quymalari ni'n' tozi'wi'na olardi'n' qatt'i' haldag'i' aylani'slar menen baylani'sli' bolg'an qa'siyetlerinin' o'zgeriwlerin kirgiziwge boladi'. Qatt'i' haldag'i' aylani'slardi'n' tiykarg'i' tu'rlerine allotropli'q ha'm martensitlik aylani'slar, martensitlik strukturani'n' i'di'rawi', qatt'i' haldag'i' eriw menen asa toyi'ng'an qatt'i' eritpelerdin' i'di'rayai', qatt'i' eritpelerdegi ta'rtiplesiwler menen ta'rtiplesiwlerdin' buzi'li'wi', evtektoidli'q aralaspadan qatt'i' eritpenin' payda boli'wi' kiredi.

Bul processlerdin' barli'g'i' eki gruppag'a bo'liw mu'mkin:

- kristalli'q strukturani'n' o'zgeriwi menen ju'retug'i'n aylani'slar (usi'nday aylani'slardi'n' na'tiyjesinde payda bolg'an fazalardi'n' ximiyali'q qurami' o'zgermeydi);

- ximiyali'q qurami'ni'n' o'zgeriwi menen ju'retug'i'n aylani'slar.

*YArı'm o'tkizgishlerdin' tozi'wi'na* materialdi'n' submikroskopiyali'q defektleri, olardi'n' betinlegi mikroskopiyali'q defektler, temperaturalardi'n' o'zgerisleri, i'g'alli'q, materialdag'i' qosimtalar ali'p keledi.

## 15. Diffuziya

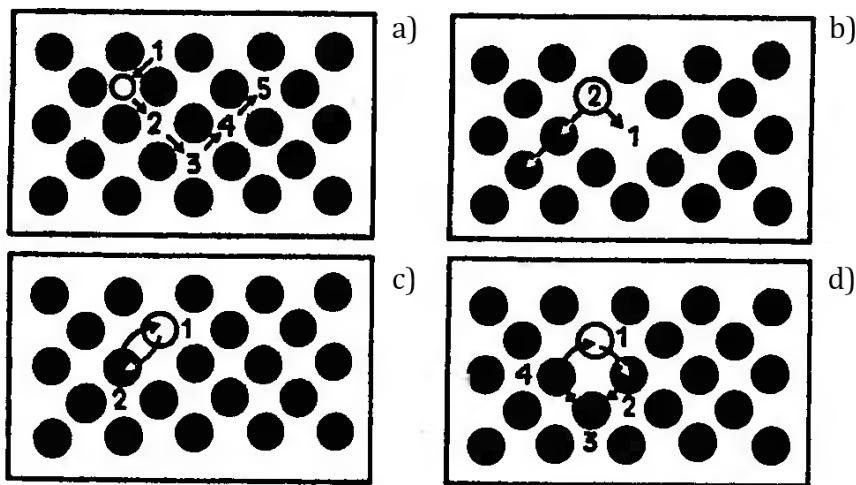
*Diffuziya* – zatti'n' qayti'msi'z ali'p o'tiliwine (ko'shiwine) yamasa ortali'qtag'i' berilgen sorttag'i' bo'lekshelerdin' ten' salmaqli'q koncentraciyasi'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keletug'i'n ortali'qtin' bo'lekshelerinin' qozg'ali'si'. Diffuziyalanatug'i'n bo'leksheler si'pati'nda molekulalardi', atomlardi', o'tkizgishlik elektronlari'n, teskshelerdi, neytronlardı ha'm basqa da bo'lekshelerdi qaraw mumkin. Qattı' zatlardag'i' diffuziya atomlardi'n' berilgen zat ushi'n atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlardan u'lken kashi'qli'qlarg'a ko'shiwin ta'miyinleydi.

Taza zatta yamasa qurami' turaqli' bolg'an eritpede zatti'n' menshikli bo'leksheleri diffuziyalanadi', al olardi'n' ximiyali'q qurami' o'zgerissiz qaladi'. Diffuziyani'n' bunday dara ko'rinisini o'zlik diffuziya dep ataydi'. O'zlik diffuziyada bo'lekshelerdin' diffuziyali'q ori'n almasti'ri'wlari' zatti'n' formasi'ni'n' o'zgeriwine ha'm basqa da kubi'li'slarg'a ali'p keliwi mu'mkin. Mi'sali' bet kerim ku'shlerinin', salmaq ku'shlerinin', serpimli, lektrlik ha'm basqa da ku'shlerdin' uzaq waqi't ta'sir etiwi bir birine tiyip turg'an shlifovkalang'an betlerdin' birigip ketiwine, untalg'an kristalli'q denelerdin' bir tutas bir denege aylani'wi'ni'n', u'lgilerdin' og'an tutasti'ri'lg'an ju'ktin' ta'sirinde sozi'li'wi'ni'n' (materiallardı'n' diffuziyali'q ji'lji'wi') ori'n ali'wi' mu'mkin.

Ortali'qta makroskopiyali'q qozg'ali'slar bolmag'an jag'daylarda atomlar yamasa molekulalardi'n' diffuziyasi' olardi'n' ji'lli'li'q qozg'ali'slar' menen ani'qlanadi'. Ortali'qta temperaturani'n', elektr maydani'ni'n' ha'm basqalardi'n' stacionar ayi'rmasi' bolg'an jag'dayda diffuziya koncentraciyalardi'n' sa'ykes gradientler menen xarakterlenetug'i'n ten' salmaqli'q tarqali'wi'na ali'p keledi (termodiffuziya, elektrodiffuziya ha'm basqalar). Bir tekli sistemada (gaz, suyi'qli'q) si'rtqi' ta'sirler bolmag'anda molekulyarli'q diffuziya processinde diffuziyali'q ag'i's (massa ag'i'si') oni'n' koncentraciyasi'ni'n' gradientine tuwri' proporsional. Proporcionalli'q koefficient *diffuziya koefficienti* dep ataladi'. Bul ko'efficienttin' ma'nisi bir biri menen ta'sirlesetug'i'n bo'lekshelerdin' strukturasi'nan ha'm (tiykari'nan) temperaturadan g'a'rezli.

Qattı' kristalli'q zatlarda diffuziyani'n' to'mendegidey tu'rlerinin' ori'n ali'wi' mu'mkin: *ju'riw mexanizmi boyi'nsha, atomlardi'n' ko'shiwinin' geometriyali'q ori'nlar' boyi'nsha, atomlardi'juti'w ori'nlar'na baylani'sli'* ha'm processtin' ta'biyatı' boyi'nsha.

O'tiw mexanizmi boyi'nsha diffuziya tu'yinler arali'q, vakansiyali'q, almasi'w tu'rinde boyi'wi' mu'mkin (52-su'wret). Diffuziyani'n' o'tiwinin' anaw yamasa mi'naw mexanizminin' ju'zege keliwi zatti'n' kristalli'q quri'li'si', oni'n' kristalli'q pa'njeresinin' defektlerinin' tipi menen ani'qlanadi'. Armasti'ri'w eritpelerindegi si'rttan kirgizilgen atomlardi'n' diffuziyasi'ni'n' vakansiyali'q mexanizm boyi'nsha bolatug'i'nli'g'i', al endiriw qattı' eritpelerinde bolsa – tu'yinler arali'q mexanizm boyi'nsha ju'retug'i'nli'g'i' da'lillengen.



52-su'wret. Diffuziya qubi'lli'si'ni'n' mexanizmlerinin' sxemalari': a) – tu'yinler arali'q, b) – vakansiyali'q, c) – almasi'w, d) – ciklli'q.

Atomlardi'n' ko'shiwinin' geometriyali'q ori'nları' boyi'nsha *ko'lemlik, betlik* (si'rtqi' ortalı'qtan) ha'm *shegarali'q* (tu'yirtpereklerdin' shegaralari' boyi'nsha) diffuziyalardi' ayi'radi'. Diffuziyani'n' elementar aktin atqarı'w ushi'n atomni'n' energiyali'q diywal arqali' o'tiwi kerek. Diffuziya bette ha'm tu'yirtpereklerdin' shegaralari'nda jen'il tu'rde ju'redi. Bunday ori'nlerda kristalli'q quri'li'sti'n' defektleri ko'p boladi' (vakansiyalar, dislokaciylar ha'm basqlar). Qattı' denelerdegi ko'lemlik diffuziya atomlardı'n' bir ori'nnan salı'sti'rmali' bos ori'ng'a sekirip o'tiwi menen ju'redi.

Betlik diffuziya materialdi'n' betine si'rqi' ortalı'qtan zatti'n' ko'shiwi (kiriwi) yamasa materialdi'n' betinen si'rtqi' ortalı'qqa zatti'n' o'tiwi menen baylani'sli'. Soni'n' menen birge betlik diffuziyag'a materialdi'n' ishinen oni'n' betine zatti'n' ko'shiwi yamasa materialdi'n' betinen ishine zatti'n' ko'shiwi menen baylani'sli' boli'wi' mu'mkin (*sorbciyalı'q processler*).

*Sorbciya* – qattı' dene yamasa suyi'qli'q ta'repinen qorshap turgan ortalı'qtan qanday da bir zatti'n' juti'li'wi'. Juti'wshi' deneni *sorbent*, al juti'latug'i'n zatti' *sorbat* dep ataydi'.

Atomlardı' jutatug'i'n ori'n boyi'nsha betti ha'm ko'lemdi ayi'radi'. Bunday jag'dayda bette ori'n alatug'i'n sorbciyali'q processlerdi *adsorbciya*, al ko'lemdegi processti – *absorbciya* dep ataydi'. Sorbciyali'q processler saylap ali'w menen ju'redi ha'm qayti'mli'. Juti'lg'an qurawshi'ni'n' qaytadan bo'linip shi'g'i'wi'n *desorbciya* dep ataydi'.

*Adsorbciya* – qattı' denenin' (adsorbennin') yamasa suyi'qli'qtı'n' beti ta'repinen gaz ta'rızlı yamasa suyi'q ortalı'qtan zatti'n' juti'li'wi'.

*Absorbciya* – qorshag'an ortalı'qtag'i' qanday da bir zatti'n' juti'wshi' denenin' (absorbenttin') barlı'q massası' ta'repinen juti'li'wi'. Suyi'q absorbent ta'repinen gaz aralaspası'ni'n' qanday da bir qurawshi'si'ni'n' juti'li'wi' eriw (eritiw), al suyi'qli'q aralaspadan juti'wi'n *ekstrakciya* dep ataydi'.

## 16. Shi'ni'qtı'ri'w

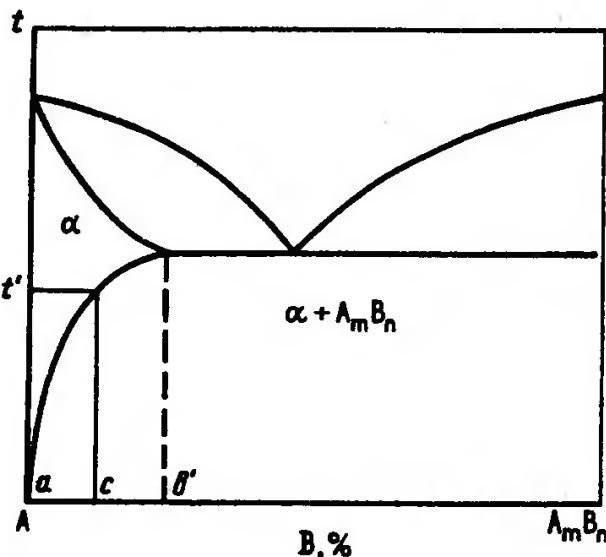
*Shi'ni'qtı'ri'w* – materiallardı' termo qayta islew boli'p, oni'n' ma'nisi materialdi' da'slep qı'zdi'ri'p, bunnan keyin tez salqi'nlatı'wdan ibarat. Bul ila'j materialdi'n' joqarı' temperaturalı' hali'n saqlap qali'w yamasa a'ste-aqı'ri'nli'q penen salqi'nlatqanda ju'riwi bolatug'i'n jag'i'msi'z processlerdi boldı'rmaw ushi'n islenedi. Shi'ni'qtı'ri'wdı'n' na'tiyjesinde a'dette ten' salmaqlı' emes struktura payda boladi'. Shi'ni'qtı'ri'wdı'n' ja'ne bir tu'ri – *betlik shi'ni'qtı'ri'w*.

Shi'ni'qtı'ri'wdı'n' temperaturalı'q rejimi o'z ishine tomendegilerdi aladi':

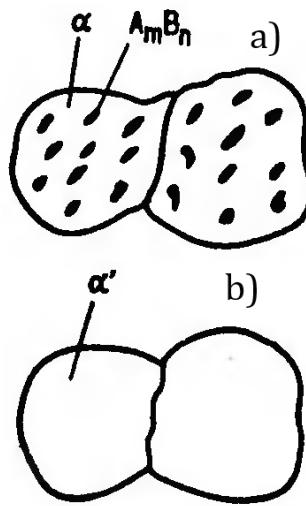
1. Quymani' fazali'q aylani's temperaturasi'na shekem jetkeriw;

2. Tez salqi'nlati'w (salqi'nlati'wshi' ortalıqlar - suw, may, eritilgen duzlar, qorg'asi'n, hawa ha'm basqalar).

Shi'ni'qtiri'wdi'n' qollani'li'w oblasti' - qattı' halda aylani'slarg'a iye materiallar (tiykari'nan quymalar).



53-su'wret. Qattı' halda o'zgermeli eriwshilikke iye qurawshi'lardi'n' hal diagrammasi'.



54-su'wret. Strukturani'n' sxema tu'rindegi su'wretleneniwi: a) - ten' salmaqli'q haldag'i' quymani'n', b) - shi'ni'qtiri'lg'an quymani'n'.

Qattı' halda qurawshi'lardi'n' eriwshiliği o'zgermeli bolg'an metall quymalar ushi'n shi'ni'qtiri'wdi' qaraymi'z (53-su'wretti qaran'i'z). "s" qurami' ushi'n shi'ni'qtiri'w temperaturasi' t' shaması'na ten'. Bul temperaturani'n' ma'nisi kritikali'q si'zi'qtin' temperaturasi'nan 30...50°C g'a joqari'. Shi'ni'qtiri'w tmeperaturasi'nan baslap tez salqi'nlati'w menen ekinshi kristallardi'n' ayrı'li'p shi'g'i'wi' toqtati'ladi' ha'm na'tiyjede qurawshi'lar menen asa toyi'ng'an bir fazali' quyma ali'nadi'.

Organikali'q emes shiyshelerdi shi'ni'qtiri'w  $T_{st}$  temperaturasi'nan jokari' temperaturalarg'a shekem qi'zdi'ri'wdan ha'm bunnan keyin hawa yamasa maydi'n' ag'i'si'nda bir tekli salqi'nlati'wdan ibarat.

Shi'ni'qtiri'w materialdi'n' fizikali'q qa'siyetlerine u'lken ta'sir jasaydi'. Quymalarda shi'ni'qtiri'w strukturani'n' o'zgerislerin sezgish fizikali'q ha'm ximiyali'q qa'siyetlerdi o'zgertedi: bekkemlik, mortli'q, sali'sti'rmali' qarsı'li'q, koercitiv ku'sh artadi', korroziyag'a bekkemlik joqari'laydi'. Ten' salmaqli'q sharayatlarda evtektoidli'q aylani's ori'n alatug'i'n quymalar ayrı'qsha ku'shli bekkemlenedi.

## 17. Jumsari'w ha'm jasalma tu'rde tozi'w

"Jumsari'w" termini shi'ni'qtiri'w processinde polimorfli'q aylani's ju'retug'i'n polatlarg'a ha'm basqa da quymalarg'a qollani'ladi' (eki fazali' alyuminiyli bronza, tiykari' titan bolg'an bazi' bir quymalar). "Tozi'w" termini ("starenie" termini) shi'ni'qtiri'wdi' polimorfli'q aylani's bolmaytug'i'n quymalar ushi'n qollani'ladi' (alyuminiy tiykari'ndag'i' quymalar, austenitlik polatlar, nikelli quymalar ha'm basqalar).

Jumsari'w ha'm metallardi'n' jasalma tozi'wi' - shi'ni'qtiri'lg'an quymalardi' termo qayta islew (tiykari'nan polatlardi'). Bul process o'z ishine qi'zdi'ri'wdi' (0,4  $T_{balqi'w}$  temperaturasi'nan to'men temperaturag'a), usi'nday temperarurada uslap turi'wdi' ha'm salqi'nlati'wdi' aladi'. Salqi'nlati'w tezligi quymalardi'n' strukturasi' menen qa'siyetlerine

ta'sir jasamaydi'. Maqseti – bekkemliktin', elastikliktin' ha'm soqqi' jabi'sqaqli'qtin' optimalli'q ma'nislerin ali'w.

Aldi'n-ala shi'ni'qtin'ri'lg'an quymalarda jumsarti'wdag'i' ha'm jasalma tozdi'ri'wdag'i' q'i'zdi'ri'w asa toyi'ng'an qattin' eritpenin' i'di'rawi'n boldi'radi'. Usi'ni'n' na'tiyjesinde fazali'q aylani's ju'zege keledi.

Asa toyi'ng'an qattin' eritpenin' i'di'raw mexanizmi mi'nadan ibarat: Da'slipki da'wirde asa toyi'ng'an qurawshi'ni'n' atomlari'ni'n' bag'i'tlang'an diffuziyasi' ha'm olardi'n' kristalli'q pa'njerenin' belgili bir ushastkalari'nda ji'ynali'wi' ori'n aladi'. Bunnan keyingi da'wirde (ekinshi stadiyada) jan'a kristalli'q pa'njerege iye mayda oblastlardi'n' qa'liplesowi baqlanadi'. Jan'a kristalli'q pa'njere tiykarg'i' metaldi'n' ha'm asa toyi'ng'an qurawshi'ni'n' kristalli'q pa'njeresi menen kogerentli. U'shinski da'wirde payda bolg'an pa'njerenin' basqa pa'njereden (da'slepki pa'njereden) u'ziliwi ha'm jana fazani'n' disperslik bo'lekshelerinin' payda boli'wi' ori'n aladi'. To'rtinshi da'wirde disperslik bo'lekshelerdin' *koagulyaciysi*' ha'm jan'a fazani'n' metaorni'qli' modifikasiyasi'nan orni'qli' modifikasiyasi'na o'tiw ju'zege keledi. Bul fazani'n' ayri'li'p shi'g'i'wi' barli'q kristalli'q pa'njere boylap oni'n' defektlerinde a'melge asadi'. Defektler fazani'n' zarodi'shlari'ni'n' payda boli'wi'n tezlestiredi. Tu'yirtpeklar arasi'ndag'i' shegaralar diffuziyalani'wshi' atomlardi'n' anomalli'q koncentraciyalari'ni'n' payda bolatug'i'n en' qolayli' ori'nlar boli'p esaplanadi'.

*Koagulyaciya* – Broun qozg'ali'slari'ni'n' bari'si'nda, ori'n almasti'ri'wlarda yamasa ku'sh maydani'ndag'i' (mi'sali', temperaturali'q, elektrlik ha'm basqa da) diffuziya qubi'li'slari'ndag'i' bo'lekshelerdin' soqli'g'i'si'wi'ni'n' saldari'nan bir birinen "jabi'si'wi'ni'n'" saldari'nan u'lkeyiwi.

Jumsari'w yamasa jasalma tozi'w processlerin basi'nan keshirgen quymalardi'n' mikrostrukturalari' qattin' eritpedegi asa toyi'ng'an kurawshi'ni'n' esabi'nan bo'linip shi'qqan jan'a fazani'n' oblastlari'nan turadi'. Bo'linip shi'qqan oblastlardi'n' tipi (kristalli'q pa'njeresi), olardi'n' o'lshemleri ha'm qattin' eritpenin' kristalli'q pa'njeresi menen baylani'si'ni'n' xarakteri quymani'n' ta'biyati'nan da, tozi'wdi'n' sharayatlari'nan da (yag'ni'y temperaturadan ha'm usi' temperaturad uslap turi'w waqtin'an) g'a'rezli. Qi'zdi'ri'wda uslap turi'w waqi'ti'ni'n' o'siwi bo'linip shi'qqan jan'a fazani'n' kristallari' o'sedi (koagulyaciya) ha'm sferali'q formalarg'a iye boladi' (*sferoidizaciya*).

Jumsarti'w ha'm jasalma tozdi'ri'w quymalardi'n' qattin'li'q, bekkemlik, koercitiv ku'sh, sali'sti'rmali' elektr qarsi'li'g'i' si'yaqli' qa'siyetlerin 2-3 ese artti'radi'.

## 18. Metallar ha'm quymalar

*Metallar* – a'dettegi sharayatlarda o'zlerine ta'n to'mendegidey qa'siyetlerge iye a'piwayi' zatlar: joqari' elektr ha'm ji'lli'li'q o'tkizgishlikke, elektr o'tkizgishliktin' teris ma'nisli koefficientine, elektromagnitlik tolki'nlardini' jaqsi' shag'i'li'sti'ra ali'w qa'biletligi (ji'il'i'raqli'g'i' menen mo'ldir emesligi), joqari' bekkemlikke ha'm elastiklik qa'siyetlerge iye boli'wi'. Ju'da' joqari' basi'mlarda metallardi'n' qa'siyetleri ju'da' u'lken shamalarg'a o'zgeredi ( $10^{10} \dots 10^{11}$  Pa). Ko'p metallar temperatura menen basi'mg'a baylani'sli' ko'p sanli' kristalli'q modifikasiyalarg'a iye bola aladi'.

Tap usi'nday metalli'q qa'siyetlerge 80 nen aslam ximiyali'q elemnetler ha'm metall quymalardi'n' ko'pshiligi iye. Texnikada qollani'latug'i'n metall quymalardi'n' sani' mi'n'lar menen o'lshenedi ha'm texnikani'n' rawajlani'wi' menen bul san turaqli' tu'rde u'lkeyip barmaqta.

Metallardi'n' qa'siyetleri olardi'n' kristalli'q strukturasi' ha'm olardi'n' qurami'ndag'i' atomli'q yadrolar menen baylani'spag'an ko'p sanli' erkin elektronlardi'n' (o'tkizgishlik elektronlari'ni'n',  $1 \text{ sm}^3$  ko'lemde  $10^{22} \div 10^{28}$ ) bar ekenligi menen baylani'sli' Valentlik elektronlardi'n' atom yadrolari' menen ha'lsiz baylani'si' metallardi'n' ximiyali'q qa'siyetlerin ani'qlaydi': olar tiykarg'i' oksidlerdi ha'm gidroksidlerdi an'sat payda etedi,

ko'plegen metallar kislotalardag'i' vodorodti' almasti'ra aladi' ha'm basqalar.

Metallar ushi'n ko'lemde oraylasqan kubli'q, qaptalda oraylasqan kubli'q ha'm ti'g'i'z jaylasti'ri'l'g'an geksagonalli'q struktura xarakterli. Puw ta'rizli halda olar bir atomli'.

Metalli'q quymalar qa'siyetleri boyi'nsha metallar menen birdey. Sonli'qtan olardi' ko'pshilik jag'daylarda metallar qatari'na jatqaradi'.

Sanaatta metallardi' (quymalardi') eki tiykarg'i' gruppag'a ayi'radi': *qara* ha'm ren'li metallar.

*Qara metallar* – temirdin' uglerod penen quymasi', bul quymada u'lken yamasa az mug'darda basqa da ximiyali'q elementlerdin' boli'wi' mu'mkin Kobaltti, nikeldi, olarg'a qa'siyetleri boyi'nsha jaqi'n marganecti qara metallarg'a jatqaradi'. Qara metallar ju'da' ko'p tarqalg'an. Bul jag'day Jerde temirdin' ko'p tarqalg'anli'g'i', oni'n' ha'm oni'n' tiykari'ndag'i' quymalardi'n' arzan ekenligi, joqari' mexanikali'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetleri menen baylani'sli'.

*Ren'li metallardi'* qa'siyetleri boyi'nsha to'mendegidey gruppalarg'a bo'ledi:

- *jen'il* (Ve, Mg, Al, Ti), olar sali'sti'rmali' kishi ti'g'i'zli'qqa iye - do 5000 kg/m<sup>3</sup> shamas'i'na shekem;
- *eriwi qi'yi'n metallar (joqari' temperaturalarda balqi'ytug'i'n ren'li metallar)* (Ti, Sr, Zr, Nb, Mo, W, V ha'm basqalar) – olardi'n' balqi'w temperaturasi' temirdin' balqi'w temperaturasi'nan joqari' (1539°C);
- *qi'mbat bahali' metallar* (Ph, Pd, Ag, Os, Pt, Au ha'm basqalar) – olar ximiyali'q inertlilikke iye;
  - *uranli'q metallar* (U, Th, Ra) – atomli'q texnikada qollani'latug'i'n aktinoidlar;
  - *siyrek jer metallari' - lantanoidlar* (Ce, Pr, Nd, Sm, Gd ha'm basqalar) ha'm olarg'a uqsas bolg'an ittriy ha'm skandiy;
  - *siltili jer metallari'* (Li, Na, K) – yadroli'q reaktorlarda ji'lli'li'q ali'p ju'riwshiler si'pati'nda qollani'ladi'.

## 19. Temir ha'm oni'n' tiykari'ndag'i' quymalar

*Temir* - Fe, elementlerdin' da'wirlik sistemasi'ndag'i' VIII gruppasi'n' elementi, atomli'q nomeri 26, atomli'q massasi' 55,847. Ji'lti'rawi'q, gu'mis-sur ren'li elastik metall. Polimorfli'q modifikasiyalarg'a iye. Hawada temir toti'g'adi' ha'm oni'n' beti jumsaq tot penen qaplanadi'.

Temirdin' fizikali'q qa'siyetleri kirgizilgen qosimtalardi'n' mug'dari'nan g'a'rezli. Qurami'nda 0,01-0,1 procent qosimtalar bar temir mi'naday qa'siyetlerge iye: ti'g'i'zli'g'i' 7840 kg/m<sup>3</sup>; ji'lli'li'q o'tkeriw koefficienti 74,04 Vt/(m·K); sali'sti'rmali' elektr qarsili'g'i' 9,7·10<sup>-8</sup> Om/m; elektrlik qarsili'g'i'ni'n' temperaturali'q koefficienti 6,51·10<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>; si'zi'qli' ken'eyiwinin' temperaturali'q koefficienti 11,7·10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>; Brinel boyi'nsha qattili'g'i' 350 - 450 MPa; YUNG moduli 190 - 210·10<sup>3</sup> MPa; u'ziliwge bolgan bekkemlik a = 200 - 250 MPa; sali'sti'rmali' uzari'w b = 45 - 55 procent; soqqili'q jabi'sqaqli'q KSU = 220...250 kDj/m<sup>2</sup>.

Temir u'sh polimorfli'q modifikasiyang'a iye ( $\alpha$ -,  $\sigma$ - ha'm  $\gamma$ -Fe). Olardi'n' ha'r biri belgili bir temperaturali'q intervallarda bar boladi':

- $\alpha$ -Fe - temperaturali'q interval absolyut nolden 911<sup>0</sup>S g'a shekem, ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye. Ti'g'i'zli'g'i' - 7860 kg/m<sup>3</sup>. 768<sup>0</sup>C (Kyuri noqati') temperaturali'q shekem temir ferromagnitlik qa'siyetke iye, bul temperaturadan jokari' temperaturalarda temir paramagnetik;

- $\gamma$ -Fe - temperaturali'q interval 911 den 1392<sup>0</sup>C qa shekem, qaptalda oraylasqan kubli'q pa'njerege iye, ti'g'i'zli'g'i' - 8000 - 8100 kg/m<sup>3</sup>; paramagnitlik qa'siyetlerge iye;

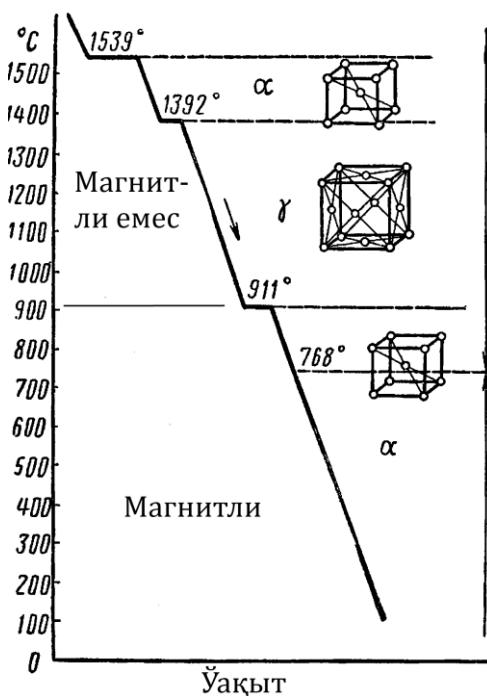
- $\sigma$ -Fe – joqari' temperaturali' modifikasiya, 1392 den 1539<sup>0</sup>C temperaturali'q intervali'nda jasaydi'. Ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye ha'm paramagnitlik qa'siyetlerge iye.

Qosimtalardi'n' qosimdi'si'ni'n' mug'dari' 0,1 procent shamas'i'na kem ha'm

qurami'ndag'i' uglerodti'n' mug'dari' 0,02 procent shaması'nan kem bolg'an temirdi texnikali'q jaqtan taza temir dep ataydi'. Eger uglerodti'n' mug'dari' 0,04 procent shaması'nan kishi bolsa, onı' texnikali'q temir (armko-temir) dep ataydi'. Texnikali'q temir jokari' magnit sin'irgishlikke iye ( $\mu = 4500 \text{ Gs/E}$ ) ha'm elektrotexnikali'q magnitlik jumsaq material boli'p tabi'ladi'. Bunday materiallar transformatorlardı'n' serdeshniklerin, elektromagnitlerdi, akkumulyatorlardı'n' plastinkalari'n' taylorlaw ushi'n paydalani'ladi'. Temir poroshok ko'p mug'darda da'nekerlew ushi'n jumsaladi'.

Temir - ha'zirgi zaman texnikasi'ni'n' en' a'hmiyetli materiallari'ni'n' biri boli'p tabi'ladi'. Metallurgiya sanaati' shi'g'aratug'i'n o'nimlerdin' 95 procenti temir menen uglerodti'n' quymasi'ni'n' u'lesine tiyisli (temir-uglerodli'q quymalar, shoyi'n, polat, ferroquymalar).

Temir-uglerodli'q quymalar - Temirdin' (tiykarg'i' qurawshi') uglerod penen quymasi' boli'p tabi'ladi'. Taza temir-uglerodli'q quymalar menen (bunday quymalarda qosı'mtalardı'n' izleri boladi' ha'm ilim-izertlew maqsetleri ushi'n az mug'darda jetistiredi) texnikali'q temir-uglerodli'q quymalardi' bir birinen aysi'radi'. Bunday quymalarda qosı'mtalar, legirlewhi elementler ha'm arnawli' qosı'mtalar boladi'.



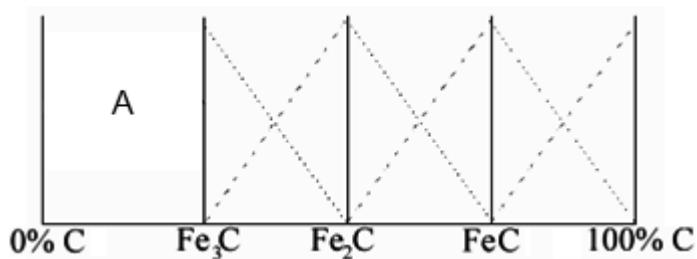
55-su'wret.

Temirdi salqi'nlati'w iymekligi.

## 20. "Temir-cementit" sistemasi'

### Temir-uglerod quymalari'ni'n' xal diagrammasi'

**Temir-uglerod sistemasi'ni'n' fazali'q ten' salmaqli'q diagrammasi' (hal diagrammasi')** (geypara jag'daylarda temir-cementit dep te aytadi') - temirdin' uglerod bolg'an quymani'n' fazali'q hali'ni'n' ximiyali'q kuramg'a ha'm temperaturag'a baylani'sli' bolg'an grafikali'q su'wretleniwi.

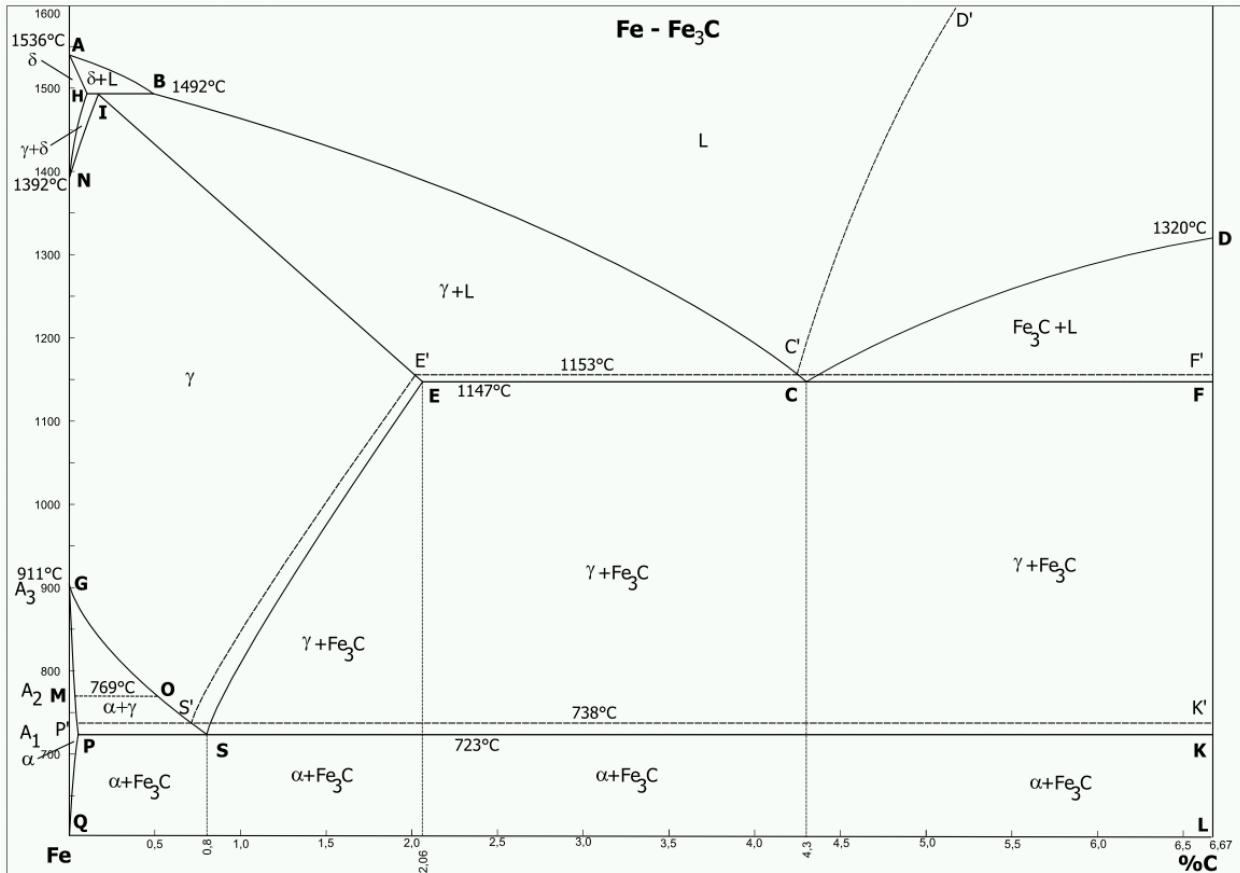


56-su'wret. Temir-uglerod sistemasi'ni'n' hal diagrammasi'. Diagrammani'n' A arqali belgilengen bo'limi g'ana qi'zi"g'i'w payda etedi.

Temir uglerod penen cementit dep atalatug'i'n Fe<sub>3</sub>C ximiyali'q birikpesin payda etedi. Praktikada uglerodi'ti'n' mug'dari' 6,67 procent ke shekem bolg'an metall quymalar qollani'latug'i'n bolg'anli'qtan biz hal diagrammasi'n'i'n' temirden cementitke shekemgi bo'limin qaraymi'z (56-su'wret). Cementin metastabillik fazasi bolg'anli'qtan sa'ykes xal diagrammasi' metastabilli hal diagrammasi' dep ataladi' (57-su'wrettegi tutas si'zi'qlar).

Sur shoyi'nlar ha'm grafitlengen polatlar ushi'n stabilli temir grafit diagrammanı' qarawi'mi'z kerek. Sebebi atap aytqanda grafit orni'qli' (stabilli) fazalar boli'p tabi'ladi'. Cementit grafitke sali'sti'rg'anda tezirek payda boladi' ha'm ko'p polatlarda ha'm aq shoyi'nlerde jetkilikli da'rejede uzaq waqatlar dawami'nda jasay aladi'. Sur shoyi'nlerde grafitin' so'zsiz qatnasi'wi' sha'rt.

Su'wrette punktir si'zi'qlar mene orni'qli' ten' salmaqli'q si'zi'qlari' ko'rsetilgen (yag'ni'y grafittin' qatnasawi' menen). Sol ori'nlerde si'zi'qlar metastabilli ten' salmaqli'q si'zi'qlari'nan ayri'ladi' (cementittin' qatnasi'wi'nda). Sa'ykes noqatlar shtrixlar menen ko'rsetilgen (to'mende keltirilgen xal diagrammasi'nda fazalar menen nokatlardi'n' belgileri ra'simiy emes xali'q arali'q kelisimge bag'i'nadi').



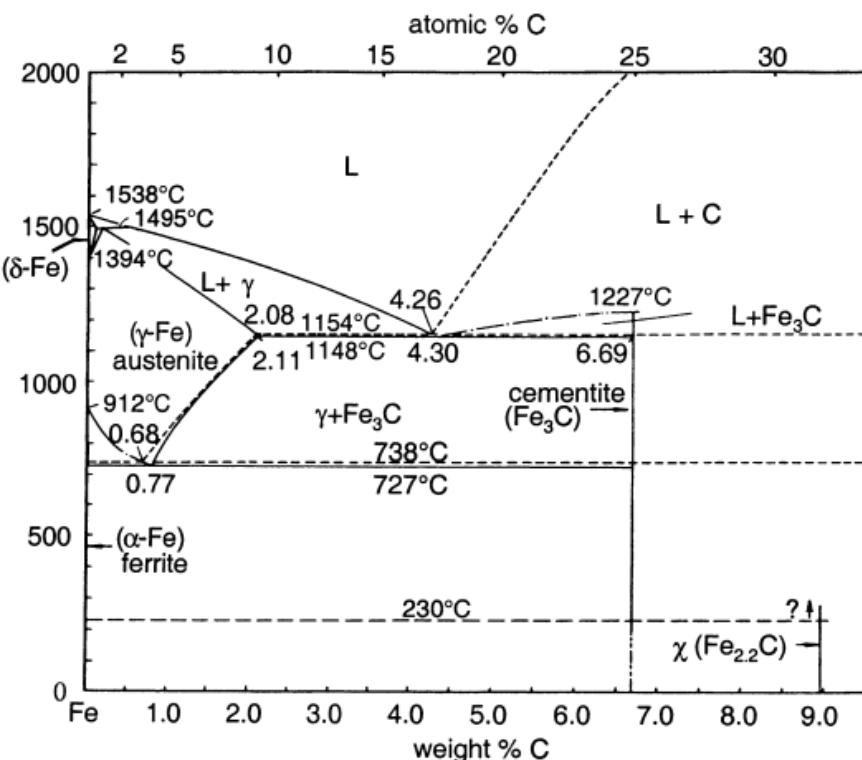
57-su'wret. Temir-cementit diagrammasi'ni'n' fazalari'. Bul fazali'q diagramma temir-uglerod sistemasi'ni'n' fazali'q diagrammasi'ni'n' tek bir bo'limi boli'p tabi'ladi'.

Temir-cementin sistemasi'nda to'mendegidey fazalar bar: suyi'q faza, ferrit, austenit, cementit, grafit.

1. Suyi'q faza. Suyi'q halda temir uglerodi' qa'legen proporsiyada jaqsi' eritedi ha'm bir tekli suyi'q fazani' payda etedi.

2. Ferrit - ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye  $\alpha$ -temirdegi uglerodi'n' endiriw eritpesi.

Ferrit uglerodi'n' o'zgermeli shekke iye eriwshilige iye: o'jire temperaturalari'nda en' minimalli'q - 0,006 procent ( $Q$  noqati'), maksimalli'q -  $700^{\circ}\text{S}$  temperaturada maksimalli'q 0,02 procent ( $P$  noqati'). Uglerod atomlari' qatpaldi'n' orayi'nda yamasa kubti'n' qabi'rg'alari'ni'n' ortasi'nda (bul eki jag'day bir biri menen kristalgeometriyali'q jaqtan ekvivalent), soni'n' menen birge pa'njere defektlerinde jaylasadi'.



$1392^{\circ}\text{C}$  dan joqari' temperaturalarda joqari' temperaturali' ferrit bar boladi'. Onda ulgerodi'n' shekli erigishligi  $1600^{\circ}\text{C}$  temperaturada shama menen 0,1 procent shaması'nda boladi' ( $I$  noqati').

Ferrittin' qa'siyetleri taza temirdin' qa'siyetlerine jaqi'n. Ol jumsaq (qattili'g'i - 130 NV) ha'm elastik,  $770^{\circ}\text{C}$  temperaturag'a shekem magnitlengen (eger uglerod bolmasa).

3. Austenit ( $\gamma$ ) - uglerodi'n'  $\gamma$ -temirdegi qatta tu'rdegi endiriw eritpesi, strukturasi' qaptalda oraylasqan kubli'q.

Uglerod atomlari' qaptalda oraylasqan kubli'q quti'ni'n' orayi'nda jaylasadi'.

Austenittegi uglerodi'n' eriwshiligi  $1147^{\circ}\text{S}$  temperaturada 2,14 procentti quraydi' ( $E$  noqati').

Austenittin' qattili'g'i' 200-250 NV, elastiklik qa'siyetke iye, paramagnitlik qa'siyetke iye.

Austenitte yamasa ferritte basqa elemnetlerdi eritkende qa'siyetleri menen olardi'n' bar boli'wi'ni'n' temperaturali'q shegaralari' o'zgeredi.

4. Cementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) - temirdin' uglerod penen ximiyali'q birikpesi (temir karbidi), 6,67 procent uglerodqa iye, strukturasi' quramali' rombali'q. Cementit qattii' (1000 HV

shamasi'nan da joqari') ha'm ju'da' mort. Cementit metastabilli (shalama-shekki orni'qli') faza boli'p uzi'q waqi'tlar dawami'nda joqari' temperaturalarda uslap turi'lg'anda grafittin' bo'linip shi'g'i'wi' menen i'di'raydi'.

Temir-uglerod quymalari'nda cementit faza si'pati'nda ha'r q'i'yli' sharayatlarda bo'linip shi'g'adi':

- da'slepki cementit (suyi'qli'qtan bo'linip shi'g'adi'),
- ekinshi cementit (austenitten bo'linip shi'g'adi'),
- u'shinshi cementit (ferritten bo'linip shi'g'adi'),
- evtektikali'q cementit,
- evtektoildi'q cementit.

En' da'slepki cementit suyi'q fazadan plastinka ta'rizli kristallar tu'rinde bo'linip shi'g'adi'. Ekinshi cesentin austenitten bo'linip shi'g'adi' ha'm austenittin' tu'yirtpeklereinin' a'tirapi'nda tor tu'rinde jaylasadi' (evtektoildi'q aylani'stan keyin olar perlittin' tu'yirtpeklereine aylanadi'). U'shinshi cementit ferritten bo'linip shi'g'i'p, ferritlik tu'yirtpeklerin' shegaralari' a'tirapi'nda mayda tu'yirtpeklere tu'rinde jaylasadi'.

Evtektikali'q cementit tek aq shoyi'nlerda baqlanadi'. Evtektoildi'q cementit plastinka ta'rizli formag'a iye ha'm perlittin' quramli'q bo'legi boli'p tabi'ladi'.

Quymalardi'n' mexanikali'q qa'siyetlerine bo'linip shi'qqan cementittin' forması', o'lshemleri ha'm jaylasi'wlari' ta'sir etedi. Usi'nday xarakteristikalarlardı' retlestiriw arqali' sanaatta (metallurgiyada) ayqi'n quymani'n' barli'q fizikalı'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetleri beriledi (qattı'li'qtı'n', bekkemliktin', mort tu'rdegi ki'yrawg'a qarsi'li'g'i'ni'n' ha'm basqa da qa'siyetlerdin' optimalli'q qosi'ndi'si' ju'zege keltiriledi).

Ferrit joqari' ha'm to'mengi temperaturali' modifikasiyag'a iye. Joqari' temperataturali'  $\delta$  modifikasiya ha'm to'mengi temperaturali'  $\alpha$  modifikasiya uglerodi'n' sa'ykes  $\delta$  ha'm  $\alpha$  temirdegi qattı' eritpesi boli'p tabi'ladi'.

$\alpha$ -ferrittegi uglerodi'n' sheklik mug'dari'  $723^{\circ}\text{S}$  da shama menen 0,02 procentti, al  $20^{\circ}\text{S}$  temperaturada 0,006 procentti quraydi'. Qa'siyetleri boyi'nsha  $\alpha$ -ferrit taza temirdin' qa'siyetlerine jaqi'n ha'm jetkilikli da'rejede to'men mexanikali'q qa'siyetlerge iye. Mi'sali' 0,06 procent S:  $\sigma_B = 250 \text{ MPa}$ ;  $\delta = 50 \text{ procent}$ ;  $\psi = 80 \text{ procent}$ ; qattı'li'g'i' 80 nen 90 NV g'a shekem.

Austenit -  $\gamma$ -temirdegi uglerodi'n' qattı' eritpesi. Austanittegi uglerodi'n' sheklik erigishligi 2,14 procent shamasi'na ten'. Ol joqari' temperaturalarda orni'qli'. biraq bazi' bir qosi'mtalar menen (Mn, Cr ha'm basqalar) a'dettegi yamasa tomengi temperaturalarda da orni'qli' bola aladi'. Austenit u'lken elastiklikke, kishi ag'i'wshi'li'q shegine ha'm kishi bekkemlikke iye. Austenittin' qattı'li'g'i' 160 tan 200 NV ge shekem.

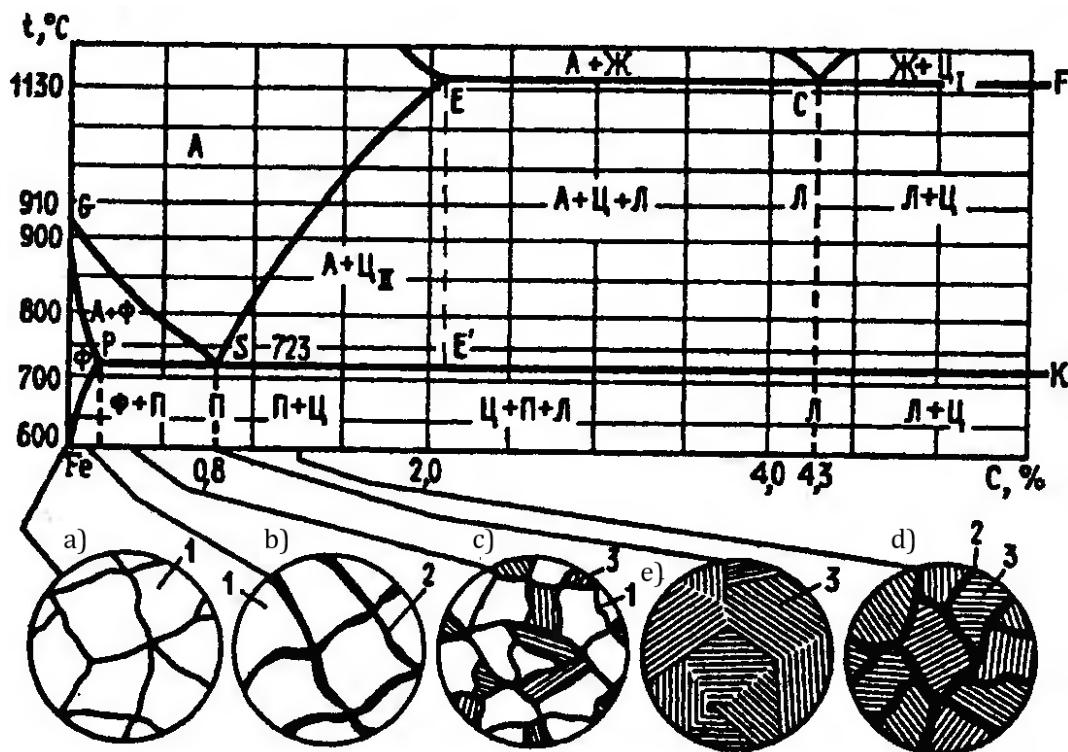
Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  - temirdin' uglerod penen ximiyali'q birikpesi. Ondag'i' uglerodi'n' mug'dari' 6,67 procent. Cementitte temi ha'm uglerod atomlari' arasi'nda metalli'q ha'm kovalentlik baylani'slar ori'n aladi'. Balki'w temperaturasi'  $1250^{\circ}\text{S}$  ni'n' a'tirapi'nda. Cementit metastabilli faza boli'p tabi'ladi', oni'n' gomogenlik oblasti' ju'da' ensiz ha'm sonli'qtan hal diagrammasi'nda ol vetikal bag'i'tta sa'wlelendiriledi. Oni'n' orni'qli'li'q waqi'ti' temperaturani'n' jokari'lawi' menen kemeyedi. To'mengi temperaturalarda cesentit sheksiz uzaq waqi't jasaydi', al  $950^{\circ}\text{S}$  dan joqari' temperaturalarda bir neshe saatti'n' ishinde temir menen grafitke i'di'raydi'. Cementit Kyuri noqati'na iye ( $210^{\circ}\text{C}$ ) ha'm sali'sti'rmali' joqari' qattı'li'qqa ha'm mortli'q qa'siyetke iye. Oni'n' sozi'li'wg'a bolg'an bekkemligi ju'da' kem ( $\sigma_v \approx 40 \text{ MPa}$ ).

"Temir - cementit" sistemasi'nda fazalardi'n' eki mexanikali'q aralaspasi' bar - evtektikali'q (ledeburiit) ha'm evtektoildi'q (perlit).

Ledeburiit  $1130^{\circ}\text{S}$  temperaturada qurami'nda 2 procentten 6,67 procentke shekem uglerod bar quymada payda bolatug'i'n  $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$  aralaspasi' boli'p tabi'ladi'. Ol temir-uglerodli'q quymalardi'n' strukturali'q qurawshi'si' si'pati'nda ko'z benen baqlanadi'.

Perlit (qurami'nda 2 procentke shekem uglerod bar)  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  aralaspasi' boli'p tabi'ladi'.

723°С temperaturada austenittin' i'di'rawi' procesisnde payda boladi'.



58-su'wret. Polatti'n' mikrostrukturasi'ni'n' ten' salmaqli'q haldag'i' sxemalari'.

Strukturali'q qurawshi'lardi'n' sha'rtli belgileri: a - ferritlik; b - ferritlik-cementitlik; c - ferritli-perlitlik; d - perlitlik; e - perlitlik-cementitlik; 1 - ferrit; 2 - cementit; 3 - perlit.

Hal diagrammasi'nda eki oblastti' bir birinen ayi'radi': polatlar ha'm shoyi'nlar. Qabi'l etilgen sheklew ushi'n sha'rt ledeburittin' payda boli'w mu'mkinshiliqi boli'p tabi'ladi' (uglerodti'n' austenittegi sheklik erigishligi):

- polatlar - 2,14 procent ke shekem S, ledeburitke iye emes;
- shoyi'nlar - 2,14 procent ten ko'birek S, ledeburitke iye.

Ushlerodti'n' qurami'ndag'i' mug'dari'na baylani'sli' temir-uglerodli'q polatlarg'a bi'layi'nsha atamalar bergen:

- evtektoidqa shekemgi polatlar (uglerodti'n' mug'dari' 0,83 procentten kishi);
- evtektoidli'q polatlar (uglerodti'n' mug'dari' 0,83 procent);
- evtektoidtan keyingi polatlar (uglerodti'n' mug'dari' 0,83 - 2 procent);
- evtektikag'a shekemgi shoyi'nlar (uglerodti'n' mug'dari' 2 - 4,3 procent);
- evtektikadan keyingi shoyi'nlar (uglerodti'n' mug'dari' 4,3 - 6,67 procent).

## 21. Ren'li metallar ha'm olardi'n' tiykari'ndag'i' quymalar

### Mi's ha'm oni'n' tiykari'ndag'i' quymalar

*Mi's* (Su) – elementlerdin' da'wirli sistemasi'ni'n' I gruppasi'ni'n' elementi, atomli'q nomeri 29, atomli'q massa 63,546. Mi's qaptaldan oraylasqan kubli'q pa'njerege iye. Qi'zi'l ren'ge iye metall, taplap islewge qolayli' (taplawg'a qolayli') ha'm jumsaq; ti'g'i'zli'g'i' 8960 kg/m<sup>3</sup>, balki'w temperaturasi' 1083°C. Ximiyali'q jaqtan mi's aktiv emes; atmosferada *patina* menen qaplanadi'.

*Patina* – ha'r qi'yli' ren'lerge (tiykari'nan jasi'l ren'ge) iye tiykarg'i' karbonattan turatug'i'n plenka, mi'stan, bronzadan, latunnan islengen buyi'mlardı'n' buyi'mlardı'n'

betinin' ta'biyyiy ortali'qtin' yamasa arnawli' qayta islewdin' saldari'nan (patindew) payda boladi'. Patina buyi'mlardi' korroziyadan qorg'aydi' ha'm dekorativlik a'hmiyetke iye. Za'ha'rdi qa'syietke iye.

Ha'zirgi zaman sanaati' ushi'n mi'sti'n' en' kishi elektrilik sali'sti'rmali'q qarsi'li'g'i' u'lken a'hmiyetke iye - 0,0175 mkOm·m. Bul shama elektrotexnikada etalon shama si'pati'nda kabi'l etilgen ha'm ol 100 procent ke ten'. Texnikada mi'sti'n' ji'lli'li'q o'tkizgishlik qa'siyeti de u'lken a'hmiyetke iye - 394 Vt/(m·K). Mi'sti'n' ji'lli'li'q ken'eyiwinin' temperaturali'q koefficienti  $1,67 \cdot 10^5$  K<sup>-1</sup> shaması'na ten'.

Qattı' eritpenin' qurami'na kiretug'i'n barli'q qosi'mtalar mi'sti'n' elektr o'tkizgishligin, ji'lli'li'q o'tkizgishligin kemeytedi. Mi'sti'n' elektr o'tkizgishligin R, As, Al ha'm Sn kemeytedi.

Mi'sti'n' en' jiyi qollani'latug'i'n tarawi' – elektr tog'i'n o'tkizetug'i'n si'mlardi' tayarlaw. Qosi'mtalar elektr o'tkizgishlikti kemeytedi, sonli'qtan elektrotexnikada primeslerdin' mug'dari'ni'n' qosi'ndi'si' 0,1 procentten kem bolg'an mi's qollani'ladi'. Mi's ji'lli'li'q texnikasi'nda konstrukciyali'q materiallardı' tayarlaw ushi'n da (qi'zdi'rg'i'shlardi', radiatorlardı', ji'lli'li'q almasti'ri'wshi'lardi', xolodilniklerdi ha'm basqalardi'), vakuumli'q texnikada da qollani'ladi'. Mi'sti' listler, trubalar ha'm si'mlar tu'rinde paydalanadi'.

Mi'sti'n' 30 procentten aslamı'rag'i' quymalardi' tayarlaw ushi'n jumsaladi'. Mi'sli' quymalardi'n' tiykarg'i' qa'siyetleri ha'm arti'qmashli'qlari': jaqsi' elektr o'tkizgishlik, kishi su'ykelis koefficienti, joqari' elastiklik, u'lken bekkemlik (300 - 1200 MPa).

Mi'stag'i' en' ko'p tarqalg'an legirlewshi elementler: cink, alyuminiy, qalayı', temir, kremniy, marganec, berilli, nikel. Olar mi'sti'n' bekkemlik qa'siyetin joqari'latadi'; en' ku'shli bekkemleniwshi ta'sirdi kremniy menen alyuminiy beredi (massasi' boyi'nsha 3 procentten arti'q bolg'anda). Cink penen marganec mi'sti'n' elastikligine kem ta'sirin tiygizedi. Mi'sti'n' elastikligi alyuminiy, kremniy ha'm temir menen belgili bir koncentraciyag'a shekem legirlengende joqari'laydi'. Qalayı' bul legirlewshi elementler arasi'ndag'i' arali'qli'q jag'dayg'a iye boladi'.

Detallardi' sog'i'w usi'li' boyi'nsha mi's quymalardi' deformaciyalang'an ha'm quyi'lg'an dep ekige bo'ledi. Deformaciyalang'an mi's quymalardan listlerdi, lentalardi', trubalardi', ha'r qi'yli' profildegi yari'm fabrikatlardi' tayarlaydi'. Quyi'lg'an quymalardan quyi'w arqali' ko'rjem buyi'mlardi' aladi'.

Mi's quymalardi' latunlarga, bronzalarg'a ha'm mi's-nikel quymalarg'a bo'ledi.

## Latunlar

*Latunlar* dep tiykari' mi's bolg'an eki ha'm qo'p qurawshi'larg'a iye quymalarg'a aytadi' (mug'dari' 10 procentke shekem bolg'an qosi'mtalar Al, Sn, Fe, Mn, Ni, Si, Pb ha'm basqa da elementler). Olardi'n' ishinde en' basli' qosi'msha cink boli'p tabi'ladi'. Oni'n' mug'dari' 49 procentke shekem o'zgeredi. Mi's cink penen qattı' eritpeni payda etedi. Bul eritpede cinktin' koncentraciyasi'ni'n' shegi 39 procent.

Latunlar o'izin' ximiyalı'q qurami' boyi'nsha ekilik (a'piwayi') ha'm ko'p qurawshi'larg'a (arnawli'), al strukturasi' boyi'nsha bir ha'm ko'p fazali' boli'p bo'linedi. A'piwayi' latunlar tek cink penen legirlenedi.

Ko'p qurawshi'larg'a iye latunlar ha'r qi'yli' elemnetler ha'm olardi'n' kompleksleri menen legirlengen boli'wi' mu'mkin. Alyuminiy, kremniy, nikel ha'm marganec latunlardi'n' mexanikali'q qa'siyetlerin joqari'latadi' ha'm korroziyali'q turaqli'li'g'i'n artti'radi'. Qalayı' latunlardi'n' ten'iz suwi'ndag'i' korroziyali'q to'zimligin joqari'latadi'.

## Bronzalar

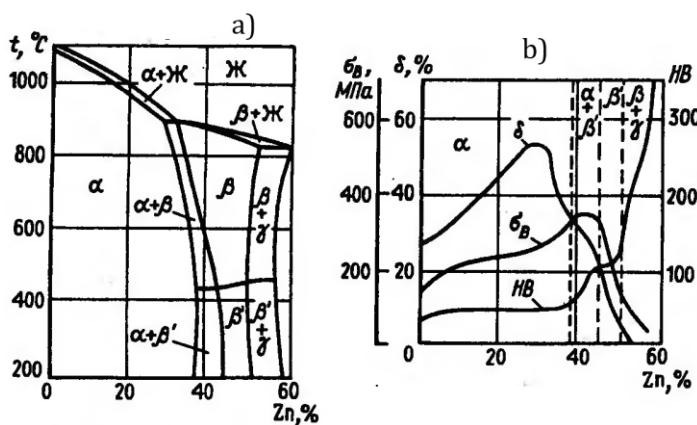
*Bronzalar* dep mi'sti'n' ha'r qi'yli' elementler menen quymalari'n aytadi'. Olardi'n' ishinde qalayı'ni', alyuminiydi, kremniydi, berilli di, qorg'asi'ndi' ha'm basqalardi' ko'rsetiw

mu'mkin. Bronzani'n' ayqi'n atamasi' quymadag'i tiykarg'i legirlewshi elementten ali'nadi'. Mi'sali' *qalayi'li' bronzalar* jiyi ushi'rasadi'. Cink penen nikel bronzalarg'a qosi'msha legirlewshi elementler si'pati'nda kirgiziliwi mu'mkin.

Bronzalar magnitli emes, korroziyag'a orni'qli', joqari' elektr ha'm ji'lli'li'q o'tkizgishlik koefficientlerine iye, antifrikciyalı q'a'siyetleri boladi'.

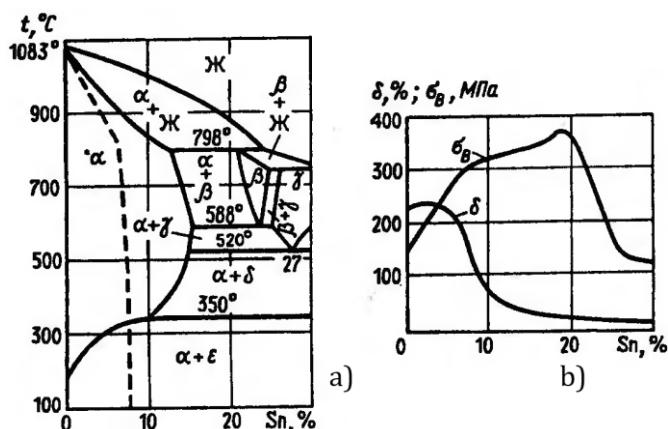
*Qalayi'li' bronzalar.* Cu-Sn quymasi'ni'n' fazali'q ten' salmaqlı'q diagrammasi'na sa'ykes qalayi'ni'n' mi'stag'i' eriwshiliginin' shegi 15,8 procentti quraydi'. Qalayi'li' bronzalar 14 procentke shekem qalayi'g'a iye boli'yai' mu'mkin. Quymadag'i' qalayi'ni'n' mug'dari'ni'n' arti'wi' oni'n' qattı'li'gi'n ha'm bekkemligin joqari'latadi' (60-su'wret).

Biraq a'meliy a'hmiyetke 10 procentke shekemgi qalayi'si' bar bronzalar iye. Qalayi'ni'n' bahasi'ni'n' joqari' bolg'anli'qtan qalayi'ni'n' bir bo'limi cink (yamasa qorg'asi'n) penen almasti'ri'lg'an bronzalar qollani'ladi'.



59-su'wret.  
Cinktin' mug'dari'ni'n' latunni'n' fazali'q (a) ha'm mexanikali'q qa'siyetlerine ta'siri (b).

Buyi'mlardi' sog'i'w usi'li' boyi'nsha qalayi'li' bronzalardi' quyi'lg'an ha'm deformaciyalang'an dep ekige bo'ledi. Ha'zirgi waqi'tlari' mashina quri'li'si'nda quyi'lg'an qalayi'li' bronzalardi'n' 11 markasi' paydalani'ladi'.



60-su'wret.  
Qalayi'ni'n' mug'dari'ni'n' qalayi'li' bronzani'n' fazali'q qurami'na (a) ha'm mexanikali'q qa'siyetlerine ta'siri (b).  
Hal diagrammasi'ni'n' ten' salmaqli' emes solidusi' ko'rsetilgen.

*Alyuminiyli bronzalar* 5 ten 11 procentke shekem alyuminiyge iye. Bunday bronzalar en' arzan ha'm sonli'qtan en' ko'p tarqalg'an bronzalar boli'p tabi'ladi'.

Alyuminiyli bronzalardi'n' kemshiligi olardi' a'dettegidey jag'daylarda da'nekerlewdin' mu'mkinshiliginin' joqli'g'i'nda.

Qurami'nda 7,4 procentke shekem Al bar bronzalar bir fazali'. Eki fazali' alyuminiyli bronzalardi' a'dette legirleydi.

Kremniyli, berilliylili, qorg'asi'nli' ha'm basqa da bronzalardi' da atap o'tiw mumkin.

### Alyuminiy ha'm oni'n' tiykari'ndag'i' quymalar

*Alyuminijy (Al)* – da'wirli sistemani'n' III gruppasi'ni'n' ximiyali'q elementi, atomli'q nomeri 13, atomli'q massasi' 26,98154. Gu'mis ren'li aq metall, strukturasi' qaptalda oraylasqan kubli'q, eriw temperaturasi' 660<sup>0</sup>S, ti'g'i'zli'g'i' 2700 kg/m<sup>3</sup>.

Ku'ydirilgen jokari' tazali'qqa iye alyuminiydin' mexanikali'q qa'siyetleri joqari' emes bekkemlik ha'm qatt'i'li'q penen xarakterlenedi. Elastikligi jetkilikli da'rejede joqari':  $\sigma_v = 50$  MPa;  $\sigma_{0,2} = 15$  MPa;  $\delta = 50$  procent,  $\psi = 35$  procent;  $E = 71\ 000$  MPa (polattikine sali'sti'rg'nada u'sh ese kishi); qatt'i'li'g'i' 170 NV. Texnikali'q alyuminiydin' bekkemlik qa'siyetleri jokari' boladi'. Salqi'n haldag'i' elastik deformaciya alyuminiydin' aqqi'shli'q shegin artti'radi', biraq sali'sti'rmali' uzari'w kishireyedi.

Alyuminiy joqari' elektr ha'm ji'lli'li'q o'tkizgish penen xarakterlenedi. 190°C temperaturadag'i' ji'lli'li'q o'tkizgishlik 343 Vt/(m·K); alyuminiydin' elektr o'tkizgishligi mi'sti'n' elektr o'tkizgishliginin' 0,65 shaması'n quraydi'. Alyuminiy joqari' korroziyalı'q turaqli'li'qqa iye. Alyuminiy qansha taza bolsa oni'n' korroziyalı'q turaqli'li'g'i' da sonsha joqari' boladi'. Hawada alyuminiy juqa bekkem plenka menen qaplanadi' (oni'n' qurami' Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Bul plenka alyuminiydi bunnan keyingi okisleniwden ha'm korroziyadan saqlaydi'.

O'ndiriwdin' ko'lemi boyi'nsha alyuminiy ha'm oni'n' quymalari' tamir emes materiallardı'n' ishinde birinshi ori'nli' iyeleydi.

*Alyuminiy quymalar* o'zlerinin' jokari' texnologiyali'q ha'm tuti'ni'w qa'siyetleri boyi'nsha o'ndiriste taza yamasa texnikali'q alyuminiyge sali'sti'rg'anda ken' qollani'ladi'. Alyuminiyli quymalar jenil quymalar gruppasi'na kiredi (buyi'mni'n' birdey bekkemliginde alyuminiyli quymalardan islengen buyi'mlar polattan islengen buyi'mlardan shama menen 3 ese jen'il).

Alyuminiyli quymalardi'n' strukturasi'ni'n' o'zine ta'n xarakterli o'zgesheligi olardi'n' fazali'q qurami' boli'p tabi'ladi'. Fazali'q quram o'z ishine qatt'i' eritpeni ha'm intermetallidlik fazalardi' aladi' (SuAl<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>SuMg, Al<sub>3</sub>Mo ha'm basqalar).

Alyuminiyli quymalardi' qurami' ha'm tiykarg'i' tuti'ni'wshi'li'q qa'siyetleri, o'ndiriw usi'llari' ha'm ji'lli'li'qti'n' ta'sirinde bekkemligin artti'ri'w mu'mkinshiligine karay klassifikaciyalaydi'.

Alyuminiyli quymalardi' qurami' ha'm tuti'ni'wshi'li'q qa'siyetleri boyi'nsha to'mendegidey gruppalarga bo'ledi:

- *joqari' bekkemlikke iye quymalar* (quymalardi'n' ko'pshiliginde  $\sigma_v = 400 - 500$  MPa) – ximiyali'q qurami' kuramali'; legirlewshi bas elementler mi's penen magniy, al V95 quymasi'nda - cink;

- *i'ssi'li'qqa shi'damli' quymalar* – 300 – 350<sup>0</sup>S temperaturalarda ekspluataciyalanadi'. Bul quymalardi'n' qurami'nda mi's kem bolsa nikel menen legirlenedi;

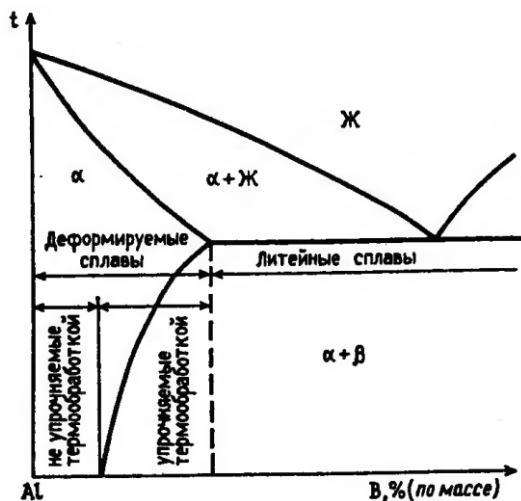
- *joqari'lati'lg'an elastiklikke iye quymalar* – bunday quymalarda mi'sti'n' mug'dari' 0,5 procent penen sheklengen, usi'ni'n' na'tiyjesinde quymani'n' bekkemligi 250 MPa shaması'nan kishi, al elastiklik qa'siyeti duralyumiyylerden joqari';

- *joqari' elastiklikke, korroziyag'a bekkemligi qa'siyetlerge iye quymalar* – mi'sqa iye emes ha'm qosimsha magniy (siyrek marganec penen) legirlenedi;

- *antifrikciyali'q quymalar* alyuminiydin' qalayi', nikel, mi's ha'm basqa da elementer menen payda etken quymalari' boli'p tabi'ladi'.

O'ndiriw usi'lli' boyi'nsha alyuminiy quymalardi' quyi'lg'an ha'm deformaciyalang'an (prouvtka, presslew, shtampovka menen) quymalar dep ekige bo'ledi. Quyi'lg'an ha'm deormaciyalang'an alyuminiy quymalardi'n' quramlari'ni'n' oblastlari' 62-su'wrette ko'rsetilgen. Bul quymalardi'n' gruppalardi'n' ha'r birinin' podgruppaları' bar. Bul podgruppaları' ja'lli'li'q penen qayta islegende (termoobrabotkada) bekkemlenetug'i'n ha'm bekkemlenbeytug'i'n quymalar kiredi.

61-su'wret.  
Deformaciyalang'an ha'm kuyi'lg'an alyuminiy quymalardi'n' "Al - tiykarg'i' legirlewshi element B" hal diagrammasi'ndag'i' quramlar oblasti'



Shoyi'n menen polatti' quyi'lg'an alyuminiy quymalar menen almasti'ri'w massani'n' kemeyiwinin', ekspluataciyali'q isenimligi menen paydalani'w mu'ddetinin' joqari'lawi' esabi'nan ekonomikali'q jaqtan a'dewir uti'mli' boli'p tabi'ladi'.

Alyuminiy quymalardi'n' markirovkası' ushi'n keltirigen mi'sallar

Legirlewshi element	Markirovka		Legirlewshi element	Markirovka	
	ha'rip-cifrali'q	cifrali'q		ha'rip-cifrali'q	cifrali'q
Al	AD00	1010	Cu, Mg, Mn, Si	AK6 AK8	1360 1380
Mn	AMc	1400	Cu, Mg, Fe, Ni, Si	AK4 AK4-1	1140 1141
Mg-Mn	AMg AMg5	1510 1550	Zn-Mg	-	1911
Mg-Si	AV	1343	Zn-Mg-Cu	V95 V96C1	1950 1960
Cu-Mg	D1 D16 VAD1 D18	1100 1160 1191 1187	Cu-Mn	D20 -	1200 1201

*Duraluminler* – alyuminiy tiykari'ndag'i' quymalardi'n' u'lken gruppasi', quymani'n' qurami'nda Cu (2,2 - 5,2 procent), Mg (0,2 - 2,7 procent) ha'm Mn (0,2 - 1 procent) mug'dari'nda basqa elementler boladi'. Duraluminler deformaciyalani'wshi' ha'm ji'lli'li'q penen kayta islew processinde bekemlenetug'i'n boli'p bo'linedi. Ji'lli'li'q penen qayta islew a'dette taplawdan, shi'ni'qtı'ri'wdan yamasa jasalma tozdi'ri'wdan ibarat Tozdi'ri'wdi'n' uzi'qli'g'i' talap etiletug'i'n mexanikali'q qa'siyetlerdin' shaması' menen ani'qlanadi'.

Duraluminlerdin' strukturasi'nda otjigten keyin (suwi'n tartti'ri'wdan keyin) mi'naday fazalar qatnasadi':  $\alpha$ -qattı' eritpe (tiykari') ha'm ximiyali'q birikpeler  $Mg_2Si$ ,  $W(Al_xCu_y>Mg_zSi_u)$  ha'm basqalar. Solardi'n' ishinde qurami'nda temir bar ximiyali'q birikpeler de boladi'. Shi'ni'qtı'ri'wdan keyin kuymani'n' strukturasi' a'dette bir fazali'  $\alpha$ -qattı' eritpeden turadi'r. Ta'biyyiy yamasa jasalma tozdi'ri'wdan keyin  $\alpha$ -qattı' eritpenin' pa'njeresinde legirlewshi elementlerdin' (mi'sti'n', magniydin', kremniyidin') atomlari'nan turatug'i'n toparlardı' Gine-Preston zonalari' dep ataydi'.

Duraluminler konstrukciyali'q materiallar si'pati'nda aviacyiali'q ha'm trnastportli'q mashina quri'li'si'nda ken'nen qollani'ladi'.

## Glossariy

*Absorbciya* – qorshag'an ortali'qtag'i' qanday da bir zatti'n' juti'wshi' denenin' (absorbenttin') barli'q massasi' ta'repinen juti'li'wi'. Suyi'q absorbent ta'repinen gaz aralaspasi'ni'n' qanday da bir qurawshi'si'ni'n' juti'li'wi' eriw (eritiw), al suyi'qli'q aralaspadan juti'wi'n ekstrakciya dep ataydi.

*Adsorbciya* – qatti' denenin' (adsorbennin') yamasa suyi'qli'qtin' beti ta'repinen gaz ta'rızlı yamasa suyi'q ortali'qtan zatti'n' juti'li'wi'.

*Antifrikciyalı'q materiallar (Antifrikcionni'e materiali')* – kishi su'ykelis koefficientine iye materiallar yamasa basqa materiallardı'n' su'ykelis koefficientin kemeytiw qa'biletligine iye materiallar.

*Asa salqi'nlati'w* - zatti' basqa agregat halg'a ten' salmaqlı'q o'tiwi temperaturasi'nan to'mengi temperaturag'a salqi'nlati'w.

*Buyi'm* (produkciya) – adam miynetinin' aqı'rg'i' na'tiyjesi.

*Genezis* – kelip shı'g'i'wi', payda boli'wi'. Ken' ma'niste tuwi'li'w momenti ha'm belgili bir halg'a, tu'rge, qubi'li'sqa ali'p keletug'i'n rawajlani'w processi.

*Gomogenlik sistema* -qa'siyetleri (qurami', ti'g'i'zli'g'i', bası'mı' ha'm basqaları) ken'islikte u'zliksiz o'zgeretug'i'n bir tekli termodinamikali'q sistema. Fizikali'q bir tekli ha'm bir tekli emes gomogenlik sistemalardi' bir birinen aysi'radi'. Bir tekli gomogenlik sistemalarda sistemani'n' ha'r qi'yli' bo'limlerinde qa'siyetler birdey, al bir tekli emes gomogenlik sistemalarda ha'r qi'yli'. Bir tekli gomogenlik sistemalar si'pati'nda gaz aralaspaları'n, suyi'q ha'm qatti' eritpelerdi ko'rsetiw mu'mkin. bir tekli emes gomogenlik sistemag'a mi'sal retinde materialdi' ximiyali'q-ji'lli'li'q qayta islewinde payda bolatug'i'n diffuziyali'q qatlamdi' keltiriwge boladı'.

*Geterogenlik sistema* - fizikali'q qa'siyetleri ha'm ximiyali'q kurami' boyı'nsha ha'r qi'yli' bo'limlerden (fazalardan) turatug'i'n makroskopiyali'q bir tekli emes termodinamikali'q sistema. Geterogen sistemani'n' shegaralas fazaları' bir birinen fizikali'q bet penen ayri'lg'an, bul bette sistemani'n' bir yamasa bir neshe qa'siyeti sekirmeli tu'rde o'zgeredi (qurami', ti'g'i'zli'q, kristalli'q quri'li's, elektrlik ha'm magnitlik qa'siyetler ha'm basqalar). Geterogen sistemalar ushi'n mi'sal retinde kompoziciyalı'q materiallardı' keltiriw mu'mkin. Bunday materialarda kurawshi'lar bir birinen kurami', qa'siyetleri, quri'li'si' boyı'nsha ayri'ladi'. Geterogen ha'm gomogen (bir tekli) sistemalar arasi'ndag'i' aysi'rma barli'q waqi'tta ani'q aysi'rmag'a iye bolmaydi'. Mi'sali' geterogenlik mexinkali'q aralaspa ha'm gomogenlik (molekulali'q) eritpe arasi'ndag'i' o'tiw oblastı' kolloidli'q eritpe menen tolg'an. Bul etirpede erigen zatti'n' bo'leksheleri sonshama az ha'm sonli'qtan og'an faza tu'sinigin qollani'wg'a bolmaydi'.

*Diffuziya* – zatti'n' qayti'msi'z ali'p o'tiliwine (ko'shiwine) yamasa ortali'qtag'i' berilgen sorttag'i' bo'lekshelerdin' ten' salmaqlı'q koncentraciyasi'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keletug'i'n ortali'qtin' bo'lekshelerinin' qozg'ali'si'.

*Intermetallidler* (intermetalli'q birikpeler) - metalli'q baylani'sqa iye metallardi'n' metallar ha'm metall emesler menen payda etetug'i'n ximiyali'q birikpeleri.

*Kristallizaciya* - kristallardi'n' payda boli'w processi.

*Quymalar* – metallardi'n', metall emeslerdin', oksidlerdin', organikali'q zatlardi'n', basqa da zatlardi'n' atomlari'ni'n' eki yamasa onnan da ko'p sortali'ran ali'ng'an makroskopiyali'q bir tekli sistemalar *Ten' salmaqlı'q process* -ju'da' a'stelik penen ju'retug'i'n process, bunday processte sistema bir birine sheksiz jaqi'n jaylasqan ten' salmaqlı'q hallar arqali' o'tedi. Ten' salmaqlı'q process qayti'mli' process boli'p tabi'ladi'. Mi'sal retinde kristallizaciyanı' ko'rsetiw mu'mkin.

*Qayti'msi'z process* – ken'isliklik-waqi'tli'q koordinatalarda o'zinshe tek bir bag'i'tta ju'retug'i'n fizikali'q process (diffuziya, ji'lli'li'q o'tkizgishlik, suyi'qli'qlardi'n' jabi'sqaqli'q

bar jag'dayda ag'i'wi' ha'm basqalar).

*Qosi'msha materiallar* – o'ndiriste paydalani'latug'i'n, biraq o'ndirilgen o'nimnin' qurami'na kirmeytug'i'n materiallar boli'p tabi'ladi' (mi'sali' janar may, ag'ash materiallar ha'm sog'an usag'anlar).

*Koagulyaciya* – Broun qozg'ali'slari'ni'n' bari'si'nda, ori'n almasti'ri'wlarda yamasa ku'sh maydani'ndag'i' (mi'sali', temperaturali'q, elektrlik ha'm basqa da) diffuziya qubi'li'slari'ndag'i' bo'lekshelerdin' soqli'g'i'si'wi'ni'n' saldari'nan bir birinen "jabi'si'wi'ni'n'" saldari'nan u'lkeyiwi.

*Quymani'n' (fazali'q ten' salmaqli'g'i'ni'n') hal diagrammasi'* — termodinamikali'q ten' salmaqli'qli' sistemani'n' hal parametrleri (temperatura, basi'm, quram) arasi'ndag'i' qatnaslardi'n', yag'ni'y u'yrenilip ati'ri'lg'an sistemani'n' qa'legen quymasi'ni'n' fazali'q hali'ni'n' koncentraciyadan (massasi' boyi'nsha procentlerdegi, siyreklew atomli'q procentlerdegi) ha'm temperaturadan g'a'rezligi grafikali'q su'wretleniwi.

*Likvidus si'zi'g'i' ha'm solidus si'zi'g'i'* — qurawshi'lari'ni'n' mug'dari' ha'r qi'yli' bolg'an qos (ekilik) quymalardi'n' qati'wi'ni'n' sa'ykes basi' menen aqi'rg'i' noqatlari'ni'n' geometriyali'q orni'. *Sistemani'n' erkinlik da'rejesi (variantli'g'i')* dep o'zgeriske ushi'rag'anda ten' salmaqli'qta turg'an fazalardi'n' sani' o'zgermeytug'i'n g'a'rezsiz parametrlerde (temperatura, basi'm, koncentraciya) aytadi'.

*Makroskopiyali'q analiz (makroanaliz)* – makrostrukturani' u'yreniw joli' menen materialdi'n' makrostrukturasi'ni'n' strukturali'q, ximiyali'q o'zgesheliklerin ha'm defektlerin ani'qlaw.

*Makrostruktura* - qurallanbag'an ko'z benen yamasa 30-40 esege shekem u'lkeytkende (mi'sali' lupani'n' ja'rdeminde) ko'rinetug'i'n materialdi'n' strukturasi'.

*Metastabililik hal* - fizikali'q makroskopiyali'q sistemani'n' orni'qli' emes ten' salmaqli'q xali', berilgen turaqli' sharayatlarda bunday halda sistema orni'qli'raq halg'a (fazag'a) o'tpey ko'p waqi't tura aladi'. Metastabililik xaldi'n' saqlani'wi'na ali'p keletug'i'n faktor zatti'n' jabi'sqaqli' boli'wi' mu'mkin. Mi'sali', jabi'sqaqli'q amorf denelerdegi molekulalardi'n' jayiasi'wi'ni'n' ta'rtiplesiwine kesent jasaydi'.

*Mikrostruktura* - optikali'q yamasa elektronli'q mikrokopti'n' ja'rdeminde baqlanatug'i'n materialdi'n' strukturasi'. Mikrostrukturani'n' bir fazali' yamasa ko'p fazali' boli'wi' mumkin.

*Martensit* - martensitlik aylani'sti'n' na'tiyesinde payda bolgan kristalli'q qatt'i denelerdin' strukturali'q qurawshi'si'.

*Martensitlik aylani's* - salqi'nlatqanda ju'retug'i'n polimorfli'q aylani's, bunday fazali'q aylani'sta kristaldi' quraytug'i'n atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine sali'sti'rg'andag'i' jayiasi'wlari' olardi'n' ta'rtiplesken ori'n almasti'ri'wi'ni'n' (ji'lji'wi'ni'n') saldari'nan ju'zege keledi. Qon'si'las atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine sali'sti'rg'andag'i' ji'lji'wi'ni'n' shaması' atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qlarg'a sali'sti'rg'anda a'dewir kishi. Quymalardag'i' martensitlik aylani'sti'n' na'tiyesinde fazalardi'n' koncentraciyalari' o'zgermeydi.

*Material* – qanday da bir na'rsemi (predmetti, buyi'mdi') sog'i'w ushi'n arnalg'an zat. O'ndiriste materiallardi' tutqan orni' boyi'nsha tiykarg'i' ha'm qosi'msha materiallar dep ekige bo'ledi.

*Materialtani'w* – materiallardi'n' qurami', quri'li'si' ha'm qa'siyetleri arasi'ndag'i' baylani'slardi', solardi'n' mexanikali'q, ji'lli'li'q, ximiyali'q, elektromagnitlik ha'm basqa da ta'sirler asti'nda o'zgeris ni'zamlari'n u'yrenetug'i'n iliminin' ha'r qi'yli' pa'nler arasi'ndag'i' bo'limi. Materialtani'w u'yrenetug'i'n qa'siyetlerde zatlardi'n' strukturasi', bul zatlardi'n' elektronli'q, ji'lli'li'q, ximiyali'q, magnitlik, optikali'q ha'm basqa da qa'siyetleri kireti. Materialtani'wdi' fizika menen ximiyani'n' materiallardi'n' qa'siyetlerin u'yrenetug'i'n bo'limine jatqari'wg'a boladi'. Usi'ni'n' menen birge bul ilim materiallardi'n' strukturasi'n izertlewge mu'mkinshilik beretug'i'n bir qatar usi'llardi' paydalaniadi'. Sanaatta ilimdi ko'p talap etetug'i'n buyi'mlardi', a'sirese mikro- ha'm nanoo'lshemlerdegi ob'jeiktlerdi do'retkende materiallardi'n' xarakteristikalarini, qa'siyetlerin ha'm quri'li'si'n toli'q biliw

kerek. Bul ma'selelerdi sheshiwge materialtani'w ilimi bag'i'shlang'an.

*Metall quymalar* – metallardi'n' (ayi'ri'm jag'daylarda metall emeslerdin') atomlari'ni'n' eki yamasa onnan da ko'p sorti'nan turatug'i'n makroskopiyalı'q jaqtan bir tekli sistemalar.

*Metall quymalardi'g'i' ximiyali'q birikpe* - singulyarli'q noqatqa iye quymani'n' kurawshi'lari'nan turatug'i'n arali'qli'q faza.

*Perexodnoy element* – ko'shpeli element.

*Singulyarli'q noqat* - qa'siyettin' quram boyi'nsha tuwi'ndi'si' u'ziliske tu'setug'i'n "quram – qa'siyet" iymekligindegi maksimum.

*Sorbciya* – qatti' dene yamasa suyi'qli'q ta'repinen qorshap turg'an ortali'qtan qanday da bir zatti'n' juti'li'wi'. Juti'wshi' deneni sorbent, al juti'latug'i'n zatti' sorbat dep ataydi'.

*Termodinamika* - termodinamikali'q ten' salmaqli'qta turg'an makroskopiyalı'q fizikalı'q sistemalardi'n' en' uli'wmali'q qa'siyetleri ha'm usi' hallar arasi'ndag'i' o'tiw processleri haqqi'ndag'i' ilim.

*Termodinamikali'q sistema* - haqi'yqi'y yamasa oydag'i' shegaralar menen ayi'ri'li'p turg'an ken'isliktin' zatlar menen tolti'ri'lg'an bo'limi. Bul bo'limnin' ishinde oni' qurawshi' materialli'q ob'jeektlerdin' sistemalari' arasi'nda energiya menen zat alamasi'w processlerinin' ju'riwi mu'mkin.

*Termodinamikali'q ten' salmaqli'q* - termodinamikali'q sistemani'n' hali', si'rtqi' ortalı'qtan izolyaciyalang'an sistema bazi' bir jetkilikli waqi't ishinde sistema usi'nday halg'a o'tedi. Bunday hal sistemani'n' termodinamikali'q parametrlerinin' o'zgermeytug'i'nli'g'i', bul sistemada energiya menen zatti'n' ag'i'si'ni'n' joqlig'i' menen xarakterlenedi. Ko'p bo'lekshelerden turatug'i'n fizikalı'q sistemalardag'i' termodinamikali'q ten' salmaqli'qti'n' ornaw processin *relaksaciya* dep ataydi'.

*Tozi'w (starenie)* – o'jire temperaturalari'nda uzaq waqi't uslap turi'wdi'n' (ta'biyyiy tozi'w) yamasa qi'zdi'ri'wdi'n' (jasalma tozi'w) na'tiyjesinde materialdi'n' fizikalı'q ha'm ximiyali'q qa'siyetlerinin' o'z-o'zinen o'zgeriwi.

*Shiyki zat* – bunnan bi'lay qayta islew ushi'n arnalg'an zat.

*Tiykarg'i' materiallar* – o'nimdi sog'i'w ushi'n tikkeley jumsalatug'i'n (paydalani'latug'i'n) material, bunday material o'nimnin' tiykarg'i' zatli'q bo'limin quraydi'.

*Substruktura (juqa struktura)* - ju'da' u'lken u'lkeytiwlerde baqlanatug'i'n kristalli'q zatlardi'n' tu'yirtpereklerinin' ishindegi struktura.

*Fazali'q ten' salmaqli'q* - ko'p fazali'q sistemani'n' mtermodinamikali'q ten' salmaqli'q hali'.

*Shi'ni'qti'ri'w* – materiallardı' termo qayta islew boli'p, oni'n' ma'nisi materialdi' da'slep qi'zdi'ri'p, bunnan keyin tez salqi'nlati'wdan ibarat. Bul ila'j materialdi'n' joqari' temperaturalı' hali'n saqlap qali'w yamasa a'ste-aq'i'ri'nli'q penen salqi'nlatqanda ju'riwi bolatug'i'n jag'i'msi'z processlerdi boldi'rmaw ushi'n islenedi.

*Evtektikali'q aylani's (quymalardag'i)* dep berilgen sistema ushi'n en' to'mengi ja'ne turaqli' temperaturalada bir waqi'tta eki fazani'n' kristallani'wi'na aytadi'. Al evtektoidi'q aylani's ekinshi kristallizaciyyadag'i' tap sonday processke sa'ykes keledi.

## A'debiyatlar

1. Г. Н. Елманов, А. Г. Залужный, В. И. Скрытный, Е. А. Смирнов, В. Н. Яльцев. Физическое материаловедение. Учебник для вузов. В 6 томах. Том. 1. Физика твердого тела. Москва. МИФИ, 2007. 636 с.

2. В. В. Нечаев, Е. А. Смирнов, С. А. Кохтев, Б. А. Калин, А. А. Полянский, В. И. Стациенко. Физическое материаловедение. Том 2. Основы материаловедения. Учебник для вузов в 6 т. Москва. МИФИ. 2007. 608 с.

3. Физическое материаловедение. Учебник для вузов. В 6 томах. В. В. Нечаев, Е. А.

Смирнов, С. А. Кохтев, Б. А. Калин, А. А. Полянский, В. И. Стаценко. Том. 2. Основы материаловедения. Москва. МИФИ. 2007. 608 с.

4. Б.Н.Арзамасов, И.И.Сидорин, Г.Ф.Косолапов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин, Н.М.Рыжов, В.И.Стилаева, Н.В.Ульянова. Материаловедение. Учебник для высших технических учебных заведений. Москва. "Машиностроение". 1986. 384 с.

5. С.С.Горелик, М.Я.Дашевский. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. Учебник для вузов. Москва. МИСИС. 2003. 480 с.

## **Қосымша**

1. В.М.Авдюхина, Д.Батсурь, В.В.Зубенко. Рентгенография. Спецпрактикум. Издательство Московского университета. Москва. 1986. 240 с.

2. Ю.П.Солнцев, Е.И.Пряхин. Материаловедение. Санкт-Петербург. Химиздат. 2007. 784 с.

3. Г.А.Барышев. Материаловедение. Издательство Тамбовского государственного университета. Тамбов. 2007. 140 с.

4. Ю.М.Лахтин, В.П.Леонтьева. Издательство "Машиностроение". Москва. Материаловедение. 1990. 528 с.

5. М.А.Худяков. Материаловедение. Издательство "Монография". Уфа. 2006. 238 с.