

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

Fizika-matematika fakulteti

Uli'wma fizika kafedrası'

FIZIKALI'Q MATERIALTANI'W

pa'ni boyi'nsha

LEKCIYALAR TEKSTLERI

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' ilimiy-metodikali'q ken'esinin' 2013-jil 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'
ilimiy-metodikali'q ken'esinin' 2013-jil 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'
ilimiy-metodikali'q seminari'ni'n' 2013-jil 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' klassifikatsiyasi' 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' bakalavrlardi'n' baslang'i'sh bilimlerge iye boli'wi' na'zerde tuti'lg'an.

Kirisiv

"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 islew din' usi'llari'n, materiallardi'n' qa'siyetlerinin' ekspluatatsiyalaw 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'ri 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 materiyanin' 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'rseni (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'nimnin' tiykarg'i' zatli'q bo'limin quraydi'.

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).

Buyi'm (produksiya) – adam miynetinin' aqi'rg'i' na'tijesi.

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 ilimnin' 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'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' paydalanadi'. Sanaatta ilimni ko'p talap etetug'i'n buyi'mlardi', a'sirese mikro- ha'm nanoo'lshemlerdegi ob'ektlerdi do'retkende materiallardi'n' xarakteristikalarin', qa'siyetlerin ha'm quri'li'si'n toli'q biliw

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

Materiallardin' quri'li'si' menen qa'siyetlerin biliw principialli'q jaqtan pu'tkilley jan'a materiallardin' ha'm ha'tte industriyadag'i' jan'a bag'darlardn' 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, mexanikalı'q qa'siyetlerdi ani'qlawshi' usi'llar, kalorimetriya, magnitlik rezonans, termografiya ha'm basqalar.

Materialtani'wdag'i' izertlewlerdin' bag'darlari':

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Termodinamika – fazalardı'n' orni'qli'g'i'n ha'm o'zgerislerin u'yreniw, fazalı'q diagrammalardı' quri'w ushi'n.

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

- Kinetika – zatlardı'n' fazalı'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.

- Qatti' deneler ximiyasi' – qatti' fazada boli'p o'tetug'i'n ximiyalı'q processlerdi u'yreniw ushi'n.

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

Materialdı'n' qurami' – materialdag'i' qurawshi'lardı'n' mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'. Quramlardı' qurawshi'lardı'n' ta'biyati' boyi'nsha bir birinen ayi'radi'. Mi'sali' ximiyalı'q mineralli'q ha'm basqa da quramlardı' izertlew mu'mkin.

Ximiyalı'q kuram – materiallardı'n' qurami'nda ximiyalı'q elementlerdin' yamasa olardı'n' birikpelerinin' (mi'sali' oksidlerdin') mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'.

Mineralli'q quram - tas materiallardı'n' kurami'ndag'i' minerallardı'n' mug'dari'ni'n' sanli'q xarakteristikasi'.

Materialdı'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'.

Materialdı'n' strukturasi' – zatti' qurawshi' qurawshi'lardı'n' formasi', o'lshepleri ha'm bir birine sali'sti'rg'anda qalayi'nsha jaylasqanli'g'i'ni'n' xakteri. Atomli'q-kristalli'q struktura – zattag'i' atomlar menen molekulalardı'n' bir birine sali'sti'rg'andag'i' jaylasi'wi'.

Materialdı'n' quri'li'si' - materialdı' basqa materiallardan ayi'ri'p turatug'i'n belgi.

Materialtani'wdi' u'yreniwdegi sheshiliwi kerek ma'sele mi'nadan ibarat: qurami', quri'li'si', strukturasi'ni'n' materiallardı'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'biyiy 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'biyiy materiallardi' ta'biyiy 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'biyiy qumdi' keltiriw mu'mkin. Tek ayi'ri'm jag'daylarda g'ana kumdi' da'neshelerinin' o'lshemleri boyi'nsha ha'r qi'yli' sortlarg'a bo'ledi.

Jasalma materiallar – ta'biyiy 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' jaylasi'wlari'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'qti'n', 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°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 jaylasi'wi' 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' qosi'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'biyatta 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' formasi'n 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'rizli (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 qurami' 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'.

Eriqen zatlardi'n' koncentraciyasi' boyi'nsha eritpelerdi toyi'ng'an, toyi'nbag'an ha'm asa toyi'ng'an dep u'shke bo'ledi. Eriqen 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'ldir 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 ortalig'i', eritkish) bir tekli ortalig'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'lkenligine (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 mikroskopti'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) qi'zdi'rg'anda yamasa ti'g'i'zli'g'i'n kemeytkende gazlerdin' qa'siyetlerine jaqi'nlasig'w'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', qi'si'lg'i'shli'g'i', ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i', elektr o'tkizgishligi ha'm basqalar) sa'ykes qatti' 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' orientaciyali'q ta'rtip payda etedi. Suyi'q kristallardag'i' orientaciyali'q ta'rtipleskenlik bettin' hali'nan g'a'rezli ha'm basi'mni'n', mexanikali'q ju'k tu'siriwdin', elektr, magnit maydanlari'ni'n', qi'zdi'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' qatti' 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'qtagi' tarti'si'w ha'm iytirisiw ku'shlerinin' qosi'ndi'si'nan turadi'. Bul ku'shlerdin' ta'sir etiw radiusi' 10 nm den (nanometrdan) 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' qatti' 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. Qatti' 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'sirlesiw menen ani'qlanadi'. Bunday ta'sirlesiwdi baylani's dep ataydi'. Ximiyali'q ha'm molekulali'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' shamasini' 1,5 ... 4 Å arali'g'i'nda boladi'. Ximiyali'q baylani'sti'n' energiyasi'ni'n' shamasini' 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 iytirisiw 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 elektroni' 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'miynleydi.

Usi'nday molekulalar si'pati'nda NaCl molekulasini ko'rsetiw mu'mkin. Bul molekulanini ionlar tu'rinde bi'lay jazi'w mu'mkin Na^+Cl^- . Na^+ menen 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 iyerisiw energiyasi' da bar (iyterisiw ha'r bir ionni'n' belgili bir ko'lemde iyelewine baylani'sli', ion menen iyelengen ko'lemge basqa ionlar kire almaydi'). Usi' iyerisiw na'tiyjesinde ionlar bir birine kishi arali'qlarg'a jaqi'nlasa almaydi'. Iyerisiw ku'shleri kishi qashi'qli'qlarda u'lken ma'niske iye boli'p, qashi'qli'q u'lkeygende tez kishireyedi. NaCl molekulasini'n' dissociyasi' 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 molekular 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' molekularlari'n' qalay payda bolatug'i'nli'g'i' tu'sindire almaydi'. Onday molekular si'pati'nda, mi'sali', O_2 , N_2 , N_2 molekulari'n' ko'rsetiwge boladi'. Bul molekularlari'n' qurami'ndag'i' atomlari'n' ekewi de ten' huqi'qli'. Sonli'qtan olardi'n' birewi on', ekinshisi teris zaryadlanadi' dep ayta almaymi'z. Usi'nday molekularlari'n' atomlari'n' arasi'ndag'i' baylani's **kovalent baylani's** dep ataladi'.

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

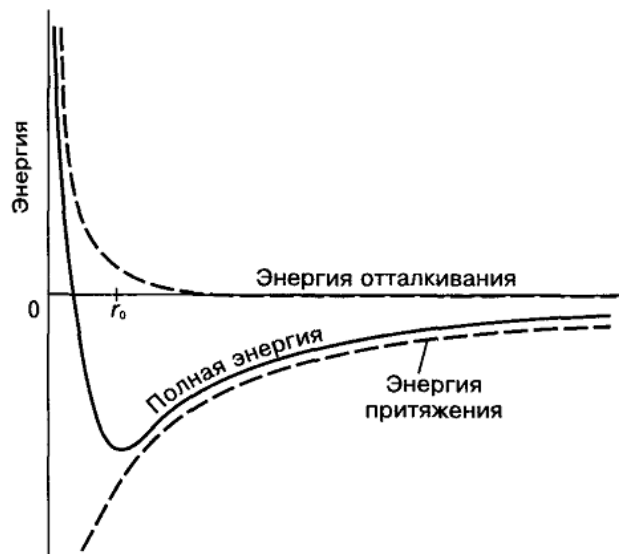
Eki on' zaryad bir birinen iyeriledi. Usi' eki birdey bolg'an zaryadti'n' ortasi'na absolyut ma'nisi boyi'nsha eki on' zardti'n' qosi'ndi'si'na ten' teris zaryadlang'an bo'leksheni jaylasti'rayi'q. Bunday jag'dayda teris zaryad ta'repinen on' zaryadlang'an bo'lekshelerge on' zaryadlang'an bo'lekshelerdin' iyerisiw ku'shinen 4 ese u'lken bolg'an tarti'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 molekulari'n' payda boli'wi' ushi'n baylani's du'ziwshi eki atom si'rtqi' elektron qabi'g'i'nda jaylasqan elektronlardan ortalı'qqa elektronlari'n' shi'g'aradi'.

Birdey belgige iye zaryaqqa iye bo'leksheler bir biri menen iyerisedi.	
Eger on' zaryadli' bo'leksheler ortasi'na absolyut shamasi' on' zaryadta' bolg'an teris zaryadli' bo'leksheler ornatil'ri'lsa on' zaryadlang'an bo'lekshelerge iyerilisiw ku'shinen 4 ese arti'q bolg'an tarti'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'.	

Qatti' denelerdegi molekular arali'q ku'shler. Qatti' haldag'i' molekular arasi'ndag'i' baylani's energiyasi' olardi'n' ji'lli'li'q qozg'ali'si'ni'n' kinetikali'q energiyasi'nan arti'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 atomlardi' tek molekularlarda uslap turi'wda g'ana emes, al molekular menen atomlardi' qatti' 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 elektronlardi'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 arasi'nda tarqaladi'. A'dette bul elektronlar ionlar arali'qlari'nda baylani's bag'i'tlari' dep atalatug'i'n bag'i'tlarda koncentraciyalang'an boladi'. Ionli'q kristallarda elektronli'q bult ionlardi'n' a'tirapi'nda ji'ylang'an, al ionlar arasi'nda bunday ionlar derlik bolmaydi'.

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

Suyi'qli'qlarda molekular arasi'ndag'i' qashi'qli'q az, molekular suyi'qli'q iyelegen ko'lemdi ti'g'i'z etip tolti'ri'p turadi' ha'm bir birine sali'sti'rg'andag'i' ori'nlari'n a'ste-aqi'ri'nli'q penen o'zgertedi. Sali'sti'rmali' uzaq waqitlar ishinde molekular birigip molekular asociaciyalari'n payda ete aladi'. Bul molekular o'zinin' qa'siyetleri boyi'nsha qatti' denelerdi eske saladi'.

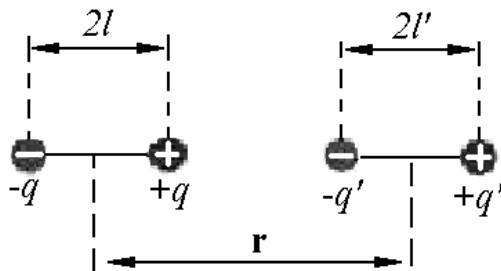
Solay etip suyi'qli'qlar o'zinin' quri'li'si' ha'm molekulari' arasi'ndag'i' baylani'slari' boyi'nsha gazlerdin' qa'siyetlerine de, qatti' denelerdin' qa'siyetlerine de iye boladi'. Sonli'qtan suyi'qli'qlar teoriyasi' sali'sti'rma tu'rde quramali' ha'm to'men izertlengen.

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

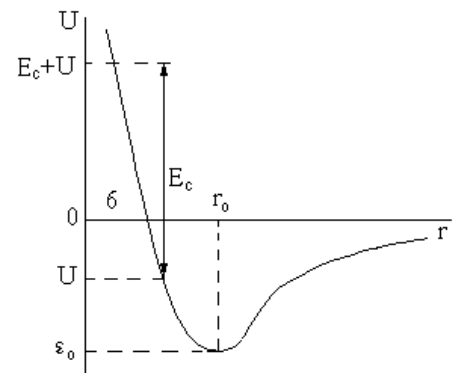
Qurami'ndag'i' teris ha'm on' zaryadlari' bir birine sali'sti'rg'anda awi'sqanda neytral molekula elektrlik jaqtan dipolge aylanadi' (1-su'wret).

Dipol elektr momenti menen ta'riplenedi. Dipol momenti zaryad mug'dari' menen usi' zaryadlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qti'n' ko'beymesine ten' ($r = e \cdot d$). 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-orientatsiyali'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 potentsiali'.

Molekulalar arasi'ndag'i' ta'sir etisiwdin' potentsiali'. Kishi qashi'qli'qlarda molekulalar arasi'nda iytirisiw ku'shleri ori'n aladi'. Iytirisiw 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 iytirisiw 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 iytirisiw 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'rdeminde 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'pshilik jag'daylarda $n = 12$, $m = 6$, ayqi'n atomlar ushi'n ali'ng'an a_1 menen a_2 lerd e 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 teoriyasi'nda ken'nen qollani'latug'i'n bul potencial **Lennard-Djons potentsiali'** 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'rizli hallar. Molekulalar arasi'ndag'i' o'z-ara 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 qoyilg'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 qatti' 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 keru bag'i'tta rawajlanadi' - molekulalar sistemasi' suyi'q haldan gaz ta'rizli 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 – ximiyali'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'biletligi. Usi'nday ha'r bir kristalli'q quri'li'sti' polimorfli'q modifikaciya dep ataydi'. Polimorfli'q modifikaciya tek belgili bir temperaturalar ha'm basi'mlar oblastlari'nda g'ana orni'qli'. Bunday oblastlardi'n' si'rti'nda modifikaciya 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 modifikaciyaning α arqali', joqari'raq temperaturalarda orni'qli' bolg'an modifikaciyaning β , al onnan da joqari'raq temperaturalarda orni'qli' bolg'an modifikaciyaning γ arqali' (ha'm tag'i' basqalar) belgilew qabi'l etilgen.

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

basqalar) asti'nda ju'zege keledi. Polimofri'q modifikაციyalardi'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 modifikაციyalari'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'mkinshilikni 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'q emes hali'n metastabill faza dep ataydi'.

Ha'r bir zat bir yamasa bir neshe fazadan (qatti', suyi'q ha'm gaz ta'rizli) 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 ortalik'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'zgergende 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' xakteri 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' juti'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'qti' qaynaw temperaturasi'nan joqari' temperaturag'a shekem qi'zdi'ri'w yamasa qati'w temperaturasi'nan to'mengi temperaturalarag'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 potencillari' sekirmeli tu'rde o'zgermeydi. 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'rtplesiwidin' 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 sistemani'n' hali' $F(p,T,\eta)$ termodinamikali'q potentsiali' menen ta'riplenetug'i'n bolsi'n $[T$ en' salmaqli'q hali'nda $F(p,T,\eta)$ funkciyasi' η

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'rindagi 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'rindagi 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 Φ 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' saldari'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 potentsial ushi'n an'latpa tek η 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 θ 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'tiwdeg'i entropiyani'n' o'zgerisi ΔS penen ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' o'zgerisi Δc_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'rtplespegen fazadag'i' entropiya menen ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i' belgilengen.

Ginzburg ta'repinen do'retilgen segnetoelektriklerdin' termodinamikali'q teoriyasi'nda joqari'da atap o'tilgen jag'daylar ha'm olardi'n' tiykari'nda ali'ng'an (5)-(6) formulalar paydalani'lg'an. Spontan polyarizatsiya P_s ta'rtpleskenlik faktori' η ushi'n xarakterli bolg'an qa'siyetlerge iye bolg'anli'qtan (ta'rtplespegen fazada $P_s = 0$ ha'm ta'rtplesken fazada $P_s \neq 0$) si'rtqi' E maydani' bolmag'anda $F(\eta)$ funktsiyasi'ni'n' tu'rine uqsas tu'rge iye boladi' [(2)-formula] Eger E nolga teng bolmasa, onda F ushi'n jazi'lg'an an'latpada toli'q polyarizatsiya $P = P_s + P_i$ qatnasadi' (bul an'latpada P_i arqali' si'rtqi' elektr maydan ta'repinen payda etilgen polyarizatsiya 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'qti'ratug'i'n xarakteristikalarini alami'z. $\frac{\partial \Phi}{\partial P} = 0$ ha'm $\frac{\partial^2 \Phi}{\partial P^2} > 0$ shartlarini

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

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

Maydan bolmag'anda (8a) tenglamasi mi'nani' beradi:

$$T < \theta \text{ sharti orinlang'anda } P_s^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha'_\theta}{\beta} (\theta - T); \quad (9a)$$

$$T > \theta \text{ sharti orinlang'anda } P_s^2 = 0. \quad (9b)$$

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

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

Dielektriklik sin'irgishlik $P_s = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} E$ shamasini (8a) an'latpasi'na qoyg'annan keyin (9)- tengliklarni esapqa alg'an halda alinadi':

$$T > \theta \text{ sharti orinlang'anda } \varepsilon = 1 + \frac{2\pi}{\alpha'_\theta (T - \theta)}; \quad (11a)$$

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

$\varepsilon(T)$ 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 $C = \frac{2\pi}{\alpha_{\theta}}$ shamasi' Kyuri turaqli'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' koeficientlerdin' san shamasi'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'tiwlerinin' "u'zliksiz gammasi'n" payda etedi. Haqi'yqati'nda da II a'wlad fazali'q o'tiwlerinin' teoriyasi'na sa'ykes F ushi'n jazi'lg'an (7.8)-an'latpada β koeficientinin' ma'nisi nolden u'lken, yag'ni'y $\beta > 0$. Eger $\beta < 0$ ten'sizligi ori'nlanatug'i'n bolsa, onda 4-ta'rtpi ag'zalar menen shekleniwge bolmaydi' (F ushi'n minimum sha'rti ori'nlanbaydi'). Bunday jag'dayda 6-da'rejege proporcional bolg'an ag'zalardi' esapqa ali'wg'a tuwri' keledi

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

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

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

β shamasi'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

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

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

Usi' 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 λ -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 β shamasi' nolge teppe ten'. Biraq β ni'n' shamasi' 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'rezliliknin xarakteri $\beta \equiv 0$ bolg'an jag'daydag'i'dan azmaz g'ana o'zgeshelikka iye boladi'.

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

Ta'rtiplesken ha'm ta'rtiplespen 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 shamasii' sekirmeli tu'rde o'zgeredi. Termodinamikali'q potentsiallardi'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'ligine iye bolami'z.

Bul jerde α shamasii' $T = \theta_1$ noqati'nda nolga aylanbaydi'. II a'wlad fazali'q o'tiwini ayi'rmasii', bul jag'dayda fazali'q o'tiw $\Phi_{P_s \neq 0}$ yamasa $\Phi_{P_s = 0}$ hallari'ni'n' biri metaorni'qli' boli'p qaladi'. Sonli'qtan α shamasii'n fazali'q o'tiw oblasti'nda bi'layi'nsha ko'rsetken qolayli':

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

(6)-formulani' paydalani'p $\varepsilon(T)$ funkciyasi'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'irgishliknin sekirmeli tu'rdegi o'zgerisi $\Delta\varepsilon = \frac{3\pi}{2\alpha_{\theta_1}}$ ge ten' boladi'. Fazali'q o'tiwidin' jasi'ri'n ji'lli'li'g'i' entropiyani'n' sekirmeli o'zgerisi boyi'nsha bi'layi'nsha tabi'ladi':

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

Usi' 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 tabi'ladi'. YAg'ni'y α ha'm β 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 shamasii' boyi'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 polyarizatsiyasi' P_s tin' bir qurawshi'si' menen ta'riyiplenedi ha'm usi'g'an sa'ykes kristall tek bir segnetoelektriklik ko'sherge iye boladi'.

Landau teoriiyasi'ni'n' tiykari'nda simmetriyani'n' o'zgeriwi menen baylani'sli' bolg'an fazali'q o'tiwler jatatug'i'n bolg'anli'qtan u'sh o'lshemli jag'daylar ushi'n F termodinamikali'q funkciyani' fazali'q o'tiwidin' saldari'nan kristaldi'n' simmetriyasi'ni'n' mu'mkin bolg'an barli'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 η ha'm boli'wi' kerek ha'm eki faza da (joqari'raq ha'm to'mengi simmetriyali' eki faza da) F funkciyasi'ni'n' minimum boli'wi'n qanaatlandi'ri'wi' kerek.

Fazali'q o'tiwdi simmetriya teoriyasi' pozitsiyasi'nda turi'p ta'riyiplew ushi'n mi'na jag'daydi' esapqa ali'wi'mi'z sha'rt: ha'r bir fazani'n' termodinamikali'q potentsiali' usi' fazani'n' simmetriya gruppasi'n' payda etetug'i'n barli'q simmetriyali'q operatsiyalarg'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 gruppasi'n' o'zinin' podgruppasi'na o'tiwi menen ju'zege keledi. Sonli'qtan ta'rtpleskenlik faktori' da simmetriyali'q operatsiyalar menen sonday baylani'sta boli'wi' kerek, usi' faktordi'n' o'zgerisi gruppada'g'i' simmetriyali'q elementlerdin' sani'ni'n' o'zgerislerine sa'ykes boli'wi' sha'rt. Fazali'q o'tiwlerdi usi'nday jollar menen ta'riyiplew II a'wlad fazali'q o'tiwleri ushi'n Landau ha'm Lifshic ta'repinen rawajlandi'ri'ldi'.

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

4. Zatlardi'n' strukturali'q bo'lekshelerinin' o'zinshe sho'lkemlesiw

Barli'q zatlardi'n' quri'li'si' ushi'n en' uli'wmali'q jag'day o'zinshe sho'lkemlesiwge (barli'q bo'lekshelerdin' jaylasi'wi'ndag'i' ta'rtpke) umti'li'w boli'p tabi'ladi'. Bul jag'day ta'biyatti'n' mi'naday a'hmiyetli ni'zami'nan kelip shi'g'adi': energiyasi' minimalli'q bolg'an sistemani'n' xali' en' orni'qli' hal boli'p tabi'ladi'. Bir birinen izolyatsiyalang'an atomlardan yamasa ko'p atomli' gruppalaridan molekullar yamasa kristallardi'n' payda boli'wi' sistemani'n' energiyasi'ni'n' kishireyiwi, usi'g'an sa'ykes sistemani'n' orni'qli'li'g'i'ni'n' jokari'lawi' menen baylani'sli'. Bul process termodinamika kursi'nda toli'q bayanlang'an.

Ten' salmaqli' emes sharayatlardag'i' zatlardi'n' strukturali'q bo'lekshelerinin' o'zinshe sho'lkemlesiw menen **sinergetika** shug'i'llanadi'. Sinergetikani'n' en' basli' principi: ten' salmaqli'qti'n' joqli'g'i' ta'rtplesiwge qaray derek.

Materialtani'w zatlardi'n' o'zinshe sho'lkemlesiw 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 atomlari' menen ha'r qi'yli' valentli baylani'slardi' du'ze ali'wi' qa'biletligi menen baylani'sli'. Na'tiyjede ha'r qi'yli' - si'zi'qli', tarmaqlarg'a bo'lingen, ciklli'q uglerodli'q skeletlerdin' payda boli'wi' mu'mkin.

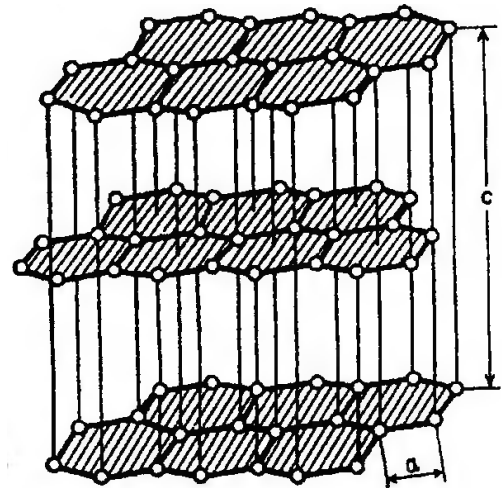
Uglerodta fizikali'q ha'm fizikali'q-ximiyali'q qa'siyetlerdin' o'zgerisleri tek oni'n' quri'li'si'na g'ana (al qurami'na emes) baylani'sli' (bunday jag'day di'm siyrek ushi'rasadi'). Al ko'p qurawshi'larg'a iye sistemalarda fizikali'q ha'm fizikali'q-ximiyali'q qa'siyetlerdin' o'zgerisleri tiykari'nan sistemani'n' qurami'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'pati'nda piroglerodti', pirografitti, shiyshe uglerodti' (stekloglerodti'), koksti', talshi'qlardi', ku'yeni, 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' joqari' da'rejede bir qa'lipli, derlik ideal tu'rde sog'i'lgan u'sh o'lsheimli polimer.

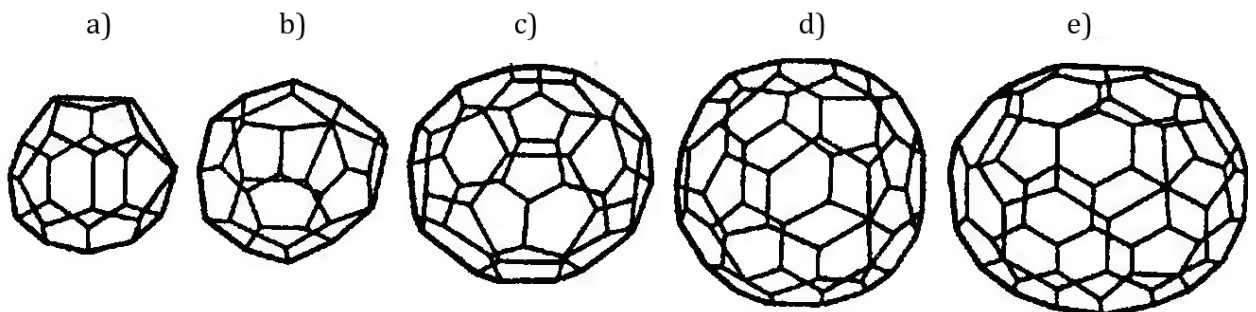
Grafit bolsa «parketli» polimer boli'p tabi'ladi'. Oni'n' quri'li'si' geksagonalli'q (3-su'wrette ko'rsetilgen). Atomlar qatlamlari' tegisliklerinde atomlar arasi'nda kovalentlik baylani'slar ori'n aladi', al qatlamlar bir biri menen Van-der-vaals ku'shleri menen baylani'sqan. Bunday jag'daydan grafitin'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

3-cu'wret.
 Grafittin' strukturasi'.
a ha'm *c* arqali' kristalli'q pa'njerenin'
 turaqli'lari' belgilengen.



Karbin - si'ziqli' 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/m³ shamasina ten'. Xamiyali'q jaqtan karbin inertli, yari'm o'tkizgishlik qa'siyetlarga iye. Jaqti'li'q tu'sirgende oni'n' o'tkizgishligi keskin tu'rde joqari'laydi'.

Fulleren - S₆₀ uglerodti'n' gipermolekulasi' (*klasteri*). S₆₀ ni'n' strukturasi' toli'q kesilgen ikosaedr. Bul iksoedrde to'belerinde atomlar joylasqan 20 alti' mu'yeshlik ha'm 12 bes mu'yeshlik bar. Ti'g'i'zli'g'i' 1300 - 1650 kg/m³. Fulleren joqari' termodinamikali'q orni'qli'li'qqa ha'm tek o'zine ta'n bolg'an ko'p sanli' qa'siyetlarga iye: asa o'tkizgishlik, radiaciya'li'q turaqli'li'q, qatti'li'q ha'm basqalar. Uglerodti'n' basqa da orni'qli' klasterleri bolg'an S₆₀, S₁₂₀, S₇₆, S₈₄ 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 molekular sistemani'n' ishinde o'zlerinin' individualligi'n saqlaydi'.

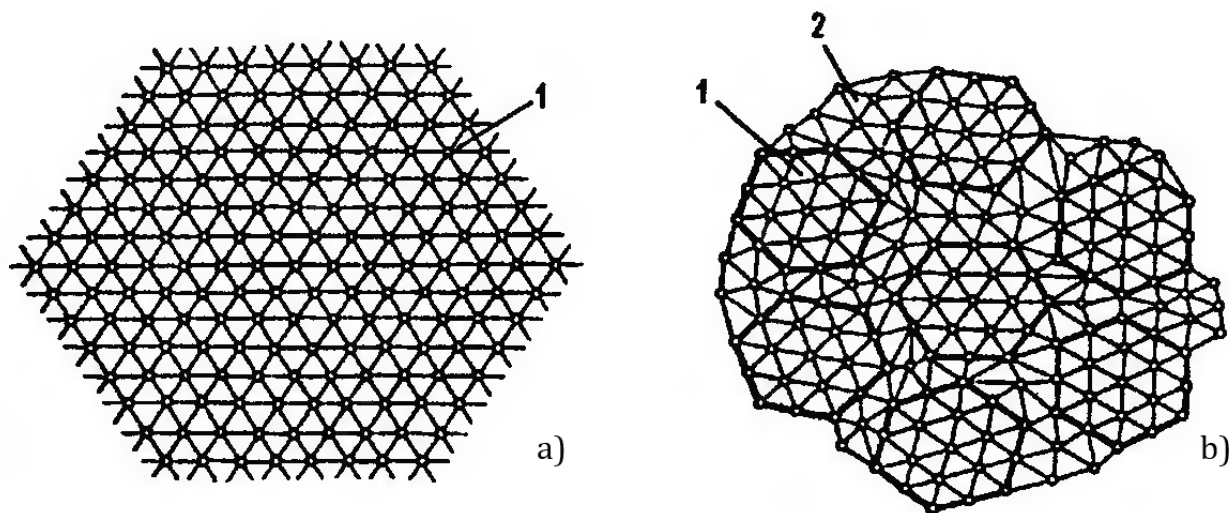
Lonsdeylit meteoritlerde tabi'ldi' ha'm laboratoriyalarda jasalma tu'rde ali'nadi'. Oni'n' strukturasi' menen qa'siyetleri usi' waqi'tlarga shekem toli'q ani'qlanbag'an.

Zatlardi'n' o'z-o'zinen sho'lkemlesivi (samoorganizatsiya veyestva) oni'n' qa'legen strukturali'q elementlerinin' ta'rtplesivi tu'rinde ko'rsetilivi mu'mkin. Zatlardi'n' quri'li'si'ni'n' ta'rtplesivi oni'n' strukturali'q bo'lekshelerinin' (atomlari', molekulalari') ta'rtplesivi, usi' atomlar menen molekulalardi' payda etiwshi elementlerdin' ta'rtplesivi (mi'sali' elektronlardi'n'), yamasa olardi'n' ken'isliklik orientatsiyalari'ni'n' ta'rtplesivi qa'ddinde boladi'.

Atomlar arasi'ndagi' qashi'qli'qlar menen barabar kashi'qli'qlardagi' ta'rtplesiwdi jaki'nnan ta'rtplesiw, al sheksiz u'lken qashi'qli'qlarg'a shekem tarqalatug'i'n ta'rtplesiwdi

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

Uzaqdan ta'rtplesiw 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. Uzaqdan ta'rtplesiwidin' basli' belgisi qa'siyetlerdin' anizotropiyasi'nda ko'rinedi. Bunday jag'dayda metall quymalardi'n' strukturasi' belgili bir sharayatlarda kristalli'q pa'njerenin' 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' uzaqdan ta'rtplesiw (a) ha'm jaqi'nnan ta'rtplesiw (b) jag'daylari'ndag'i' jaylasi'wlari': 1 - zatti'n' bo'lekshelerin ta'rtp penen jaylasqan quri'li'sti'n' elementi; 2 - bo'lekshelerdin' ta'rtpsiz jaylasi'wlari'.

Jaqi'nnan ta'rtp suyi'q ha'm amorfli' zatlarda ju'zege keledi. Bunday ob'ektlar 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'rtplesiw principialli'q jaqdan pu'tkilley ha'r qi'yli'. Amorfli'q zatlarda jaqi'nnan ta'rtplesiw ploiklasterklik boli'p tabi'ladi' (mi'sali, politetraedrlik), al kristalli'q quri'li's ushi'n klasterlerdin' u'sh o'lshe'mli ken'isliktegi jaylasi'wlari' xarakterli.

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

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

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

Suyi'qli'q gaz ta'rizli 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'qti'n' ishki energiyasi' xi'zmet etedi. Puwlani'w di'n' saldari'nan suyi'qli'q salqi'nlaydi' (temperaturasi' to'menleydi).

Suyi'q hal – qatti' hal fazali'q o'tiwi. Qatti' zat temperatura to'menlegende usi' zatti'n' suyi'qli'g'i'nan yamasa gaz ta'rizli xali'nan atomlardi'n' (molekulalardi'n') bir birine jaqi'nlas'i'wi'ni'n' ha'm olardi'n' kristallikke (kristallizaciya orayi') toparlasi'wi'ni'n' saldari'nan payda boladi'. Kristallizaciya oraylari' tek mikroko'lemlerde payda boladi'. Bul

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

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

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

Da'slepki kristallizatsiya. Kristalli'q zatti'n' suyi'q (eriw) ha'm keriy qaray qatti' halg'a (qati'w) fazali'q o'tiwi berilgen zat ushi'n basi'mnan g'a'ezli 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 kristallizatsiya temperaturasi'na ten'.

Balqi'w menen suyi'qli'qti'n' qatti' halg'a o'tiwi belgili bir mug'dardag'i' ji'lli'li'qti'n' sa'ykes juti'li'wi' yamasa shi'g'ari'li'wi' menen ju'redi. Balki'w ji'lli'li'gi'ni'n' shamasii' qati'w ji'lli'gi'ni'n' shamasii'na ten'. Denenin' temperaturasi' balqi'w yamasa kati'w processinde o'zgerissiz qaladi'. Sebebiprocestin' ji'lli'li'gi' deneni qizdi'ri'w yamasa salqi'nlati'w ushi'n emes, al atamlar arasi'ndagi' baylani'slardi' u'ziw yamasa usi'nday baylani'slardi'n' payda boli'wi' (yag'ni'y uzi'qtan ta'rtiptin' payda boli'wi' yamasa buzi'li'wi') ushi'n jumasaladi'.

Kristallizatsiya bazi' bir sheklik sharayatqa jetken waqi'tta baslanadi'. Bunday sharayat retinde suyi'qli'qti' asa salqi'nlati'wdi' yamasa puwdi' asa toydi'ri'wdi' ko'rsetiwge boladi'. Bunday jag'dayda bir zamatta ko'p sanli' kristallikler – kristallizatsiya oraylari' payda boladi'.

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

6. Kristallardi'n' payda boli'wi'ni'n' (o'siwinin') fizikali'q mexanizmlari

Ha'zirgi waqi'tlari' millionlag'an kristalli'q zatlar belgili. Olardi'n' ishine sali'sti'rmali' a'piwayi' 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 sanli' atomlardi'n' ayri'qsha tu'rde jaylasi'wlari' menen baylani'sli'. Biraq usi' jag'daylarg'a qaramastan bul kristallardi'n' barli'gi' da ko'p sanli' emes, biraq bir birine sali'sti'rg'anda ha'r qi'yli' boli'p jaylasqan atomlardan turadi'. Atomlar arasi'ndagi' elektromagnitlik ta'sirlesiwler atomlardi'n' bir biri menen baylani'si'wi'n ha'm kristalli'q pa'njerelerdin' ha'r qi'yli' tiplerinin' payda boli'wi'n ta'miyinleydi. Bul processte zaryadlardi'n' ta'sirlesiwini' elektrostatikali'q energiyasi' tiykarg'i' ori'ndi' iyeleydi. Ayi'ri'm jag'daylarda magnitlik ta'sirlesiwidin' de u'lesi ko'rinedi. Biraq magnitlik ta'sirlesiwidin' u'lesi elektrostatikali'q ta'sirlesiwidin' u'lesine sali'sti'rg'anda a'dewir kishi boladi'. Joqari'da atap o'tilgen ta'sirlesiwler atomli'q elektronli'q qabi'qlar si'yaqli' belgili bir simmetriyag'a iye boladi'. Sonli'qtan atomlar da bir biri menen simmetriyali' bolg'an quri'li'slardi' payda etip kristalli'q denelerdi payda etedi. Bunday simmetriyali'q quri'li'slar haqqi'nda joqari'da ga'p etildi. Tap usi'nday sebeplerge baylani'sli' xarakteristikalari' boyi'nsha bir birine jaqi'n atomlar atomlari'ni'n' jaylasi'wi' bir birine sa'ykes keletug'i'n strukturalardi' payda etedi. Kristallardi'n' du'zilisini' uli'wmali'q ni'zamli'qlari'n bile oti'ri'p jan'a quri'li'slardi' boljaw, qolda bar kristalli'q materiallardin' fizikali'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetlerin jaqsi'law mu'mkin.

Ha'zirgi waqi'tlari' atomlardi'n' bir biri menen baylani'si'ni'n' xarakteri boyi'nsha kristallardi' 5 tipke ayi'radi':

- 1). Ionli'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'nlaridi' iyeleydi.

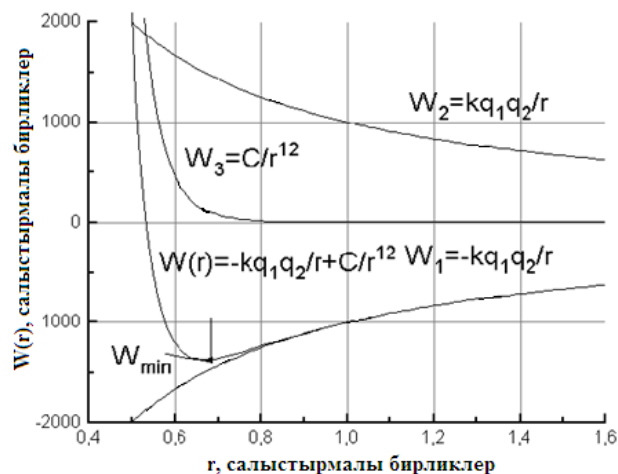
Kristallardi' joqari'dag'i'day ta'rtipte bo'liwdin' qatan' tu'rdegi qag'i'ydasi' joq. Sebebi sonday tiplerdin' arasi'ndag'i' baylani'sqa iye kristallar da az emes. Baylani'sti'n' bir bo'legi kovalentlik, al qalg'an bo'legi vodorodli'q bolg'an kristalli'q zatlar de bar. Endi kristallardi' baylani'sti'n'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

Ionli'q kristallar. Ionli'q kristallar birdey beglige iye ionlardi'n' iytterisiwinin' ha'm qarama-qarsi' belgilerge iye zaryadlarg'a iye ionlardi'n' bir birine tarti'si'wi'ni'n' na'tiyjesinde qa'liplesedi. 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 iytteriw ku'shleri payda boladi'. Usi'ni'n' saldari'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 tendenciyasi' ko'rinip 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 esaplawlar na'tiyjeleri paydalani'p ionlardi'n' kristallardi'g'i' baylani's energiyasi'n tabami'z. Esaplawdi' bir birinen r qashi'qli'g'i'nda turg'an q_1 ha'm q_2 zaryadli' ionlar jubi' arasi'ndag'i' potentsialli'q energiyani' qaraymi'z:

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

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



6-su'wret.

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

Bunnan keyin ionlardi'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 energiyalari'n tabadi' ha'm olardi' bir biri menen qosi'p shi'g'adi' (summalaydi). 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 shamasi'ni'n' ten' salmaqli'q ma'nisin ani'qlaydi. Esaplang'an energiyani'n' a boyi'nsha ekinshi ta'rtpi tuwi'ndi'si'n da esaplaw mu'mkin. Bunday jag'dayda serpimliktin' ko'lemlik moduli bolg'an $B = -V(dp/dV)$ shamasi'n esaplaw mu'mkinshiligine 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'.

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

Kovalentlik kristallar. Kovalentlik kristallar atomlar arasi'ndag'i' kovalentlik baylani'slardi'n' esabi'nan payda boladi'. Al kovalentlik baylani's elektronli'q bultlardi'n' (qabi'qlardi'n') bir birine tiyisiwinin' na'tiyjesinde elektronlardi'n' bir atomnan ekinshisine o'tiwinin' na'tiyjesinde payda boladi'. Usi'ni'n' aqi'betinen atomlar arasi'nda eki atomdi' bir birine tartatug'i'n teris zaryadti'n' qoyi'wlası'wi' payda boladi'. Atom valentligine baylani'sli' bir biri menen ha'r qi'yli' mu'yeshlerdi jasap ornalasatug'i'n baylani'slardi'n' bir neshe tipin payda etedi. Kovalentlik kristaldag'i' atomlar bir biri menen kovalentlik baylani'slardi'n' esabi'nan birigedi. Qala berse baylani'slar arasi'ndag'i' mu'yeshler ha'm olardi'n' arasi'ndag'i' «uzi'nli'qlar» ha'r qi'yli' bolg'an kristallar ushi'n azmaz ayri'ladi'.

Belgili kovalentlik kristalg'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 atomi'ni'n' kovalentlik baylani'slari' ko'pshilik jag'daylarda almazdag'i' day boli'p jaylasadi'.

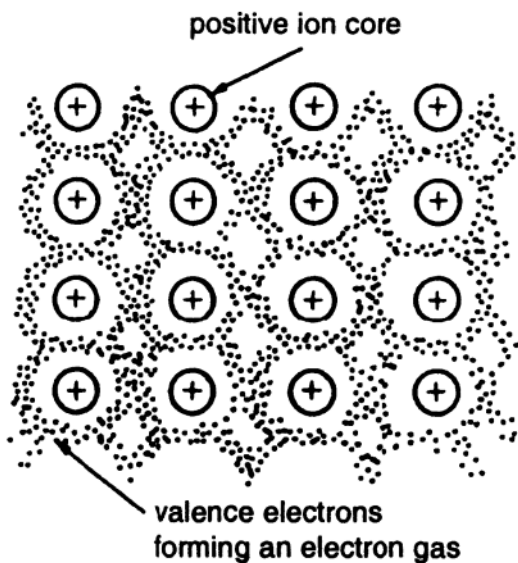
Kovalentlik kristallar jag'dayi'nda baylani's energiyasi'n esaplaw procedurasi' jetkilikli da'rejede quramali'. Sonli'qtan bunday esaplawlar jumi'si'n keltirmeymiz.

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 molekullardi'n' bo'limlerindegi kovalentlik baylani'slardi'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 arasi'ndag'i' mu'yeshler si'yaqli' tu'siniklerdi ji'yi 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 ionli'q kristallar arasi'nda kristallardi'n' ko'p sanli' arali'qli'q tipleri bar.

Bunday kristallardagi' baylani's kovalentlik ha'm polyar. Bunday baylani'sta kovalentlik baylani'sqa juwap беретug'i'n elektronli'q ti'g'i'zli'qti'n' u'lkenirek ma'niske iye bolg'an ori'nlarda ionlardi'n' 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 tol'g'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 kristaldagi' ha'r bir atomg'a sa'ykes keletug'i'n elektronlardi'n' ortasha ma'nisin ani'qlaw mu'mkin (mi'sali' difraktsiyali'q usi'llardi'n' ja'rdeminde o'tkerilgen eksperimentlerde). Bul o'z gezeginde atomlardi'n' zaryadi' haqqi'nda da, kristaldagi' baylani'sti'n' xarakteri haqqi'nda da juwmaqlar shi'g'ari'wg'a mu'mkinshilik beredi.

Metalli'q kristallar. Metalliq kristallarda atomlardi'n' si'rtqi' elektronlari' ionlardi'n' tulg'alari' (ionni'e ostovi') arasi'nda erkin qozg'ali'p ju're aladi'. Bul elektronlardi' teris zaryadlang'an bulli' payda etedi dep ko'z-aldi'g'a keltiriwge boladi'. Bul bult ishinde metaldi'n' ionlari' jaylasqan boladi'. Ionlardi'n' bir biri ha'm elektronlar bulti' menen penen ta'sirlesiw metaldagi' atomlardi'n' jaylasi'wi'ni'n' ta'rtplesiwine ali'p keledi. O'tiwshi metallarda (perexodni'e metalli') olardi'n' d qabi'qlari'ni'n' bir birine o'tiwi ha'm soni'n' aqi'betinde metaldagi' baylani's energiyasi'ni'n' u'lkeyiwine ali'p keletug'i'n kovalentlik baylani'sqa usag'an baylani's ta payda boladi'. Metallardagi' baylani's energiyasi'n esaplaw ju'da' qi'yi'n ma'seleler qatari'na kiredi ha'm sonli'qtan bunday esaplawlardi' keltirmeymiz.

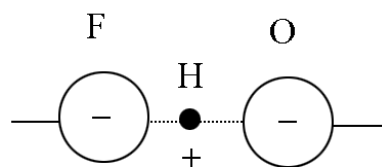


Metalli'q baylani'sti'n' payda boli'wi'n sa'wlelendiretug'i'n su'wret.

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 atomlardi'n' o'zleri basqa atomlar menen (eger ortasi'nda vodorod bolsa) polyarli'q kovalentlik baylani'sqan boli'wi' kerek. Joqari'da formulalari' keltirilgen atomlardi'n' 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 ionlardi'n' 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

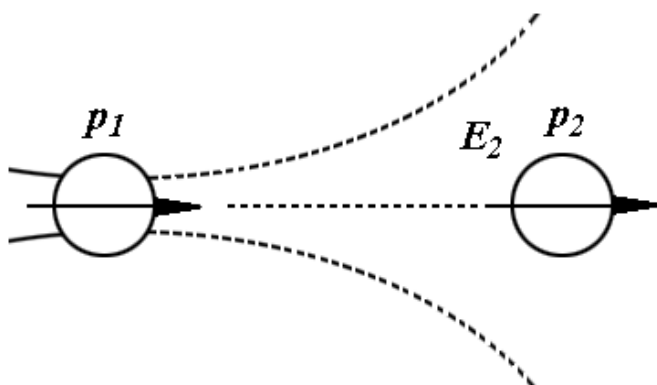
biri menen baylani'sti'radi' (7-cu'wret).



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' saldari'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' ishindeg'i 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'sirlesiwinqaraymiz. Olardi'n' oraylari' arasi'ndag'i' qashi'qli'q r ge ten' bolsin. 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 zamatli'q dipol momenti p_1 shamasi'ni'n' ma'nisi nolge ten' bolmaydi'. Bul dipol momenti 2-atom jaylasqan ori'nda E elektr maydani'n payda etedi. Bul shamani'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 β arqali' atomni'n' polyarizaciyali'wshi'li'g'i' belgilengen. Eki dipol

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

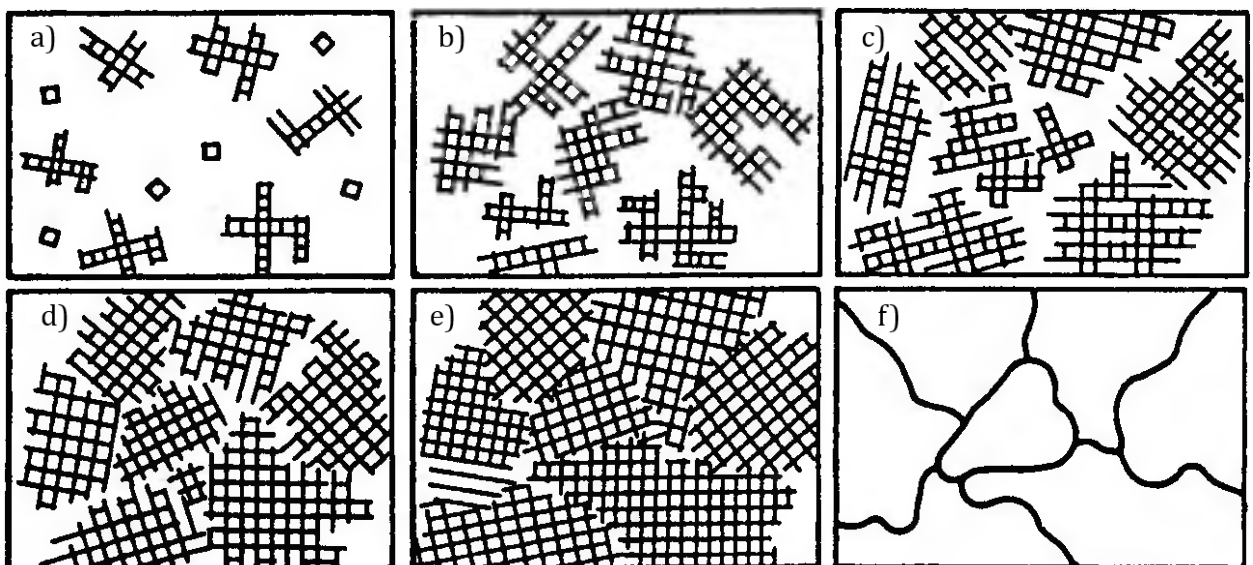
Mono- ha'm polikristalli'q zatlar. Texnikada qollani'latug'i'n materiallar menen olardi'n' bo'lekleri tek bir kristalli'q pa'njerege iye kristaldan siyrek jag'daylarda g'ana turadi'. Bunday zatlardi' monokristalli'q zatlar (yamasa monokristallar) dep ataydi'. Monokristallar tutas bir kristaldan turadi' (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 sanli' kristallani'w oraylari'nda baslanadi'. Na'tiyjede polikristalli'q zat qa'liplesedi. Eger arnawli' ila'jlar 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' polyarizatorlari'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 joqari'latadi'.

Kristallikler (kishkene kristallar) suyi'qli'qtan yamasa puwdan atomlardi' yamasa molekulalardi' qosi'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, dendirilik ha'm basqa da) ta'miyinleydi. Kristallizaciya processinde ha'r qi'yli' defektlerdin' payda boli'wi' da mu'mkin.

En' da'slepki kishi kristllardi'n' payda boli'wi'ni'n' deregi orni'n mu'mkin bolg'an qatti' bo'leksheler (qosi'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' modifikaciya to'mengi temperaturali' modifikaciya'ga o'tedi. Bunday fazali'q o'tiwdi *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'rtplesken 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' shamasi' 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 sestini' tezligindey tezlik penen ju'zege keledi. ($\sim 10^3$ m/s).

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

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

7. Kristalli'q pa'njere

Kristalli'q qatti' 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'lshe'mli 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' qatti' 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'njerenin' da'wirli potentsiali'ndag'i' qozg'ali'slari'n qaraw kristallardi'n' elektrlik qasiyetlerin tu'sindiredi. Kristalli'q pa'njerenin' 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'zgesheliklari' ani'qlanadi'. Kristalli'q pa'njeredegi elektronlardi'n', fotonlardi'n', neytronlardi'n' difrakciyalari' qatti' denelerdin' quri'li'si'n izertlew'din' en' ko'p informaciyag'a iye usi'llari' boli'p tabi'ladi'. Buzi'qli'qlar, yag'ni'y kristalli'q pa'njerenin' defektlari' bolsa qatti' denelerdin' barli'q qa'siyetlerine ju'da' ku'shli ta'sir etedi.

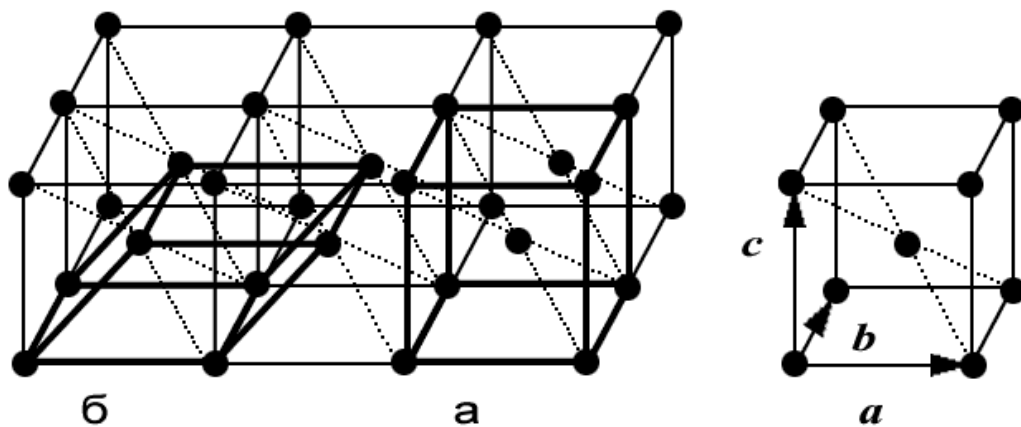
Biz to'mende kristalli'q pa'njere tu'siniginin' ja'rdeminde kristallardi' ta'riplew'din' usi'llari'n, kristallardi'n' payda boli'wi'ni'n' fizikali'q sebeplerin ha'm bo'lekshelerdin' kristallardag'i' difrakciyasi'ni'n' o'zgesheliklerin qarap shi'g'ami'z. Bunnan keyingi lekciyalarda qarap shi'g'i'latug'i'n qatti' denelerdin' ha'r qi'ylil' qa'siyetleri usi' lekciyalardag'i' tu'siniklar 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 keltirivimiz 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 ilinisken molekulali'q toparlar bar boladi' (muz kristallar, ko'plegen magnitlik materiallardin' kristallari'). Beloklardin' 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 α -temirdin' kristalli'q pa'njeresi keltirilgen. Bul quri'li'sti' kublar menen toltiri'lg'an ken'islik tu'rinde su'wretlegen qolayli'. Kublardin' 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 kati'sha atomlardi'n' jaylasi'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 $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ translyაციyalari' 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,

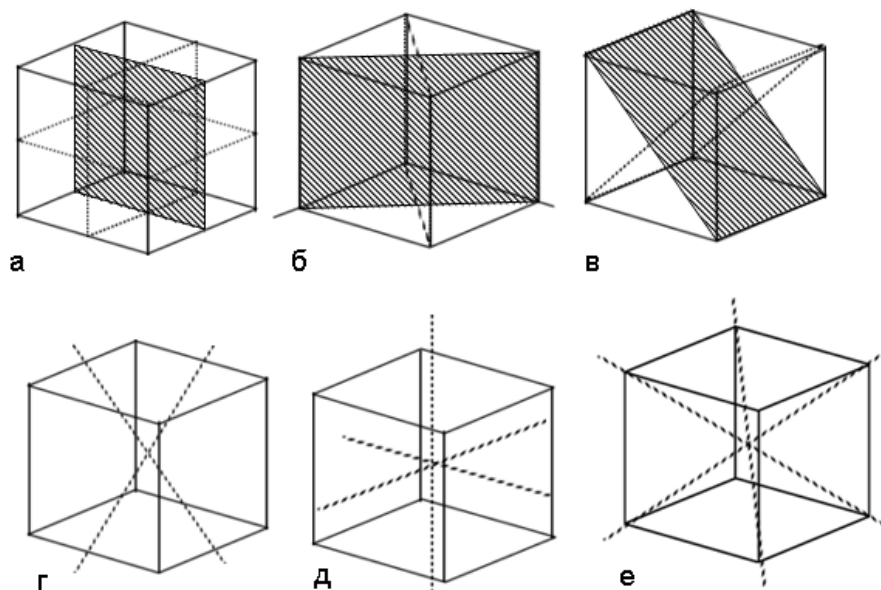
2) bazis.

Ken'isliklik pa'njereni a'dette $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ vektorlari' ja'rdeminde xarakterleydi. Buni'n' ushi'n usi' vektorlardi'n' uzi'nli'g'i' a, b, c shamalari'n ha'm olar arasi'ndag'i' mu'yeshler α, β, γ lardi' beriw kerek. a, b, c shamalari'n kristalli'q pa'njerenin' da'wirleri dep ataydi'. Bul parametrlar zatlardi'n' quri'li'si' (strukturasi') boyi'nsha spravoshniklerde beriledi.

Bazisti $\vec{r}_i = x_i\vec{a} + y_i\vec{b} + z_i\vec{c}$ radius-vektorlari'ni'n' ja'rdeminde bir quti'shada beriw arqali' ani'qlaw qabi'l etilgen. x_i, y_i, z_i sanlari' atomlardi'n' qaysi' ori'nlarda jaylasqanli'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 atomlardi'n' sani'n esaplaw menen a'melge asi'ri'ladi'. Elementar quti'shani'n' ishindegi atomlar sani'na kaptal betler ta'repinen kesilgen yari'm, to'rtten bir, segizden bir atomlardi'n' sanlari' qosi'ladi'. 10 (b) su'wrette keltirilgen quti'shada to'belerde jaylasqan mu'yeshlik segizden birlik 8 atom jaylasqan. Usi'g'an baylani'sli' bunday bazis koordinatalari' 000 bolg'an 1 atomnan turadi' dep esaplaydi'. Kristallografiya atomlardi'n' koordinatalari'n a'dettegi () tu'rindagi qawsi'rmag'a almaydi'. Sebebi bunday qawsi'rma ja'rdeminde kristallografiya 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.

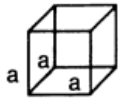
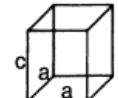
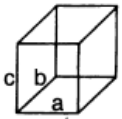
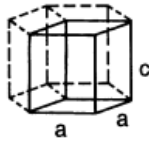
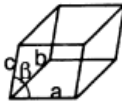
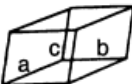
Kristalli'q pa'njerelerdin' simmetriyasi. Ko'pshilik zatlardi'n' kristalli'q pa'njereleri bir neshe simmetriya elementlerine iye boladi'. Simmetriya elementleri menen simmetriya operaciya baylani'sqan. Simmetriya operaciya ori'nlang'anda ken'isliklik pa'njere o'zinin' da'slepki awhali'na qayti'p keledi. $2\pi/2, 2\pi/3, 2\pi/4, 2\pi/6$ mu'yeshlerine buratug'i'n ko'sherler (bunday ko'sherlerdi ekinshi, u'shinshi, to'rtinshi ha'm alti'nshi ta'rtpi 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'shinshi, ekinshi ta'rtpi simmetriya ko'sherleri). Basqa tu'rdegi simmetriya elementleri qatari'na simmetriya tegisligin (bunday tegislikni aynali'q shashi'rati'w tegisligi dep te ataydi') ha'm simmetriya orayi'n (bunday noqatti' inversiya orayi' 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'rtpi'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'rtpi' 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'rtpi' simmetriya ko'sheri.

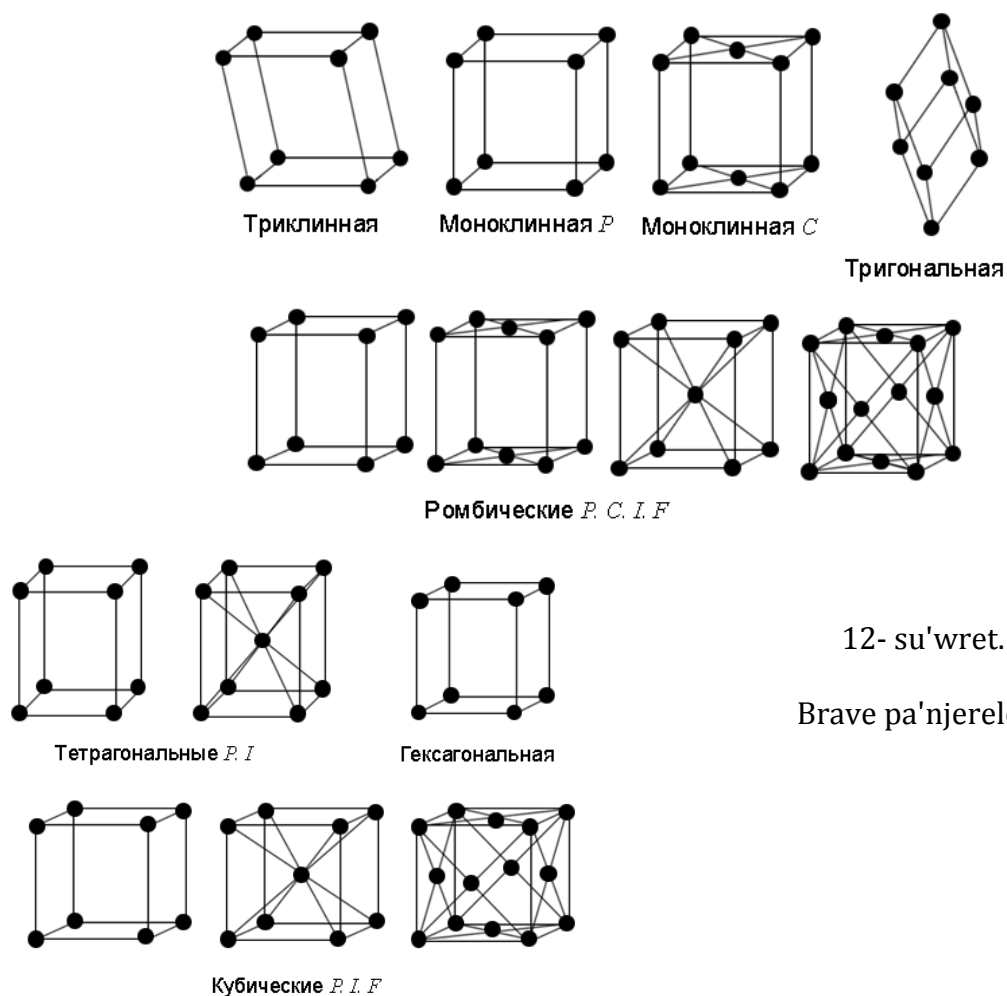
11-su'wrettegi kubli'q pa'njere qaptal betlerine parallel bolg'an u'sh simmetriya tegisligine, qaptal betlerdin' diagonallari'na perpendikulyar bolg'an alti' dana diagonalli'q simmetriya tegisligine, u'sh to'rtinshi ta'rtpi' simmetriya ko'sherine, alti' dana ekinshi ta'rtpi' simmetriya ko'sherine, to'rt dana u'shinshi ta'rtpi' simmetriya ko'sherine ha'm kubti'n' orayi'nda joylasqan 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 teoriyasi' (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 teoriyasi' ja'rdeminde kristallardi'n' barli'g'i'n 14 dana kristalli'q pa'njerenin' ja'rdeminde ta'riplewdin' mu'mkin ekenligin ko'rsetti. Bunday pa'njerelerdi Bragg pa'njereleri dep ataymi'z ha'm olardi'n' su'wretleri 12-su'wrette keltirilgen. Olardi' elementar quti'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 α, β, γ shamalari' arasi'ndag'i' belgili bir qatnas penen ayri'ladi' (1-kestede keltirilgen). Bul pa'njerelerdin' ayi'ri'mlari' 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 kaptali' 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 tegislighi ha'm ultanni'n' orayi' arqali' o'tiwshi 2-ta'rtpili simmetriya ko'sheri.

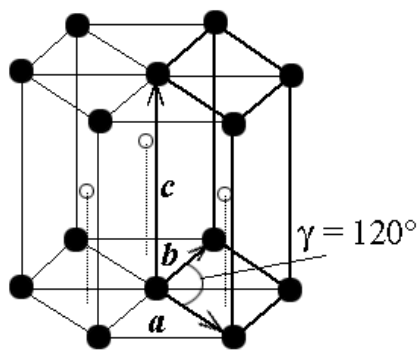
3. Rombali'q sistemada elementar quti'sha tuwri' mu'yeshli ha'm ha'r qanday uzi'nli'qtag'i' qabi'rg'alarg'a iye. Quti'sha kristalli'q pa'njerenin' barli'q 4 tu'rlerine iye: *P, I, F, A* (B yamasa *C*). Bunday pa'njerede simmetriya elementlerinin' sani' ko'p: qaptallarg'a parallel bolg'an u'sh simmetriya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

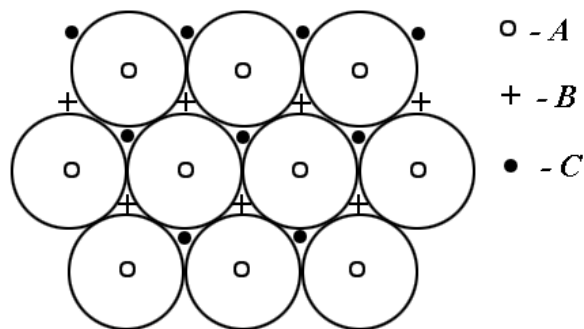
6. Geksagonalli'q sistemada quti'sha tuwri' prizma formasi'na iye. Oni'n' ultani' romb boli'p tabi'ladi' ha'm rombadag'i' mu'yesh 60 gradusqa ten'. Ko'binese elementar quti'shadan u'sh ese u'lken quti'shani' paydalanadi' (13-su'wrette ko'rsetilgen). Bunday quti'sha duri's alti' mu'yeshlik prizma formasi'na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

Pa'njerenin' simmetriyasi' 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 xarakteristikalaridin' anizotropiyasi' belgili (mi'sali' sali'sti'rmali' elektr sin'irgishlik, ji'lli'li'q o'tkizgishlik koefficienti ha'm basqalar). Zatlardi'n' bunday xarakteristikalarin' a'dette ekinshi ta'rtpi tenzorlardi'n' ja'rdeminde ta'ripleydi. Simmetriyalik kubli'q pa'njerede bul shamalar skalyar shamalg'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'.

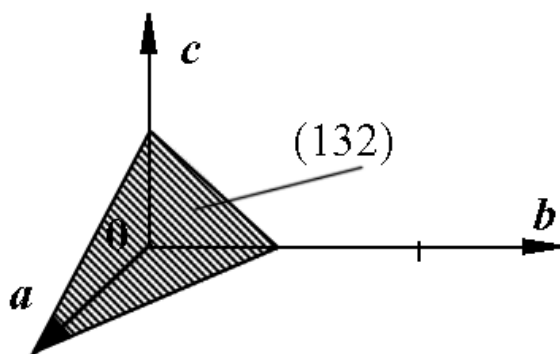
Vigner-Zeyc quti'shasi'. Vigner-Zeyc quti'shasi' dep atalatug'i'n elementar quti'shani' saylap ali'wdi'n' usi'li' bar. Bul quti'shani' kelesi lekciyalarda kristaldag'i' bo'lekshelerdin' qozg'ali'slari'n tallaw ushi'n qollanami'z. Quti'shani' saylap ali'w ushi'n kristalli'q pa'njerenin' berilgen tu'yinine «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'qti'n' 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'lshe'mleri boyi'nsha orayi' pa'njerenin' 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 vektorin'dag'i' bag'i'tlawshi' vektordin' koordinatalari' menen beredi. Bul koordinatalardi'

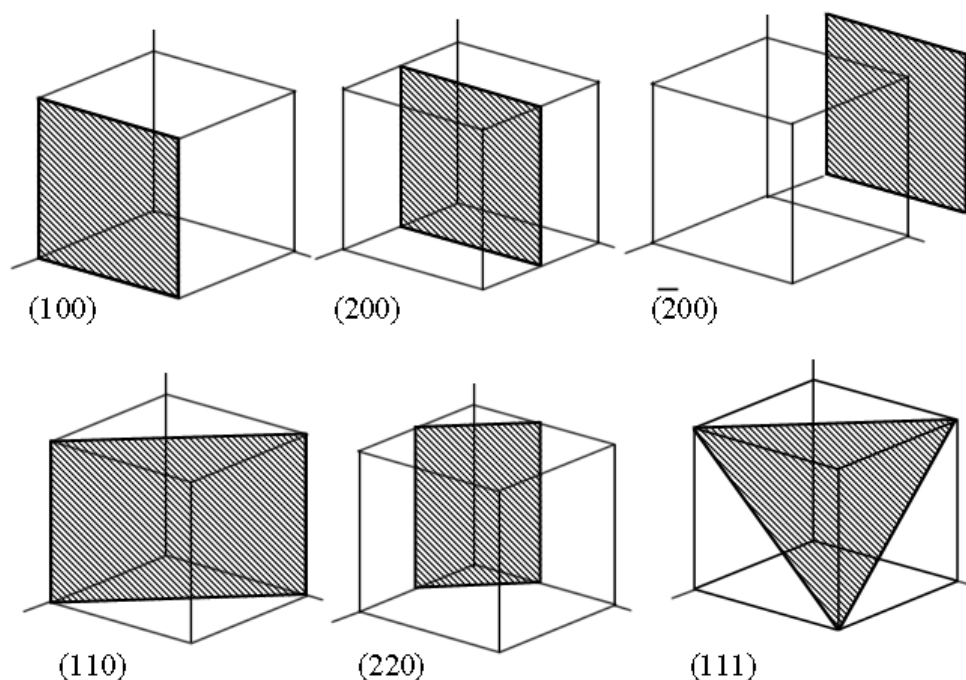
a'dette kvadrat qawsi'rmalarg'a ali'p jazadi'. Koordinatani'n' ma'nisi teris bolg'andag'i' minus belgisin sanni'n' u'stine minus belgisin qoyi'w menen a'melge asi'radi'. En' a'hmiyetlirek bolg'an bag'i'tlar pu'tin sanlar menen beriledi. 11-su'wrettegi [100] bag'i'ti' kubti'n' qabi'rg'asi'na parallel. $\bar{1}00$ ha'm [110] bag'i'tlari' oni'n' to'mengi ultani'na parallel. Bazi' bir bag'i'tlar pa'njerenin' simmetriyali'g'i'na baylani'sli' birdey (mi'sali' kubli'q pa'njerede [110], $\bar{1}01$, 011 ha'm $\bar{1}\bar{1}0$ bag'i'tlari'). Bag'i'tlardi'n' usi'nday semeystvosi'n ta'riplew ushi'n $\langle 110 \rangle$ belgilewi qabi'l etilgen.

Kristallografiyali'q tegislikler. Kristalda kristalli'q pa'njerenin' tu'yinleri arqali' o'tetug'i'n kristallografiyali'q tegislikler u'lken a'hmiyetke iye boladi'. Kristalli'q pa'njerenin' tu'yinlerinin' en' ko'pshiligi jaylasqan kristallografiyali'q tegislikler kristallardi'n' qaptallari'n boljag'anda da, usi' tegislikler boyi'nsha bo'lekshelerdin' qozg'ali'slari'n 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 $\frac{a}{h}, \frac{b}{k}, \frac{c}{l}$ shamasi'ndag'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'nisli ani'qlaydi'. 15-su'wrette (100), (200), $\bar{1}10$, (110), (111) tegislikleri ko'rsetilgen. 14-su'wrettegi tegislikke parallel etip kristalli'q pa'njere tu'yinleri arqali' o'tiwshi ha'm bir birinen $na/h, nb/k, nc/l$ qashiqli'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' qashiqli'qti' d_{hkl} arqali' belgileydi ha'm (*hkl*) tegislikler semeystvosi' ushi'n tegislikler arasi'ndag'i' qashiqli'q dep ataydi'. d_{hkl} shamasin' (000) noqati'nan og'an en' jaqi'n bolg'an (*hkl*) tegisligine shekemgi arali'q tu'rinde esaplaw qolayli'. (14-su'wrette ko'rsetilgen). Kubli'q quti'shadag'i' iye kristallarda Miller indekslerinin' ma'nisleri 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'.



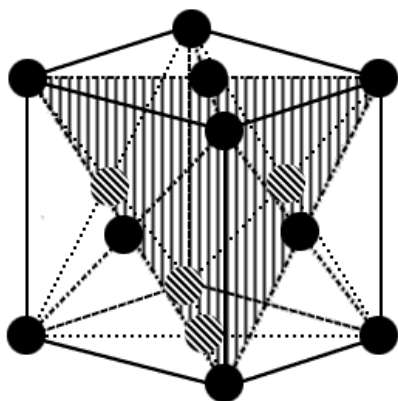
14-su'wret.
Kristaldag'i' Miller
indeksinin' geometriyali'q ma'nisi.



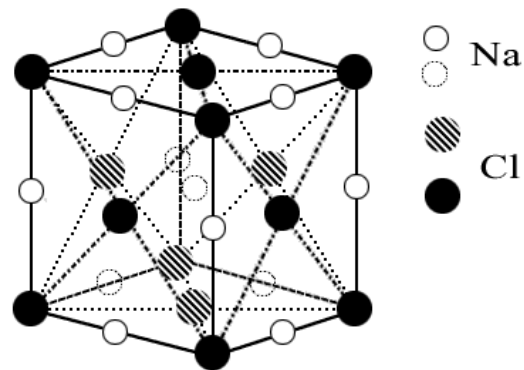
15-su'wret. Kubli'q pa'njerenin' bazi' bir kristallografiyalig tegisliklari.

Jiyi ushi'rasatug'i'n strukturalar menen tani'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' $a/\sqrt{2}$ qashi'qli'g'i'nda 12 qon'i'si'g'a iye bolatug'i'nli'g'i' ko'rinip 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 tipidagi quri'li'sti' (17-su'wret) QOK pa'njere tu'rinde ko'rsetiw mu'mkin. Bunday pa'njerede natriy ionlari' tu'yinlerge sa'ykes keledi, al xlor ionlari' bolsa Na ionlari'na sali'sti'rg'anda kubti'n' ko'lemlik diagonalig boyi'nsha $a/2$ shamasig'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'rtiw 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: $0\ 0\ \frac{1}{2}$; $0\ \frac{1}{2}\ 0$; $\frac{1}{2}\ 0\ 0$; $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$.

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

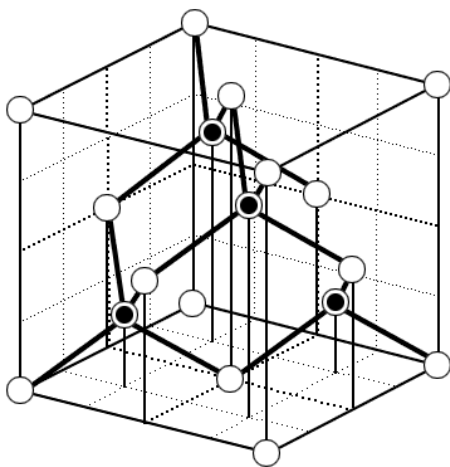
Almazdi'n' strukturasi' (18-su'wret) QOK pa'njere si'pati'nda ko'rsetiwge boladi'. Bul jag'dayda pa'njereni atomlari' tu'yinlerde ha'm ko'lemlik diagonal boyi'nsha olarg'a sali'sti'rg'anda ken'isliklik diagonal'ni'n' $\frac{1}{4}$ bo'legine ji'li'sti'ri'lg'an eki pa'njerenin' qosi'ndi'si' tu'rinde ko'z aldi'g'a elesletemiz. Bunday QOK pa'njerenin' bazisin eki atom quraydi'. Olardi'n' koordinatalari' $0,0,0$ ha'm $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$. 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'njerenin' to'rt atomi' ushi'n:

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

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

$\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}$; $\frac{1}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{3}{4}$; $\frac{3}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{3}{4}$; $\frac{3}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{1}{4}$.



18-su'wret.

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

Ha'r bir uglerod atomi'ni'n' ken'isliklik diametr'din' $\frac{1}{4}$ shamasina 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' tetraedr'din' orayi'nda jaylasqan boli'p, sol tetraedr'din' 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 tipidegi 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 tetraedr'din' 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 elesleteri. 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'wlelendiriw mu'mkin (13- b su'wret): birinshi qatlam (A) – to'mendegi tegislik'tin' tu'yinlerinde jaylasqan atomlar – sharlar. Ekinshi qatlamni'n' atomlari' (V) to'mengi qatlamdag'i' atomlardi'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» joylasadi'. Na'tiyjede $\vec{c}$ vektori'ni'n bag'i'ti'nda c da'wirine iye qatlamlardi'n' joylasi'wlari'ni'n' da'wirli'gi payda boladi'. Bunday da'wirli quri'li'sti' bi'layi'nsha jazami'z: $ABABAB \dots$ Usi'ni'n' saldari'nan sharlardi'n' ti'g'i'z joylasti'ri'lg'an quri'li'si' payda boli'p, bunda ha'r bir shar 12 jaqi'n' joylasqan 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' $\frac{c}{a} = (8/3)^{1/2} = 1,633$ shamasi'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' joylasti'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 joylasti'ri'ladi', al u'shinshi qatlamdag'i' (bul qatlamdi' S arqali' belgileymiz) atomlar 13-su'wrette atanaqlar menen belgilengen ori'nda joylasadi'. To'rtinshi qatlam birinshi qatlamni'n' u'stinde, besinshi qatlam ekinshi qatlamni'n' u'stinde, qalg'anlari' tap sonday ta'rtipte joylasti'ri'ladi'. Bunday jag'dayda $\vec{c}$ vektori'ni'n' bag'i'ti'nda $3c/2$ da'wirine iye qatlamlardi'n' $ABCABCABC \dots$ izbe-izligindegi joylasti'ri'wlari' ju'zege keledi. Bunday jag'dayda da jaqi'n' qon'si' atomlardi'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 joylasti'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 joylasti'ri'lg'an atomlardi'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 ayti'w mu'mkinshiligi 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 waqi'tta 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'lgermegen halda saqlani'p qaladi'. Bunday situaciya shi'ni'qti'ri'wdan (birden salqi'nlati'wdan) keyingi polatlarda (Fe-C quymalari'nda) ori'n aladi'. Shi'ni'qti'ri'wdi'n' aqi'betinde QOK ha'm KOK pa'njerelerge iye oblastlardi'n' quramali' sistemasi' payda boladi'. Ha'r qi'yli' pa'njerelerge iye oblastlardi'n' formalari' menen joylasi'wlari' materialdi'n' ko'plegen qa'siyetlerin ani'qlaydi'.

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 defektlari dep ataw qabi'l etilgen. Quri'li's defektlarin dinamikali'q ha'm statikali'q dep ayi'radi'. Dinamikali'q defektlarga ji'lli'li'q terbelislerinin' aqi'betinde yamasa kristallar arqali' elektromagnit tolqi'nlari' o'tkende pa'njerelerdin' mayi'si'wlari'n jatqaradi'. Bul defektlar atomlardi'n' ten' salmaqli'q awhallari'nan awi'si'wi' menen baylani'sli'. Sonli'qtan bunday defektlar ha'tte ideal kristallarda da boladi'. Biz to'mende qaraytug'i'n statikali'q defektlar kristalli'q pa'njeredegi atomlardi'n' jaylasi'wlari'ndag'i' buzi'li'wlar menen baylani'sli'. Mi'sali' pa'njerenin' 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 etiwu mu'mkin.

Statikali'q defektlardi sol defektlardin' formalari' tiykari'nda 4 toparg'a bo'ledi:

- 1). Noqatli'q defektlar, mi'sali' pa'njerenin' tu'yininde atomni'n' bolmawi';
- 2). Si'zi'qli'q defektlar bolg'an dislokaciylar. Bunday defektlarde da'wirliktin' buzi'li'wi' bir si'zi'qti'n' boyi'nda ori'n aladi';
- 3). Betlik defektlar. Bunday defektlarga kristaldi'n' beti yamasa polikristaldi'n' da'neshelerinin' betleri kiredi;
- 4). Ko'lemlik defektlar bolg'an quwi'sli'qlar, mikrojarlqlar, 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' dfektlarga baylani'sli' ku'shli o'zgeredi. Mi'sali' materialdi'n' bekkemligi menen plastikli'gi si'zi'qli', betlik ha'm ko'lemlik defektlarga baylani'sli'. Elektr qarsi'li'g'i' tiykari'nan noqatli'q defektlarga baylani'sli'. Diffuziya koefficienti, ji'lli'li'q o'tkizgishlik, kristallardi'n' ren'i si'yaqli' qa'siyetler de noqatli'q defektlarga baylani'sli'.

8.1. Noqatli'q defektlar

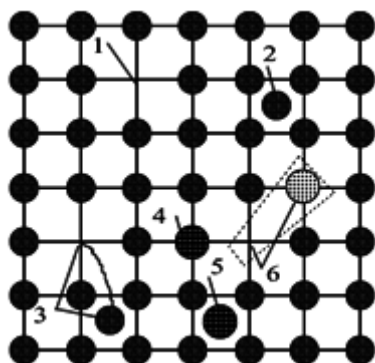
Noqatli'q defektlar en' mayda defektlar boli'p, olar a'dette bir atomni'n' a'tirapi'nda ori'n alg'an normal emes situaciylar menen baylani'sli' (bir atomni'n' orni'nda bolmawi', bir atomni'n' orni'n ekinshi atomni'n' iyelewi yamasa «arti'q» atomni'n' payda boli'wi'). 19-su'wrette sxema tu'rinde ko'rsetilgen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

Vakansiya. Atom kristalli'q pa'njerenin' bazi' bir tu'yininde bolmawi' mu'mkin (19 (1)-su'wrette 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'yinlar arasi'ndag'i' atom. Atom kristalli'q pa'njerenin' tu'yininde emes, al atomlar arasi'nda – tu'yinlar arasi'nda jaylasi'wi' mu'mkin (19 (2)-su'wret). Bunday defektti tu'yinlar arasi'ndag'i' atom dep ataydi'. Tu'yinlar 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' sebebini qon'si'las atomlardi'n' ortasi'na tu'sip qaladi'. Eger tu'yinlardin' ortasi'na tu'sip qalg'an atomni'n' orni'n basqa atom iyelep qoyg'an bolsa, onda tu'yinlar arasi'ndag'i' atom sol jag'dayda noqatli'q defekt tu'rinde qali'p qoyadi'.

Frenkel boyi'nsha defekt. Vakansiya menen tu'yinlar arasi'ndag'i' atom ko'pshilik jag'daylarda jubi' menen payda boladi' (19 (3)-su'wrette qaran'i'z). Bunday jag'dayda tu'yinde turg'an atom tu'yinnin' ortasi'na sekirip o'tedi. Sali'sti'rmali' joqari' temperaturalarag'i' ji'lli'li'q qozg'ali'slari' bunday sekirip o'tiwadin' tiykarg'i' sebebi boli'p tabi'ladi'. Soni'n' menen birge bunday sekirip o'tiwlardi si'rttan ushi'p kelgen bo'leksheler de a'melge asi'ra aladi' (radiaciya'li'q defekt). Defektlardin' usi'nday jubi'n Frenkel boyi'nsha defektlar 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 atomlardi'n' ori'nlari'n 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'n 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).

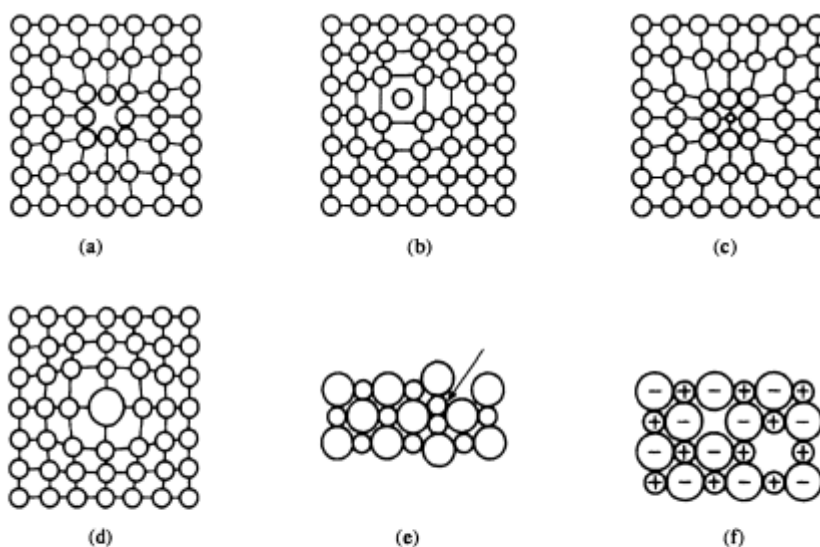


Fig. 3.1. The different types of point defects. (a) vacancy; (b) interstitial atom; (c) small substitutional atom; (d) large substitutional atom; (e) Frenkel defect; (f) Schottky defect (a pair of positive and negative ion vacancies)

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 shamasini quraydi'.

Noqatli'q defektin' payda boliv'v itimalli'g'i' Bolcman formulasi'ni'n' ja'rdeminde esaplanadi':

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

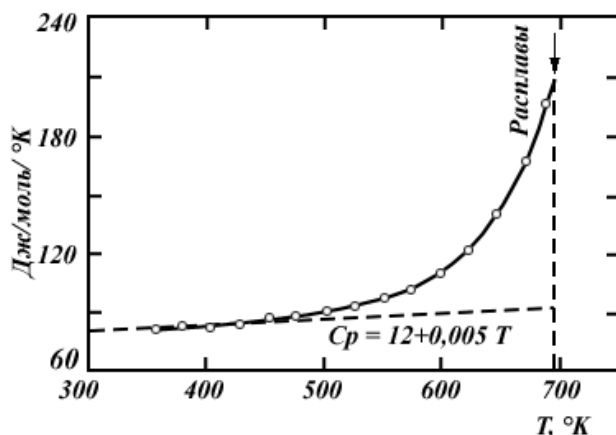
Bul formula boyi'nsha esaplang'an itimalli'qti'n' ma'nisinin' qanday bolatug'i'nli'g'i'n ani'qlaymi'z. Meyli $E_v = 1$ eV, $T = 1000$ K bolsin. Bunday jag'dayda $P \approx 10^{-5}$. To'menirek temperaturalarda defektlerdin' ti'g'i'zli'g'i' eksponencialli'q ni'zam boyi'nsha kemeyedi ha'm o'jire temperaturalari'nan kishi temperaturalarda ju'da' kishi shama'g'a aylanadi'. Biraq to'mengi temperaturalarda da noqatli'q defektlerdin' koncentraciyasi'n joqari' etiwge 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'qti'rami'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' belgileyemiz. Oni'n' san shamasini' 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'rdeminde 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 boliv'v ushi'n qosi'msha energiya talap etiledi. Sonli'qtan ayi'ri'm kristallarda balqi'w (eriv) temperaturasi'na jaqi'n temperaturalarda qi'zdi'ri'wdi'n' bari'si'nda defektlerdin' sani' azmaz ko'beyedi. Usi'ni'n' saldari'nan ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'ni'n' kristalli'q pa'njerenin' 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.



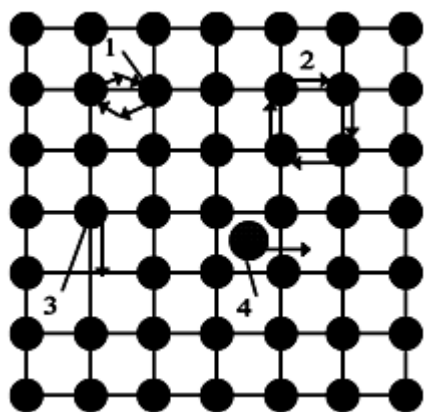
20-su'wret.
Balqi'w (eriv) temperaturasi' jani'nda
noqatli'q defektlerdin' payda
boliv'vini'n' ji'lli'li'q si'yi'mli'g'i'na
qosatug'i'n u'lesi.

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'lken 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'lshe'mleri 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 qatti' 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 toparlasi'wi' 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'tiwi; 4 – tu'yinler arasi'nda turg'an atomlardi'n' qon'i'si' tu'yinler arasi'na sekirip o'tiwi.

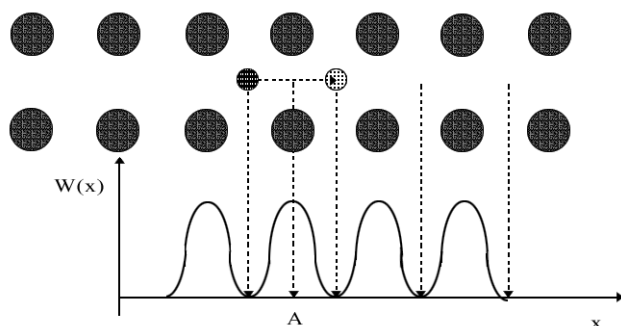
Barli'q jag'daylarda da atomlar potentsialli'q barer arqali' o'tedi. Potentsialli'q barerdin' payda boli'wi' atomlar bir birine jaqi'nlag'anda payda bolatug'i'n kvantli'q iyterilis ku'shleri menen baylani'sli'. Tu'yinler arasi'nda turg'an atomni'n' qon'si'las tu'yinlerdin' arasi'na ko'ship o'tiwin tallaw 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 koordinatasi'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 Bolcman 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 jiyiligi menen terbeledi ha'm ji'lli'li'q terbelislerinin' energiyasi' tosi'nnan aktivaciya energiyasi'nan u'lken bolg'an jag'daylarda jan'a ori'nlarg'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':

$$f = vP.$$

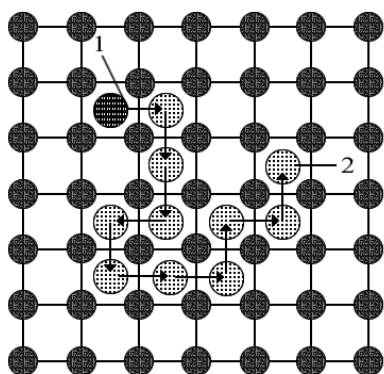
Solay etip qatti' denelerdegi atom siyrek bolatug'i'n sekiriwler joli' menen bir ori'nnan a qashi'qli'g'i'ndag'i' ekinshi ori'ng'a f jiyiligi menen ko'shedi. Bul jag'day 2.5-su'wrette keltirilgen.



22-su'wret.

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

Joqari'da keltirilgen modeldin' ja'rdegi menen parametri a bolg'an a'piwayi' kubli'q pa'njere ushi'n tu'yinlar arasi'nda turg'an atomlardi'n' diffuziya koeffitsientin esaplaymi'z. Meyli berilgen tu'yinlar arasi'ndag'i' ori'nnan qon'si'las sonday ori'ng'a ko'shiwdin' jiyiligi f shamasina ten' bolsi'n.



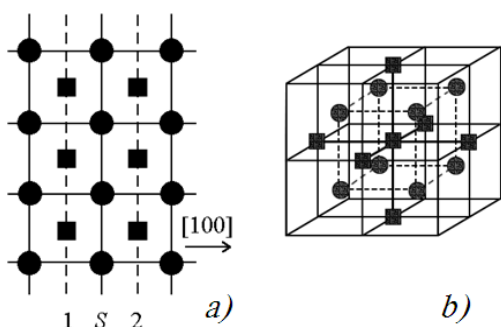
23-su'wret.

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

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

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

D parametri diffuziya koeffitsientini dep ataladi'. Oni'n' ma'nisi diffuziyaga ushi'raytug'i'n atomga ha'm ushi' atomlar diffuziyaga ushi'raytug'i'n zatqa baylani'sli'. Kristaldagi' [100] bag'i'ti'n, og'an perpendikulyar ha'm pa'njerenin' tu'yinlari arqali' o'tiwshi S tegislik (24- a su'wrette do'n'gelekler menen belgilengen), ushi' 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 tegislikni qaraymi'z (kvadratlar menen belgilengen). 1 ha'm 2 tegisliklari arasi'ndag'i' qashi'qli'q (bul kashi'qli'q qon'si'las tu'yinlar arasi'ndag'i' ori'nlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ten') a shamasina ten' («ko'ship o'tiw uzi'nli'gi»). Meyli 1 tegisliginin' S tu'yinlar arasi'ndag'i' N_1 atom bolsi'n, 2 tegisliginin' tap sonday ushastkasi'nda N_2 atom joylasqan dep esaplayi'q (24- a su'wretti qaran'i'z).



24-su'wret.

Kubli'q primitivlik pa'njeredegi tu'yinler menen tu'yinlar arasi'ndag'i' ori'nlarid'n' jaylasi'wlari' (a). Usi' pa'njerege jaqi'n jaylasqan tu'yinlar arasi'ndag'i' ori'nlar (b).

Endi x noqatlari'ndag'i' diffuziya ni'zami'na kiriwshi tu'yinlar 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. Δt waqi'ti' ishinde S beti arqali' shep ta'repten on' ta'repke qaray kesip o'tetug'i'n atomlar sani' ΔN_1 shamasi'n esaplaymi'z. Birinshi tegisliktegi ha'r bir atom en' jaqi'n jaylasqan alti' 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 tegislikni kesip o'tedi. Bunday jag'dayda

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

Δt waqi'ti' ishinde S beti arqali' o'tetug'i'n ΔN_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'nlarini almashti'rg'an jag'dayi'ndag'i' aktivaciya energiyasi'ni'n' ma'nisi onnan da u'lken.

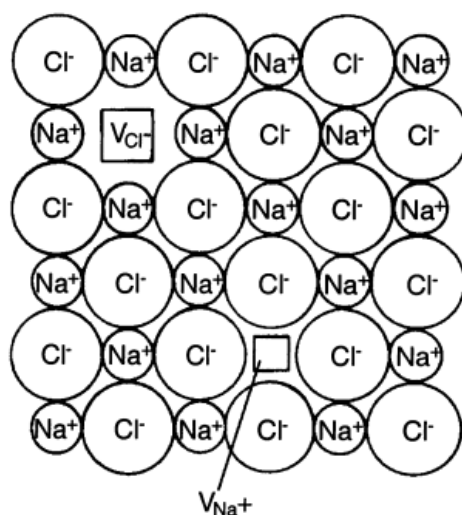


Fig. 5.31. Schottky defect in NaCl. Due to charge neutrality there must be an equal number of anion vacancies V_{Cl-} and cation vacancies V_{Na+} .

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

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

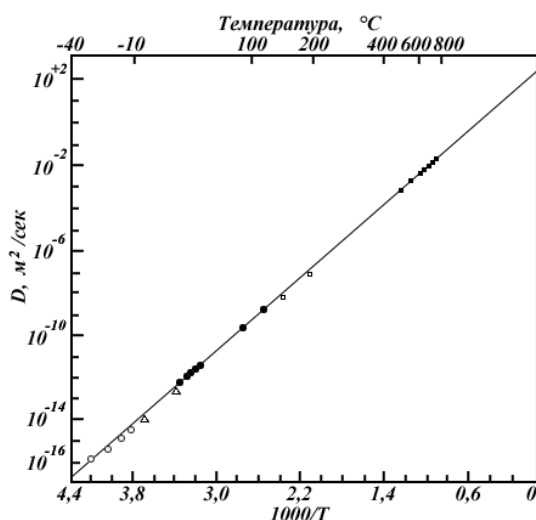
D_0 menen E_a parametrlarinin' ma'nisleri ha'r bir jup ushi'n (diffuziyalani'wshi' element – diffuziya qubi'li'si' ju'retug'i'n zat) ushi'n eksperimentte o'z aldi'na ani'qlanadi'. Na'tiyjeler 1-kestede berilgen.

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

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



24-su'wret.

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

Joqari'da ko'rip o'tilgan modeldin' ja'rdeminde 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

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

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

Qatti' 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» atomlardi'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» atomlardi'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 parametrlarinin' 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'rdeminde ha'r qi'yli' temperaturalardag'i' atomlardi'n' ko'shiw jiyiliklerin bahalaw mu'mkin. Mi'sali' alfa-temirde 1800 K temperaturada uglerod atomi' 1 sekunda 10^{11} ret ko'shedi. O'jire temperaturasi'nda bolsa onlag'an sekunda 1 ret ko'shedi. 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'rdeminde payda etedi eken. YARI'm o'tkizgishke ha'r qanday aralaspalari' kirgiziw (legirovanie poluprovodnika, yari'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'landi'ri'w joli' menen yari'm o'tkizgishtin' betinin' belgili bir ushastkalari'na tu'sirilgen aralaspalardi' (legirlewshi aralaspalardi') bir neshe ju'z gradusqa qi'zdi'ri'w joli' menen diffuziyalaydi' ha'm oni' legirleydi. Na'tiyjede kristalda p ha'm n tipindegi yari'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. $P = \frac{N_d}{N_{at}} = \exp(-E_V/kT)$ formulasi' 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'qti'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 atomlardi'n' vakansiyalarg'a o'tiwinin' (buni' defektlerdin' rekombinaciyasi' 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 qosi'mta toparlasadi' ha'm jan'a kristalli'q faza oblastlari'n payda etedi. Bul processlerdin' barli'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 qosi'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'ni'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' bagi'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'yli' boli'p toparlasadi'. 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 zaryadlardi' ko'shiriw ushi'n a'dewir kishi potentsialli'q barerden o'tiwdi talap etedi. Al elektrondi' ionnan iong'a o'tkeriw ushi'n u'lken potentsialli'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. Qosi'mta atomlar kristallardi'n' ren'in o'zgertedi. Mi'sali' almasti'ri'w qosi'mtalari' (primesi zameщениya) 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 rentgenografiyalig' usi'llardi'n' ja'rdeminde ali'ng'an pa'njere parametritin' da'l ma'nisi, ekinshisi zatti'n' ti'g'i'zli'g'i'n da'l ani'qlaw (kristaldi'n' massasi'ni'n' ko'lemine qatnasi'ni'n' shamasin' da'l ani'qlaw). Vakansiyalardi'n' kristalli'q pa'njerenin' parametritin' 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' atomlardi'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' shamasini' az shamag'a o'zgartedi. Eger kristalda vakansiyalar da, tu'yinlar arasi'nda jaylasqan atomlar da bar bolatug'i'n bolsa, onda joqari'da bayanlang'an usi'ldi'n' ja'rdeminde kristaldi'n' ko'lem birligindagi vakansiyalar sani' menen tu'yinlar arasi'ndagi' atomlar sani'ni'n' ayi'rmasi'n bahalawg'a boladi'. Al Frenkel boyi'nsha defektlerdin' ti'g'i'zli'g'i'n qarap o'tilgan usi'ldi'n' ja'rdeminde ani'qlaw mu'mkin emes.

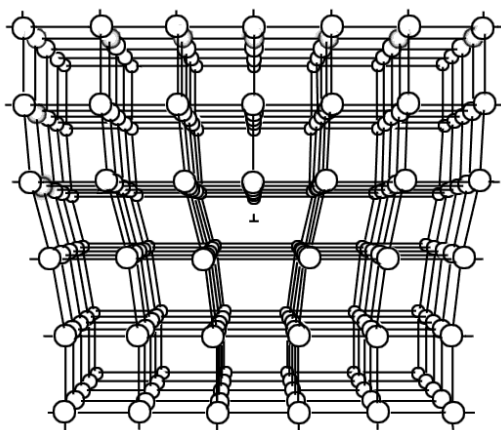
Joqari'da qarap o'tilgan elektr qarsi'li'g'i' menen diffuziyani' o'lshevi, soni'n' menen birge ha'r qi'yli' elektromagnit nurlari'ni'n' juti'li'w koefficientlerinin' ma'nisin o'lshevi kristallardagi' noqatli'q defektlerdi u'yreniwge mu'mkinshilik beredi.

8.2. Dislokatsiyalar

Dislokatsiyalar dep atalatug'i'n kristalli'q pa'njerenin' si'zi'qli' defektlerin toli'g'i'raq u'yreniw olardi'n' barli'q konstruksiyali'q kristalli'q materiallardin' bekkemligi menen plastikli'gine u'lken ta'sir etetug'i'nli'g'i'na baylani'sli'. Defektlerdin' usi' tipin esapqa almag'an kristallardin' bekkemligi teoriyalari' ha'tte monokristalli'q ha'm polikristalli'q materiallardin' a'melde baqlani'p ju'rgen mexanikali'q qa'siyetlerin tu'sindirip bere almadi'.

Dislokatsiyalardi'n' tipleri. Dislokatsiyalardi' shetlik ha'm vintlik dep ekige bo'ledi. Biraq eksperimentlerde baqlani'p ju'rgen dislokatsiyalar tek ayi'ri'm jag'daylarda g'ana sol dislokatsiyalardi'n' modellik tiplerinin' ekewinin' biri boli'wi' mu'mkin. Sebebi a'dette dislokatsiyalar eki tiptin' de elementlerine iye boladi'. Ko'rgizbelilik ushi'n modellik dislokatsiyalardi' 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'.

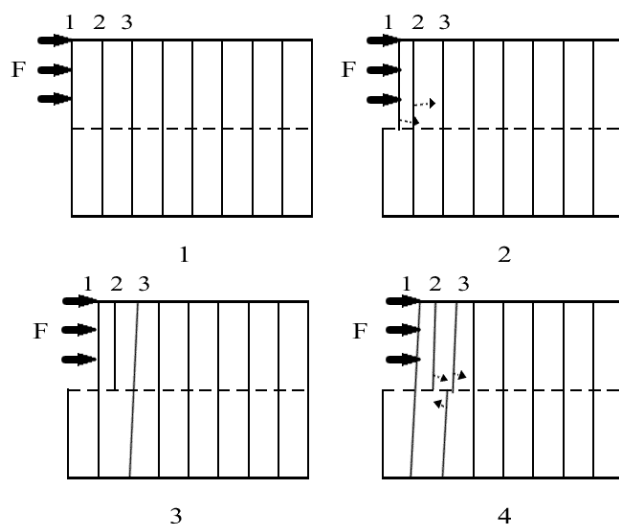
Shetlik dislokatsiya ha'm oni'n' a'tirapi'nda atomlardin' jaylasi'w sxemasi' 2.8-su'wrette a'piwayi' kubli'q pa'njere mi'sali'nda keltirilgan. Bul su'wrette 100 tipindagi qon'si'las toli'q tegisliklar arasi'ndagi' «yari'm tegislik» ko'rsetilgan. Bul pu'tin tegisliklerdin' atomlari' su'wrettin' to'meninde bir biri menen a'dettegidey boli'p baylani'sqan, biraq yari'm tegisliktin' to'mengi shetinde ju'da' ku'shli deformatsiyalar payda bolg'an. Arti'q bolg'an yari'm tegisliktin' to'mengi shet shetlik dislokatsiya si'zi'g'i', al ayi'ri'm jag'daylarda a'piwayi' tu'rde shetlik dislokatsiya dep ataydi'. Usi' jag'dayg'a baylani'sli' dislokatsiyalardi' si'zi'qli' defektlerge jatqaradi'. Bul si'zi'q arti'q yari'm tegisliktin' sheti boyi'nsha jaylasadi'. dislokatsiyalardi'n' a'tirapi'ndagi' ku'shli deformatsiyag'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' shamasini' kishi ha'm olardi' serpyimlilik teoriyasi' tiykari'nda ta'riplewge boladi'.



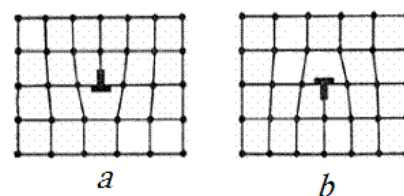
25-su'wret.
Shetlik dislokatsiya a'tirapi'ndagi' atomlardin' jaylasi'w sxemasi'.

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

etip deformaciyag'anda payda boladi'. Dislokაციyalar ko'binese ji'lji'w deformaciyalari'nda ji'lji'w tegislikleri dep atalatug'i'n ti'g'i'z jaylasqan atomlarga 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'njerenin' mayi'si'wi' tap sol ori'nda maksimalli'q ma'niske iye (25-su'wret).



26-su'wret. Kristaldi'n' ji'lji'w deformaciyasi'ni'n' bari'si'nda shetlik dislokaciyanin' 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 dislokაციyalar (on' ha'm teris dislokაციyalar).

Shetlik dislokაციyalardi' sha'rtli tu'rde on' ha'm teris shetlik dislokაციyalar dep ekige bo'ledi. On' belgige iye dislokაციyada (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 dislokაციyalardi'n' belgileniwleri de keltirilgen. Eki dislokaciyanin' bir birinen tek 180° 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 dislokaciyanin' qasi'nda basqa dislokaciya jaylasqan bolsa, onda dislokაციyalardi'n' belgisin ayti'w za'ru'rli'gi payda boladi'. Dislokაციyalar arasi'ndag'i' serpinli ta'sirlesiw ku'shleri dislokaciyanin' belgisine baylani'sli': birdey belgige iye dislokაციyalar bir biri menen iyterisedi, al ha'r qi'yli' belgige iye bir biri menen tarti'sadi'.

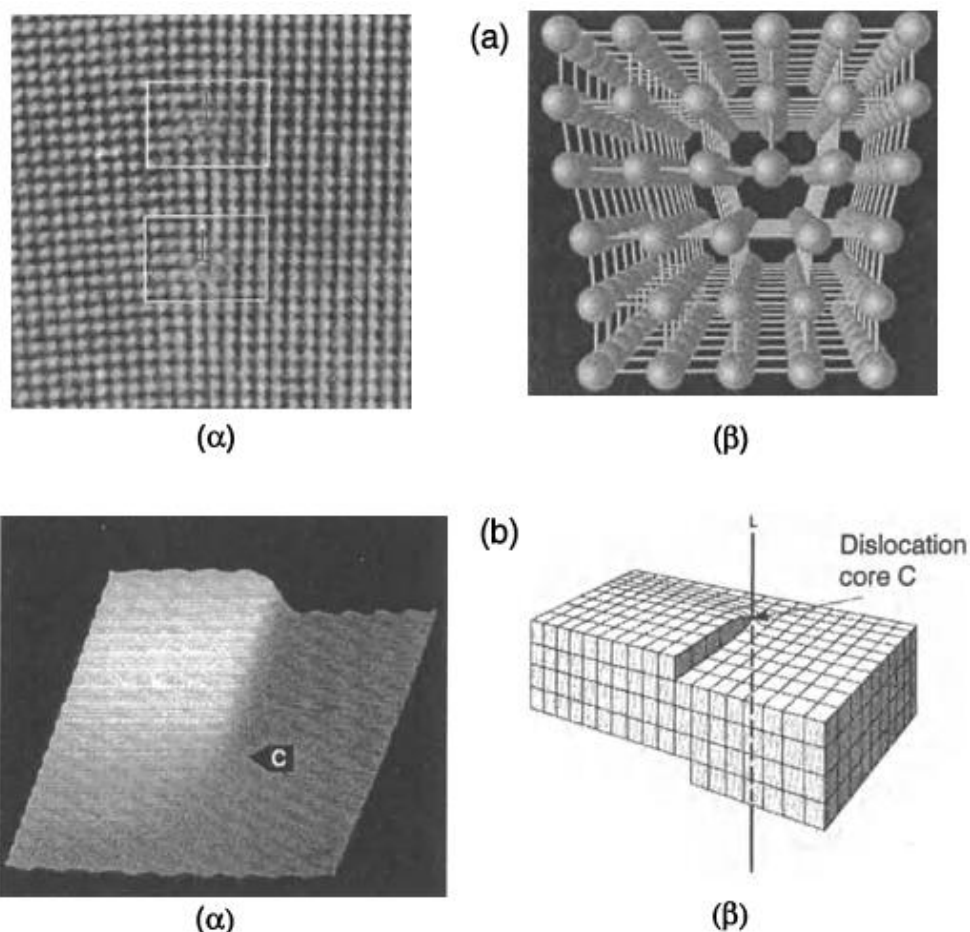
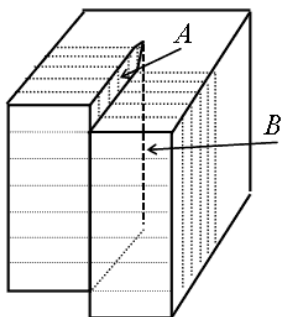


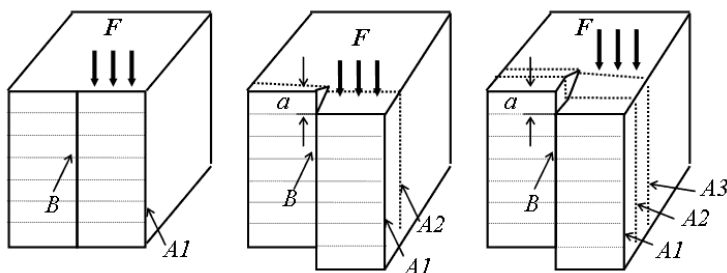
Fig. 3.17. a: (α) Atomic resolution TEM micrograph of SrTiO_3 crystal containing two $\langle 100 \rangle$ edge dislocations marked in the figure [3.3]. (β) Schematic atomic arrangement of an edge dislocation. b: (α) Atomic resolution micrograph obtained on the surface of a GaAs crystal by scanning tunneling 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 joylasqan atomlar o'zlerinin' ori'nlari'nda qalg'an, al on' ta'repindegi atomlar on' ta'reptegige sali'sti'rg'anda to'menge qaray bir tegisliklar arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ji'lji'g'an. Usi'ni'n' saldari'n'an 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'rinip turg'ani'nday gorizont bag'i'ti'ndag'i' deformaciyalang'an (001) tipidagi tegislik boyi'nsha B si'zi'g'i'n bir ret aylani'p shi'qsa kristalli'q pa'njerenin' 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'njerenin' bir neshe da'wirine ko'teriliwge bolati'g'i'nli'g'i'n ko'remiz. Ko'teriliw vintlik baspaldaq yamasa vintlik avtojol menen ko'teriliwge usaydi'. Usi'nnan vintlik dislokaciya atamasi' kelip shi'qqan. Vintlik dislokaciyada 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 dislokaciyalar on' vintlik ha'm teris vintlik bola aladi'.



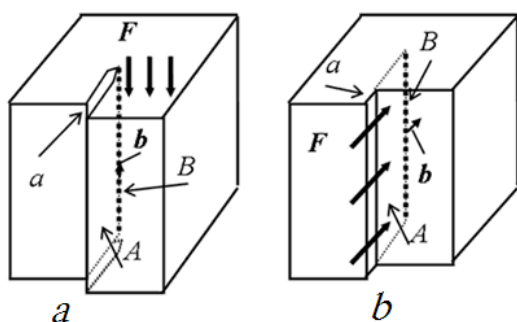
28-su'wret
Vintlik dislokaciyaning a'tirapi'nda
atomliq tegisliklarning joylashi'ni
sxemasi'.

Vintlik dislokatsiya kristalning 30-su'wretida ko'rsatilgandey etip deformatsiyalag'anda payda boladi. A'piyay kubliq pa'njeredagi $\{100\}$ tipidagi tegislikni qaraymiz. Eger kristalga $\vec{F}$ kuchini menen ta'sir jassaq (29 a su'wret), onda A1 tegisligi strelka menen belgilengen ori'nda B si'zi'g'i bo'y'ni «j'rti'ladi». Bunnan keyin A1 dan to'mengi ha'm joqarg'i yari'mlari pa'njerenin 1 da'wirini j'lj'w menen birigedi (29 b su'wret). Eger kristalga ta'sir etiwadi dawam ete bersek, onda kelesi tegislik «j'rti'ladi», bunnan keyin A2 tegisliginin to'mengi ha'm joqarg'i bo'limlari j'lj'w menen baylani'sadi (29 v su'wret). Process tap usi'nday izbe-izlikte dawam etadi. Solay etip kristalda vintlik dislokatsiya payda boli'p, ol kristalga ta'sir etiwadin aqib'etinde tegisliklarning qon'si yari'mlari'ni «j'rti'li'wi» ha'm «birig'wlerinini» sebebinen j'lj'w tegisligi bo'y'ni qozg'aladi. Jan'a tegislikning «j'rti'li'wi» tek dislokatsiya si'zi'g'i'ni qasi'nda ju'zege keletug'i'ni an'g'aramiz. Sebebi sol ori'nda kristalli'q pa'njerenin mayi'si'wi en' u'lken ma'niske iye boladi (29-su'wretke qaran'iz).



29-su'wret.
Kristalning j'lj'w
deformatsiyasidagi vintlik
dislokatsiyaning payda boli'wi
ha'm j'lj'wi'.

Byurgers vektori. Vintlik dislokatsiyaning ali'w ushi'n kristalning u'stinen to'mendegidey modellik operatsiya ju'rgizemiz (30- a su'wretga qaran'iz). Kristalda pa'njerenin tu'yinlari arasi'nan o'tetug'i'n (100) tegisliginde A yari'm tegisligi bo'y'ni qiyali'mizda kesim kesemiz. Bunnan keyin kesimning on' ta'repidagi atomlarning bir tegisliklari arasidagi qashi'qli'qqa to'menge qaray j'lj'itami'z ha'm A orqali o'tiwshi baylani'slar menen baylani'sti'ramiz. Kristalning «shep» ta'repine sali'sti'rg'anda «on» ta'repinin awi'si'w vektori B vintlik dislokatsiyaning Byurgers vektori boli'p tabi'ladi. Oni $\vec{b}$ orqali belgileymiz. Vintlik dislokatsiyaning Byurgers vektori'ni usi' dislokatsiyaning o'zine parallel ekenligi ko'rinib tur.



30-su'wret.

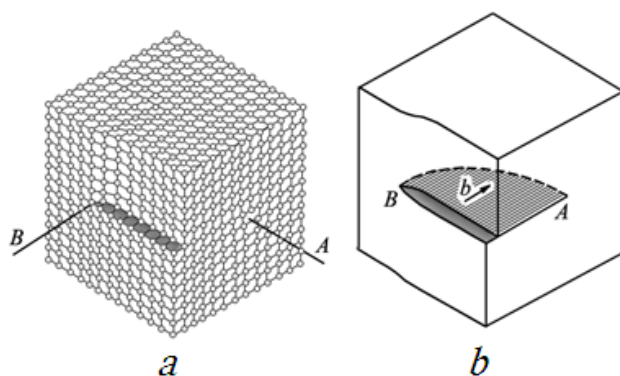
Vintlik ha'm shetlik dislokაციyalardag'i kristaldi'n atomlari'ni'n' awi'si'wi'ni'n' sxemasi'.

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

Tap sonday jollar menen shetlik dislokაციyani' 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 dislokაციyasi' si'zi'g'i'nan basqa ori'nlardag'i' baylani'slardi' biriktiriw kerek boladi' (30- a su'wret). Kristaldi'n' bul bo'liminin' awi'si'w vektori' Byurgers vektori' boli'p tabi'ladi'. Shetlik dislokაციyani'n' Byurgers vektori'ni'n' dislokაციyani'n' o'zine perpendikulyar ekenligi ko'rinip tur.

Aralas tiptegi dislokაციyalar. 31-su'wrette A ha'm B noqatlari'n tutasti'ri'wshi' aralas tiptegi qi'ysi'q si'zi'qli' dislokაციyag'a mi'sal keltirilgen. A noqati'nda atomlardi'n' jaylasi'wi' shetlik, al B noqati'nda vintlik dislokაციyag'a sa'ykes keledi. Bunday dislokაციya $\vec{b}$ 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 deformაციyasi'ni'n' aqi'betinde payda boladi' (31-su'wretti qaran'i'z). Ta'sir etiwdi dawam etsek A - B dislokაციyasi' ji'lji'ydi' ha'm shtrixlang'an oblastti'n' maydani' u'lkeyedi. Tap usi'nday aralas tiptegi quramali' dislokაციyalar kristallarda ji'yi ushi'rasadi'.

Dislokაციyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i'. Dislokაციyalardi' baqlaw usi'llari'. Dislokაციyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' kristaldi'n' ishinde ali'ng'an maydani' bir birlik bolg'an betti kesip o'tetug'i'n dislokაციyalardi'n' sani'na ten'. Bul shama kristaldi'n' ko'leminin' bir birligindegi barli'q dislokაციyalardi'n' uzi'nli'g'i'na ten'. Dislokაციyalardi'n' ti'g'i'zli'qlari'ni'n' ji'yi ushi'rasatug'i'n ma'nisleri ha'm dislokაციyalardi'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' dislokაციya.

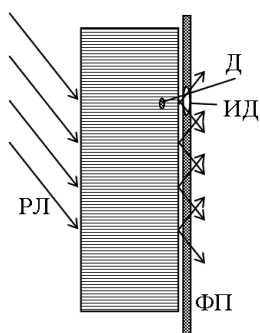
2-keste.

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

Dislokაციyalardi' u'yreniw usi'li'	U'lginin' kali'n'li'g'i', mkm	Dislokაციyalardi'n' su'wretinin' ken'ligi, mkm	Dislokაციyalardi'n' maksimalli'q ti'g'i'zli'g'i' (1 sm ² maydandag'i')
Elektron mikroskopi'asi'	10 ⁻⁰ -10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ¹¹ -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	$10^{-6}-10^{-7}$

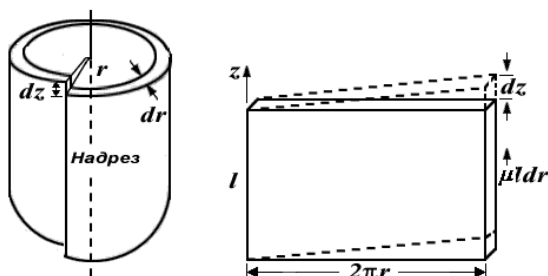
Elektron mikroskoplari'ni'n' ja'rdeminde qa'legen ti'g'i'zli'qtag'i' dislokatsiyalardi' baqlaw mu'mkin. Quri'li'si' jetkilikli da'rejede jetilisken kristallardag'i' dislokatsiyalardi' rentgen topografiyasi'ni'n' ja'rdeminde baqlaydi'. Dislokatsiyalardi' baqlaytug'i'n usi'llardi'n' barli'g'i' da dislokatsiyalardi'n'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



32-su'wret.

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

Dislokatsiyalardi'n' energiyasi'. Dislokatsiyag'a usi' dislokatsiya payda etken kristalli'q pa'njeresinin' mayi'si'w energiyasi' baylani'sli'. Bul energiyani'n' shamasi'n dislokatsiyadan qashi'qlasqan tutas ortalig' jaqi'nlas'i'wi'n (priblijenie) ha'm dislokatsiyalarg'a jaqi'n qashi'qli'qlardag'i' bir biri menen ta'sirlesiwshi atomlar modelin qollani'p esaplawg'a boladi'.



33-su'wret.

Vintlik dislokatsiya jani'ndag'i' kristaldi'n' deformatsiyali'ni'wi'.

Bunday esaplawdi' vintlik dislokatsiyalar ushi'n ori'nlag'an an'sat. Kristaldi' tutas izotrop ortalig' dep esaplaymi'z. 33-su'wrette vintlik dislokatsiya jani'ndag'i' serpmili deformatsiyalar kartinasi' ko'rsetilgen. Bunday jag'dayda dislokatsiyani'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 shamasi'na

ji'li'si'w menen baylani'sqan. Bunday jag'dayda ha'r bir qatlam $\varepsilon = b/2\pi r$ shamasina ji'lji'w menen deformaciyalang'an dep esaplay alami'z (ko'rsetpelilik ushi'n 33-su'wrette ha'r bir cilindrni burawg'a ha'm payda bolg'an ji'lji'w deformaciyasi'ni'n' shamasin 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':

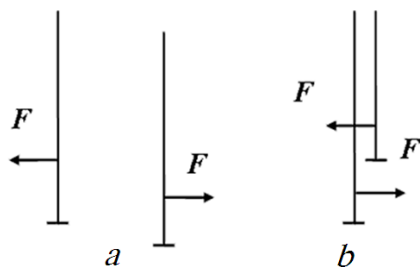
$$\omega = \mu\varepsilon^2/2 = (\mu/2)(b/2\pi r)^2$$

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

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

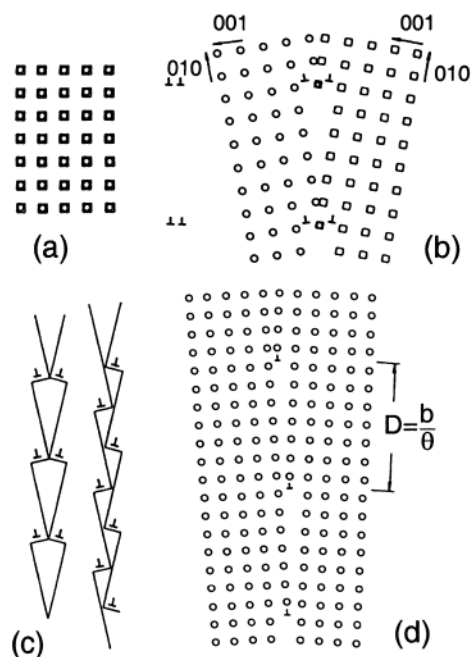
Bul formulada r_0 di shama menen pa'njerenin' da'wirine ten' dep esaplawg'a boladi'. R_0 bolsa dislokaciylar arasi'ndagi' ortasha qashi'qli'q. Oni'n' ma'nisi pa'njere da'wirinin' ma'nisinen shama menen 100-200 ese u'lken. $U = (b^2 l \mu / 3\pi) \ln(R_0/r_0)$ formulada u'lken da'llik talap etilmeydi. Sebebi R_0/r_0 qatnasi' logarifm ishinde tur ha'm biz na'tiyjeni tek energiyani'n' ma'nisin bahalaw ushi'n isledik. Joqari'dagi' formulada dislokaciyanin' «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. $\omega = \mu\varepsilon^2/2 = (\mu/2)(b/2\pi r)^2$ formulasi'na a'melde jiyi ushi'rasatug'i'n $b = 2,5 \cdot 10^{-10}$ m; $\mu = 10^{11}$ N/m²; $r_0 = 5 \cdot 10^{-10}$ m ha'm $R_0 = 200 \cdot 10^{-10}$ m ma'nislerin qoyi'p uzi'nli'q birligine sa'ykes keletug'i'n vintlik dislokaciyanin' energiyasi'ni'n' $\frac{U}{l} = 4 \cdot 10^{-9}$ Dj/m, al ha'r bir atom arasi'ndagi' qashi'qli'q ushi'n (yag'ni'y ha'r bir atom ushi'n) $\frac{U}{b} = 10^{-18}$ Dj/atom shamasina ten' bolatug'i'nli'g'i'n ko'remiz. Bul u'lken shama ha'm atomlardi'n' ji'lli'li'q terbelislerinin' energiyasi'nan a'dewir u'lken. Sonli'qtan dislokaciya ji'lli'li'q qozg'ali'slari'ni'n' ta'sirinde payda bola almaydi'. Dislokaciylardi' payda etiw ushi'n ten' salmaqli' emes processler (mi'sali' kristallardi' deformaciyalaw) kerek.

Dislokaciylardi'n' bir biri menen ta'sirlesiw. Dislokaciya deformaciylar maydani'n payda etedi ha'm usi' maydan arqali' basqa dislokaciylarg'a ta'sir etedi. Mi'sali' 34 (a) su'wrette ko'rsetilgen dislokaciylar bir birin iyteriwi, al 34 (b) su'wrettegi bir biri menen tarti'si'wi' kerek. Dislokaciylardi'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'. Sonli'qtan biz olardi' tallamaymi'z.



34-su'wret.

Bir biri menen iytirisetug'i'n (a) ha'm tarti'satug'i'n (b) jag'daylardag'i' eki shetlik dislokaciyanin' jaylasi'wi'.



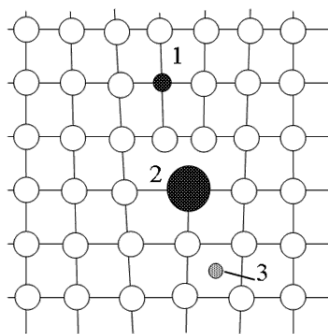
35-su'wret.

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 monokristallardi'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.

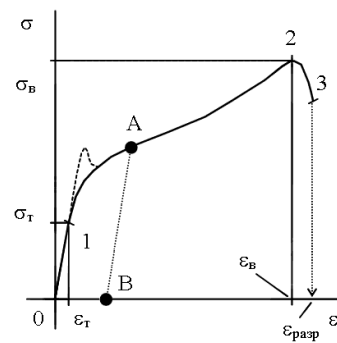
Dislokaciylar menen noqatli'q defektlerdin' bir biri menen ta'sirlesiw.

Dislokaciya, a'sirese shetlik dislokaciya kristalli'q pa'njerenin' ku'shli qi'si'lg'an ha'm sozi'lg'an ushastkalari'n payda etedi. (36-su'wretti qaran'i'z). Sozi'lg'an ori'nlarda almasti'ri'wshi' iri qosi'mta atomlardi'n', al qi'si'lg'an ori'nlarda almasti'ri'wshi' mayda atomlardi'n' jaylasi'wi' energiyali'q jaqtan uti'mli'. Tu'yinler arasi'na endirilgen iri atomlardi'n' sozi'lg'an ori'nlarda, al qi'si'lg'an ori'nlarda tu'yinler arasi'na endirilgen mayda atomlardi'n' jaylasi'wi' uti'mli'. usi'nday jag'dayda dislokaciylardi'n' a'tirapi'nda qosi'mta atomlardi'n' ji'ynag'i' payda boli'p, oni' «dislokaciyanin' posti'ni» dep ataydi'. Bul dislokaciylar a'tirapi'ndag'i' lokalli'q deformaciylardi' ha'm dislokaciyanin' energiyasi'n kemeytedi. Plastikali'q deformaciya «posti'ni» bar dislokaciylardi' ji'li'sti'ri'w «posti'ni» joq dislokaciylardi' ji'li'sti'rg'annan qi'yi'ni'raq boladi'. Sebebi birinshi dislokaciya energiyasi' joqari'raq bolg'an ori'ng'a ko'shedi. Ayi'ri'm noqatli'q defektleri yamasa olardi'n' ji'ynaqlari' dislokaciylardi' turg'an orni'na bekitedi dep esaplaydi'. Elektro mikroskopi'nda dislokaciylardi'n' a'tirapi'ndag'i' iri ji'ynaqlar baqlanadi'. To'mende keltirilgen mi'salda bekkemlik teoriyasi'ndag'i' «ag'i'w tisi» («zub tekushesti») biz aytqan jag'daydi' ani'q tu'sindiredi.



36-su'wret.

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



37-su'wret.

U'lgini sozg'anda σ kernewinin' sali'sti'rmali' uzari'w ε shamasidan g'a'rezligi.

Dislokatsiyalardi'n' qasi'ndag'i' sozi'lg'an kristalli'q pa'njerege iye ushastkalar diffuziyanin' o'tiwi ushi'n jen'illestirilgen kanallar boli'p tabi'ladi'. Dislokatsiyalardi'n' ti'g'i'zli'g'i' joqari' bolg'an deformatsiyalangan materiallarda deformatsiyalanbag'an materiallarga sali'sti'rg'anda diffuziyanin' 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. Dislokatsiyalar qozg'alg'anda noqatli'q defektlerdi, soni'n' ishinde vakansiyalardi' payda etedi dep esaplaydi'. Bul vakansiyalar arti'q tegisliktin' shetlerinde payda boladi'. Bunday processlerde dislokatsiya si'zi'g'i' jan'a ori'ng'a ji'li'sadi' («en'bekleydi»). Dislokatsiyalardi'n' «en'beklewi» (perepolzanie) dep atalatug'i'n bunday process ji'yi ushi'rasadi'.

Kristallardi'n' plastiklik (elastik) deformatsiyasi' ha'm dislokatsiyalar. Detalg'a berilgen o'lshemlerdi ha'm formani' beriw ushi'n ko'p materiallardi' texnologiyali'q qayta islew processinde qayti'msi'z tu'rde deformatsiyalaydi'. Qayti'msi'z deformatsiyalar Guk ni'zami' ori'nlanbaytug'i'n jag'daylarda baqlanadi'. Bul jag'daylarda detallardag'i' kernewlerdin' ma'nisleri sali'sti'rmali' deformatsiyadan quramali' tu'rdegi si'zi'qli' emes g'a'rezlikke iye.

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

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

b) u'lginin' sali'sti'rmali' uzayi'wi' ε menen:

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

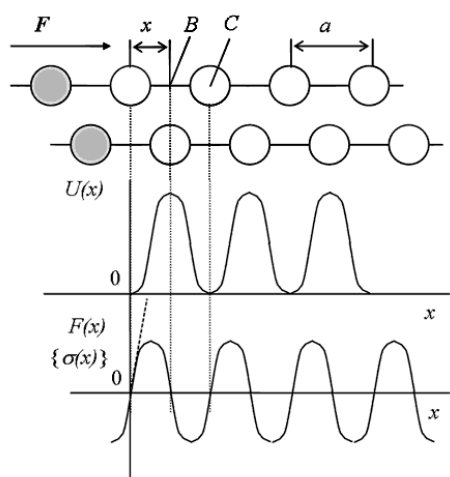
Bul an'latpada l arqali' σ kernewi ta'sir etkendegi u'lginin' uzi'nli'g'i', l_0 arqali' u'lginin' da'slepki uzi'nli'g'i' belgilengen. 37-su'wrette u'lgini sozg'anda mexanikali'q kernew σ menen sali'sti'rmali' uzayi'w ε shamasidan arasi'ndag'i' baylani's ko'rsetilgen. Iymeklik o'zine ta'n u'sh ushastkaga iye. 0-1 ushastkasi' serpimli qayti'mli' deformatsiyaga sa'ykes keledi. Bul ushastkada Guk ni'zami' ori'nlanadi'. 1-2 ushastkasi' qayti'mli' emes plastikali'q deformatsiyaga tiyisli; eger A noqati'nda deformatsiyalawdi' 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' dislokatsiyalardi'n'

a'tirapi'nda toparlasqan noqatli'q defektler menen baylani'sli'. Bunday ori'nlarda dislokაციyalardi' orni'nan ji'ljiti'w qi'yi'ni'raq. Sebebi jan'a ori'nda oni'n' energiyasi'ni'n' joqari'lawi' kerek.

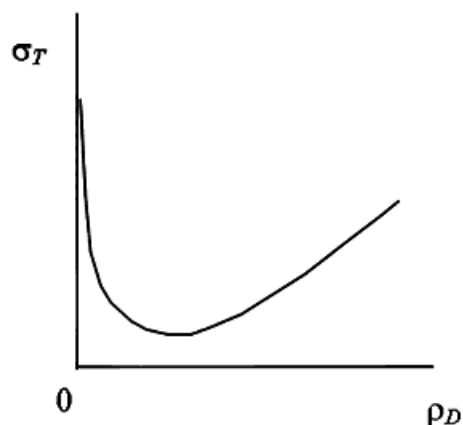
1 noqati'na sa'ykes keliwshi σ shamasin' aqqi'shli'q shegi σ_τ dep ataydi', al 2 noqati'na sa'ykes keliwshi kernewdi bekkemlik shegi dep atap, oni' σ_B arqali' belgileydi.

Dislokაციyalardi' esapqa almay kristalli'q denelerdin' bekkemlik shegin esaplasa (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'ljı'w deformaciyasi'ndag'i' aqqi'shli'q shegin esaplawg'a ti'ri'sami'z.

Eksperimentler plastikali'q deformaciyani'n' ji'ljı'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 tangensiallı'q ku'sh tu'sirilse atomlar ori'nları'nan ji'ljı'ydi' ha'm shaması' tu'sirilgen ku'shtin' shaması'na ten' serpimlilik ku'shi payda boladi'. Deformaciya energiyasi'ni'n' ma'nisi usi' ku'shtin' ma'nisi menen baylani'sli'. Deformaciyani'n' energiyasi' joqari'dag'i' tegisliktegi atomları' to'mengi tegisliktegi atomları'n' u'stinde jaylasqang'a shekem (yag'ni'y 38-su'wrettegi B noqati'nda) joqari'laydi'. Bunnan keyingi ji'li'si'wlarda atomlarg'a S awhali'na «tu'siw» uti'mli' boladi'. Solay etip joqari'da jaylasqan tegislik jan'a ori'ng'a ji'li'si'p o'te aladi'. Eger plastikali'q deformaciya dan keyin monokristallardi'n' betin abaylap tegislese sonday ji'li'si'wlardi'n' izlerin «baspaldaqlar» tu'rinde ko'riwge boladi'.



38-su'wret. Atomları'n' joqari'da jaylasqan tegisliginin' to'mende jaylasqan tegisligine sali'sti'rg'andag'i' ji'ljı'wi'ni'n' esabi'nan ju'retug'i'n deformaciyani'n' sxemasi'.



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

Joqarg'i' tegislikti to'mengi tegislikke sali'sti'rg'anda ji'li'sti'ri'w ushi'n za'ru'rli bolg'an ku'shtin' ma'nisin bahalawg'a boladi'. (38-su'wrette 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' potenciallı'q energiyani'n' x koordinatasi'nan g'a'rezligi keltirilgen. $\sigma_c(x)$ g'a'rezligin da'wiri a g'a ha'm amplitudasi' $\mu a / (2\pi d)$ bolg'an sinusoida menen ta'riplewge boladi'. Bul an'latpada d arqali' tegislikler arasi'ndag'i' qashi'qli'q belgilengen. Bul sinusoidani'n' amplitudasi'ni'n' ma'nisin biz esapladı'q. Buni'n' ushi'n x ti'n' kishi ma'nislerinde sinusoidani'n' qi'yali'g'i'ni'n' tangensi $\mu \varepsilon = \mu \left(\frac{x}{a} \right)$ shaması'na ten' boli'wi' kerekligin paydalandi'q (38-su'wrette qaran'i'z). Bunday jag'dayda $\sigma_c(x)$ ushi'n to'mendegidey formula ali'nadi':

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

$x = a/4$ bolg'an jag'dayda $\sigma_c(x)$ shamasi o'zinin' maksimalli'q ma'nisine iye boladi'. Usi' formula ja'rdeminde 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 ayi'rmani'n' sebebi mi'nadan ibarat: joqari'dag'i' tegislikte jaylasqan atomlardi'n' barli'g'i'ni'n' to'mengi tegislikte jaylasqan atomlarg'a sali'sti'rg'anda bir waqi'tta ji'li'sadi' dep esapladi'q. Bul duri's emes. Sebebi joqari'dag'i' yari'm tegisliktin' 1 atomlar arasi'ndag'i' qashi'qli'qqa ji'li'wi' dislokaciyanin' ji'li'wi' menen de a'melge asadi' (bul 26-su'wrette ko'rsetilgen). Bunday ji'li'w ushi'n a'dewir kishi ku'sh kerek boladi'. Sebebi endi ji'li'wda barli'q atomli'q baylani'slardi'n' bir waqi'ttag'i' u'ziliwi ori'n almaydi', al dislokaciyanin' qasi'ndag'i' baylani'slar g'ana u'ziledi.

Plastikali'q deformaciyanin' dislokaciya'li'q mexanizmi ta'jiriybelerde baqlanatug'i'n ag'i'w sheginin' ma'nislerin (σ_T ha'm σ_B shamalari'n), 37-su'wrettegi 1-2 ushastkasi'ndag'i' $\sigma(\epsilon)$ g'a'rezliginin' o'siwin de tu'sindire aladi'. Deformaciya da'slep a'zzi berkigen dislokaciya'lar, al keyin ku'shlirek berkigen dislokaciya'lar qozg'ala baslaydi'. Soni'n' menen birge deformaciyanin' bari'si'nda dislokaciya'lardi'n' sani' ha'm basqa da defektler ko'beyedi.

Materialdi'n' ag'i'w shegi usi' materialdag'i' dislokaciya'lardi'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. Dislokaciya'lardi'n' ti'g'i'zli'g'i' (ρ_D) kishi bolg'anda ag'i'w shegi σ_T shamasini'n' u'lken bolatug'i'nli'g'i', al ρ_D ni'n' shamasini' u'lken bolg'anda ag'i'w sheginin' kishi bolatug'i'nli'g'i' ko'rinip tur. U'lken ρ_D shamasini'nda σ_T ti'n' u'lkeyiwin dislokaciya'lardi'n' bir biri menen ha'm kristalli'q pa'njerenin' basqa da defektlari menen ta'sir etisiwinin' na'tiyjesi boli'p tabi'ladi'.

Materiallardin' bekkemligin joqari'lati'w jollari'. Ha'zirgi waqi'tlari' bekkemlik shegin $0,01\mu$ ge shekem jetkeri'wge mu'mkinshilik beretug'i'n materiallardin' bekkemligin joqari'latatug'i'n ko'p sanli' usi'llar bar. Olardi'n' ko'pshiligi dislokaciya'lardi'n' qozg'ali'wi'na mu'mkinshilik bermeytug'i'n qosi'msha tosqi'nli'qlardi' kirgizi'w menen baylani'sli'. Usi'nday tosqi'nli'qlarg'a mi'sal retinde kristalli'q pa'njerenin' to'mendegidey defektlerin ko'rsetemiz:

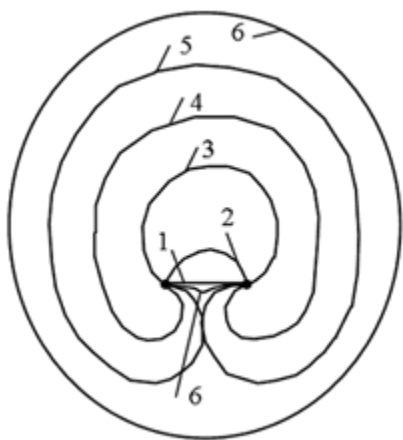
- 1) basqa fazani'n' ayri'li'p shi'g'i'wi' (bul haqqi'nda to'menirekte ga'p etiledi);
- 2) noqatli'q defektler ha'm olardi'n' toparlari' (dara jag'dayda joqari'da ga'p etilgen «dislokaciya'lar posti'ni»);
- 3) dislokaciya'lardi'n' qozg'ali'wi'n qi'yi'nlasti'ratug'i'n dislokaciya'lardi'n' o'zlerinin' ko'p boli'wi' (dislokaciya'lardi'n' bir biri menen ta'sirlesiwleri olardi'n' qozg'ali'wi'na kesent beredi);
- 4) atomlardi'n' ornalasi'wi'ndag'i' jaqi'nnan ta'rtiptin' ori'n ali'wi' (bul haqqi'nda to'mende ken'irek ga'p etemiz).

Qo'pshilik quymalarda jaqi'nnan ta'rtip dep atalatug'i'n qubi'li's baqlanadi'. Bunday ta'rtipde bir sorttag'i' atom o'zin basqa sorttag'i' atomlardi'n' qorshap turi'wi'na ti'ri'sadi'. Usi'nday jollar menen quymani'n' kishi energiyag'a iye boli'wi' ta'miyinlenedi. dislokaciya'lardi'n' qozg'ali'w bari'si'nda atomlar arasi'ndag'i' energiya'li'q jaqtan uti'mli' baylani'slar u'ziledi ha'm energiya'li'q jaqtan uti'mli' emes baylani'slar qa'liplesedi. Buni'n' ushi'n u'lken energiya talap etiledi, al bul o'z gezeginde dislokaciya'lardi' ji'li'ti'w ushi'n za'ru'rli bolg'an ku'shlerdin' o'siwine, aqi'rg'i' esapta kristalli'q materialdi'n' bekkemliginin' arti'wi'na ali'p keledi.

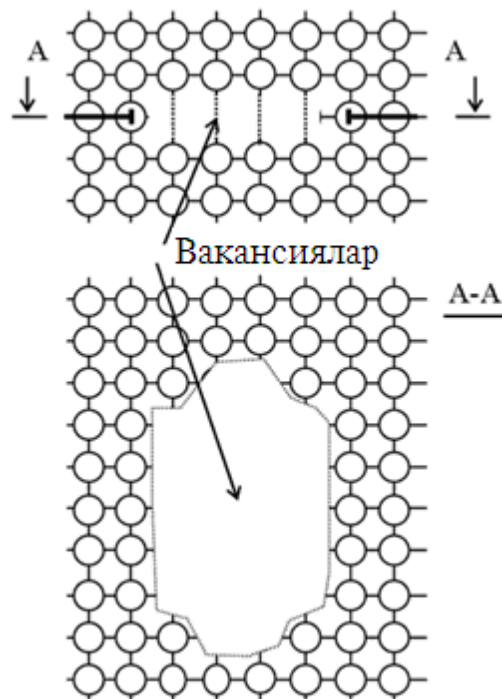
Joqari'da keltirilgen usi'llar bekkemlikni a'dewir joqari'latatug'i'n bolsa da, a'dette materialdi'n' plastikligin ku'shli to'menletedi.

Kristaldi'n' bekkemligi dislokaciya'lardi'n' ti'g'i'zli'g'i' kishi bolg'an jag'daylarda da ori'n aladi'. Bunday jag'daylarda kristallardi'n' dislokaciya'li'q mexanizm menen deformaciya'lanishi' qiyi'nshi'li'q penen ju'zege keledi (dislokaciya'lar az bolg'anli'qtan).

Dislokatsiyalardi'n' payda boli'wi'. Joqari'da ayti'li'p o'tilgenindey, dislokatsiyalar tiykari'nan kristallardi'n' plastiklik deformatsiyasi'ni'n' na'tijesinde payda boladi'. Plastikali'q deformatsiyadag'i' dislokatsiyalardi'n' payda boli'w istoshniklerinin' birin Frank-Rid istoshnigi (deregi) dep ataydi'. Ol 40-su'wrette ko'rsetilgen. Meyli dislokatsiya 1 A ha'm B noqatlari'nda bekitilgen bolsi'n. Bunday noqatlardi'n' orni'n basqa o'lshemlerge iye atomlardi'n' ji'ynaqlari', basqa faza oblastlari' ha'm basqalar boli'wi' mu'mkin. Si'rttan mexanikali'q kernew tu'sirilgende dislokatsiya ji'lji'ydi' ha'm 2, 3, 4 awhallari'nan izbe-iz o'tedi. En' aqi'ri'nda 5-awhalda dislokatsiyani'n' shep ha'm on' ta'replerdeg'i' yari'm ilmekleri bir biri menen tiyisedi, do'n'gelek formag'a iye (6) dislokatsiyali'q ilmekti payda etedi. Bul ilmek bolsa mexanikali'q kernewdin' ta'sirinde 1 formasi'na keledi. Bunnan keyin process qaytalanadi' ha'm kelesi dislokatsiya payda boladi'.

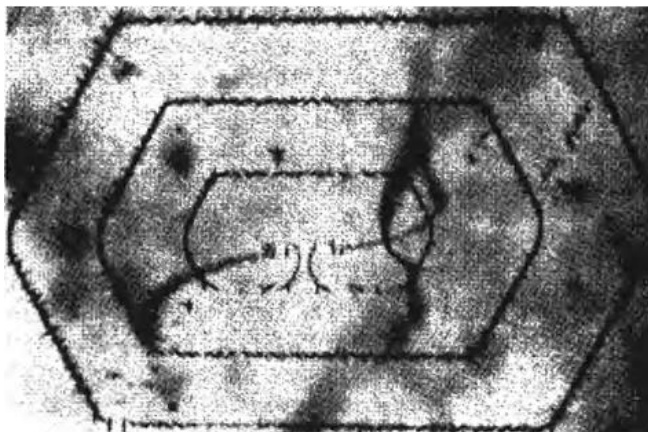


40-su'wret.
Dislokatsiyalardi'n' Frank-Rid istoshnigi
(deregi)

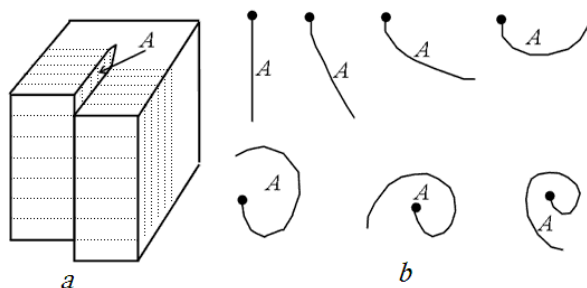


41-su'wret. Aralas tiptegi dislokatsiyalarg'a
ekivalent bolg'an tuyi'q si'zi'q tu'rindagi
vakansiyalardi'n' disk ta'rizli ji'ynag'i'
(toparlasi'wi').

Kristallardi' salqi'nlatqanda vakansiyalardi'n' disk ta'rizli ji'ynaqlari' payda bolg'anda da tuyi'qlang'an dislokatsiyalar payda boladi'. Bul jag'day 41-su'wrette keltirilgen.



Dislokatsiyalar ha'm kristallardi'n' o'siwi. Vintlik dislokatsiyalari' kristallardi'n' (balqi'g'an suyi'q fazadan, eritpeden ha'm puwlardan) o'siwin jen'illestiredi. Sebebi vintlik dislokatsiyag'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 dislokatsiyani'n' kristaldi'n' o'siwin jen'illestiriwi (a) ha'm A tekshesinin' asti'ndag'i' oblastqa atomlar kelip kristalg'a qosi'lg'anda dislokatsiyani'n' formasi'ni'n' o'zgeriwinin' izbe-izligi (b).

Jetkilikli da'rejede jetiliskan kristallardi'n' betinde sonday teksheler jiwi baqlanadi'.

8.3. Betlik ha'm ko'lemlik defektler

Betlik ha'm ko'lemlik 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'lemlik defektler jag'dayi'nda atomlardi'n' jaylasi'wi'ndag'i' da'wirlik 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'qti'n' 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' minimallas'i'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'pshiligi bir biri menen baylani'spag'an bir neshe kristallizitsiyalari'w orayi'nda o'se baslaydi'. Sonli'qtan olar kristalli'q pa'njerelerinin' orientatsiyalari' bir birine jaqi'n da'neshelerden turadi'. Bul da'neshelerdin' arasi'ndag'i' shegarada atomlardi'n' jaylasi'wlari'ndag'i' da'wirlik 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'qti'yarli' ma'nislerdi qabi'l etedi.

Mayi'sqan kristalli'q pa'njerege 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 unamli' aqi'betlerge ali'p kelmeytug'i'n reaksiyag'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'nimlari (mi'sali' oksidlar, nitridlar 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'tilgan 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' migratsiyasi' ori'n aladi' ha'm da'nesheler arasi'ndag'i' shegaralardag'i' kernewlerdin' ma'nisi kemeydi. Usi'ni'n' aqi'betinde shegara boylap diffuziyanin' 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' razorientatsiya mu'yeshleri kishi bolg'an monokristallar paydalani'ladi'. Mi'sali' bunday monokristallardi' gaz turbinalari'ni'n' pa'rigin sog'i'w ushi'n paydalanadi'. 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 qarshi'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'lemli iyeleytug'i'n basqa kristalli'q fazalar, geweklar ha'm jari'qlar (san'laqlar) kiredi. Geweklar menen jari'qlardi'n' boli'wi' materiallarga ku'shli tu'rde unamsi'z ta'sirin tiygizedi. Sebebi ular kristaldi'n' barli'q fizikali'q qa'siyetlerin o'zgartedi (mayi'sti'radi'), buyi'mlardi'n' bekkemligi menen plastikli'g'in a'dewir to'menletedi.

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

9. Metall quymalar

Uli'wmali'q mag'li'wmatlar.

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 elementlar qurawshi'lar dep ataladi'. Uli'wma jag'dayda quymalar qurawshi'lardi'n' mexanikali'q aralasasi' boli'p tabi'lmaydi'.

Quymalardi'n' klassifikatsiyasi'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 kristallizatsiya arqali', metallokeramikali'q usi'l menen, puwdan kondensatsiya joli' menen, eritpeden elektrlik o'ti'rg'i'zi'w menen, diffuziyanin' toyi'ni'w menen ha'm basqalar.

Konstruktsiyali'q materiallardi'n' tiykarg'i' tu'ri si'pati'nda texnikada ju'da' a'hmiyetli ori'ndi' metall 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'q tan 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 qurawshi'si' boyi'nsha ani'qlang'an klasslardi'n' ishinde gruppalar'g'a ha'm podgruppalar'g'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'qti'n' ta'sirinde, termomexanikali'q, radiaciyali'q qayta islewlerdin' na'tiyjesinde o'zgerti'w mu'mkin.

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

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

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

- suyi'q eritpeler,
- qatti' 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) qatti' hal'g'a jaqi'n. Suyi'q eritpenin' sapali'q ayi'rmasi' kristalli'q quri'li'stag'i' uzaqtan ta'rtpitin' joqli'g'i'nan ko'rinip turadi'.

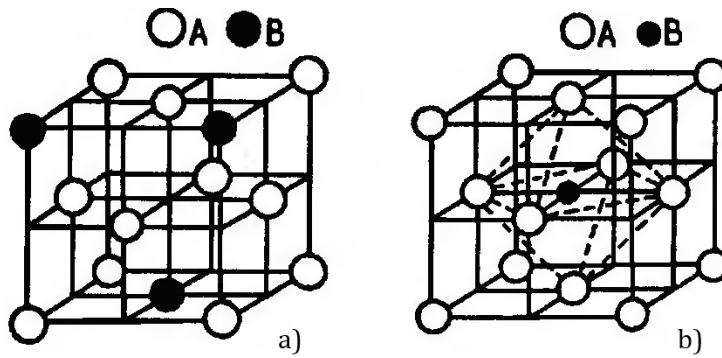
Metallardi'n' ko'pshiligi bir birinde sheksiz eriydi. Biraq ayi'ri'm metallar (mi'sali' suyi'q mi'stag'i' suyi'q qorg'asi'n) suyi'q xalda derlik toli'q erimeydi ha'm bir biri menen aralaspaytug'i'n ti'g'i'zli'qlari' menen ayri'latug'i'n eki suyi'q qatlamdi' payda etedi.

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

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

Metalli'q qatti' eritpelertiykargi' metaldi'n' pa'njeresine baska metaldi'n' yamasa metall emestin' kiriwinin' saldari'nan payda boladi'. Almasti'ri'w qatti' eritpelerin ha'm endiriw qatti' eritpelerin bir birinen ayi'ri'p ko'rsetedi (su'wrette ko'rsetilgen). Almasti'ri'w qatti' eritpelerinin' ha'm endiriw qatti' eritpelerinin' payda boli'w itimalli'g'i' tiykarg'i' metaldi'n' atomlari'ni'n' ha'm qosi'mta atomlardi'n' o'lshepleri 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' shamasi' 1 – 2 procentke jetiwi mu'mkin.

Almasti'ri'w qatti' eritpelerin payda etiw ushi'n tiykargi' metal menen qosi'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').



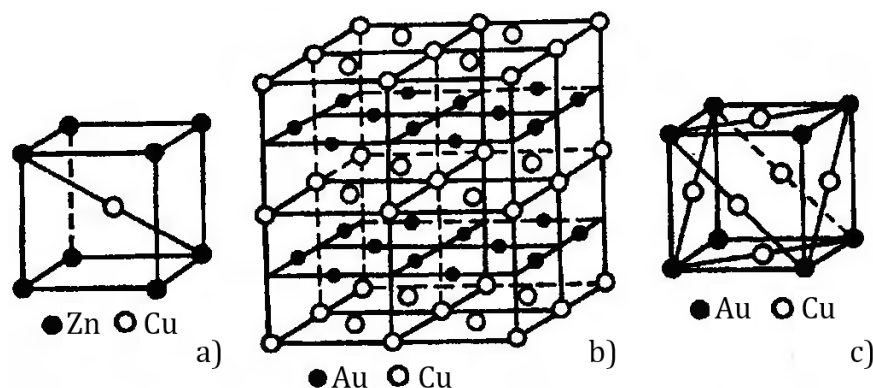
43-su'wret.
Almasti'ri'w (a) ha'm endiriw (b)
qatti' eritpelerinin' kristalli'q
pa'njereleri.

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 qatti' metal eritpesi payda bolg'anda kristalli'q pa'njere barli'q waqi'tta mayi'sadi' ha'm pa'njerenin' da'wiri o'zgeredi. Endiriw aralaspisi'n payda bolg'anda pa'njere da'wiri ba'rha' u'lkeyedi, al almasti'ri'w qatti' eritpesi payda bolg'anda eritkish penen erigen zatti'n' atomlari'ni'n' radiuslari'ni'n' katnaslari'na saykes pa'njerenin' da'wirinin' u'lkeyiwi de, kishireyiwi de mu'mkin.

Metallardi'n' ko'pshiligi qatti' halda bir birinde eriydi. Mi'sali', kristalli'q pa'njerenin' 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 qatti' eritpelerdin' u'zliksiz qatari'n payda ete aladi'.

Qatti' eritpederdin' 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. Qatti' eritpeler a'dette kemirek elastiklik qa'siyetke iye. Soni'n' menen birge qatti' eritpeler taza metallarg'a sali'sti'rg'anda qatti'raq ha'm bekkemirek (mi'sti'n' tiykari'nda payda etilgen qatti' eritpeler bug'an kirmeydi). Endiriw qatti' eritpelerinin' payda boli'wi'nda fizikali'q qa'siyetler u'lken o'zgerislerge ushi'raydi', sebebi bul jag'dayda kristalli'q pa'njerenin' mayi'si'yai' u'lkenirek boladi'.

Almasti'ri'w qatti' 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'njeresin o'zgeriske ushi'ratpay ta'rtplesiw mu'mkin. Temperatura joqari'lag'anda ta'rtplesiw da'rejesi izbe-iz to'menleydi ha'm bazi' bir temperaturadan joqari'lag'anda qatti' eritpe toli'q ta'rtplespegen qatti' eritpege aylanadi'. Temperaturani'n' usi'nday ma'nisin Kurnakov noqati' dep ataydi'.



44-su'wret. Ta'rtplesken qatti' eritpelerdin' kristalli'q pa'njereleri: a) CuZn, b) CuAu, c) Cu₃Au.

Toli'q ta'rtplesken qatti' 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 qatti' eritpelerdi qatti' 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' (mexanikali'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	α -Fe-V	Ni-Pd
Ag-Pd	Co-Rh	γ -Fe-Co	Ni-Pt
As-Sb	Co-Ru	α -Fe-Ni	Pd-Rh
Au-Cu	Cr- α -Fe	α -Fe-Pd	Pd-Pt
Au-Ni	Cr-Mo	γ -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- β -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 alfavitindagi u'lken ha'ripler menen belgilew qabi'l etilgen: A, V, S ha'm basqalar; qatti' eritpelerdi kishi grek ha'ripleri menen belgileydi: α , β , γ , ha'm tag'i' basqalar. Al ta'rtiplesken qatti' eritpelerdi shtrixlar qoyilg'an grek ha'ripderinin' ja'rdeminde belgileydi: α' , β' , γ' ha'm basqalar. Qatti' eritpeler arawli' tu'rde tayarlanatug'i'n sanaatli'q konstrukciyalig' materiallardin' tiykari'n quraydi'.

"Ximiyali'q birikpe" ximiyali'q individuallig' zatti' ani'qlaydi'. Bunday zatta bir (mi'sali' N_2 , O_2 , H_2) yamasa ha'm qi'ylig' (mi'sali' CuZn, Mo_2C , H_2O , H_2PO_4 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'ylig' 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" iymekligindagi maksimum.

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

- birikpede qurawshi'lar arasi'ndag'i' $A_p V_t$ 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') turaqli';
- 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 klasslarga bo'ledi: *elektronli'q birikpeler*, *intermetallidlar*, *endiriw fazalari'* 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 β -birikpe tu'rinde belgilenedi (SuBe, SuZn, Su₃Al, Su₅Sn, SoAl, FeAl ha'm basqalar). Elektronli'q koncentraciyasi' $21/13$ (1,75) bolg'an elektronli'q birikpeler quramali' pa'njerege iye ha'm γ -faza tu'rinde belgilenedi (Su₅Zn₈, SuSd₃, Au₃Sn 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 ε -faza dep ataladi' (SuZn₃, Su₃Si, Au₃Sn 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: M₄X (Fe₄N, Mn₄N ha'm basqalar), M₂X (W₂S, Mo₂S, Fe₂N ha'm basqalar), MX (WS, VS, TiS, VN ha'm basqalar) ha'm MX₄ (ZrN₄). Bul karbidler, nitridler, boridler 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 stexiometriyalig' qatnasi' M_nX_m formulasi' 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 konstrukciyalig' 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 islew din' rejimlerine sa'ykes) baylani'sli' ha'r qi'yli' strukturag'a iye boli'wi' mu'mkin. Metallardi'n' makro-, mikro- ha'm substrukturallari'n bir birinen ayi'ra ali'w kerek. Metallar menen quymalardi'n' strukturasi'n qadag'alaw usi'llari' ma'mleket 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 defektlari' (ximiyali'q ha'm strukturalig' bir teklikliktin' bolmawi') materialdi'n' qurami',

materialdi'n' ali'ni'w usi'li' ha'm materialg'a bunnan keyingi tiygen ta'sirlerge baylani'sli'. Mi'sali' qatti' 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 faza menen tolga'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 ortalig'q penen baylani'sqan ha'm olar bir biri menen baylani'sqan boli'wi' mu'mkin.

Quwi'sli'li'q (poristost) - 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'lg'an yamasa dispersli materialdi'n' bo'leksheleri arasi'ndag'i' hawa menen tolga'an ken'islik.

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.

Materialdi'n' makrostrukturasi'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 mikroko'pti'n' ja'rdeminde baqlanatug'i'n materialdi'n' strukturasi'. Mikrostrukturani'n' bir fazali' yamasa ko'p fazali' boli'wi' mumkin.

Mikrostrukturani'n' tiykarg'i' xarakteristikalari' ishinde en' a'hmiyetlilari mi'nalardan ibarat:

- bir fazali' materiallar ushi'n - kristallitlerdin' (tu'yirtpeklerdin') o'lshe'mleri, formalari' ha'm orientatsiyalari' (bag'i'tlari');
- ko'p fazali' materiallar ushi'n - ha'r bir fazani'n' tu'yirtpeklerinin' joqari'da atap o'tilgen xarakteristikalari', ha'r bir fazani'n' sali'sti'rmali' mug'dari' ha'm olardi'n' o'z-ara jaylasi'wlari'.

Optikali'q mikroskopiya materialdi'n' su'wretin 2000 esege shekem u'lkeyte aladi' ha'm soni'n' saldari'nan o'lshe'mleri 1-2 mkm bolga'an mikrostrukturani'n' elementlerin baqlaw mu'mkin.

Substruktura (juqa struktura) - ju'da' u'lken u'lkeytiwlerde baqlanatug'i'n kristalli'q zatardi'n' tu'yirtpeklerinin' ishindegi struktura. Real metaldi'n' ha'r bir tu'yiri (tu'yirtpegi) sub tu'yirtpeklerden (mikrodefektlerden) turadi'. Olardi'n' tiykarg'i' xarakteristikalari' - ortasha o'lshe'mleri ha'm bir birine sali'sti'rg'andag'i' buri'li'w mu'yeshleri. Sub tu'yirtpekler 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' joqari'da keltirilgen variantlari'n tabi'w mu'mkin. Olardi'n' o'zgesheliklari to'mendegi ke'stede berilgen.

Keste

Haqi'yqi'y metaldi'n' strukturasi'ni'n' elementlerinin' o'lshe'mleri menen orientatsiyali'q klassifikatsiyasi'

Substrukturani'n' elementinin' atamasi'	Substrukturani'n' elementinin' xarakteristikasi'	
	Ortasha o'lshe'm, sm	bir birine sali'sti'rg'andag'i' buri'li'w mu'yeshi
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 ob'ektlar din' 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.

Kristallizatsiya processinde suyi'q eritpeden ayi'ri'li'p shi'g'atug'i'n kristallitlar temperaturag'a g'a'ezli o'zgermeli kuramg'a iye boladi'. Ximiyali'q quramni'n' bir tekililiginin' buzi'li'wi' - *likvatsiya* payda boladi'. Bunday jag'dayda ayi'ri'm tu'yirtpeklerdin' ishinde payda bolatug'i'n birdey emesliklar kristallitlar ishindegi (yamasa dendritlik) likvatsiya dep ataydi'.

Ju'da' kishi tezliklarda 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 processlari kristallizatsiya processinin' izinen jetedi ha'm kristallitlar din' kuramlari' ten'lesedi. Bunday jag'dayda fazalar bir waqi'tta jasaytug'i'n qal'egen i'qti'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^{#)}.

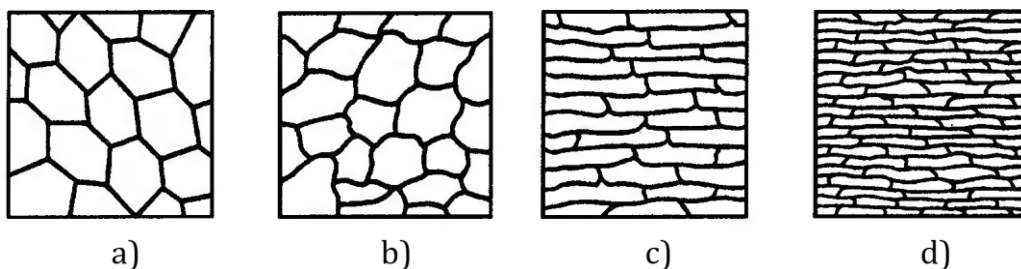
Element	a.n.	Phase	Structure	a/c [$\text{\AA}$]	t-temp. [$^{\circ}\text{C}$]
Calcium (Ca)	20	α	fcc	5.58	α $\frac{464}{\beta}$
		β	bcc	4.48	
Cobalt (Co)	27	α	hcp	2.51/4.07	α $\frac{450}{\gamma}$
		γ	fcc	3.54	
Iron (Fe)	26	α	bcc	2.87	α $\frac{909}{\gamma}$ γ $\frac{1388}{\delta}$
		γ	fcc	3.67	
		δ	bcc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

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

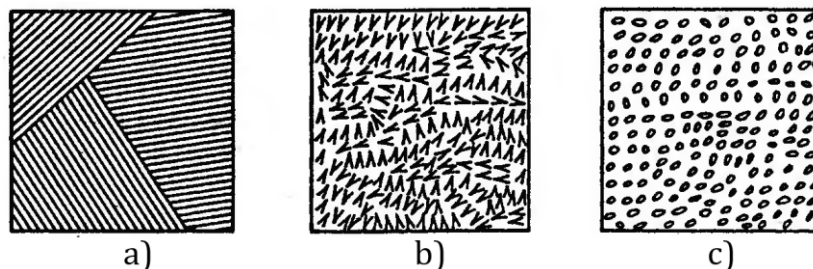
Qatti' halda ko'pshilik jag'daylarda metallar ha'm metalli'q quymalar polikristalli'q zat boli'p tabi'ladi'. Bul xat og'ada ko'p sanli', bir birine sali'sti'rg'anda ha'r qi'yli' boli'p

bag'i'tlang'an mayda (o'lshemleri $10^{-1} - 10^{-5}$ sm) kristallitlerden turadi'. Olardi'n' o'lshemleri menen formalari', bir birine sali'sti'rg'andagi' 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' qatti' eritpedin' tu'yirtpekleri 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'rizli.



47-su'wret. Eki fazali' aralaspadag'i' arti'q mash fazani'n' ayri'li'p shi'g'i'w formasi': a - plastinka ta'rizli; b - iyne ta'rizli; 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'rindde qa'liplesedi;

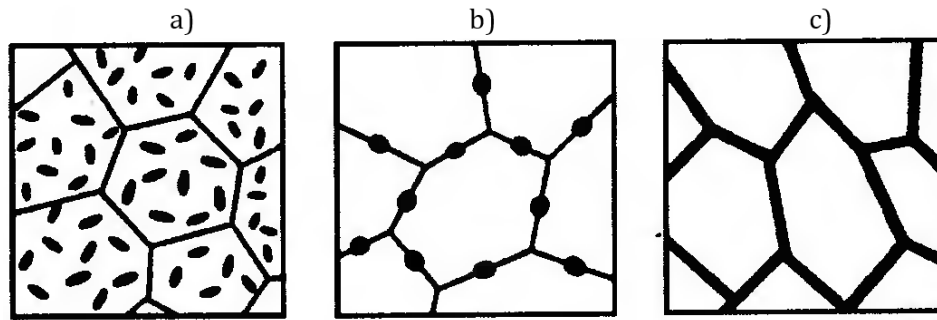
- *ten'dey ko'sherli* - barli'q bag'i'tlarda shama menen birdey si'ziqli' o'lshemler;

- *sozi'lg'an* (yamasa *bag'ana ta'rizli*) - si'ziqli' o'lshemlerinin' biri basqalari'na sali'sti'rg'anda a'dewir u'lken;

- *plastinka ta'rizli* - 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' metallarda berilgen temperaturadag'i' eriw sheginen ko'birek mug'darda bar bolsa, onda matricadan (tiykarg'i' qatti' 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'.

Suyiqli'qtan eki yamasa onnan da ko'p sanli' fazalardi'n' bir waqi'ttag'i' kristallizaciyasi'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'rizli 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'yirtpek ishindeg'i bo'linip shi'g'i'w, b - tu'yirtpeklard'in' shegaralari' boylap bo'liniw; c - tu'yirtpeklard'in' 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'ga ushi'rawi' mu'mkin. Al kristalli'q pa'njere defektlari bar bolg'an jag'dayda matricali'q tu'yirtpeklard'in' ishindeg'i qaytadan kristallizaciya'ga ushi'raydi'. Ekinshiden strukturani'n' qa'liplesiwi temperaturaga to'menlegende erti'wshilik'tin' to'menlewini'n' saldari'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'qqan 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'rindagi 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' metallografiyalig' ta'riyiplegende *strukturalig' qurawshi'* tu'sinigi ken'nen qollani'ladi'. Bul tu'sinikni qollang'anda mi'na jag'day na'zerde tuti'ladi': (bir fazali' yamasa ko'p fazali') quymani'n' xarakterli strukturaga 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 strukturalig' qurawshi' (quymani'n' mikrostrukturasi'ni'n' elementi) si'pati'nda eki yamasa onnanda arti'q fazalardi'n' bir tuyirtpektin' ishindeg'i bir biri menen gezeklesip jaylasqan ha'm aralari'nda ayi'ri'p turg'an shegaralari' bar mexanikalig' aralaspani' ko'rsetiw mu'mkin (mi'sali', qatti' eritpelerdi, qatti' eritpeni ha'm ximiyali'q birikpeni). Mexanikalig' aralsapada qurawshi'lardi'n' ha'r biri o'ine ta'n qa'siyetlerin saqlaydi'.

Bunday mexanikalig' aralaspalar kristallizaciya'da kristallitlardin' o'siwi menen payda boladi' ha'm olarg'a to'mendegidey atamalardi' beredi:

- *evtektika* yamasa *peritektika* - o'z aldi'na ju'rigen birinshi kristallizaciya'da payda bolg'anda;

- *evtektoid* yamasa *peritektoid* - ekinshi kristallizaciya'da payda bolg'anda.

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

Evtektikalig' 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 kristallizaciya'dag'i'tap sonday processke sa'ykes keledi.

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

qatti' eritpelerdin' yamasa ximiyali'q birikpelerdin' bo'leklengen 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'w processinde qatti' 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'qqan qatti' fazadan yamasa belgili bir quramg'a iye quymani'n' suyi'q bo'liminen bir faza kristallanadi'. Peritektiki strukturali'q ani'qlaw qi'yi'n. Sebebi texnikali'q metallardi'n' quymalari'n salqi'nlati'w sharayatlari'nda peritektikali'q aylani's a'dette aqi'ri'na shekem ju'rmeidi.

Joqari'da karap o'tilgen fazali'q o'tiwler (fazali'q yamasa strukturali'q aylani'slar) ju'da a'stelik penen salqi'nlatqanda diffuziyanin' 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'li'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'.

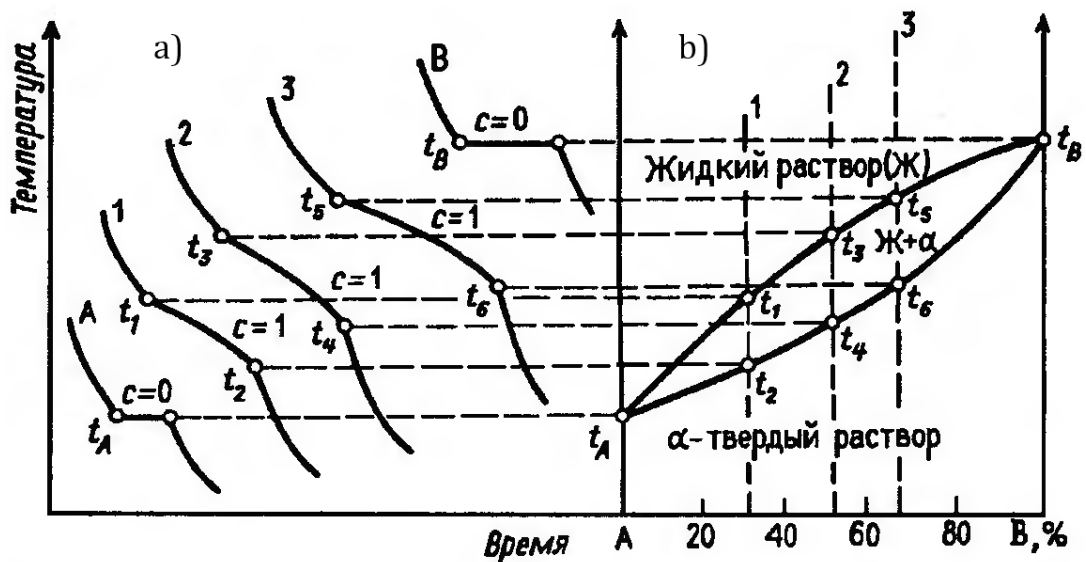
13. Quymalardi'n' hal diagrammalari'

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 sirek 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' 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. A'dette ayi'ri'm parametrlar turaqli' bolg'andag'i' hal diagrammasi'ni'n' koordinatali'q tegisliklerdin' birewindegi proekciyasi'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, mikroskopiya'li'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 qatti' halg'a o'tiw ori'n alatug'i'n jag'daylarda, qatti' 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'" koordinatasi'na qoyadi' (su'wrette keltirilgen).



48-su'wret. Qatti' ha'm suyi'q hallarda A ha'm B qurawshi'lari' bir birinde sheksiz eriyutug'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 analizini Gibbstin' fazalar qag'i'ydasini (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 da 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 parametrlarga (temperatura, basim, koncentraciya) aytadi'. (1)-ten'lemedegi 2 sani' sistemni'n' fazali'q xali'ni'n' eki parametr – membratura ha'm basim menen ani'qlanatug'i'nli'g'i'n bildiradi. Atmosferali'q basimg'a ten' turaqli' basimda 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'ydasini fazalar sani' o'zgermey qalatug'i'n jag'daylarda sistemni'n' qanday parametrlarin (mi'sali', temperatura ha'm quram) o'zgertiwdin' mu'mkin ekanligini ani'qlawg'a mu'mkinshilik beradi.

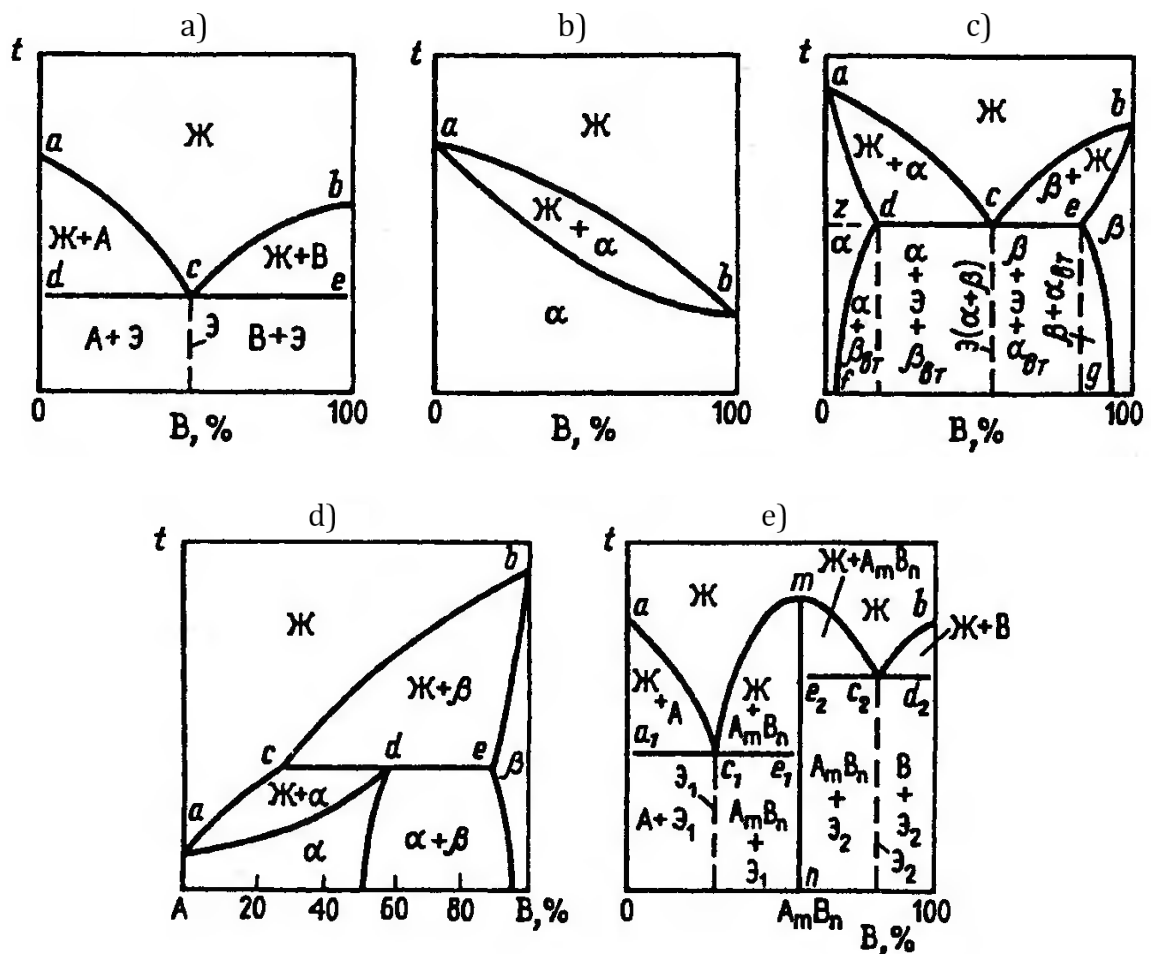
Bir yamasa eki quramg'a iye sistemani'n' hal diagrammalari' - sistemani'n' ayki'n xali' noqatlar yamasa si'zi'qlar si'yaqli' geometriyalig' oblazlar menen xarakterlenetug'i'n tegis su'wret.

Ko'p qurawshi'larga iye sistemalardi'n' hal diagrammalari' quramali' geometriyalig' 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' koncentraciyalari' qoyi'ladi'. U'shlik sistemalardagi' fazali'q aylani'slardi' 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'rdeminde 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'. Diagrammadagi' qa'legen noqat quymani'n' fazali'q ha'm ximiyali'q qurami'n, berilgen temperaturadagi' 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' salmaqli'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 qatti' hallardag'i' ta'sirlesiw (suyi'q ha'm qatti' 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 qatti' eritpelerdin' u'zliksiz qatari'n payda etiwshi; c, d - sa'ykes evtektikali'q ha'm peritektikali'q aylanslarg'a iye ha'm qatti' halda qurawshi'lari' sheklengen eriwshilikke iye; e – qatti' halda fazali'q aylani'slarg'a iye emes ximiyali'q birikpelerdin' payda boli'wi' menen (J – suyi'q quyma; E - evtektika; A_mV_n – 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' qatti' eritpesi; b – B qurawshi'si'ni'n' A qurawshi'si'ndag'i' qatti' eritpesi).

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

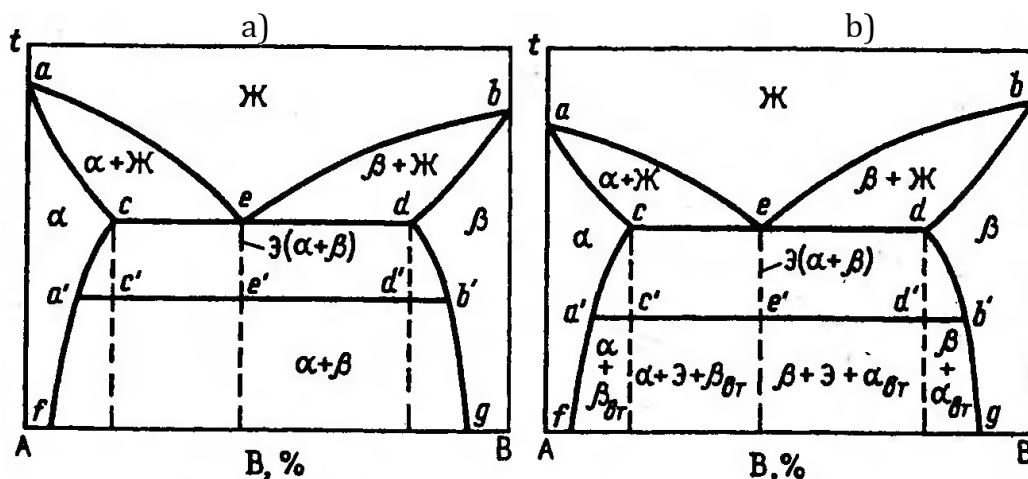
si'zi'g'i'nan joqari'da quyma suyi'q halda turadi'. Quymani' ac si'zi'g'i'nan to'mengi temperaturalar'ga shekem salqi'nlatqanda (likvidus si'zi'g'i') A qurawshi'si'ni'n' kristallizatsiyasi' baslanadi' ha'm acd oblasti'nda suyi'q quyma menen A qurawshi'si'ni'n' kristallari' jaylasadi'. To'mperaturani'n' 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'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'lsheqli 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' koncentratsiyasi' bar bolatug'i'n bolsa, onda suyi'q aralaspani'n' birden evtektikag'a o'tiwi ju'zege keledi. cb si'zi'g'i'nan to'mendegi (likvidus si'zi'g'i') kristallizatsiya 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 qatti' halda boladi'.

Ekinshi tiptegi hal diagrammalari' bir birinde suyi'q halda da, qatti' halda da sheksiz aralasatug'i'n (eriyatug'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 sistemani'n' quymalari' ten' salmaqli' kristallizatsiyadan keyin qatti' eritpenin' tu'yirtpeklerinin' ji'ynag'i'nan turadi' ha'm oni'n' mikrostrukturasini' principinde taza metaldi'n' mikrostrukturasini'nan ayi'rmag'a iye bolmaydi' (12-su'wretke qaran'i'z).

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

Evtetikali'q aylani'sqa iye u'shinshi tiptegi hal diagrammasi'nda (16-s su'wret) ad si'zi'g'i'nan to'mende qatti' eritpe (A dag'i' B), be si'zi'g'i'nan to'mende de qatti' eritpe payda boladi' (B dag'i' A). B qurawshi'si'ni'n' A qurawshi'si'ndag'i' 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'edag'i' B qurawshi'si'li'n' erigishligi *df* si'zi'g'i'na sa'ykes kemeyedi, sonli'qtan qatti' eritpeden B qurawshi'si' bo'linip shi'g'adi'. Toli'q kristallizatsiyadan keyingi quymalardi'n' mu'mkin bolg'an mikrostrukturalari'ni'n' xakteri 13-su'wretke sa'ykes keliwi mu'mkin.

Peritektiklikag'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 erigishligin xarakterleydi. Al *e* noqati' bolsa A qurawshi'si'ni'n' B noqati'ndag'i' maksimalli'q erigishligin xarakterleydi. *cde* si'zi'g'i' peritektiklik aylani's si'zi'g'i' dep ataladi'.



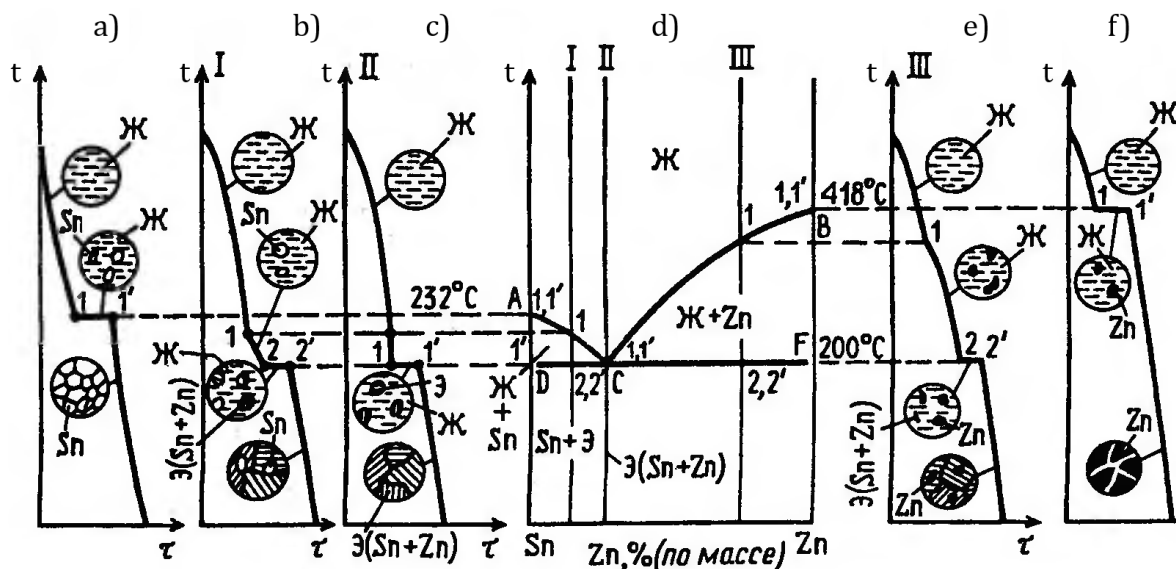
50-su'wret. Qatti' halda qurawshi'lari' bir birinde sheklengen eriwshilikke iye quymalardi'n' hal diagrammasi': a) - fazali'q, b) – strukturali'q. dc'e'db' – konoda.

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_mB_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_mB_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 vertikal'li'q shtrixlang'an si'zi'qlardi' ha'r qi'yli' strukturalarg'a iye oblastlardi' 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'rdeminde 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 qatti' 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 iymekliklari: 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'yli' 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'ni'n' analizi menen keltirilgen. Bul sistemani'n' qurawshi'lari' suyi'q xalda sheklenbegen ra'wirshte eriydi, al qatti' 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 qatti' haldag'i' fazali'q aylani'slar temperaturasi', qa'legen temperaturadgi' quymalardi'n' strukturali'q 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 islew din' rejislerin saylap ali'wg'a mu'mkinshilik beredi.

14. Tiykarg'i' fizikali'q-ximiyali'q processlerdegi zatlar menen materiallardin' qa'siyetleri

Tozi'w (starenie) – o'jire temperaturalari'nda uzaq waqi't uslap turi'wdi'n' (ta'biyiy 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' qatti' haldag'i' aylani'slari' menen baylani'sli' bolg'an qa'siyetlerinin' o'zgeriwlerin kirgiziwge boladi'. Qatti' haldag'i' aylani'slardin' tiykarg'i' tu'rlerine allotropi'q ha'm martensitlik aylani'slar, martensitlik strukturani'n' i'di'rawi', qatti' haldag'i' eriw menen asa toyi'ng'an qatti' eritpelerdin' i'di'rayai', qatti' eritpelerdegi ta'rtplesiwler menen ta'rtplesiwlerdin' buzi'li'wi', evtektoidli'q aralaspadan qatti' eritpenin' payda boli'wi' kiredi.

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

- kristalli'q strukturani'n' o'zgeriwi menen ju'retug'i'n aylani'slar (usi'nday aylani'slardin' 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.

YAri'm o'tkizgishlerdin' tozi'wi'na materialdi'n' submikroskopiyali'q defektlari, olardi'n' betinlegi mikroskopiyali'q defektlar, temperaturalardi'n' o'zgerisleri, i'g'alli'q, materialdag'i' qosi'mtalar ali'p keledi.

15. Diffuziya

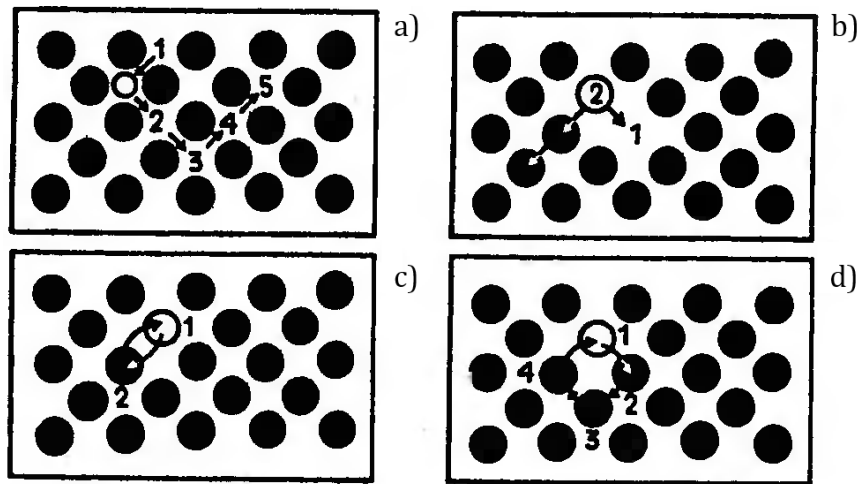
Diffuziya – zatti'n' qayti'nsi'z ali'p o'tiliwine (ko'shiwine) yamasa ortalig'atag'i' berilgen sorttag'i' bo'lekshelerdin' ten' salmaqli'q koncentraciyasi'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keletug'i'n ortalig'atig'i'n' bo'lekshelerinin' qozg'ali'si'. Diffuziyalanatug'i'n bo'leksheler si'pati'nda molekulalardi', atomlardi', o'tkizgishlik elektronlari'n, teskshelerdi, neytronlardi' ha'm basqa da bo'lekshelerdi qaraw mumkin. Qatti' 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'miynleydi.

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'rinisin *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 denega aylani'wi'ni'n', u'lgilerdin' og'an tutasti'ri'lg'an ju'ktin' ta'sirinde sozi'li'wi'ni'n' (materiallardin' diffuziyali'q ji'lji'wi') ori'n ali'wi' mu'mkin.

Ortalig'at makroskopiyali'q qozg'ali'slar bolmag'an jag'daylarda atomlar yamasa molekulalardi'n' diffuziyasi' olardi'n' ji'lli'li'q qozg'ali'slari' menen ani'qlanadi'. Ortalig'at 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 (termo'diffuziya, elektro'diffuziya 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' proporcional. 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.

Qatti' 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'nlari' boyi'nsha, atomlardi' juti'w ori'nlari'na baylani'sli'* ha'm processtin' ta'biyati' 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 qatti' eritpelerinde bolsa – tu'yinler arali'q mexanizm boyi'nsha ju'retug'i'nli'g'i' da'lillengen.



52-su'wret. Diffuziya qubi'li'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'nлари' boyi'nsha *ko'lemlik, betlik* (si'rtqi' ortali'qtan) ha'm *shegarali'q* (tu'yirtpeklerdin' shegaralari' boyi'nsha) diffuziyalardi' ayi'radi'. Diffuziyani'n' elementar aktin atqari'w ushi'n atomni'n' energiyali'q diywal arqali' o'tiwi kerek. Diffuziya bette ha'm tu'yirtpeklerdin' shegaralari'nda jen'il tu'rde ju'redi. Bunday ori'nlarda kristalli'q quri'li'sti'n' defektleri ko'p boladi' (vakansiyalar, dislokაციyalar ha'm basqalar). Qatti' denelerdegi ko'lemlik diffuziya atomlardi'n' bir ori'nnan sali'sti'rmali' bos ori'ng'a sekirip o'tiwi menen ju'redi.

Betlik diffuziya materialdi'n' betine si'rqi' ortali'qtan zatti'n' ko'shiwi (kiriwi) yamasa materialdi'n' betinen si'rtqi' ortali'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 (*sorbciyalig' processler*).

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

Atomlardi' jutatug'i'n ori'n boyi'nsha betti ha'm ko'lemdi ayi'radi'. Bunday jag'dayda bette ori'n alatug'i'n sorbciyalig' processlerdi *adsorbciya*, al ko'lemdegi processti – *absorbciya* dep ataydi'. Sorbciyalig' 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 – qatti' denenin' (adsorbennin') yamasa suyi'qli'qti'n' beti ta'repinen gaz ta'rizli yamasa suyi'q ortali'qtan zatti'n' juti'li'wi'.

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'.

16. Shi'ni'qti'ri'w

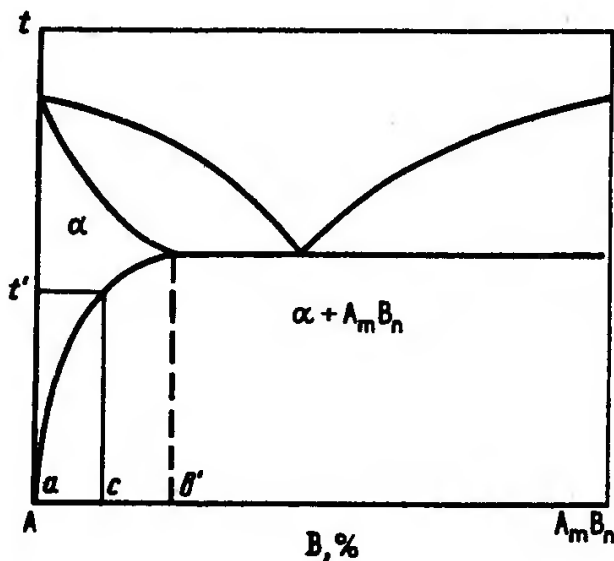
Shi'ni'qti'ri'w – materiallardi' termo qayta islew boli'p, oni'n' ma'nisi materialdi' da'slep qi'zdi'ri'p, bunnan keyin tez salqi'nlati'wdan ibarat. Bul ila'j materialdi'n' joqari' temperaturali' hali'n saqlap qali'w yamasa a'ste-aqi'ri'nli'q penen salqi'nlatqanda ju'riwi bolatug'i'n jag'i'msi'z processlerdi boldi'rmaw ushi'n islenedi. Shi'ni'qti'ri'wdi'n' na'tiyjesinde a'dette ten' salmaqli' emes struktura payda boladi'. Shi'ni'qti'ri'wdi'n' ja'ne bir tu'ri – *betlik shi'ni'qti'ri'w*.

Shi'ni'qti'ri'wdi'n' temperaturali'q rejimi o'z ishine tomendegilerdi aladi':

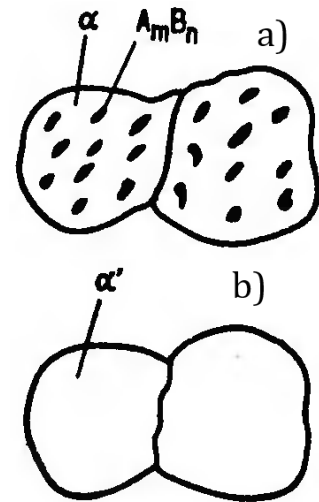
1. Quymani' fazali'q aylani's temperaturasi'na shekem jetkeriw;

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

Shi'ni'qti'ri'wdi'n' qollani'li'w oblasti' – qatti' halda aylani'slarg'a iye materiallar (tiykari'nan quymalar).



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



54-su'wret. Strukturani'n' sxema tu'rindagi su'wretleniwi: a) - ten' salmaqli'q haldag'i' quymani'n', b) - shi'ni'qti'ri'lg'an quymani'n'.

Qatti' halda qurawshi'lardi'n' eriwshiligi o'zgermeli bolg'an metall quymalar ushi'n shi'ni'qti'ri'wdi' qaraymi'z (53-su'wretti qaran'i'z). "s" qurami' ushi'n shi'ni'qti'ri'w temperaturasi' t' shamasina ten'. Bul temperaturani'n' ma'nisi kritikali'q si'zi'qti'n' temperaturasi'nan 30...50°C g'a joqari'. Shi'ni'qti'ri'w tmeperaturasi'nan baslap tez salqi'nlati'w menen ekinshi kristallardi'n' ayri'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'qti'ri'w T_{st} temperaturasi'nan jokari' temperaturalar'ga 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'qti'ri'w materialdi'n' fizikali'q qa'siyetlerine u'lken ta'sir jasaydi'. Quymalarda shi'ni'qti'ri'w strukturani'n' o'zgerislerin sezgish fizikali'q ha'm ximiyali'q qa'siyetlerdi o'zgerledi: bekkemlik, mortli'q, sali'sti'rmali' qarsi'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 ayri'qsha ku'shli bekkemlenedi.

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

"Jumsari'w" termini shi'ni'qti'ri'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'qti'ri'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'qti'ri'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'qti'n' optimalli'q ma'nislerin ali'w.

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

Asa toyi'ng'an qatti' 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'liplesiwi 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'shinshi 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' *koagulyaciyasi'* ha'm jan'a fazani'n' metaorni'qli' modifikacyasi'nan orni'qli' modifikacyasi'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'yirtpekler 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' qatti' 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 qatti' 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 waqti'nan) 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' qatti'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'nlaridi' jaqsi' shag'i'li'sti'ra ali'w qa'biletligi (ji'lti'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 shamalg'a o'zgeredi ($10^{10} \dots 10^{11}$ Pa). Ko'p metallar temperatura menen basi'mg'a baylani'sli' ko'p sanli' kristalli'q modifikaciyalarg'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 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 kislotalarda*g'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'lg'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' gruppaga 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 Kobalitti, 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 gruppalar*g'a* bo'ledi:

- *jen'il* (Ve, Mg, Al, Ti), olar sali'sti'rmali' kishi ti'g'i'zli'qqa iye - do 5000 kg/m³ shamasina 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 inertlikke 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 ittriya ha'm skandiy;

- *silti'li 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 gruppani'n' elementi, atomli'q nomeri 26, atomli'q massasi' 55,847. Ji'lti'rawi'q, gu'mis-sur ren'li elastik metall. Polimorfli'q modifikaciyalarg'a iye. Hawada temir toti'g'adi' ha'm oni'n' beti jumsaq tot penen qaplanadi'.

Temirdin' fizikali'q qa'siyetleri kirgizilgen qosi'mtalardi'n' mug'dari'nan g'a'rezli. Qurami'nda 0,01-0,1 procent qosi'mtalar bar temir mi'naday qa'siyetlerge iye: ti'g'i'zli'g'i' 7840 kg/m³; ji'lli'li'q o'tkeriw koefficienti 74,04 Vt/(m·K); sali'sti'rmali' elektr qarsi'li'g'i' 9,7·10⁻⁸ Om/m; elektrlik qarsi'li'g'i'ni'n' temperaturali'q koefficienti 6,51·10⁻³ K⁻¹; si'zi'qli' ken'eyiwinin' temperaturali'q koefficienti 11,7·10⁻⁶ K⁻¹; Brinel boyi'nsha qatti'li'g'i' 350 - 450 MPa; YUng moduli 190 - 210·10³ MPa; u'ziliwge bolgan bekkemlik a = 200 - 250 MPa; sali'sti'rmali' uzari'w b = 45 - 55 procent; soqqi'li'q jabi'sqaqli'q KSU = 220...250 kDj/m².

Temir u'sh polimorfli'q modifikaciya*g'a* iye (α-, σ- ha'm γ-Fe). Olardi'n' ha'r biri belgili bir temperaturali'q intervallarda bar boladi':

- α-Fe - temperaturali'q interval absolyut nolden 911°S g'a shekem, ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye. Ti'g'i'zli'g'i' - 7860 kg/m³. 768°C (Kyuri noqati') temperaturag'a shekem temir ferromagnitlik qa'siyetke iye, bul temperaturadan jokari' temperaturalarda temir paramagnetik;

- γ-Fe - temperaturali'q interval 911 den 1392°C qa shekem, qaptalda oraylasqan kubli'q pa'njerege iye, ti'g'i'zli'g'i' – 8000 - 8100 kg/m³; paramagnitlik qa'siyetlerge iye;

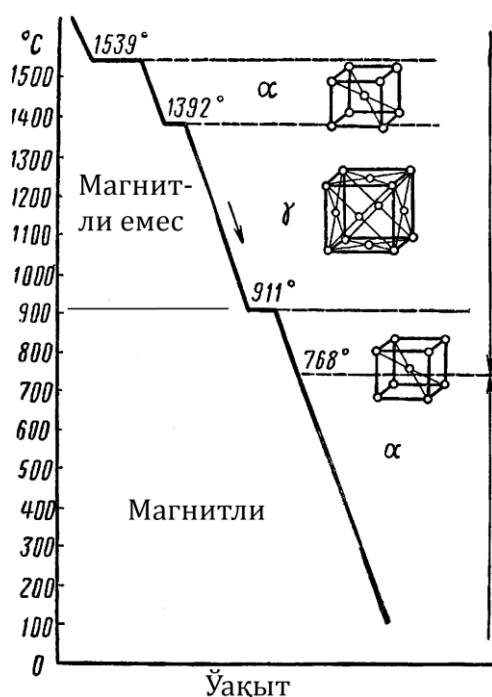
- σ-Fe – joqari' temperaturali' modifikaciya, 1392 den 1539°C temperaturali'q intervali'nda jasaydi'. Ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye ha'm paramagnitlik qa'siyetlerge iye.

Qosi'mtalardi'n' qosi'ndi'si'ni'n' mug'dari' 0,1 procent shamasina kem ha'm

qurami'ndagi' uglerodti'n' mug'dari' 0,02 procent shamasi'nan kem bolg'an temirdi texnikali'q jaqtan taza temir dep ataydi'. Eger uglerodti'n' mug'dari' 0,04 procent shamasi'nan kishi bolsa, oni' 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 transformatorlardi'n' serdeshniklerin, elektromagnitlerdi, akkumulyatorlardi'n' plastinkalari'n tayarlaw 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'nimlerden' 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 qosi'mtalardi'n' izleri boladi' ha'm ilim-izertlew maqsetleri ushi'n az mug'darda jetistiredi) texnikali'q temir-uglerodli'q quymalardi' bir birinen ayi'radi'. Bunday quymalarda qosi'mtalar, legirlewshi elementler ha'm arnawli' qosi'mtalar boladi'.



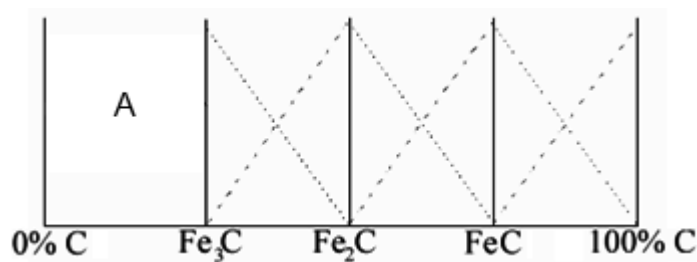
55-su'wret.

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.

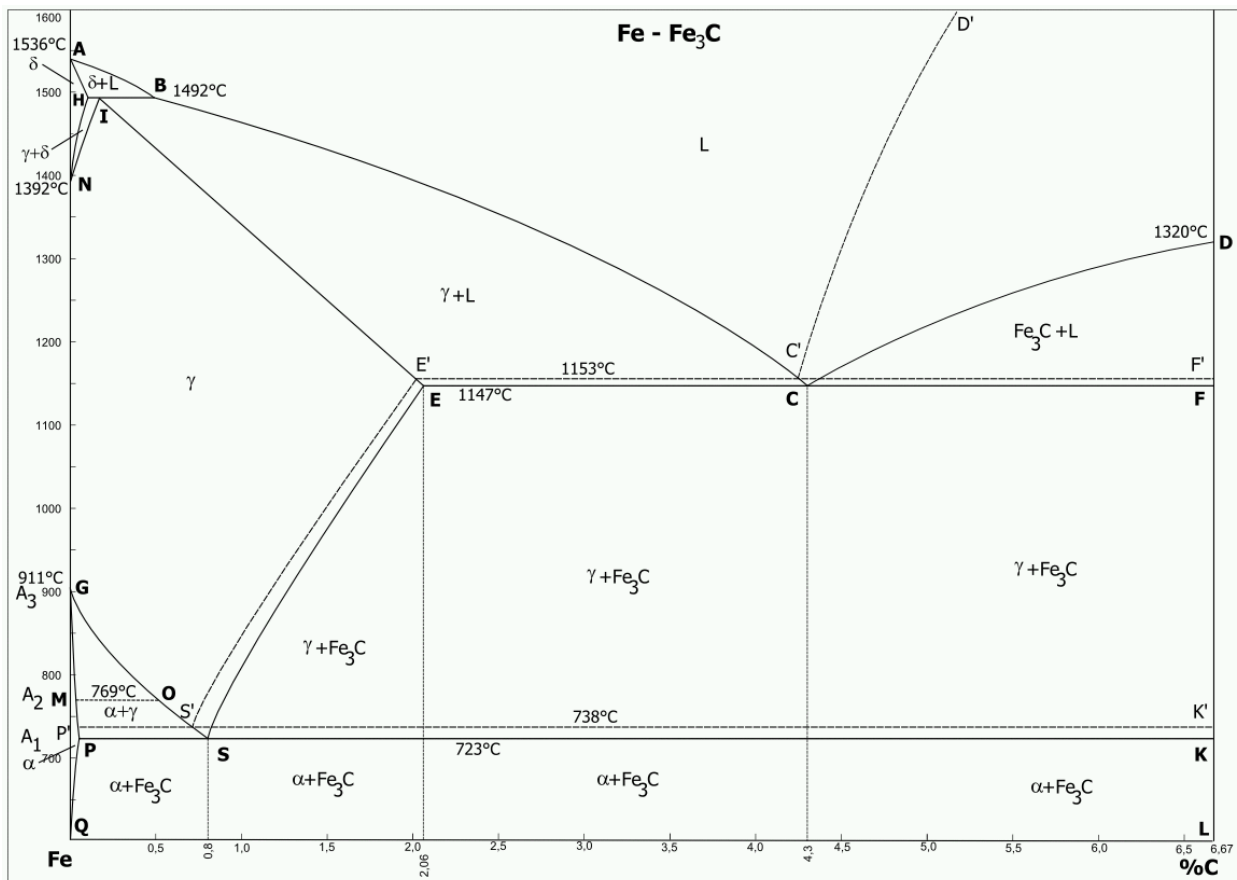


56-su'wret. Temir-uglerod sistemasi'ni'n' hal diagrammasi'. Diagrammani'n' A arqali' belgilengen bo'limi g'ana qi'zi'g'i'w payda etedi.

Temir uglerod penen cementit dep atalatug'i'n Fe_3C ximiyali'q birikpesin payda etedi. Praktikada uglerodti'n' mug'dari' 6,67 procent ke shekem bolg'an metall quymalar qollani'latug'i'n bolg'anli'qtan biz hal diagrammasi'ni'n' temirden cementitke shekemgi bo'limin qaraymi'z (56-su'wret). Cementin metastabillik faza bolg'anli'qtan sa'ykes xal diagrammasi' metastabillik hal diagrammasi' dep ataladi' (57-su'wrettegi tutas si'zi'qlar).

Sur shoyi'nlar ha'm grafitlengen polatlar ushi'n stabilli temir grafit diagrammani' qarawi'mi'z kerek. Sebebi atap aytqanda grafit orni'qli' (stabilli) faza boli'p tabi'ladi'. Cementit grafitke sali'sti'rg'anda tezirek payda boladi' ha'm ko'p polatlarda ha'm aq shoyi'nlarda jetkilikli da'rejede uzaq waqatlar dawami'nda jasay aladi'. Sur shoyi'nlarda 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 grafitin' qatnasawi' menen). Sol ori'nlarda 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' belgilari ra'simiy emes xali'q arali'q kelisimga bag'i'nadi').



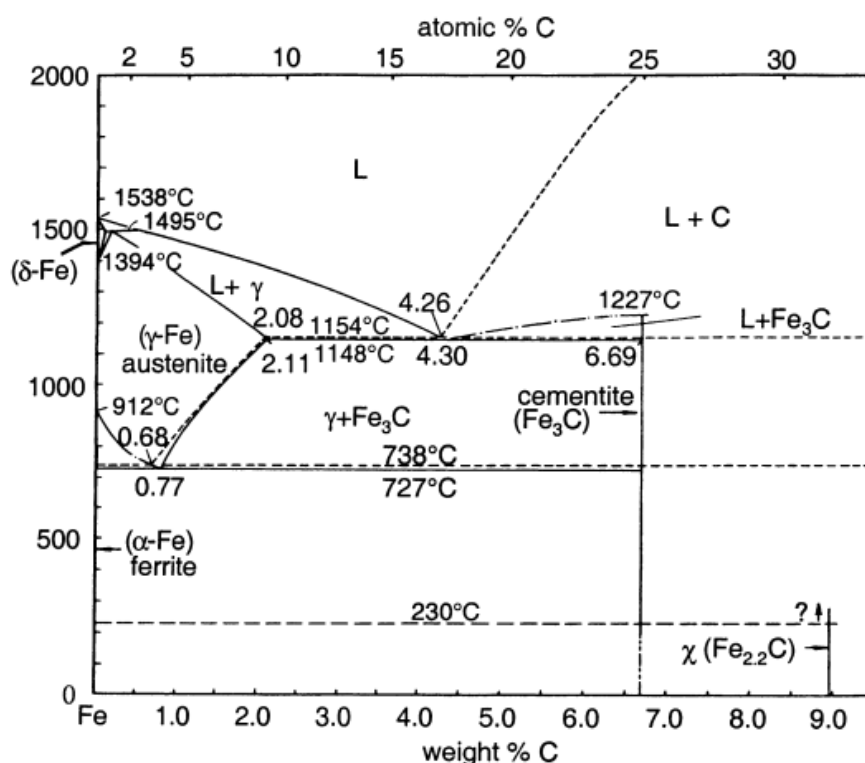
57-su'wret. Temir-cementit diagrammasi'ni'n' fazalari'. Bul fazali'q diagramma temir-uglerod sistemasi'ni'n' fazali'q diagrammasi'ni'n' tek bir bo'limi boli'p tabi'ladi'.

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

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

2. Ferrit - ko'lemde oraylasqan kubli'q strukturag'a iye α -temirdegi uglerodti'n' endiriw eritpesi.

Ferrit uglerodti'n' o'zgermeli shekke iye eriwshiligine iye: o'jire temperaturalari'nda en' minimalli'q - 0,006 procent (Q noqati'),aksimalli'q - 700°S temperaturalarda aksimalli'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 °C dan joqari' temperaturalarda joqari' temperaturali' ferrit bar boladi'. Onda ulgerodti'n' shekli erigishligi 1600 °C temperaturalarda shama menen 0,1 procent shamasini'nda boladi' (I noqati')

Ferritin' qa'siyetleri taza temirdin' qa'siyetlerine jaqi'n. Ol jumsaq (qatti'li'g'i' - 130 NV) ha'm elastik, 770 °C temperaturalag'a shekem magnitlengen (eger uglerod bolmasa).

3. Austenit (γ) - uglerodti'n' γ -temirdegi qatta tu'rdegi endiriw eritpesi, strukturasi' qaptalda oraylasqan kubli'q.

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

Austenittegi uglerodti'n' eriwshiligi 1147°S temperaturalarda 2,14 procentti quraydi' (E noqati').

Austenittin' qatti'li'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 (Fe_3C) - temirdin' uglerod penen ximiyali'q birikpesi (temir karbidi), 6,67 procent uglerodqa iye, strukturasi' quramali' rombali'q. Cementit qatti' (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 qi'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,
- evtektoidli'q cementit.

En' da'slepki cementit suyiq fazadan plastinka ta'rizli kristallar tu'rinde bo'linip shi'g'adi'. Ekinshi cesentin austenitten bo'linip shi'g'adi' ha'm austenittin' tu'yirtpeklerinin' a'tirapi'nda tor tu'rinde jaylasadi' (evtektoidli'q aylani'stan keyin olar perlittin' tu'yirtpeklerine aylanadi'). U'shinshi cementit ferritten bo'linip shi'g'i'p, ferritlik tu'yirtpeklerdin' shegaralari' a'tirapi'nda mayda tu'yirtpekler tu'rinde jaylasadi'.

Evtektikali'q cementit tek aq shoyi'nlarda baqlanadi'. Evtektoidli'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' formasi', o'lshemleri ha'm jaylasi'wlari' ta'sir etedi. Usi'nday xarakteristikalaridi' retlestiriw arqali' sanaatta (metallurgiyada) ayqi'n quymani'n' barli'q fizikali'q ha'm texnologiyali'q qa'siyetleri beriledi (qatti'li'qti'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' modifikaciya'g'a iye. Joqari' temperaturali' δ modifikaciya ha'm to'mengi temperaturali' α modifikaciya uglerodti'n' sa'ykes δ ha'm α temirdegi qatti' eritpesi boli'p tabi'ladi'.

α -ferrittegi uglerodti'n' sheklik mug'dari' 723⁰S da shama menen 0,02 procentti, al 20⁰S temperaturada 0,006 procentti quraydi'. Qa'siyetleri boyi'nsha α -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: $\sigma_B = 250$ MPa; $\delta = 50$ procent; $\psi = 80$ procent; qatti'li'g'i' 80 nen 90 NV g'a shekem.

Austenit – γ -temirdegi uglerodti'n' qatti' eritpesi. Austenittegi uglerodti'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' qatti'li'g'i' 160 tan 200 NV ge shekem.

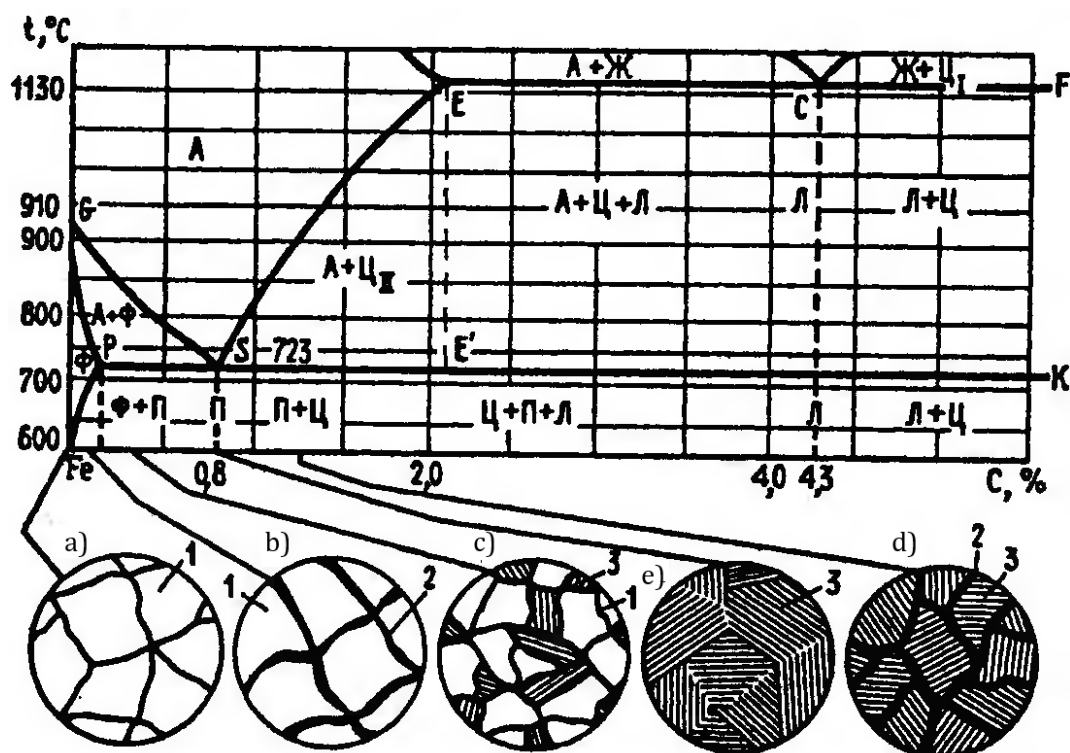
Cementit Fe_3C – temirdin' uglerod penen ximiyali'q birikpesi. Ondag'i' uglerodti'n' mug'dari' 6,67 procent. Cementitte temi ha'm uglerod atomlari' arasi'nda metalli'q ha'm kovalentlik baylani'slar ori'n aladi'. Balki'w temperaturasi' 1250⁰S ni'n' a'tirapi'nda. Cementit metastabilli faza boli'p tabi'ladi', 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 jasadidi', al 950⁰S dan joqari' temperaturalarda bir neshe saatti'n' ishinde temir menen grafitke i'di'raydi'. Cementit Kyuri noqati'na iye (210⁰C) ha'm sali'sti'rmali' joqari' qatti'li'qqa ha'm mortli'q qa'siyetlke iye. Oni'n' sozi'li'wg'a bolg'an bekkemligi ju'da' kem ($\sigma_v \approx 40$ MPa).

"Temir – cementit" sistemasi'nda fazalardi'n' eki mexanikali'q aralaspasi' bar - evtektikali'q (*ledeburit*) ha'm evtektoidli'q (*perlit*).

Ledeburit 1130⁰S temperaturada qurami'nda 2 procentten 6,67 procentke shekem uglerod bar quymada payda bolatug'i'n' $\gamma + Fe_3C$ 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) $\alpha + Fe_3C$ aralaspasi' boli'p tabi'ladi'.

723°S 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 - perlitlikya; 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'mkinshiligi boli'p tabi'ladi' (uglerodti'n' austenitge 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 polatlarga bi'layi'nsha atamalar bergan:

- 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/m³, 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, latunнан islengen buyimlardi'n' buyimlardi'n'

betinin' ta'biyiy ortalig'ini yamasa arnawli' qayta islewdin' saldari'nan (patindew) payda boladi'. Patina buyi'mlardi' korroziyadan qorg'aydi' ha'm dekorativlik a'hmiyetke iye. Za'ha'rda qa'siyetke iye.

Ha'zirgi zaman sanaati' ushi'n mi'sti'n' en' kishi elektrlik 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 $1,67 \cdot 10^5 \text{ K}^{-1}$ shamasina ten'.

Qatti' 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' ji'yi qollani'latug'i'n tarawi' – elektr tog'i'n o'tkizetug'i'n si'mlardi' tayarlaw. Qosi'mtalar elektr o'tkizgishlikni 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 konstrukciyalig' materiallardi' tayarlaw ushi'n da (qi'zdi'rg'i'shlardi', radiatorlardi', 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 aslami'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, qalayi', temir, kremniy, marganec, berilliy, 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'. Qalayi' 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' profildeg'i yari'm fabrikatlardi' tayarlaydi'. Quyi'lg'an quymalardan quyi'w arqali' ko'rkem 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 ko'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 qatti' eritpeni payda etedi. Bul eritpede cinktin' koncentraciyasi'ni'n' shegi 39 procent.

Latunlar o'izin' ximiyali'q qurami' boyi'nsha ekilik (a'piwayi') ha'm ko'p qurawshi'larg'a (arnawli'), al strukturasini' 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' mexanikalig' qa'siyetlerin joqari'latadi' ha'm korroziyalig' turaqli'li'g'i'n artti'radi'. Qalayi' latunlardi'n' ten'iz suwi'ndag'i' korroziyalig' to'zimligin joqari'latadi'.

Bronzalar

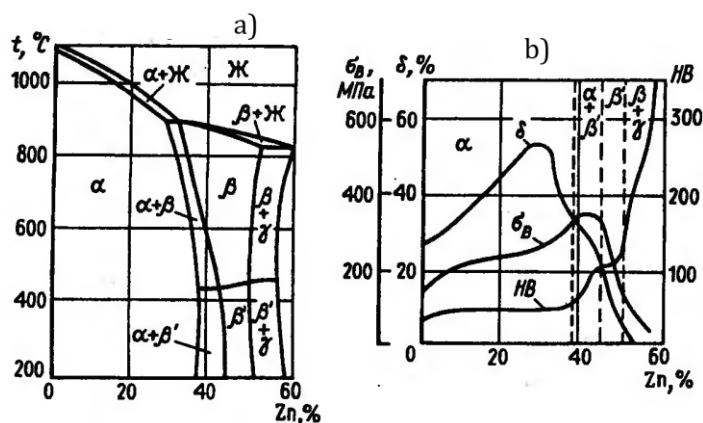
Bronzalar dep mi'sti'n' ha'r qi'yli' elementler menen quymalari'n aytadi'. Olardi'n' ishinde qalayi'ni', alyuminiydi, kremniydi, berilliydi, qorg'asi'ndi' ha'm basqalardi' ko'rsetiw

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 koeficientlerine iye, antifrikciyalig' q'asiyetleri boladi'.

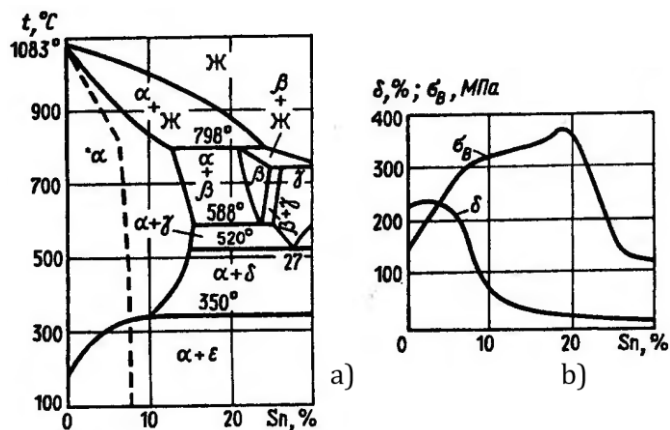
Qalayi'li' bronzalar. Cu-Sn quymasi'ni'n' fazali'q ten' salmaqli'q diagrammasi'na sa'ykes qalayi'ni'n' mi'stag'i' eriwshiliginin' shegi 15,8 procentti quraydi'. Qalayi'li' bronzalar 14 procentke shekem qalayi'g'a iye boli'yai' mu'mkin. Quymadag'i' qalayi'ni'n' mug'dari'ni'n' arti'wi' oni'n' qatti'li'gi'n 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 almashti'ri'lg'an bronzalar qollani'ladi'.



59-su'wret.
Cinktin' mug'dari'ni'n' latunni'n' fazali'q (a) ha'm mexanikali'q q'asiyetlerine 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 q'asiyetlerine 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, berilliylig', qorg'asi'nli' ha'm basqa da bronzalardi' da atap o'tiw mumkin.

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

Alyuminiy (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°S, ti'g'i'zli'g'i' 2700 kg/m³.

Ku'ydirilgen jokari' tazali'qqa iye alyuminiydin' mexanikali'q qa'siyetleri joqari' emes bekkemlik ha'm qatti'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); qatti'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 shamasi'n quraydi'. Alyuminiy joqari' korroziyalig' turaqli'li'qqa iye. Alyuminiy qansha taza bolsa oni'n' korroziyalig' turaqli'li'g'i' da sonsha joqari' boladi'. Hawada alyuminiy juqa bekkem plenka menen qaplanadi' (oni'n' qurami' Al₂O₃). Bul plenka alyuminiydi bunnan keyingi okisleniwden ha'm korroziyadan saqlaydi'.

O'ndiriwdin' ko'lemi boyi'nsha alyuminiy ha'm oni'n' quymalari' tamir emes materiallardin' 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 qatti' eritpeni ha'm intermetallidlik fazalardi' aladi' (SuAl₂, Al₂SuMg, Al₃Mo ha'm basqalar).

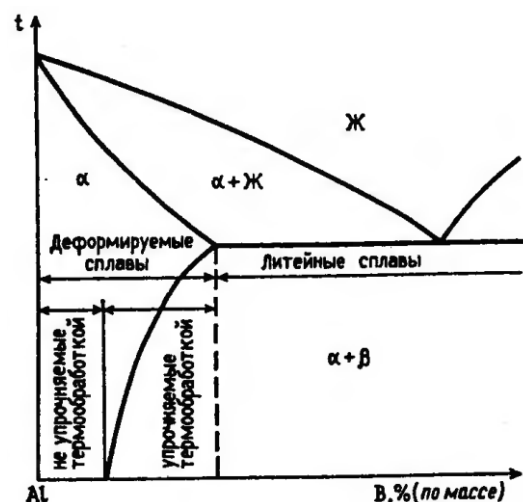
Alyuminiyli quymalardi' qurami' ha'm tiykarg'i' tuti'ni'wshi'li'q qa'siyetleri, o'ndiriw usi'llari' ha'm ji'lli'li'qti'n' ta'sirinde bekkemligin artti'ri'w mu'mkinshiligine karay klassifikaciyalaydi'.

Alyuminiyli quymalardi' qurami' ha'm tuti'ni'wshi'li'q qa'siyetleri boyi'nsha to'mendegidey gruppalariga 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°S temperaturalarda ekspluataciyanadi'. 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 shamasi'nan kishi, al elastiklik qa'siyeti duralyuminiylerden joqari';
- *joqari' elastiklikke, korroziyag'a bekkemligi qa'siyetlerge iye quymalar* – mi'sqa iye emes ha'm qosi'msha magniy (siyrek marganec penen) legirlenedi;
- *antifrikciyalig' quymalar* alyuminiydin' qalayi', nikel, mi's ha'm basqa da elementer menen payda etken quymalari' boli'p tabi'ladi'.

O'ndiriw usi'li' 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' gruppalaridin' ha'r birinin' podgruppalari' bar. Bul podgruppalariga ji'lli'li'q penen qayta islegende (termoobrabotkada) bekkemlenetug'i'n ha'm bekkemlenbeytug'i'n quymalar kiredi.

61-su'wret.
Deformatsiyalangan ha'm kuyilgan
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' kemeyiwini'n', ekspluatatsiyali'q isenimligi menen paydalani'w mu'ddetini'n' joqari'lawi' esabi'nan ekonomikali'q jaqtan a'dewir uti'mli' boli'p tabi'ladi'.

Alyuminiy quymalardi'n' markirovkasi' 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	1100	Cu-Mn	D20	1200
	D16	1160		-	1201
	VAD1	1191			
	D18	1187			

Duralyuminler – 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'. Duralyuminler deformatsiyalani'wshi' ha'm ji'lli'li'q penen kayta islew processinde bekkemlenetug'i'n' boli'p bo'linedi. Ji'lli'li'q penen qayta islew a'dette taplawdan, shi'ni'qti'ri'wdan yamasa jasalma tozdi'ri'wdan ibarat Tozdi'ri'wdi'n' uzi'qli'g'i' talap etiletug'i'n' mexanikali'q qa'siyetlerdin' shamasi' menen ani'qlanadi'.

Duralyuminierlerdin' strukturasi'nda otjigten keyin (suwi'n tartti'ri'wdan keyin) mi'naday fazalar qatnasadi': α-qatti' eritpe (tiykari') ha'm ximiyali'q birikpeler Mg₂Si, W(Al_xCu_yMg_zSi_u) ha'm basqalar. Solardi'n' ishinde qurami'nda temir bar ximiyali'q birikpeler de boladi'. Shi'ni'qti'ri'wdan keyin kuymani'n' strukturasi' a'dette bir fazali' α-qatti' eritpeden turadi'r. Ta'biyiy yamasa jasalma tozdi'ri'wdan keyin α-qatti' eritpenin' pa'njeresinde legirlewshi elementlerdin' (mi'sti'n', magniydin', kremniydin') atomlari'nan turatug'i'n' toparlar payda boladi'. Bunday toparlardi' Gine-Preston zonalari' dep ataydi'.

Duralyuminler konstruktsiyali'q materiallar si'pati'nda aviatsiyali'q ha'm trnastportli'q mashina quri'li'si'nda ken'nen qollani'ladi'.

Glossariy

Absorbciya – qorshag'an ortalı'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'qti'n' beti ta'repinen gaz ta'rizli yamasa suyi'q ortalı'qtan zatti'n' juti'li'wi'.

Antifrikciyalı'q materiallar (*Antifrikcionni'e materialı'*) – 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' salmaqli'q o'tiwi temperaturasi'nan to'mengi temperaturag'a salqi'nlati'w.

Buyi'm (produkcıya) – adam miynetinin' aqi'rg'i' na'tiyjesi.

Genezis – kelip shi'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 rawajlanı'w processı.

Gomogenlik sistema -qa'siyetleri (qurami', ti'g'i'zli'g'i', basi'mi' 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 sistemalardı' bir birinen ayi'radi'. Bir tekli gomogenlik sistemalarda sistemani'n' ha'r qı'yli' bo'limlerinde qa'siyetler birdey, al bir tekli emes gomogenlik sistemalarda ha'r qı'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 materialdı' ximiyali'q-jı'lli'li'q qayta islewinde payda bolatug'i'n diffuziyali'q qatlamdı' keltiriwge boladı'.

Geterogenlik sistema - fizikali'q qa'siyetleri ha'm ximiyali'q kurami' boyi'nsha ha'r qı'yli' bo'limlerden (fazalardan) turatug'i'n makroskopiya'lı'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 kompoziciya'lı'q materiallardı' keltiriw mu'mkin. Bunday materiallarda kurawshi'lar bir birinen kurami', qa'siyetleri, quri'li'si' boyi'nsha ayri'ladi'. Geterogen ha'm gomogen (bir tekli) sistemalar arası'ndag'i' ayi'rma barli'q waqi'tta ani'q ayi'rmag'a iye bolmaydı'. Mi'sali' geterogenlik mexinkali'q aralaspası ha'm gomogenlik (molekulali'q) eritpe arası'ndag'i' o'tiw oblasti' kolloidli'q eritpe menen tol'g'an. Bul etirpede erigen zatti'n' bo'leksheleri sonshama az ha'm sonli'qtan og'an faza tu'sinigin qollanı'wg'a bolmaydı'.

Diffuziya – zatti'n' qayti'msi'z ali'p o'tiliwine (ko'shiwine) yamasa ortalı'qtag'i' berilgen sorttag'i' bo'lekshelerdin' ten' salmaqli'q koncentracıyası'ni'n' payda boli'wi'na ali'p keletug'i'n ortalı'qti'n' bo'lekshelerinin' qozg'ali'si'.

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

Kristallizaciya - kristallardı'n' payda boli'w processı.

Quymalar – metallardı'n', metall emeslerdin', oksidlerdin', organikali'q zatlardı'n', basqa da zatlardı'n' atomları'ni'n' eki yamasa onnan da ko'p sortalı'ran ali'ng'an makroskopiya'lı'q bir tekli sistemalar *Ten' salmaqli'q process* -ju'da' a'stelik penen ju'retug'i'n process, bunday processte sistema bir birine sheksiz jaqi'n jaylasqan ten' salmaqli'q hallar arqalı' o'tedi. Ten' salmaqli'q process qayti'mli' process boli'p tabi'ladi'. Mi'sal retinde kristallizaciyanı' ko'rsetiw mu'mkin.

Qayti'msi'z process – ken'isliklik-waqitli'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'qlardı'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 parametrlerge (temperatura, basi'm, koncentraciya) aytadi'.

Makroskopiya'li'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'.

Metastabillik hal - fizikali'q makroskopiya'li'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'. Metastabillik 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' jaylasi'wi'ni'n' ta'rtiplesiwine kesent jasaydi'.

Mikrostruktura - optikali'q yamasa elektronli'q mikroko'pti'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'tiyjesinde payda bolgan kristalli'q qatti' 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' 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' shamasi' 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.

Material – qanday da bir na'rseni (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 ilimnin' 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'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' paydalanadi'. Sanaatta ilimdi ko'p talap etetug'i'n buyi'mlardi', a'sirese mikro- ha'm nanoo'lshemlerdegi ob'ektlerdi do'retkende materiallardi'n' xarakteristikalarin, 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 makroskopiyali'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 ortalı'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 makroskopiyali'q fizikali'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'ektlardin' sistemalari' arasi'nda energiya menen zat alaması'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 hal'ga o'tedi. Bunday hal sistemani'n' termodinamikali'q parametrlarinin' o'zgermeytug'i'nli'g'i', bul sistemada energiya menen zatti'n' ag'i'si'ni'n' joqli'g'i' menen xarakterlenedi. Ko'p bo'lekshelerden turatug'i'n fizikali'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'biyiy 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.

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'yirtpeklerinin' ishindegi struktura.

Fazali'q ten' salmaqli'q - ko'p fazali'q sistemani'n' mtermodinamikali'q ten' salmaqli'q hali'.

Shi'ni'qti'ri'w – materiallardi' 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' temperaturali' hali'n saqlap qali'w yamasa a'ste-aqi'ri'nli'q penen salqi'nlatqanda ju'riwi bolatug'i'n jag'i'msi'z processlerdi boldi'rmaw ushi'n islenedi.

Evtetikali'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 evtektoidli'q aylani's ekinshi kristallizaciya'dag'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. Калинин, А. А. Полянский, В. И. Стаценко. 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.