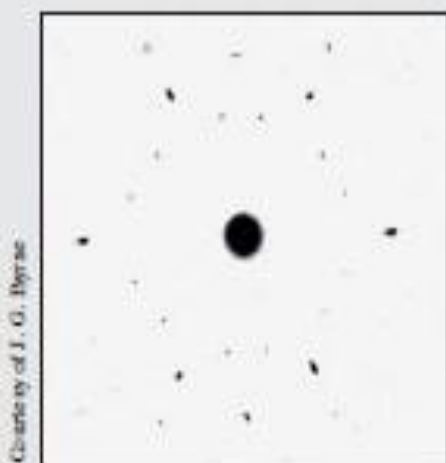
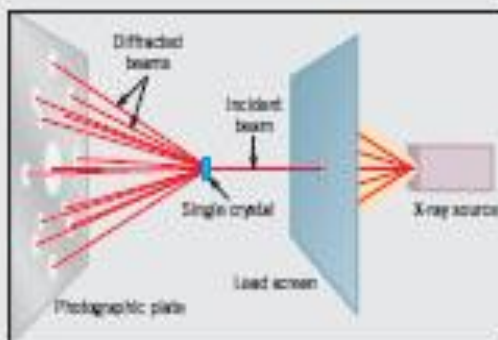


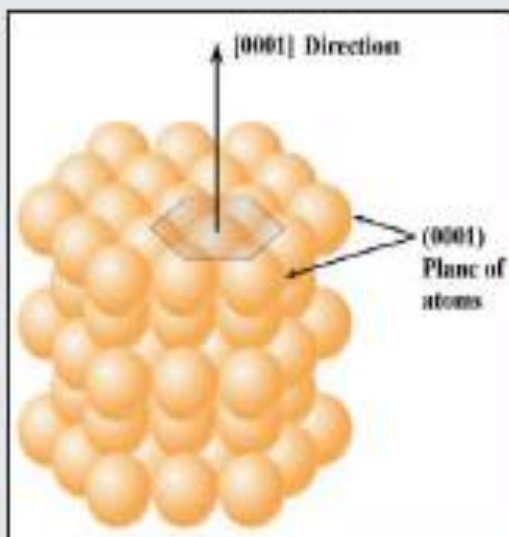
# Боб 3 МЕТАЛЛАР СТРУКТУРАСИ



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(a) Магний (3.16 бўлмда) монокристалдаги рентген нурларининг дифракцияси сининг фото сурати (ёки Лаузе фотосурати).

(б) Юкоридаги (а) суратни олиш жараёнинг схематик тасвири (яний текшириляётган намунанинг дифракцияси).

Кўргошиндан ясалган ғилоф рентген нурларини таркалишидан тўсади, ундан факат текшириляётган намуна тамон нур таркалади. Бу тушаётган нур монокристалдаги кристаллографик (хар хил йўналишга эга бўлган) нукталарнинг урилиб кайтиш жараёнида дифрагланиши, у форографик копконга тушган. Бу кайтган

нурлар фотографик копкон текислиги билан кесишганда кора доғлар пайдо бўлади. Кайтган нурдан тушган марказдаги (а) энг катта доғ кристаллографик [0001] йўналишга паралел. Шуни айтиб ўтиш кераки магнийнинг зич жойлашувга эга бўлган олти бурчакли кристаллографик структуранинг олти симметрияси [(c) расмда кўрсатилган] ўтказилган тадқиқотда диаракция оркали олти кора нукта шаклида кўрсатилган.

(д) (0001) мос келувчи кристаллографик текислик бўйлаб (синган ёки узулган) магнийнинг монокристалл фотосурати.

(е) mag – wheel фирмасининг магний котишмасидан ясалган автомобил дискасининг фотосурати.

## НИМА УЧУН БИЗ КАТТИК ЖИСМЛАР СТРУКТУРАСИНИ ЎРГАНАМИЗ?

Кўпчилик (материаллар) каттик жисмларнинг хоссалари уларнинг кристаллографик структурасига боғлиқ. Мисол соф деформацияланмаган магний ва бериллий, бир хил кристаллографик структурага эга бўлиб, етарли даражада мўртоликга эгадирлар (яний деформация жараёнида дарзлар тезда ҳосил бўлади), аммо бошқа кристаллографик структурага эга бўлган соф металлдан олтин ва қумуш деформацияланмаган ҳолда юкори

пластикликга эга (7.4 бобга қаранг). Бундан ташқари бир хил кимёвий таркиб аммо ҳар хил кристалл ва нокристал структурага эга бўлган каттик жисмларнинг хоссалари бир биридан тубдан фарқ қилади. Мисол, кристалга эга бўлмаган керамика (шиша) ва полимер (органик шиша) одатда оптик шаффоф; ҳудди шундай материаллар кристалл ёки ярим кристалга эга бўлганларида шаффоф эмас ёки рангли бўладилар.

### Макса два вазифалар

Бу бобни ўрганиб чиқганингиздан кейин сиз қуйдагиларни қила олиасиз:

1. Каттик кристаллик ва нокристаллик бўлган жисмларнинг атом/молекуляр структураларининг фарқларини келтиринг.
2. Ёқлари марказлашган куб кристалл, ҳажми марказлашга куб кристалл ва зич жойлашувга эга бўлган олти бурчакли гексаганал панжараларнинг элементар ячайкаларини келтиринг.
3. Ёқлари марказлашган куб кристалл, ҳажми марказлашга куб кристалл ва зич жойлашувга эга бўлган олти бурчакли гексаганал панжаралар ячайка ёқларининг улчамлари атом радиусига боғлиқлигини келтиринг.
4. Ёқлари марказлашган куб кристалл, ҳажми марказлашга куб кристалл ва зич жойлашувга эга бўлган мателларнинг солиштирма оғирлиги ва элементар яжайкасининг габарит ўлчамларини аниқланг.
5. Элементар ячейка чегарасига мос келувчи учта бутун сонлардан ташкил топган йўналишлар индексинини белгилашни ўрганинг.
6. Элементар ячейка чегарасига мос келувчи Миллер индексларини аниқланг ва белгиланг.
7. Ёқлари марказлашган куб кристалл, ҳажми марказлашга куб кристалл ва зич жойлашувга эга бўлган элементар яжайкалардаги атомларнинг жойлашиши қандай зич жойлашув принципларига тўғри келади.
8. Монокристалл ва поликристалл каттик жисимларнинг бир биридан фарқларини келтиринг.
9. Изотропик ва анизатропик материалларнинг хоссалари келтиринг.

## 3.1. КИРИШ

Иккинчи бобда гап асосан атомлараро боғланишларнинг турлари ҳақида бўлиб у орқали ҳар бир индивидуал атомнинг электрон структурасини аниқлашга имкон беради. Бу бобда гап асосан атомларнинг бир бирига нисбатан жойлашиши натижасида ҳосил бўлган каттик жисмларнинг структура тузилишлар турлари ҳақида боради. Айнан шу концепция асосида кристалл ёки нокиристал тузилишга эга бўлган каттик жисмлар бўйича ҳулосалар келиб чиқади. Кристалга эга бўлган каттик жисмлар структураси кристаллографик ячейка бирлигининг терминлар орқали ифодаланади. Металл ва керамиканинг аниқ кристаллографик структураси, кристаллографик нукта, кристаллографик йўналиш ва кристаллографик текисликлар деган иборалар билан тушинтириб берилади. Шунини ҳам айтиш керакки, бунда каттик жисмлар, моно кристаллик, поли кристаллик ва нокристалл структура турларига бўлинади. Бундан ташқари бу бобда кристалл структураларни рентгенаструктуравий анализ орқали аниқлаш усуллари бўйича қисқача маълумотлар ҳам берилади.

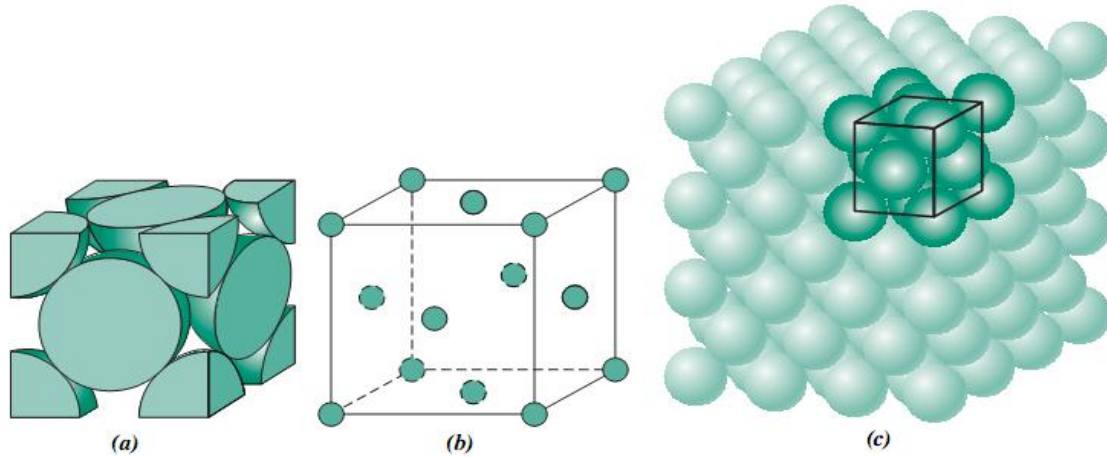
## КРИСТАЛЛ СТРУКТУРА

### 3.2. УМУМИЙ ТУШИНЧАЛАР

Каттик жисмлар уларни ташкил этувчи заррачаларнинг (атом, молекула) бир бирига нисбатан жойлашиши бўйича турларга бўлиниши мумкин.

#### Кристаллик

**Кристаллик** жисм деганда, шу жисмни ташкил этувчи атомлар бир бирига



**Расм 3.1.** Ёқлари марказлашган куб элементар ячейканинг тасвири: а – каттик сфералардан ташкил топган якка ячейка; б – якка ячейканинг кристалл панжарадаги модели; в – жуда кўп атомлардан ташкил топган кристалл хажми

нисбатан бир хил тартибли кетма кет узоқ масофагача жойлашга бўлади. Шундай қилиб, узоқ тартибга эга бўлган тизилиш тизими ҳосил бўлади, бу ҳолат эриган металлларни қотиш жараёнида кузатилиб уч ўлчамга эга бўлган структура шакилланади, бунда ҳар бир атомлар кўшнилари билан боғланган бўлади. Барча металллар, керамиканинг кўпчилик турлари ва айрим полимерлар оддий шароитда қотиш натижасида кристалл структура ҳосил қила оладилар. Агар каттик жисмларини ташкил этувчи атомлар узоқ масофаларгача тартибли бир хил жойлашганини сақлай олмасалар улар кристалл структура ҳосил қила олмайдилар. Бу турдаги жисмларнокристаллик ёки амморф жисмлар деб аталади ва бу бобда улар ҳақида қисқача гап боради.

### Кристалл структура лар

Кристаллик каттик жисмларнинг кўпгина хоссалари айнан модданинг кристалл структурасига боғлиқ бўлади, яъний ундаги атом, ион ёки молекулаларнинг бир бирига нисбатан фазода қандай тартибда жойлашганига боғлиқ. Узоқ тартибда жойлашишга эга бўлган жуда кўп турли кристаллик структуралар мавжуд. Бунда металлларга хос бўлган оддий структура турлари бўлса, керамика ва полимерларда эса жуда мураккаб структура турлари кузатилади. Бу бобда асосан металллар ва керамик структураси ҳақида гап боради, полимерлар структураси эса кейинги бобда кўриб чиқилади.

### Кристалл панжара

Кристаллик структураларни кўриб чиқишда улардаги атомлар (ионлар) каттик сикилмайдиган аниқ диаметрга эга бўлган сфера шаклда тасавур қилинади. Айнан шу каттик сфера атомнинг модели бўлиб моддадаги сфералар бир бирига, яъний кўшни сфераларга тегиб турган ҳолда турадилар. Мисол тариқасида 3.1 – расмда оддий металлга тегишли бўлган шундай турда жойлашган модел келтирилган. Бундай аниқ ҳолатда барча атомлар бир хил деб қабул қилинган. Баъзи ҳолларда кристалл структураларни таърифлашда **панжара** деган ибора қўлланилади, бунда бу ибора атомларнинг учта ўлчам бўйича бир бирига нисбатан жойлашиш ўрнини кўрсатиб беради.

## 3.3. ЭЛЕМЕНТАР ЯЧЕЙКА

### Элементар ячейкаси

Кристаллик каттик жисмлардаги атомлар жойлашиш тартибини аниқлаш, структура тизимини ҳосил қилувчи унчалик катта бўлмаган атомлар сони орқали аниқланади. Шунинг учун кристаллик структурани ифодалаш бутун кристаллни эмас, балки унинг битта **элементар** (ёки яккаланган) **ячейкаси** орқали аниқлаш қулай бўлади. Кўпгина ҳолларда бундай элементар ячейка параллелепипед ёки призма геометрик шаклида бўлиб, улар сфералар жойлашган учта параллел ёқларига эга. 3.1, в – расмда шундай куб шаклига эга бўлган ячейка келтирилган. Яккаланган ячейка кристаллик структурасининг симетриясини ифодалайди,

яъний кристаллдаги барча атомларни жойлашишини шу якка ячейкани учта йўналиш бўйича параллел кўчириш (трансляция) орқали аниқлаш мумкин. Шунинг учун элементар ячейка шу кристаллни ҳосил қилувчи асосий структуравий бўлаги ҳисобланади. Айнан у кристаллик структурада атомларни жойлашаш геометриясини ва атомларни бир бирига нисбатан фазода жойлашув тартибини аниқлайди. Одатда параллелепипеднинг бурчак кирралари қаттиқ сферанинг марказида ётади деб қабул қилинган. Ҳақиқатда эса аниқ кристалл структураларни ифодалаш учун фақат ягона мумкин бўлган элементар шаклга эмас, балки юқори геометрик симметрия даражасига эга бўлган якка ячейкага таянишади.

### 3.4. МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛ СТРУКТУРАСИ

Металлар гуруҳига кирадиган материаллардаги боғланишларнинг электрон структура йўналиши, жуда зарур йўналишларга кирмайди. Мос равишда кўшни атомларнинг сони ва бир бирига нисбатан жойлашиши минимал чегараланган. Бу эса шундай ҳолатга олиб келадики, бунда ҳар бир атом нисбатан жуда кўп кўшниларга эга бўлиб, кўп ҳолларда эса металлар структураси зич жойлашувга эга бўлиб қолади. Бундан ташқари ҳар бир қатти сфералар модели ион ядросига айланади. 3.1 – жадвалда баъзи металларнинг атом радиуси келтирилган. Аниқлаб ўтилган эдики, кўпгина ҳолларда оддий металлар учта кристалл структура – зич жойлашули ёқлари марказлашган куб (ЁМК), ҳажми марказлашган куб (ХМК) ва гексаганал (ГГ) структураларни ҳосил қиладилар.

#### Ёқлари марказлашган куб ячейка

#### ёқлари марказлашган

Одатда кўпгина металлар структураси куб геометрия шаклига эга бўлиб, бунда атомлар элементар ячайканинг бурчаклари ва ёқларининг марказида жойлашган бўлади. Бундай структура турига **ёқлари марказлашган** (ЁМ) дейилади. Барчамизга яхши маълум бўлган мис, алюминий, куму шва олтин металлари айнан шундай структурага эга (3.1 – жадвалга қараймиз). 3.1, а – расмда қаттиқ сфералар молекуладан ташкил топган ёқлари марказлашган якка куб ячейка тасвирланган, 3.1, б – расмда эса атомларни фазода жойлашишини яънада яхшироқ тасавур қилиш учун улар кичрайтирилган. Кўплаб атомлардан ташкил топган 3.1, в – расмда кристаллнинг кесими кўрсатилган бўлиб, у жуда кўп ёқлари марказлашган элементар ячейкалардан ташкил топган. Ион ядросини моделини билдирувчи сфералар кубнинг ёқлари диоганали бўйича бир бирига тегиб турадилар. Элементар ячайка кубининг ёқ узунлиги (а) ва ундаги атомнинг радиуси бир бири билан кучдагича муносабатда бўлади:

$$a = 2R\sqrt{2} \quad (3.1)$$

Бу муносабат 3.1 даги вазифани ечимдан келиб чиқади.

**Жадвал 3.1. 16**  
металлнинг кристалл структураси ва атом радиуси

<i>Металлар</i>	<i>Кристалл структураси<sup>1</sup></i>	<i>Атом радиуси, нм<sup>2</sup></i>	<i>Металлар</i>	<i>Кристалл структураси<sup>1</sup></i>	<i>Атом радиуси, нм<sup>2</sup></i>
Алюминий	ЁМ	0,1431	Молибден	ХМ	0,1363
Кадмий	ГЗ	0,1490	Никель	ЁМ	0,1246
Хром	ХМ	0,1249	Платина	ЁМ	0,1387
Кобальт	ГЗ	0,1253	Кумуш	ЁМ	0,1445
Мис	ЁМ	0,1278	Тантал	ХМ	0,1430
Олтин	ЁМ	0,1442	Титан (α)	ГЗ	0,1445
Темир (α)	ХМ	0,1241	Вольфрам	ХМ	0,1371
Кўрғошин	ЁМ	0,1750	Рух	ГЗ	0,1332

<sup>1</sup>ЁМ – ёқлари марказлашган, ХМ – ҳажми марказлашган, ГЗ – гексаганал зич

<sup>2</sup>нм – Нономер бўлиб у  $10^{-9}$  м. агар нономердан англстремга ўтиш зарур бўлса уни 10 га кўпайтириш харур.





Бази пайтларда хар бир элементар ячейкани бирлашдирадиган атомлар сонини аниклаш талаб этилади. Атомларнинг жойига боғлиқ равишда уларни кандай қисми шу ячейкага тегишли эканлиги келиб чиқади. мисол, ёқлари марказлашган куб ячейканинг бурчакларида жойлашган атомлар бир пайтнинг ўзида яна саккизта шундай ячейкага тегишли бўлади, унинг марказидаги атомлар эса бир пайтнинг ўзида фақат иккита ячейкага тегишли. Айнан ячейкага тегишли бўлган атомларнинг сони куйда келтирилган формула ёрдамида аникланади:

$$N = N_i + \frac{N_j}{2} + \frac{N_e}{8} \quad (3.2)$$

бунда:  $N_i$  – ячейканинг ички атомлар сони;

$N_j$  – ячейканинг ёқларидаги атом сони;

$N_e$  – ячейканинг бурчакларидаги атомлар сони.

ЁМ – кристалл структура учун бурчагидаги атомлар сони саккизта ( $N_e = 8$ ), ёқларида эса олти атом ( $N_j = 6$ ), ва унда ҳеч кандай ички атомлар йўқ. Шунда 3.2 – формулага биноан:

$$N = 0 + \frac{6}{2} + \frac{8}{8} = 4$$

Ҳақиқатда ячейканинг бурчаги ва марказидаги атомларнинг ҳолатлари эквивалент, чунки агар структурада марказий атомдан ёқларларга қўчириш амалга оширилса, бунинг натижасида ҳудди шундай элементар ячейканинг нукталари ҳосил бўлади.

Кристалл структураларнинг ена иккита муҳим характеристикаларига унинг координацион сони ва тўлиқлик коэффициенти (КТК) қиради. Металлардаги хар бир атом ҳудди ўзидаек тенг сонли қўшниларига тегиб туради. Ячейкадаги бита атомга тегиб турган қўшнилар сони шу ячейканинг координацион сони дейлади. Ёқлари марказлашган куб панжаранинг координацион сони 12 га тенг. Бу ҳуласага 3.1, в – расмдаги тасвирдан келтириш мумкин: олтиндаги ёқ бурчакларидаги атомлар тўртта қўшни атомлар тамонидан ўраб олинган, тўртта атом орқасида ва яна тасвирга тугмай қолган тўртта атом кейинги ячейкада.

КТК – бу элементар ячейка чегарасига қирган атомлар ҳажми йиғинди (каттик сфералар моделида қўриляётган) бўлиб, шу ячейка ҳажмининг кандай микдорини эгаллаган деган тушунчага эга.

КТК куйдагича аникланади:

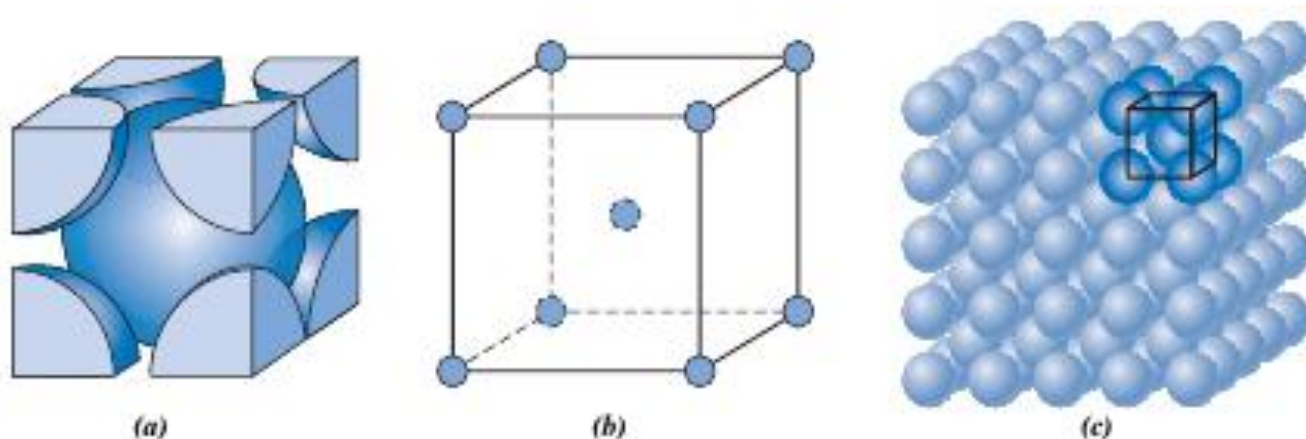
$$КТК = \frac{\text{элементар} \cdot \text{ячейка} \cdot \text{чегарасига} \cdot \text{қирган} \cdot \text{атомлар} \cdot \text{ҳажми} \cdot \text{йиғиндиси}}{\text{элементар} \cdot \text{ячейка} \cdot \text{ҳажми}}$$

(3.3)

Ёқлари марказлашган куб ячейканинг тўлиқлик коэффициенти 0,74 га тенг, бу бир хил радиусга эга бўлган сфераларнинг максимал зич жойлашиш имконияти. Барча структуралар учун КТК ни солиштириш шу бобнинг 3.2 вазибаларида қўриб чиқилади.

### **Ҳажми марказлашган куб ячейка**

Металларга хос бўлган яна бир турдаги структура бу бурчакларида жойлашган саккизта атом ва кубнинг марказида жойлашган битта атомлардан ташкил топган куб. Шундай қўп атомлардан ташкил топган структура каттик сфералар модели тарзда 3.2, в – расмда кўрсатилган, 3.2. а – расмда эса каттик сфералар моделидаги ҳажми марказлашган кристалл учун яқка ячейка ва уларга мос равишда уларнинг қичрайтирилган модели келтирилган.



**Расм 3.2** Ҳажми марказлашган куб элементар ячейканинг таъсири: а – қаттиқ сфералардан ташкил топган якка ячейка; б – якка ячейканинг кристалл панжарадаги модели; в – жуда кўп атомлардан ташкил топган кристалл ҳажми

Марказидаги ва бурчаклардаги атомлар бир бирига кубнинг диаганали бўйлаб тегиб туради бунда куб ёкининг  $a$  ўлчами ва ундаги атомларнинг радиуси  $R$  бир бири билан қуйдаги муносабатларда бўладилар:

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}, \quad (3.4)$$



Одатда бундай ҳажми марказлашган элементар ячейкани асосан хром, темир ва вольфрам металларида кузатилади (3.1 – жавдалга қаранг). Ҳаар бир ячейканинг бурчакларида саккизта ва ҳажмининг марказида битта атом бўлиб, марказий атом шу ячейкага бутунлай тегишли, шунинг учун 3.2 – формула қуйдагича ҳисобланади:

$$\begin{aligned} N &= N_i + \frac{N_j}{2} + \frac{N_e}{8} \\ &= 1 + 0 + \frac{8}{8} = 2 \end{aligned}$$

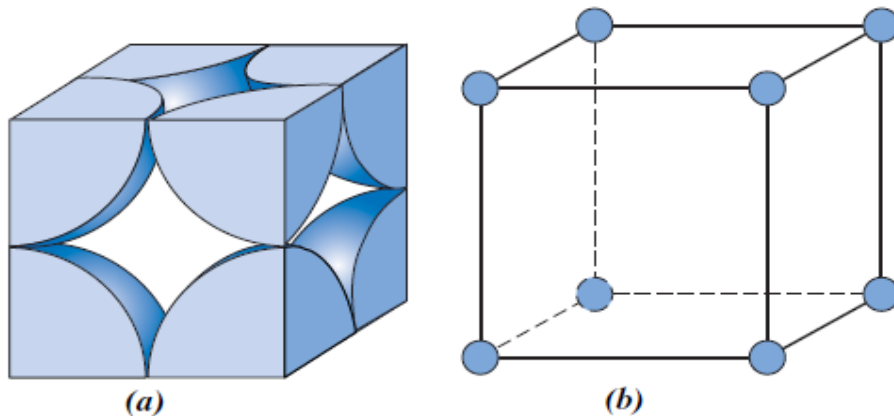
Ҳар бир ҳажми марказлашган ячейкага иккита атом тегишли (эквивалент) бўлиб улардан биттаси – саккизта бурчаклард жойлашган атомларнинг саккиздан бир қисми ва яна битта марказда жойлашган атом унга тўлиқ тегишлидир. Яна шуни айтиб ўтиш керакки бурчакдаги ва марказдаги атомлар бир бирига тўлиқ эквивалентдирлар.

Ҳажми марказлашган ячейканинг координат сони 8 га тенг, яъни ячейканинг ҳажми марказидаги атомни саккизта куб бурчакларидаги атом ўраб олган. Ҳажми марказлашган ячейканинг координат сони ёқлари марказлашган кристаллнинг координат сонидан кичик бўлгани учун, унинг тўлиқлик коэффициенти ҳам кичик – 0,68 га 0,74.

### Гексаганал зич жойлашувга эга бўлган ячейка

Барча ҳолларда металлларнинг кристаллографик ячейкаси куб симметриясига эга. Бу бобда охириги умумий ҳолда муҳакама қилинадиган кристалл структура гексаганал ячейка. Шундай структура 3.4 – расмда келтирилган, 3.4, а – расмда сфералар қирайтирилган ҳолатда тасвирланган, 3.4, б – расмда эса кўп атомлардан ташкил топган ҳажми.

<sup>1</sup>Alternatively, the unit cell for HCP may be specified in terms of the parallelepiped defined by the atoms labeled A through H in Figure 3.4a. Thus, the atom denoted J lies within the unit cell interior.



3.3 – расм. Оддий куб кристалл структуранинг ячейкаси, (а) элементар ячейкадаги сфералар, ва (б) элементар ячейканинг модели

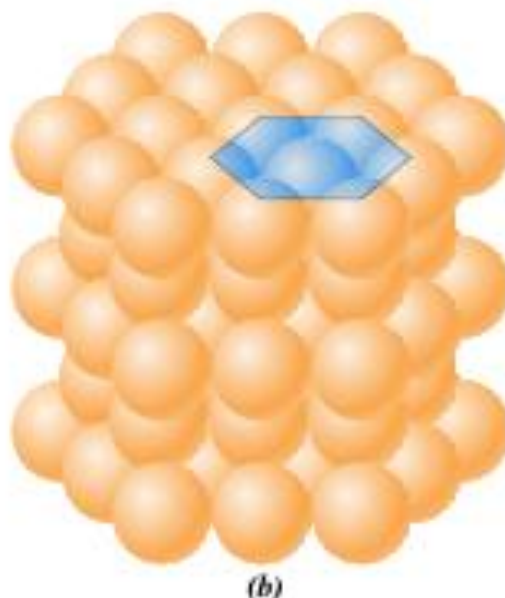
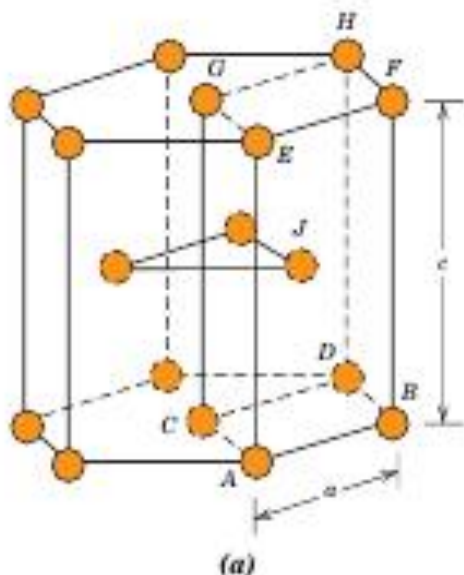


Элементар ячейканинг пастги ва устги ёклари тўғри олтибурчак хосил килувчи олтига атомлардан ташкил топган, унинг марказида эса яна битта атом жойлашган. Устги ва пастги текисликлар орасида учта атомга эга бўлган ён тамон ёklar жойлашган. Ўрта текисликдаги атомлар эса каларга уланган иккита текисликларда жойлашган якин кўшнилари тамонида ўраб олинган.

$$N = N_i + \frac{N_j}{2} + \frac{N_e}{6} \quad (3.5)$$

Хар бир элементар ячейка олтига эквивалент атомнинг олтидан бир кисми, 12 та устги ва пастги атомлар ва марказий текисликда ётган учта атомнинг иккидан бир кисми. Бунда  $a$  ва  $c$  киска ва узун ёklar ўлчами бўлиб (3.4, а - расм)  $c/a$  муносабати 1,633 ни ташкил этиши керак, аммо бази металларда бу муносабатдан чекланиш мавжуд.

$$N = 3 + \frac{2}{2} + \frac{12}{6} = 6$$



Расм 3.4. Гексаганал зич жойлашувли ячейканинг тасвири: а – қаттиқ сфералардан ташкил топган якка ячейка; в – жуда кўп атомлардан ташкил топган кристалл ҳажми

Гексаганал ячейканинг координацион соани ва тўлиқлик коэффициенти ёқлари марказлашган ячейканикидек мос равишда 12 ва 0,74 ни ташкил этади. Бундай гексаганал зич жойлашувли ячейкни асосан кадмий, магний, титан ва цинк металлари хосил қилади (3.1 – жадвалга қаранг).

### ВАЗИФА 3.1.

**Элементар ёқлари марказлашган куб кристалл ячайканинг ҳажмини топинг.**

Вазифа: элементар ёқлари марказлашган куб ячейка ҳажми ҳисоблансин.

**Ечими:** Ёқлари марказлашган куб ячейканинг схематик тасвири ва ўлчамлари расмда келтирилган.

Атомлар ёқлар диаганаллари бўйича бир бирига тегиб туради, шунга мос равишда ёқнинг узунлиги  $4R$  га тенг.

Бунда яқка ячейканинг ҳажми куб шакилга эга бўлгани учун унинг ҳажми  $a^3$ , бунда  $a$  – кубнинг ёқлар узунлиги.

Шундай қилиб қуйдаги тегламани келтириш мумкин:

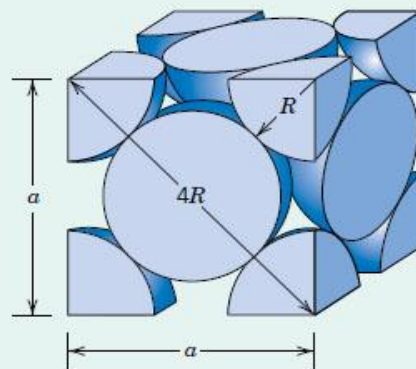
$$a^2 + a^2 = (4R)^2.$$

Уни  $a$  га нисбатан ечими бизга қуйдагини беради:

$$a = 2R\sqrt{2}, \quad (3.1)$$

Ёқлари марказлашган ячейканинг  $V_c$  ҳажми қуйдаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$V_c = a^3 = (2R\sqrt{2})^3 = 16R^3\sqrt{2} \quad (3.6)$$



### ВАЗИФА 3.2.

**Ёқлари марказлашган элементар куб ячейканинг тўлиқлик коэффициенти аниқлаш.**

Вазифа: ёқлари марказлашган элементар куб ячайканинг тўлиқлик коэффициенти 0,74 га тенг эканлигини кўрсатинг.

**Ечими:** Ҳар қандай ячейканинг тўлиқлик коэффициенти (КТК) ячайкани ташкил этувчи қаттиқ сфералар ҳажмининг шу ячейканинг тўлиқ ҳажмининг нисбатига тенг:

$$КТК = \frac{\text{элементар ячейка чегарасига кирган атомлар ҳажми йииндиси}}{\text{элементар ячейка ҳажми}}$$

Бу формулага кирувчи иккита қаттиқ ҳам атомлар  $R$  орқали ифодаланиши мумкин.

Қаттиқ сферанинг ҳажми  $\frac{4}{3}\pi R^3$  – га тенг бўлгани учун ҳамда битта ҳажми марказлашган элементар ячейкада 4 та атомо бўлгани учун сфераларнинг умумий ҳажми:

$$V_s = 4 \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \right) = \frac{16}{3} \pi R^3$$

тепада кўриб чиқилган 3ю1 – вазифанинг ечимига кўра:

$$V_c = 16R^3\sqrt{2}$$

Шунда атомларнинг тўлиқлик жойлашиш коэффициенти қуйдагича:

$$КТК = \frac{V_s}{V_c} = \frac{\frac{16}{3} \pi R^3}{16R^3\sqrt{2}} = 0,74$$



## 3.1 Назорат учун саволлар

- (а) Оддик куб кристалл структура ячейкасининг координацион сонини топинг?  
 (б) Оддий куб кристалл структура ячейкаси учун зич жойлашув даражасини аниқланг?

## МУАМОЛИ ВАЗИФА 3.3.

## Элементар ячейка ҳажмини ҳисоблаш

- (а) ГЗ – ячайканинг  $a$  ва  $c$  параметрларини ионбатга олган ҳолда унинг ҳажмини ҳисобланг.  
 (б) Атом радиуси  $R$  ва  $c$  параметрларини ионбатга олган ҳолда панжаранинг сиклувчанлигини ҳисоблаб топинг

## Ечим:

(а) Бу вазифани ечимини топиш учун ГЗ – ячайканинг моделидан фойдоланамиз. Энди, элементар ячайканинг ҳажмини топиш учун бизга факат базис, яний  $c$  – баландлиги берилган. Бу базис учта ACDE параллелепипеддан ташкил топган, у юкоридаги расмда кўрсатилган. (бундан ташқари бу ACDE параллелепипед ячайканинг тепа қисмида ҳам кўрсатилган). Бу ACDE – текисликнинг баландлиги ва шу текисликда ётувчи сферанинг  $R$  радиусини ионбатга олсак олтибурчак шакилнинг  $a$  – ён тамон қийматини қуйдагича топиш мумкин:

$$\overline{AN} = a \cos(30^\circ) = \frac{a\sqrt{3}}{2}$$

Шундай бўлгани учун қуйдаги ҳисоб ўринли бўлади:

$$AREA = (3)(\overline{CD})(\overline{BC}) = (3)(a)\left(\frac{a\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{3a^2\sqrt{3}}{2}$$

AREA – худуд юзасини ячайканинг баландлиги бўлган  $c$  га кўпайтириш орқали бутун ячайканинг ҳажмини топамиз:

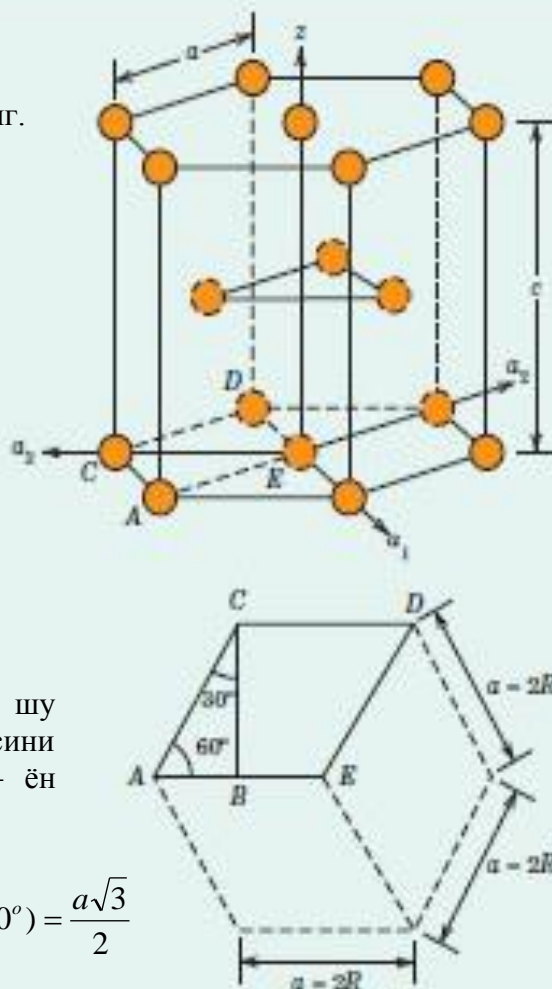
$$V_c = AREA(c) = \left(\frac{3a^2\sqrt{3}}{2}\right)(c) = \frac{3a^2c\sqrt{3}}{2} \quad (3.7a)$$

(б) Бу муоммани ечимини топиш учун, бизнинг киладиган ишимиз панжара параметрини ундаги атом  $R$  радиуси билан боғлаш, яний:

$$a = 2R$$

энди ҳосил бўлган катталиқни 3.7a – формуладаги  $a$  билан алмаштирамиз:

$$V_c = \frac{3(2R)^2c\sqrt{3}}{2} = 6R^2c\sqrt{3} \quad (3.7б)$$



### 3.5 ЗИЧЛИКНИ ХИСОБЛАШ

Агар металнинг кристалл панжара тури маълум бўлса, унда шу металнинг назарий  $\rho$  зичлигини формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A}, \quad (3.8)$$

бунда:

$n$  – элементар ячейкага тегишли бўлган атомлар сони;

$A$  – шу металнинг нисбий атомар массаси;

$V_C$  – элементар ячейка ҳажми;

$N_A$  – Авагадро сони ( $6,02 \cdot 10^{23}$  атом/моль).

### МУАМОЛИ ВАЗИФА 3.4

#### Метал зичлигини назарий ҳисоблаш

*Вазифа:* Мис металнинг атом радиуси 0,128 нм. га тенг бўлиб мис ёклари марказлашган куб ячейка ҳосил қилади, унинг нисбий атомар массаси – 63,5 г/моль. Мис металнинг зичлигини ҳисоблаб топинг.

#### *Ечими;*

Бу вазифани ечиш учун (3.8) формуладан фойдаланилади. Металнинг кристалл панжараси – ёклари марказлашган ячейка бўлгани учун битта ячейкага 4 та атом тегишли. Миснинг нисбий атомар массаси  $A_{Cu} = 63,5$  г/моль. Элементар ячейканинг ҳажми эса 3.1 – вазифага аниқланган бўлиб ёклари марказлашган куб кристалл ячейканинг ҳажми  $16R^3\sqrt{2}$  га тенг, ундаги  $R = 0,128$  нм.

Аниқланган катталикларни 3.8 – формулага қўямиз;

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{nA_{Cu}}{V_C N_A} = \frac{nA_{Cu}}{(16R^3\sqrt{2})N_A} \\ &= \frac{(4 \text{ atoms/unit cell})(63.5 \text{ g/mol})}{[16\sqrt{2}(1.28 \times 10^{-8} \text{ cm})^3/\text{unit cell}](6.022 \times 10^{23} \text{ atoms/mol})} \\ &= 8.89 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Қўпгина адабийларда миснинг зичлиги  $8,89 \text{ г/см}^3$  га тенг деб келтирилган. Назарий ҳисобларни амалий экспериментал олинган натижаларга мос келишлигини кўрсатябди.

### 3.6 ПОЛИМОРФИЗМ ВА АЛЛОТРОПИЯ

**полиморфизм** Бази метал ва нометаллар бир эмас бир нечта кристалл структура тузилишига эга бўлиши мумкин, бу ҳолат **полиморфизм** деб ном олган ибора билан маълум. Каттик жисимларн ташкил этадиган заррачалар маълум шароитда бир кристалл структурадан бошқа кристалл структурага ўтиш ходисаси

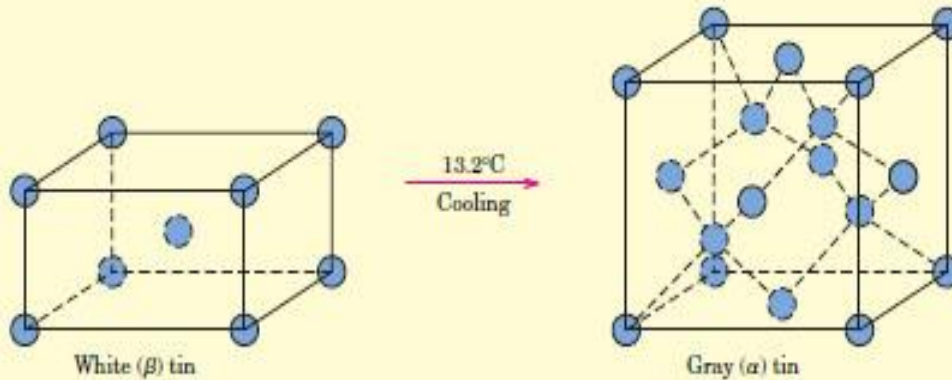
**аллотропия** **аллотропия** деб аталади. Бир кристалл туридан иккинчи кристалл турига ўтиши энг аввало атроф муҳит харорати ва босимига боғлиқ. Бунга ҳозирда маълум бўлган мисоллардан бири бу углерод: графит – углероднинг аллотропик модификацияси бўлиб у оддий шароитда ҳосил бўлади, аммо олмос - углероднинг яна бир модификацияси эса жуда юкори босимларда ҳосил бўлади. Бундан ташқари бундай ҳолат темирда ҳам кузатилади, мисол, оддий хона хароратида соф темир ХМК – кристалл панжарага эга бўлса, харорат  $912 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $1674 \text{ }^\circ\text{F}$ ) да ЁМК – кристалга ўтиб олади. Қўп ҳолларда полиморфик ўзгаришлар материалнинг физик-механик хоссаларини ўзгаришига олиб келади.

## ҚИЗИҚА РЛИ МАЪЛУМОТ

*Калай (унинг аллотропик ўзгаришлари)*

Аллотропик шикил ўзгаришга учрайдиган металлларда бири бу калай метали. Ок (ёки  $\beta$ ) калай хона хароратида хажми марказлашган куб кристалл панжарага эга, ўзгариш  $13,2\text{ }^\circ\text{C}$  ( $55,8\text{ }^\circ\text{F}$ )

бўлса, кўнғир (ёки  $\alpha$ ) калай, олмос кристалл панжара турига эга (яний, олмос куб кристалл структура тури); унинг бу кристалл структураси схематик равишда келтирилган:



Бу ўзгаришларнинг кечиб ўтиш даражаси ва тезлиги жуда кичик, аммо  $13,2\text{ }^\circ\text{C}$  ( $55,8\text{ }^\circ\text{F}$ ) хароратда бу жараён жуда тез содир бўлади. Ок калайнинг кўнғир калайга ўтиши натижасида металнинг хажми (27%) каттаяди, шунга мос равишда унинг зичлиги камаяди ( $7,3$  дан  $5,77\text{ г/см}^3$  га камаяди). Металда содир бўладиган хажмий ўзгаришлар уни бутун металдан майдаланган кукунга айланиб қолишига сабаб бўлади. Бу жараён оддий шароитларда ҳеч қандай хавф туғдирмайди чунки хажим ўзгаришлар жуда секин содир бўлади. Ок калайнинг кўнғир ҳолатига ўтиши туфайли 1850 йилда жуда кўнғилсиз вақиялар рўй берган. Айнан шу йили узок вақт киш жуда совук келган. Бунини натижасида Русс аскарларнинг калайдан ясалган тугмалари ва черкавларнинг конғироклари майдаланиб кетган. Бўлиб ўтган бу ходиса тарихда калай касаллиги деб ном олган. Расмда тадқиқотлар ўтказиш учун



ишлатиладиган ок калайни намунаси кўрсатилган. Унинг тепа қисмида  $-13,2\text{ }^\circ\text{C}$  хароратда узок вақт ушлаб туриш натижасида парчаланган кўнғир калай бўлакчалари кўрсатилган.

## 3.7 КРИСТАЛЛИК СИСТЕМАЛАР



WileyPLUS: VMSE  
Crystal Systems and  
Unit Cells for Metals

### кристалл системани

Кристалл структураларнинг жуда кўп турлари бўлгани учун уларни ўрганиш асосан кристалл ячейка турига кўра ёки улардаги атомларнинг жойлашиш тартибига кўра гуруҳларга ажратиб ўрганиш кулай. Худи шундай гуруҳланиш элементар ячейканинг геометриясига, яний унинг параллелепед элементар ячейка шаклига, бунда панжарадаги атомларнинг жойлаш тартиби ахамиятга эга эмас. Бу асос чегараси элементар ячейканинг бирор бир бурчакларидан ўтган XYZ ўқлари ичида ётади; хар бир X, Y, ва Z ўқлари параллелепеднинг бошланиш бурчагидан кейинги бурчакгача чўзилиб ёқларига устма уст тушган бўлиб бу холат 3.5 – расмда кўрсатилган. Элементар ячейканинг геометрияси айнан олти прапметрлар: a, b, ва c тамонлар ўлчамлари хамда учта ўқлар орасидаги:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  бурчаклар нуктаи назаридан аникланади. Уларнинг жойлари ва белгиланишлари 3.5 – расмда кўрсатилган кўпинча уларга кристалл структурасининг параметрлари дейлади.

Параметр: a, b, ва c хамда  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  асосида еттита комбенация (имконият) мавжуд бўлиб уларнинг хар бири ўзига тегишли бўлган кристалл системан ташкил этади. Бу еттита система куб **кристалл системани** ташкил этади: куб, гексаганал, тетраганал, ромбейдрик, орторомбик, моноклик ва триклик. Хар бир панжара параметрлари ва уларга тегишли бўлган элементар ячейка эскизлари 3.2 – жадвалда келтирилган. Куб:  $a = b = c$  ва бурчаклари  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  системаси энг юкори симметрия даражасига эга. Энг паст:  $a \neq b \neq c$  ва  $\alpha \neq \beta \neq \gamma$  геометрик симметрияга эга бўлгани бу триклик система хисобланади.

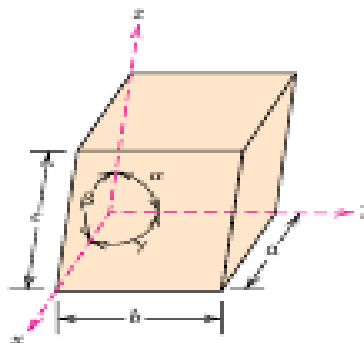
Юкоридаги мулохазаларда келиб чиқадики металлларнинг кристалл структураси асосан ХМК ва ЁМК кристалл бўлиб кам холларда ГК панжаралар хосил килади. Умуман олиб қарайдиган бўлсак олтибурчакли ГК панжара асосан учта папаллелепеддан ташкил топган, буни 3.2 – жадвалдан кўриш мумкин.

### 3.2 Назорат учун саволлар


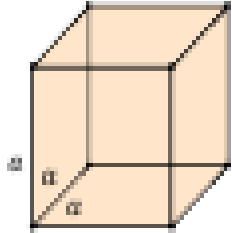

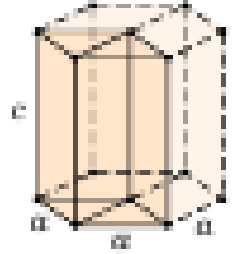

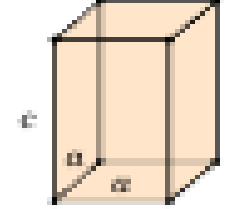

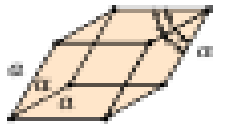

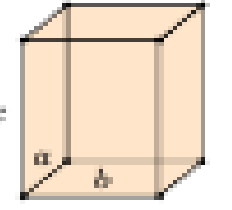

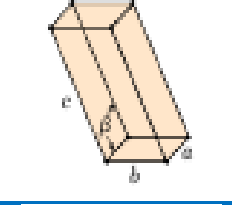

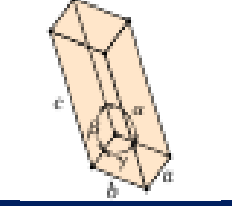
Кристалл структура билан кристалл системанинг бир биридан қандай фарқи бор?

Шуни айтиб ўтиш кераки юкорида кўриб чиқилган асосий тушинчалар ва қоидалар бу бобда хам айнан каттик керамик ва полимер системаларга хам тегишли (12 ва 14 боблар). Мисол, кристалл системалар асосан элементар ячейка нуктаи назаридан изохлаб бу эса бошқа турдаги кристалл системаларни тадқиқ қилишда бир катор қийинчиликларни келтириб чиқаради. Бундан ташқари бошқа системаларни атомлар зич жойлашув коэффициенти ва солиштирма зичлигини 3.3 ва 3.6 – формуларар ёрдамида аниқлаш хамда элементар ячейканинг геометрия нуктаи назаридан кристалл система чегарачида бази материалларнинг гуруҳланишини кўриб чиқамиз.

**3.5 – расм.** Элементар ячейка: XYZ – кардената ўқлари, (a, b, c) ячейка даврлари ва ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) ўқлар аро бурчаклари



3.2 – жадвал Еттита кристалл системасига тегишли бўлган элементар ячейканинг эскизлари ва уларнинг параметрлари

	<i>Кристалл системалар</i>	<i>Даврларининг боғликлиги</i>	<i>Бурчакларнинг боғликлиги</i>	<i>Ячейкалар эскизлари</i>
 WileyPLUS: VMSE Crystal Systems and Unit Cells for Metals	Куб	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
	Гексаганал	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$	
	Тетраганла	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
	Ромбэйдрик	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
	Орторомбик	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
	Моноклик	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
	Триклик	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	



## КРИСТАЛЛОГРАФИК НУТА, ТЕКИСЛИК ВА ЙЎНАЛИШЛАР

Кристалли материаллар билан ишлашда элементар ячайка ичидаги атомлар ётган нуктанинг жойлашишини, кристаллографик йўналишини ва кристаллографик текисликларни аниқлашга тўғри келади. Шу мақсадда халқаро кристаллография жамайти шартли учта сон ёки индекслар деб номланадиган белгиланиш киритган, улар нуктанинг жойини, йўналишини ва жойлашиш теккислигини билдиради. Биуни асосини ячейканинг битта бурчак учидан бошланган учта  $X$ ,  $Z$ , ва  $Y$  ўқлардан ташкил топган фазовий координата системаси ташкил этади ўқлар ячейканинг ён тамонларига устма уст тушади, у 3.5 – расмда кўрсатилган. Баз бир кристаллографик, айнан: гексаганал, робоэйдрик, моноклин ва триклин системалар учун декарт корденатлар системасидан фаркли ўларок учта ўк бир бири билан перпендекуляр эмас.

### 3.8. КОРРДЕНАТА НУКТАЛАРИ

Куп холларда элементар панжара доирасида ётган нукталарнинг жойини аниқлашга тўғри келади. Буни нуктанинг учта:  $q$ ,  $r$ , ва  $s$  координата индекслари оркали аниқлаш мумкин. Бу индекслар – элементар ячейканинг ён тамонидан ўтувчи  $q$ ,  $r$ , ва  $s$  учта ўқга тегишли бўлган улишлари, яний  $q$  – ячейканинг  $X$  ўкининг узунлиги бўйча улиши,  $r$  – худи шундай аммо  $Y$  ўкининг узунлик улиши, ва  $s$  –  $Z$  ўкининг узунликдаги улиши ёки бундай:

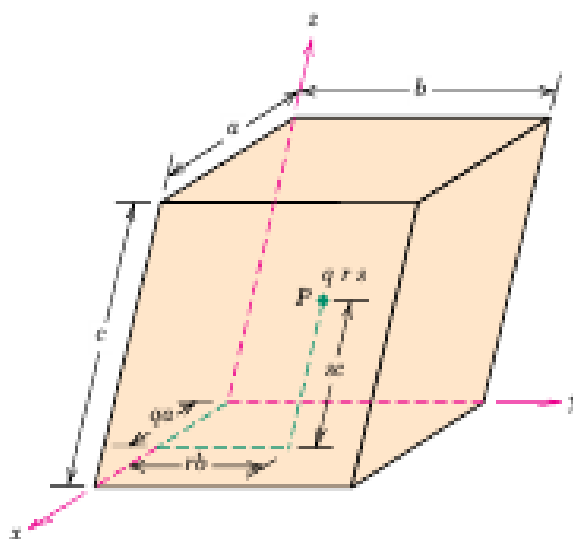
$$qa = X \text{ ўкига тегишли бўлган координата нукта оролиги} \quad (3.9a)$$

$$rb = Y \text{ ўкига тегишли бўлган координата нукта оролиги} \quad (3.9b)$$

$$sc = Z \text{ ўкига тегишли бўлган координата нукта оролиги} \quad (3.9c)$$

Бу холатни тўлик тушунтриб берувчи холат 3.6 – расмда келтирилган. Берилган  $P$  – нуктани жойини учта  $q$ ,  $r$ , ва  $s$  катталиқ оркали аниқлаймиз: бунда  $q$  –  $X$  ўкида ётган  $a$  – бўлакнинг улиши;  $r$  – эса  $Y$  ўкида ётган  $b$  – бўлакнинг улиши, худи шу тарзда  $s$  –  $Z$  ўкида ётган  $c$  – бўлакнинг улиши. Шундай килиб  $P$  – нуктанинг холати учта  $q$ ,  $r$ , ва  $s$  индекслар ётдамида аниқланади, улар бирга тенг ёки ундан кичик. келажакда биз бу индексларни велгуллар билан ажратмаймиз.

**3.6 – расм.** Учта  $q$ ,  $r$ , ва  $s$  индекслар ёрдамида  $P$  – нуктанинг коррденатасини аниқлаш. Кардената  $q$  – бу  $a$  – га тегишли бўлган ён тамон узунлиги,  $r$  – эса  $b$  – га тегишли бўлган ён тамон узунлиги,  $s$  – эса  $c$  – га бегишли бўлган ён тамон узунлиги.

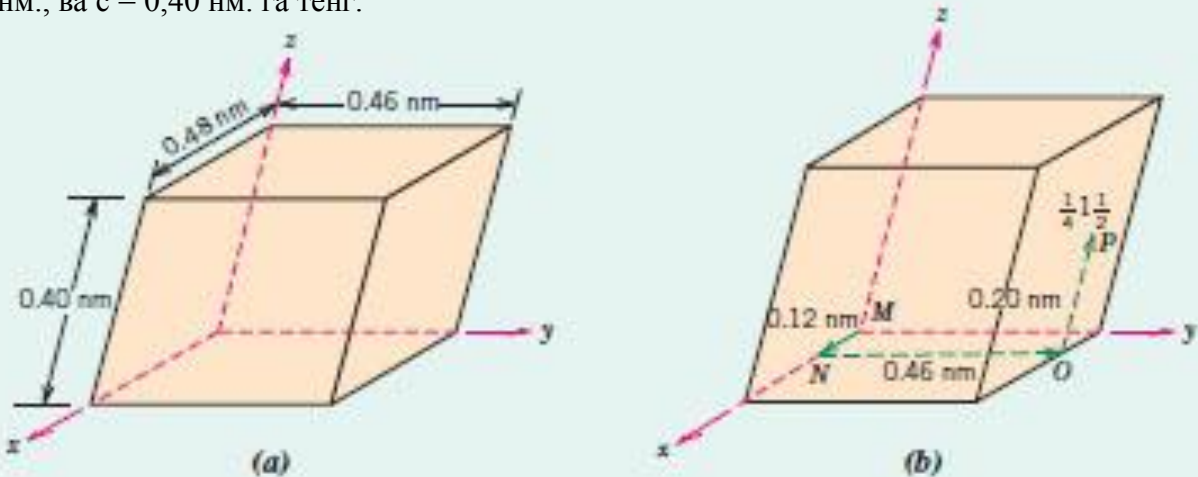


## МУАМОЛИ ВАЗИФА 3.5.

Ячейка бирлигида  $\frac{1}{4}1\frac{1}{2}$  а – расмда келтирилган нуктанинг координатасини топинг.

**Ечими**

Расмда кўрсатилган ячейка бирлигида ячейканинг ён тамонларининг узунлиги  $a = 0,48$  нм.,  $b = 0,46$  нм., ва  $c = 0,40$  нм. га тенг.



Юқорида кўриб чиқилган мулоҳазага биноан ён тамон узунликлар мос равишда:  $q = \frac{1}{4}$ ,  $r = 1$  ва  $s = \frac{1}{2}$ . Шунинг учун энг аввало координата бошини М нукта деб белгилаймиз, у б – расмда кўрсатилган.

Хисоблар 3.9а 3.9с га биноан, шундай натижа беради:

Юқорида келтирилган элементар ячейка доирасидаги координаталарга эга бўлган нуктанинг жойини аниқлаш учун, энг аввало барча ўқларнинг кесишган жойига белгилаб олинади (М –

$$\begin{aligned} \text{lattice position referenced to the } x \text{ axis} &= qa \\ &= \left(\frac{1}{4}\right)a = \frac{1}{4}(0.48 \text{ nm}) = 0.12 \text{ nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lattice position referenced to the } y \text{ axis} &= rb \\ &= (1)b = (1)(0.46 \text{ nm}) = 0.46 \text{ nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lattice position referenced to the } z \text{ axis} &= sc \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)c = \left(\frac{1}{2}\right)(0.40 \text{ nm}) = 0.20 \text{ nm} \end{aligned}$$

нукта билан белгиланган) кейин нуктадан Х ўқи йўналиши бўйлаб 0,12 нм. бўлак кўйилади, буни натижасида яна битта нукта ҳосил бўлади (бу нукта N билан кўрсатилган) бирлик улиш кўйилади (М – нукта ҳзосил бўлади). Худи шу тарзда N нукта дан Y ўқи йўналиши бўйлаб 0,46 нм. бўлаги кўйилади, буни натижасида О нукта ҳосил бўлади. Ниҳоят худи шу тарзда О нуктадан Z ўқи йўналиши бўйлаб 0,20 нм. бўлак кўйилади, бўлакнинг охири Р нуктани келтириб чиқаради. Шундай қилиб биз  $\frac{1}{4}$ , 1,  $\frac{1}{2}$ , -индексларга мос келувчи Р нуктанинг жойини аниқлаб оламиз.

