Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара

Кафедра геології та гідрогеології

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ КУРСУ «МІНЕРАЛОГІЯ»

Дніпропетровськ
РВВ ДНУ
2012

Уміщено докладні методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт із розділу «Кристалографія» (курсу «Мінералогія»), необхідні для закріплення студентами теоретичного матеріалу з окремих тем курсу, для оволодіння необхідними навичками самостійної роботи з кам'яним геологічним матеріалом. Наведено деякі теоретичні відомості про елементи симетрії, види симетрії, категорії, сингонії, прості форми сингоній та правила побудови окомірних стереографічних проекцій кристалів.

Для студентів геолого-географічного факультету ДНУ.

Темплан 2012, поз. 58

Методичні вказівки до виконання
лабораторних робіт
із курсу «Мінералогія»

Укладачі: канд. геол. наук, доц. О.В. Бондар
канд. геол.-мінерал. наук, доц. Н.Ф. Дуднік

Редактор О.В. Бец
Техредактор Л.П. Замятіна
Коректор Т.А. Белиба

Підписано до друку Формат 60х84/16. Папір друкарський. Друк плоский. Ум. друк. арк. 0,9. Ум. фарбовідб. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,8 Тираж 100 пр. Зам. №

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.
Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050

Вступ

У системі підготовки геологів мінералогія займає особливе місце. Вона вивчає склад, властивості, структуру та умови утворення мінералів. У рамках мінералогії сформувалася, а потім виділилась у самостійну науку кристалографія, яка досліджує будову та фізичні властивості кристалів, а також процеси їх утворення.

Знання основних законів симетрії кристалів та їх структури, зв'язку структури з фізико-хімічними властивостями мінералів становить необхідну основу для подальшого вивчення дисциплін геологічного профілю – мінералогії, петрографії, геохімії, курсу корисних копалин, літології.

Завдання курсу – стислий виклад основ кристалографії, розкриття кристалічної сутності мінералів та обумовлених нею фізичних властивостей, умов утворення мінералів у земній корі.

Практична частина курсу кристалографії передбачає: засвоєння студентами необхідних знань і набуття навичок роботи з кристалами, оволодіння прийомами грамотного опису зовнішньої форми та внутрішньої (атомної) будови кристалів, що необхідно для правильної інтерпретації результатів самостійної наукової роботи та розуміння спеціальної літератури; ознайомлення з методами дослідження кристалічної речовини.

Лабораторна робота 1
Визначення елементів симетрії кристалічних багатогранників

***Мета роботи*:** знайти на моделях елементи симетрії кристалічних багатогранників – C, P, L.

***Обладнання (матеріали)*:** роздавальна колекція моделей кристалічних багатогранників.

Теоретичні відомості. Вивчення кристалічного багатогранника слід починати з розгляду його зовнішньої форми. Зовнішню форму добре сформованих кристалічних багатогранників можна описати за допомогою елементів симетрії. Симетричним вважають об'єкт, який може бути суміщений сам із собою певними перетвореннями: поворотами або (та) відображеннями в дзеркальній площині.

Елементи симетрії – це допоміжні геометричні образи (площини, прямі лінії, точки), за допомогою яких установлюють симетрію фігур.

Площина симетрії – це уявна площина, яка розділяє фігуру на дві однакові частини таким чином, що одна з частин є дзеркальним відображенням іншої. Площину симетрії позначають літерою P (рис. 1). Якщо площин симетрії в певному кристалі декілька, то перед позначенням площини ставлять відповідне число, наприклад: 3P (три площини симетрії має сірникова коробка (рис. 2)). У кристалах може бути одна, дві, три, чотири, п'ять, шість, сім та дев'ять площин

симетрії. Багато з кристалів взагалі не мають жодної площини симетрії.

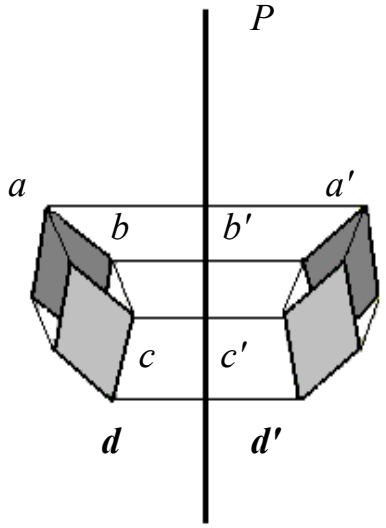


Рис. 1. Відображення елементів кристалічного багатогранника в площині симетрії

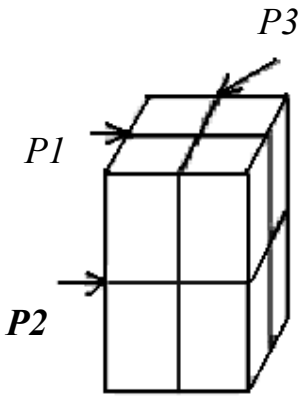


Рис. 2. Три площини симетрії в одному кристалічному багатограннику

Вісь симетрії – уявна пряма лінія, у разі повороту біля якої завжди на один і той же кут відбувається суміщення однакових частин фігури. Найменший кут повороту біля осі, який приводить до такого суміщення, називають елементарним кутом повороту осі симетрії α. Його величина визначає порядок осі симетрії *n*, який дорівнює кількості самосуміщень за повного повороту фігури на 360° ($n = 360/\alpha$).

Осі симетрії позначають літерою L із цифровим індексом, який указує на порядок осі, – L_n. Доведено, що в кристалах можливі тільки осі другого, третього, четвертого та шостого порядків (рис. 3). Їх позначають так: L_2, L_3, L_4, L_6. Осі п’ятого порядку та порядків, вищих шостого, у кристалах не існують. Осі третього L_3, четвертого L_4 та шостого L_6 порядків прийнято вважати осями вищого порядку.

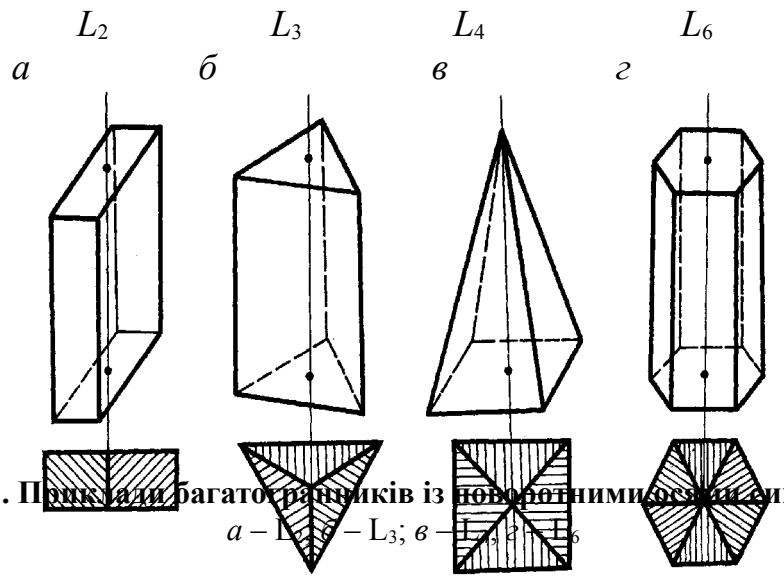


Рис. 3. Приклади багатогранників із поворотними осями симетрії:
а – L_2; *б* – L_3; *в* – L_4; *г* – L_6

Центр симетрії (центр інверсії) – точка всередині фігури, у разі проведення через яку будь-яка пряма зустріне на однаковій від неї відстані однакові та зворотно розташовані частини фігури. Центр симетрії позначають літерою С (рис. 4). Якщо кожна грань кристала має рівну собі та паралельну або зворотно паралельну грань, то цей кристал має центр симетрії. Деякі кристали можуть не мати центра симетрії.

Перелік усіх елементів симетрії кристала, поданих у вигляді їх символів, називають формулою симетрії або видом симетрії.

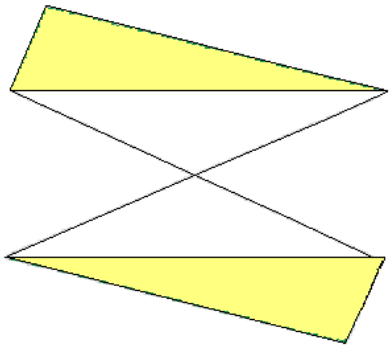


Рис. 4. Відображення елементів кристалічного багатогранника в центрі симетрії

Строгий математичний аналіз показав, що існує 32 види симетрії. Це всі можливі для кристалів комбінації елементів симетрії.

Види симетрії поєднують у сингонії. Усього розрізнюють сім сингоній. Назва «сингонія» походить від грецьких слів «син» – схоже та «гон» – кут. Сингонію кристала визначають за обов’язковими та подібними для кожної сингонії елементами симетрії, а також на основі наявності або відсутності одиничних напрямків.

Одиничний напрямок (*E*) – це єдиний напрямок у кристалічному

багатограннику, не повторюваний будь-якими операціями для встановлення симетрії певної групи.

Сім сингоній поєднують у три категорії (дод. 1).

Нижча категорія об'єднує *триклінну*, *моноклінну* та *ромбічну* сингонії. Кристали цих сингоній не мають осей, вищих другого порядку.

Середня категорія включає *тригональну*, *тетрагональну* та *гексагональну* сингонії. Кристали цих сингоній мають тільки одну вісь симетрії вищого порядку (L_3, L_4, L_6), яка збігається з єдиним одиничним напрямком.

Вища категорія – *кубічна сингонія* – об'єднує кристали, які обов'язково мають $4L_3$. Одиничних напрямків немає. Усі напрямки симетрично-рівні.

Послідовність виконання роботи. Відповідно до певного варіанта індивідуального завдання студенту необхідно:

1) на моделях знайти елементи симетрії кристалічних багатогранників;
2) визначити сингонію кристалічного багатогранника.

Лабораторна робота 2
Побудова окомірних стереографічних проекцій

***Мета роботи*:** вивчити методи побудови проекцій кристалічних багатогранників за допомогою стереографічної проекції.

***Обладнання (матеріали)*:** роздавальна колекція моделей кристалічних багатогранників.

Теоретичні відомості. Стереографічну проекцію кристалічного багатогранника будують за певними правилами (рис. 5).

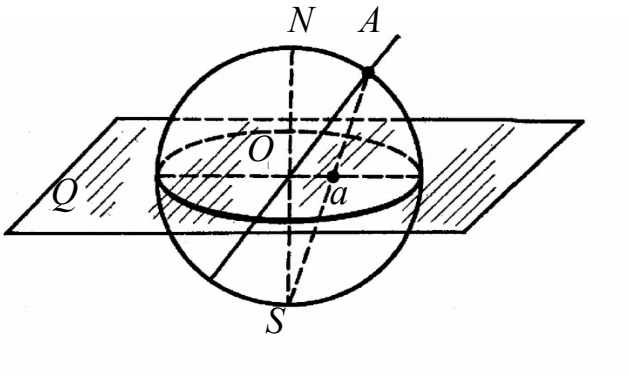
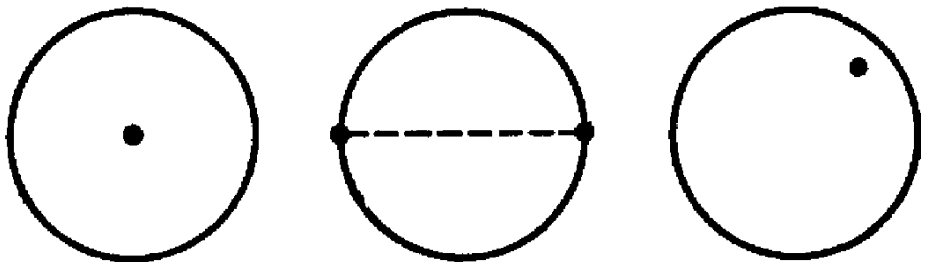


Рис. 5. Графічне зображення принципу побудови стереографічної проекції

За площину стереографічної проекції *Q* вибирають екваторіальну площину, на яку проектують сферу у вигляді кола проекцій (рис. 6). В одному з полюсів цієї сфери міститься точка зору («очна точка») *S*.

Щоб спроектувати пряму, наприклад *OA*, проводять лінію *AS* від полюсної точки *A* на сфері проекцій до точки зору *S*. Точка *a* – це перетин лінії *AS* із стереографічною проекцією напрямку *OA*.

Стереографічні проекції напрямків зображують точками всередині кола проекцій (рис. 6).



а *б* *в*

Рис. 6. Стереографічні проекції площин, розміщених відносно площини проекції:
а – перпендикулярно; *б* – у самій площині;
в – під скісним кутом до неї

Очевидно, що вертикальний напрямок проектують як точку в центрі кола проекцій, горизонтальний – як дві точки на екваторі. Площину, що проходить через точку *O* і перетинає сферу, проектують на стереографічну проекцію у вигляді відповідної дуги великого кола. Щоб не перевантажувати креслення, проектують тільки перетин площини з верхньою півсферою, а нижню частину площини звичайно не проектують.

Стереографічні проекції горизонтальних площин (рис. 7) являють собою коло, що збігається із межами кола проекцій; проекції вертикальних площин збігаються з діаметрами кола проекцій, а проекції похилих площин мають вигляд дуг, що спираються на кінці діаметра кола проекцій.

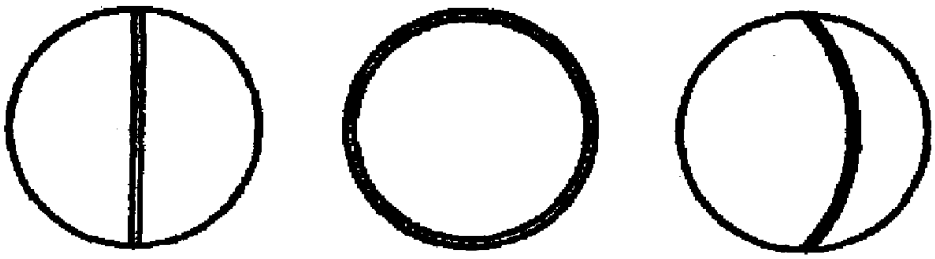
Для побудови стереографічної проекції особливо важливі дві її властивості:

1) будь-яке коло, проведене на сфері, зображують на стереографічній проекції також колом (в окремих випадках – прямою лінією);

2) на цій проекції не спотворюються кутові співвідношення: кут між полюсами граней на сфері, вимірюваний за дугами більших кутів, дорівнює куту між стереографічними проекціями тих самих дуг.

Стереографічні проекції застосовують головним чином для відображення симетрії кристала. Стереографічну проекцію осі симетрії зображують двома діаметрально протилежними точками. Точки накладаються одна на одну, якщо вісь симетрії вертикальна. Умовні позначення осей симетрії наведено в дод. 2.

Стереографічну проекцію дзеркальної площини симетрії зображують подвійними дугами: дугу, що відповідає сліду від перетину площини симетрії з верхньою півсферою сферичної проекції, зображують двома суцільними лініями, а іншу дугу, що відповідає сліду від перетину площини симетрії з нижньою півсферою, – двома пунктирними.



а *б* *в*

Рис. 7. Стереографічні проекції напрямків, розміщених відносно площини проекцій:
а – перпендикулярно; *б* – у самій площині; *в* – під скісним кутом до неї

Стереографічна проекція вертикальної площини симетрії має вигляд діаметра кола проекції, зображеного суцільною подвійною лінією. Стереографічна проекція горизонтальної площини симетрії має вигляд кола, що збігається з межею кола проекції. Її зображують суцільною подвійною лінією (двома концентричними колами).

Послідовність виконання роботи. Відповідно до запропонованого варіанта індивідуального завдання студент повинен:

1) виявити елементи симетрії кристалічного багатогранника;
2) визначити сингонію кристалічного багатогранника;
3) зобразити стереографічну проекцію кристалічного багатогранника.

Лабораторна робота 3
Визначення простих форм кристалічних багатогранників та їх комбінацій

***Мета роботи*:** навчитися визначати форми простих кристалічних багатогранників та їх комбінації.

***Обладнання (матеріали)*:** роздавальна колекція моделей кристалічних багатогранників.

Теоретичні відомості. Простою формою кристалічного багатогранника називають сукупність граней, пов'язаних симетричними операціями певного класу симетрії. Усі грані, які утворюють одну просту форму кристалічного багатогранника, повинні бути однакові за розміром та формою. У кристалі можуть бути наявні одна або декілька простих форм. Сукупність декількох простих форм має назву комбінації.

Закритими називають такі форми кристалічних багатогранників, грані яких повністю замикають простір між ними (наприклад, куб). Відкриті прості форми не замикають простір та не можуть існувати самостійно, а тільки в комбінаціях (наприклад, призма + пінакоїд).

Усього відомо 47 простих форм кристалічних багатогранників: 32 з них відносять до нижчої та середньої сингоній (рис. 8, 9), 15 – до вищої (рис. 9).

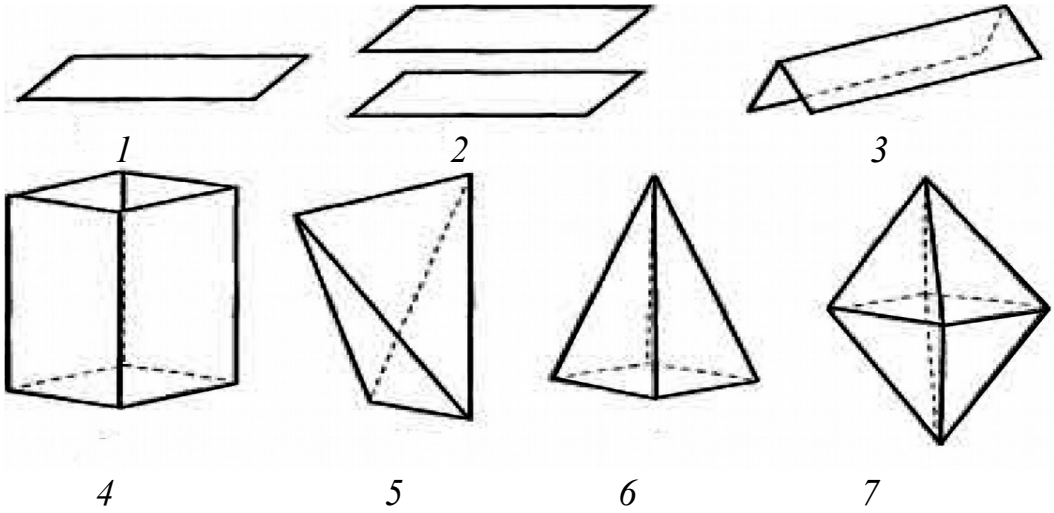


Рис. 8. Прості форми нижчої категорії:
1 – моноедр; *2* – пінакоїд; *3* – діедр; *4* – ромбічна призма; *5* – ромбічний тетраедр; *6* – ромбічна піраміда; *7* – ромбічна біпіраміда

Прості форми нижчих сингоній

Моноедр (від грец. «моно» – один, «едр» – грань) – проста форма кристалічного багатогранника, що має вигляд єдиної грані. Моноедром є, наприклад, основа піраміди.

Пінакоїд (від грец. «пінакс» – дошка) – проста форма, яка складається з двох однакових паралельних граней, часто зворотно орієнтованих.

Діедр (від грец. «ді» – два, «едр» – грань) – проста форма, утворена двома однаковими гранями, які перетинаються (іноді на своєму подовженні) та утворюють «пряму покрівлю».

Ромбічна призма – проста форма, яка складається з чотирьох однакових, попарно паралельних граней, що в перерізі утворюють ромб.

Ромбічна піраміда – проста форма, що складається з чотирьох однакових перетинних граней (у перетині також утворюють ромб).

Усі вищеперелічені прості форми кристалічних багатогранників відносять до відкритих.

Серед закритих простих форм нижчих сингоній виділяють такі.

Ромбічна біпіраміда – це дві ромбічні піраміди, сполучені основами. Форма має вісім однакових граней, які дають у поперечному перерізі ромб.

Ромбічний тетраедр – проста форма, чотири грані якої мають форму косокутних трикутників та замикають простір.

У сингоніях нижчої категорії кристалічні багатогранники можуть мати тільки сім простих форм, наведених вище.

Прості форми середніх сингоній

У сингоніях середньої категорії (рис. 9) з простих форм нижчої сингонії

можуть бути присутні тільки моноедр та пінакоїд.

Відкритими простими формами сингоній середньої категорії є призми та піраміди.

Тригональна призма (від грец. «гон» – кут) – три однакові грані, які перетинаються по паралельних ребрах та утворюють у перерізі рівнобічний трикутник.

Тетрагональна призма (від грец. «тетра» – чотири) – чотири однакові попарно паралельні грані, які утворюють у перерізі квадрат.

Гексагональна призма (від грец. «гекса» – шість) – шість однакових граней, які перетинаються по паралельних ребрах та утворюють у перерізі правильний шестикутник.

Назву дитригональних, дитетрагональних та дигексагональних отримали призми з подвоєною кількістю граней, коли всі грані однакові, а однакові кути між ними чергуються через один.

Піраміди – прості форми кристалічних багатогранників середньої категорії, що можуть бути, як і призми, тригональні (і дитригональні), тетрагональні (і дитетрагональні), гексагональні (і дигексагональні). Вони утворюють у перерізі правильні багатокутники. Грані пірамід розташовуються під скісним кутом до осі симетрії вищого порядку.

Серед кристалічних багатогранників середньої категорії зустрічаються також закриті прості форми.

Біпіраміди – прості форми, утворені двома однаковими пірамідами, сполученими основами одна з одною. У таких формах відбувається подвоєння піраміди горизонтальною площиною симетрії, перпендикулярною головній осі симетрії вищого порядку. Біпіраміди, як і прості піраміди, залежно від порядку осі можуть мати різні форми перерізу. Вони можуть бути тригональні, дитригональні, тетрагональні, дитетрагональні, гексагональні та дигексагональні.

Ромбоедр – проста форма, яка складається з шести граней у вигляді ромбів та нагадує витягнутий або сплющений за діагоналлю куб. Він можливий тільки в тригональній сингонії. Верхня та нижня групи граней повернуті одна відносно одної на кут 60° таким чином, що нижні грані розташовані симетрично між верхніми.

Скаленоедр (від грец. "скалена" – трикутник) – закрита проста кристалографічна форма тригональної та тетрагональної сингоній, яка складається з однакових різнобічних трикутників. Тригональний скаленоедр являє собою дванадцятигранник, схожий на біпіраміду з гранями у вигляді нерівнобічних трикутників.

Трапецоедр (від грец. «трапеціон» – трапеція) – проста форма, грані якої являють собою чотирикутники з однією парою рівних сторін. Існують праві та ліві трапецоедри. Залежно від головної осі симетрії (L_3, L_4, L_6) розрізнюють шестигранні (тригональні), восьмигранні (тетрагональні) та дванадцятигранні (гексагональні) трапецоедри.

Тетрагональний тетраедр – проста форма, чотири грані якої мають форму рівнобічних трикутників та замикають простір.

Прості форми кубічної сингонії

Кристалічні багатогранники кубічної сингонії (рис. 10) мають свої особливі прості форми. У кристалічних багатогранниках кубічної сингонії розглянуті вище прості форми не можуть бути присутні. Тут завжди наявні чотири взаємно перпендикулярні осі третього порядку, тому всі прості форми кубічної сингонії закриті. Усього є 15 простих форм, які належать тільки кристалічним багатогранникам кубічної сингонії, п'ять із них – головні (кубічний тетраедр, куб (гексаедр), октаедр, ромбододекаедр, пентагондодекаедр), а інші похідні від них.

Кубічний тетраедр – проста форма, утворена чотирма однаковими рівнобічними трикутними гранями, які перпендикулярні осям третього порядку (див. рис. 9).

Куб – проста форма, утворена шістьма однаковими попарно паралельними квадратними гранями (рис. 10), які утворюють одна з одною кути величиною 90°. Грані куба перпендикулярні осям четвертого порядку (L_4).

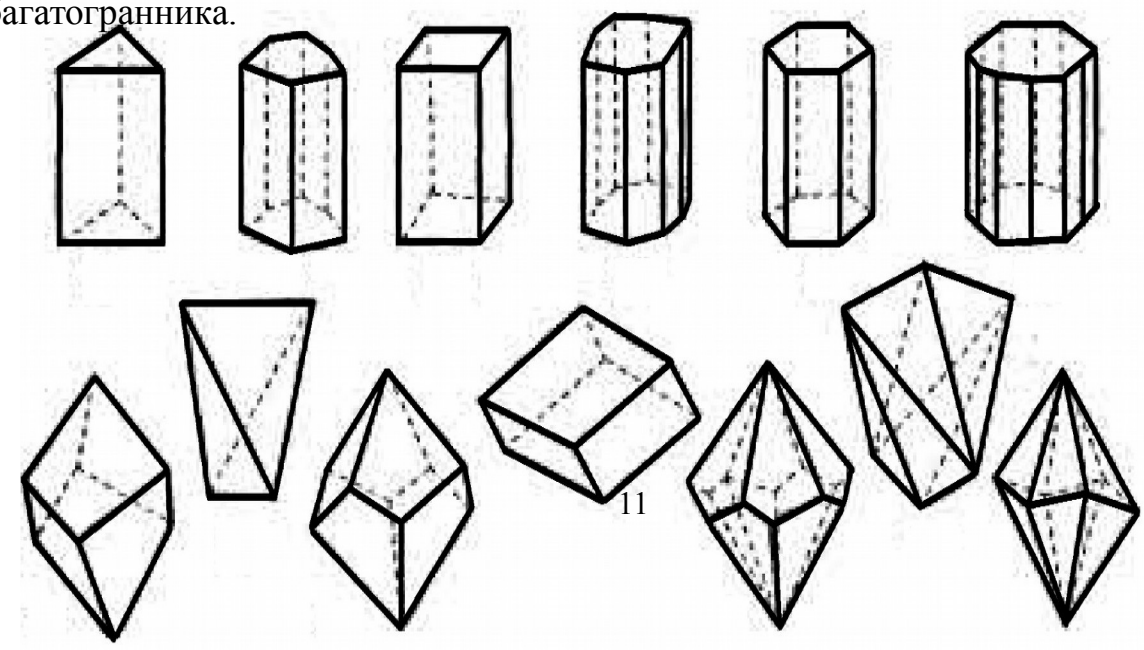
Октаедр (від грец. «окта» – вісім, «едр» – грань) – проста форма, утворена вісьма однаковими рівнобічними трикутними попарно паралельними гранями (рис. 10), які перпендикулярні осям третього порядку (L_3).

Ромбододекаедр (від грец. «додека» – дванадцять) – проста форма, утворена 12 однаковими гранями, які мають форму ромба (рис. 10).

Пентагондодекаедр (від грец. «пента» – п'ять) – закрита проста форма, яка складається з 12 однакових граней, які мають форму неправильних п'ятикутників (див. рис. 9).

Послідовність виконання роботи. Відповідно до першого варіанта індивідуального завдання студенту потрібно:

1) знайти елементи симетрії кристалічного багатогранника;
2) визначити сингонію, категорію та клас кристалічного багатогранника;
3) зобразити стереографічну проекцію кристалічного багатогранника;
4) визначити грані одного розміру та форми, указати назву простої форми кристалічного багатогранника та зазначити кількість граней, належних до неї;
5) зробити висновки про комбінації простих форм кристалічного багатогранника.

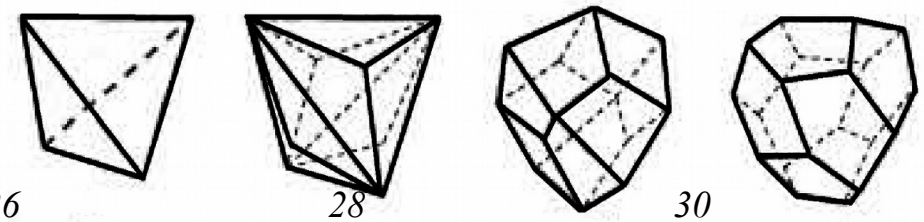


1 *2* *3* *4* *5* *6*

7 *8* *9* *10* *11* *12*

13 *14* *15* *16* *17* *18*

19 *20* *21* *22* *23* *24*

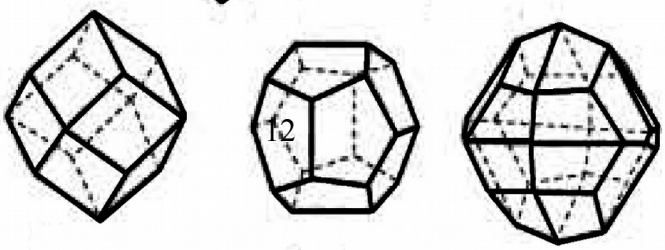


26 *28* *30*

25 *27* *29* *31*

Рис. 9. Прості форми середньої категорії.

1 – 6 – форми основ та перерізів, перпендикулярних головній осі (*1* – тригон, *2* – дитригон, *3* – тетрагон, *4* – дитетрагон, *5* – гексагон, *6* – дигексагон);
7 – 12 – піраміди (*7* – тригональна, *8* – дитригональна, *9* – тетрагональна, *10* – дитетрагональна, *11* – гексагональна, *12* – дигексагональна);
13 – 18 – біпіраміди (*13* – тригональна, *14* – дитригональна, *15* – тетрагональна, *16* – дитетрагональна, *17* – гексагональна, *18* – дигексагональна);
19 – 24 – призми (*19* – тригональна, *20* – дитригональна, *21* – тетрагональна, *22* – дитетрагональна, *23* – гексагональна, *24* – дигексагональна);
25 – тригональний трапецоедр; *26* – тетрагональний тетраедр; *27* – тетрагональний трапецоедр; *28* – ромбоедр; *29* – гексагональний трапецоедр; *30* – тетрагональний скаленоедр; *31* – тригональний скаленоедр



1 *2* *3* *4*

5 *6* *7* *8*

9 *10* *11* *13*

14 *15* *16*

Прості форми кубічної сингонії:
1 – тетраедр; *2* – тригонтритетраедр; *3* – тетрагонтритетраедр;
4 – пентагонтритетраедр; *5* – гексатетраедр; *6* – октаедр;
7 – тригонтриоктаедр; *8* – тетрагонтриоктаедр;
9 – пентагонтриоктаедр; *10* – гексаоктаедр; *11* – гексаедр;
12 – тетрагексаедр; *13* – ромбододекаедр;
14 – пентагондодекаедр; *15* – дидодекаедр

Список рекомендованої літератури

Ананьев, А.П. Основы геологии, минералогии и петрографии [Текст] / А.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 1999. – 303 с.

Вертушков, Г.Н. Конституция и морфология минеральных индивидов [Текст] / Г.Н. Вертушков. – Свердловск: СГИ, 1970. – 140 с.

Куровець, М.І. Кристалографія і мінералогія [Текст]: в 2 ч. Ч.1 / М.І. Куровець. – Л.: Світ, 1996. – 236 с.

Пчелінцев, В.О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Текст]: навч. посіб. / В.О. Пчелінцев. – Суми: СумДУ, 2007. – 232 с.

Розин, К.М. Практическая кристаллография [Текст]: учеб. пособие для вузов / К.М. Розин. – М.: МИСИС, 2005. – 488 с.

Шаскольская, М.П. Кристаллография [Текст] / М.П. Шаскольская. – М.: Высш. шк., 1978. – 302 с.

Додатки

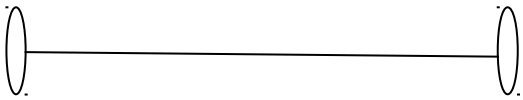
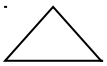
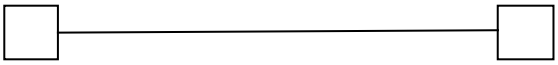
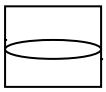
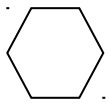
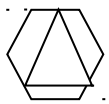
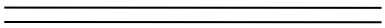
Додаток 1

Назви та формули 32 видів симетрії

Катего-рія	Сингонія	Вид симетрії						
		Примі-тивна	Центральна	Планальна	Аксіальна	План-аксіальна	Інверсій-но-примітив-на	Інверсійно-планальна
Нижча	Триклінна	L_1	C					
	Моноклінна			P	L_2	L_2PC		
	Ромбічна			L_22P	$3L_2$	$3L_23PC$		
Середня	Тригональна	L_3	L_3C	L_33P	L_33L_2	L_33L_23PC		
	Тетрагональна	L_4	L_4PC	L_44P	L_44L_2	L_44L_25PC	L_{i4}	$L_{i4}2L_22P$
	Гексагональна	L_6	L_6PC	L_66P	L_66L_2	L_66L_27PC	L_{i6} або L_3P	$L_{i6}3L_23P$ або L_33L_24P
Вища	Кубічна	$4L_33L_2$	$4L_33L_23PC$	$4L_33L_2(3L_{i4})6P$	$3L_44L_36L_2$	$3L_44L_36L_29PC$		

Додаток 2

Умовні позначення елементів симетрії та граней кристалічних багатогранників на стереографічних проекціях

Умовне позначення	Елемент симетрії
	Вертикальна вісь симетрії другого порядку (L_2)
	Горизонтальна вісь симетрії другого порядку (L_2)
	Вертикальна вісь симетрії третього порядку (L_3)
	Вертикальна вісь симетрії четвертого порядку (L_4)
	Горизонтальна вісь симетрії четвертого порядку (L_4)
	Вертикальна інверсійна вісь симетрії четвертого порядку (L_{i4})
	Вертикальна вісь симетрії шостого порядку (L_6)
	Вертикальна інверсійна вісь симетрії шостого порядку (L_{i6})
	Вертикальна дзеркальна площина симетрії
C	Центр симетрії

Зміст

Вступ..... 3
Лабораторна робота 1. Визначення елементів симетрії кристалічних багатогранників……..... 3
Лабораторна робота 2. Побудова окомірних стереографічних проекцій…….…….... 6
Лабораторна робота 3. Визначення простих форм кристалічних багатогранників та їх комбінацій……..... 8
Список рекомендованої літератури…… 13
Додатки…….. 14