

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ

**ТАЙЗ ОЛЕСЯ ОЛЕКСІЇВНА**

**КОНЦЕПЦІЯ СИМЕТРІЇ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИКИ В ЗАКЛАДАХ  
ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ**

Спеціальність – 014.08. Середня освіта (Фізика. Інформатика)

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Науковий керівник:  
Хархаліс Любов Юріївна,  
д. ф.-м. н., професор

Ужгород 2025

**Реєстрація** \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р. \_\_\_\_\_

**Дипломна робота допущена до захисту**

Завідувач кафедри:

\_\_\_\_\_

**Юліан ВИСОЧАНСЬКИЙ**

д. ф.-м. н., проф., академік НАНУ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Рецензент** \_\_\_\_\_

(підпис)

**Михайло МАР'ЯН**

д. ф.-м. н., проф.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 57 сторінок, 20 рисунків, 7 таблиць, 31 джерело.

Проаналізовано використання концепції симетрії при вивченні різних розділів фізики у середній школі. Розроблено методику проведення кейс-уроку на тему «Поняття симетрії у різних фізичних явищах», у якому приведені прояви принципу симетрії в механіці, оптиці та електриці. Зроблено також підбір матеріалу для навчально-дослідницького проєкту «Симетрія в твердих тілах. Політипи». В якості прикладу вибрано кристал селеніду індію в різних політипних модифікаціях, для яких проведено симетрійний опис їх структури та розраховано механічні характеристики.

**Ключові слова:** нова українська школа, STEM- освіта, симетрія, тверді тіла, політипи.

## ABSTRACT

**Bachelor's Thesis:** 57 pages, 20 pictures, 7 tables, 31 references.

The use of the concept of symmetry in the study of various sections of physics in secondary school has been analyzed. A methodology for conducting a case lesson on the topic "The concept of symmetry in various physical phenomena" has been developed, which presents manifestations of the principle of symmetry in mechanics, optics and electricity. Material has also been selected for the research project "Symmetry in solids. Polytypes". An indium selenide crystal in various polytype modifications has been chosen as an example, for which a symmetrical description of their structure has been carried out and mechanical characteristics have been calculated.

**Key words:** new Ukrainian school, STEAM-education, symmetry, solid states, polytype.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО РЕФОРМУВАННЯ ОСВІТИ В УКРАЇНІ</b> .....	8
1.1. Нова українська школа та її адаптація до європейських стандартів.....	8
1.2. Перспективи розвитку STEM-освіти в Україні .....	12
1.3 Основні вимоги до підвищення ефективності природничо-наукової освіти в закладах освіти. Сучасні методи навчання.....	13
<b>РОЗДІЛ 2. СИМЕТРІЯ ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНЕ ПОНЯТТЯ В СУЧАСНІЙ ФІЗИЦІ</b> .....	19
2.1. Поняття симетрії та її наслідки для квантово-механічних систем. Просторово – часова симетрія і закони збереження.....	19
2.2. Симетрія в мікросвіті.....	21
2.3. Основні елементи теорії симетрії.....	24
<b>РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПЦІЯ СИМЕТРІЇ В КУРСІ ФІЗИКИ В СЕРЕДНІЙ ШКОЛІ</b> .....	29
3.1. Розгляд симетрії при вивченні фізики в середній школі. Розробка методичних матеріалів до кейс-уроку.....	29
3.2. Поняття симетрії в рамках STEM-освіти.....	38
3.3. Застосування симетрії для вивчення структурних та фізичних властивостей твердих тіл. Навчально-дослідницький проєкт “Симетрія в твердих тілах. Політипи”.....	39
3.3.1. Селенід індію як приклад політипних перетворень. Симетрійний аналіз кристалічної структури різних модифікацій.....	47
3.3.2. Вплив симетрії на механічні характеристики селеніду індію.....	49
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	53
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ</b> .....	54

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасній фізиці поняття симетрії відіграє ключову роль у розумінні фундаментальних законів природи. Завдяки симетрії встановлюються закони збереження, класифікуються елементарні частинки та пояснюється структура фізичних систем різної природи — від елементарного мікросвіту до мегасвіту. Особливу важливість симетрійні підходи мають у дослідженні властивостей твердих тіл, зокрема при аналізі кристалів, де симетрія визначає не лише геометричну структуру, але і фізичні характеристики матеріалів.

Незважаючи на фундаментальність цієї концепції, у шкільному освітньому процесі поняття симетрії часто подається фрагментарно або поверхово. Це створює розрив між теоретичними основами фізики та їхнім практичним застосуванням у матеріалознавстві, нанотехнологіях та квантовій фізиці. Впровадження симетрійних підходів до вивчення фізичних властивостей кристалів не лише поглиблює розуміння учнями природи матеріалів, а й формує цілісне уявлення про міждисциплінарні зв'язки фізики з хімією, математикою та технологіями.

Особливої актуальності ця проблема набуває в контексті підвищення ефективності природничо-наукової освіти, де одним із пріоритетів є впровадження сучасних наукових підходів та методик навчання. Розробка методичних матеріалів, що базуються на концепції симетрії, сприятиме формуванню в учнів глибшого розуміння фізичних процесів, розвитку логічного мислення та навичок наукового аналізу. Таким чином, дослідження можливостей використання симетрійних підходів як у теоретичному, так і в методичному аспекті є надзвичайно актуальним для модернізації змісту фізичної освіти та забезпечення її практичної спрямованості.

**Мета роботи.** Обґрунтування доцільності та розробка підходів до використання поняття симетрії у різних розділах фізики у закладах шкільної освіти шляхом аналізу фундаментальних фізичних принципів симетрії.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- розкрити поняття симетрії як фундаментального принципу сучасної фізики та проаналізувати її роль у формуванні законів збереження для квантово-механічних систем;
- проаналізувати сучасні вимоги до ефективності природничо-наукової освіти та виявити потенціал використання симетрійних підходів у навчальному процесі;
- обґрунтувати методiku навчання фізики з використанням симетрійних підходів у закладах середньої освіти;
- дослідити застосування елементів симетрії для аналізу фізичних властивостей твердих тіл, зокрема кристалічної структури та механічних властивостей на основі кристалу селеніду індію.

**Об'єкт** дослідження. Процес вивчення фізичних властивостей кристалів у системі природничо-наукової освіти.

**Предмет** дослідження. Використання елементів симетрії и до аналізу структурних і механічних властивостей кристалів, зокрема на прикладі дослідження селеніду індію (InSe).

**Методи дослідження.** Під час написання роботи використовувалися методи аналізу і узагальнення наукової літератури у вивченні симетрії в різних розділах фізики шкільного курсу; теоретичне моделювання кристалічної структури матеріалів, в тому числі з наявними політипними модифікаціями та методи їх симетрійного опису; розрахунки механічних характеристик кристалічних структур.

**Елементи наукової новизни** полягають в розширенні використання елементів симетрії при вивченні фізики, зокрема, у фізиці твердого тіла.

**Практичне значення.** Отримані результати симетрійного аналізу селеніду індію (InSe) можуть слугувати прикладом для демонстрації взаємозв'язку між структурними характеристиками речовини та її фізичними властивостями. Матеріали дослідження можуть бути використані в освітніх

програмах з фізики, матеріалознавства та методики навчання природничих дисциплін.

**Обсяг і структура роботи.** Дипломна робота викладена на 57 сторінках машинописного тексту, основний текст містить 45 сторінок. Робота складається зі вступу, огляду літератури, та практичної частини, трьох розділів, висновків до кожного розділу та загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота ілюстрована рисунками та таблицями. Список використаних джерел містить 31 найменування.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО РЕФОРМУВАННЯ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

#### 1.1. Нова українська школа та її адаптація до європейських стандартів

Нова українська школа (НУШ) є ключовою реформою системи освіти в Україні, започаткованою у 2016 році з ухваленням Концепції НУШ та подальшим Законом України «Про освіту» (2017). Її мета — трансформувати традиційну освіту, орієнтовану на відтворення знань, у сучасну систему, яка формує компетентності, необхідні для життя в динамічному світі XXI століття. НУШ ґрунтується на ідеї створення комфортного, інклюзивного та мотивуючого освітнього середовища, де кожен учень може розкрити свій потенціал. Концепція поєднує новітні педагогічні підходи, європейські стандарти освіти та національні цінності, що робить її унікальною моделлю для підготовки молоді до викликів глобалізованого суспільства.

Основні принципи Концепції базуються на кількох ключових положеннях, які кардинально відрізняють її від традиційної системи освіти. По-перше, це компетентнісний підхід, який передбачає, що учні не лише засвоюють знання, а й розвивають уміння застосовувати їх у реальних життєвих ситуаціях. Закон України «Про освіту» визначає 11 ключових компетентностей, серед яких: спілкування державною та іноземними мовами, математична грамотність, цифрова компетентність, вміння навчатися впродовж життя, соціальні та громадянські навички, ініціативність і підприємливість, екологічна грамотність та інші. Ці компетентності відповідають рекомендаціям Європейського Парламенту та Ради Європи (2006) щодо навчання протягом життя, що забезпечує гармонізацію української освіти з європейськими стандартами.

По-друге, дитиноцентризм є основою НУШ. Цей принцип передбачає, що учень є центром освітнього процесу, а навчання адаптується до його індивідуальних потреб, здібностей та інтересів. Ідея дитиноцентризму сягає корінням педагогічної філософії Яна Амоса Коменського, який наголошував, що освіта має відповідати природним законам розвитку людини. У НУШ це

реалізується через персоналізовані підходи до навчання, створення інклюзивного середовища та врахування психологічних і вікових особливостей учнів.

По-третє, педагогіка партнерства формує нову модель взаємодії між учасниками освітнього процесу — учнями, учителями та батьками. Цей принцип ґрунтується на взаємоповазі, довірі та спільній відповідальності за результати навчання. Учителі виступають не лише як джерело знань, а як фасилітатори, які спрямовують учнів до самостійного пошуку рішень. Батьки, у свою чергу, залучаються до освітнього процесу як активні учасники, що сприяє створенню сприятливого середовища для розвитку дитини.

Формула Нової української школи Формула НУШ складається з дев'яти ключових компонентів, які разом створюють цілісну систему реформування освіти. Ці компоненти відображають основні напрями змін і є основою для практичного впровадження концепції:

1. Орієнтація на учня. У центрі НУШ — особистість учня з його потребами, інтересами та здібностями. Навчання будується так, щоб максимально розкрити потенціал кожної дитини, враховуючи її індивідуальні особливості.
2. Педагогіка партнерства. Співпраця між учителями, учнями та батьками створює атмосферу взаємодовіри, де кожен учасник відчуває свою значущість. Це сприяє мотивації учнів і підвищує ефективність навчання.
3. Вмотивований учитель. Учитель у НУШ — це агент змін, який постійно вдосконалює свої професійні навички. Реформа передбачає стимули для професійного зростання педагогів, включаючи підвищення кваліфікації та підтримку їхньої ініціативності.
4. Виховання на цінностях. НУШ формує в учнів ціннісні орієнтири, такі як повага до гідності, толерантність, відповідальність і патріотизм. Це сприяє вихованню свідомих громадян, здатних до гармонійної взаємодії із суспільством.
5. Нова структура школи. Реформа змінює організацію шкільної освіти, адаптує її до вікових і психологічних особливостей учнів. Наприклад,

початкова школа зосереджується на ігрових методах навчання, тоді як старша школа робить акцент на профільну підготовку.

6. Автономія шкіл. Школи отримують більше свободи у виборі навчальних програм, методик і організації освітнього процесу, що дозволяє адаптувати навчання до місцевих умов і потреб учнів.

7. Справедливе фінансування. НУШ передбачає прозорий розподіл державних коштів на освіту, що дає змогу відстежувати ефективність інвестицій і забезпечувати рівний доступ до якісної освіти.

8. Сучасне освітнє середовище. Школи оснащуються сучасними засобами навчання, створюється комфортний простір для учнів, що включає оновлені класи, інтерактивні дошки, цифрові ресурси тощо.

9. Компетентнісний підхід. Навчання орієнтоване не на механічне запам'ятовування, а на розвиток умінь застосовувати знання в реальному житті, що готує учнів до викликів сучасного світу.

#### *Практичне впровадження НУШ.*

Практична реалізація НУШ розпочалася з пілотного проєкту в 2017 році, коли 100 шкіл по всій Україні випробували нові підходи до навчання в початкових класах. З 2018 року реформа поступово впроваджується в усіх початкових школах, а згодом охопить базову та старшу школу. Наприклад, у початковій школі активно використовуються інтерактивні методи, такі як проєктна діяльність, ігрове навчання та міжпредметна інтеграція. Учні не отримують традиційних оцінок у 1–2 класах, натомість застосовується формувальне оцінювання, яке фокусується на прогресі та мотивації.

Для підтримки вчителів створено численні тренінгові програми, які допомагають педагогам опанувати нові методики. Наприклад, учителі навчаються застосовувати інтегрований підхід, коли теми з різних предметів об'єднуються в єдину проєктну діяльність (наприклад, вивчення природи через поєднання біології, географії та мистецтва). Це сприяє розвитку критичного мислення та вміння бачити зв'язки між різними галузями знань.

### *Значення НУШ для сучасної освіти.*

НУШ має на меті не лише змінити зміст і методи навчання, а й сформувати нове покоління, готове до життя в інформаційному суспільстві. Реформа відповідає глобальним трендам, таким як перехід до компетентної освіти, інклюзивність і цифровізація. Вона також сприяє гармонізації української освіти з європейськими стандартами, що відкриває можливості для міжнародної співпраці та мобільності учнів і вчителів.

Важливим аспектом НУШ є виховання цінностей, які формують соціально активну та відповідальну особистість. Наприклад, акцент на екологічній грамотності допомагає учням усвідомлювати важливість збереження довкілля, а громадянські компетентності сприяють розвитку демократичного суспільства. Крім того, НУШ створює умови для інклюзивної освіти, забезпечуючи рівний доступ до навчання для всіх дітей, незалежно від їхніх фізичних чи соціальних особливостей.

### **Виклики та перспективи**

Незважаючи на значний прогрес, впровадження НУШ стикається з певними викликами. Серед них — потреба в додатковому фінансуванні для оновлення матеріально-технічної бази шкіл, підготовка вчителів до нових методик і подолання стереотипів щодо традиційної освіти. Проте реформа має значний потенціал для трансформації української школи в сучасний простір можливостей, де кожен учень може реалізувати свій потенціал.

У перспективі НУШ сприятиме формуванню суспільства, заснованого на знаннях, де молодь матиме необхідні навички для самореалізації, професійного розвитку та активної громадянської позиції. Реформа також відкриває можливості для інтеграції новітніх технологій, таких як штучний інтелект і віртуальна реальність, у навчальний процес, що зробить освіту ще більш інноваційною [1].

## 1.2. Перспективи розвитку STEM-освіти в Україні

STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics) є сучасним підходом до навчання, що інтегрує природничі науки, технології, інженерію та математику для формування у учнів навичок критичного мислення, вирішення проблем і підготовки до професій у високотехнологічному світі. Цей підхід набув популярності в глобальному освітньому просторі завдяки потребі суспільства у фахівцях, здатних адаптуватися до швидких технологічних змін. В Україні STEM-освіта активно впроваджується як частина реформ, зокрема в контексті Нової української школи, що підкреслює її значення для розвитку компетентностей XXI століття.

Основною особливістю STEM-освіти є міждисциплінарний підхід, який поєднує теоретичні знання з практичним застосуванням. Наприклад, учні можуть створювати моделі мостів, використовуючи знання з математики та фізики, або розробляти прості програми, застосовуючи принципи інформатики. Такий підхід сприяє розвитку аналітичних здібностей, творчого мислення та вміння працювати в команді. У STEM-освіті особлива увага приділяється проєктній діяльності, що дозволяє учням вирішувати реальні проблеми, такі як створення енергоефективних пристроїв чи дослідження екологічних питань.

В Україні STEM-освіта реалізується через спеціалізовані програми, позашкільні гуртки, наукові лабораторії та фестивалі, такі як «STEM Spring» чи «Robotica». Ці ініціативи підтримуються Міністерством освіти і науки України, яке сприяє оснащенню шкіл сучасним обладнанням, як-от 3D-принтерами чи наборами для робототехніки. STEM також гармонійно доповнює принципи НУШ, зокрема компетентнісний підхід і дитиноцентризм, оскільки заохочує учнів до самостійного дослідження та творчості.

Важливим аспектом STEM-освіти є її інклюзивність і гендерна рівність. Програми STEM спрямовані на залучення дівчат до технічних і наукових дисциплін, руйнуючи стереотипи про «чоловічі» професії. Крім того, STEM сприяє розвитку цифрової грамотності, що є критично важливою в епоху

цифровізації. Завдяки цьому учні отримують навички, які відповідають вимогам сучасного ринку праці, де попит на інженерів, програмістів і дослідників невідомо зростає.

Таким чином, STEM-освіта є важливим інструментом підготовки молоді до викликів сучасного світу, сприяючи формуванню інноваційного мислення та практичних навичок. Її інтеграція в українську освіту, зокрема через реформу НУШ, створює умови для виховання покоління, готового до активної участі в технологічному прогресі [2].

### **1.3. Основні вимоги до підвищення ефективності природничо-наукової освіти в закладах освіти. Сучасні методи навчання.**

Сучасна природничо-наукова освіта має на меті не лише передачу знань, а й формування в учнів наукового мислення, здатності до аналізу, моделювання та міждисциплінарного узагальнення. Для досягнення високої ефективності навчального процесу необхідно враховувати кілька ключових вимог: орієнтацію на практичну значущість знань, формування компетентностей XXI століття (критичне мислення, комунікація, креативність), інтеграцію інформаційно-комунікаційних технологій та застосування сучасних методів навчання.

У статті М. В. Каленик [3] досліджено методику і техніку шкільного фізичного експерименту в контексті формування ключових компетентностей учнів, зокрема природничо-наукової. Науковець проаналізував теоретичні та практичні аспекти використання традиційного й мультимедійного обладнання в навчальному процесі. У результаті дослідження зроблено висновок, що поєднання реального фізичного експерименту з мультимедійними засобами (зокрема технологіями віртуальної реальності) дозволяє підвищити якість навчання, але не повинно повністю замінювати традиційні демонстрації. Автор наголошує на важливості використання як віртуальних, так і реальних експериментів у підготовці майбутніх учителів фізики [3].

Одним із важливих підходів є проблемно-орієнтоване навчання, яке передбачає залучення учнів до самостійного пошуку рішень та дослідження природничих явищ. Також активно впроваджуються проєктні методи, коли учні працюють над реальними задачами, застосовуючи наукові знання на практиці. Суттєвого поширення набувають STEAM-освіта, яка поєднує природничі науки, технології, інженерію, мистецтво та математику, та концепції "навчання через дослідження" (inquiry-based learning).

О. Стрижак та інші [4] порушують актуальну проблему відставання традиційної освіти від стрімкого науково-технологічного прогресу. Вони наголошують, що STEM-освіта (наука, технології, інженерія та математика) є не просто освітнім трендом, а необхідністю для формування компетентностей XXI століття — критичного мислення, креативності, технологічної грамотності та вміння працювати в команді. Автори підкреслюють важливість міждисциплінарного та проблемно орієнтованого навчання, спрямованого на реальні виклики часу, й акцентують на необхідності тісного зв'язку освіти з наукою, інноваціями та сучасними технологіями. Особлива увага приділяється ролі STEM у реалізації концепції Нової української школи, а також формуванню активного, конкурентоспроможного покоління, здатного жити і працювати в умовах глобальних трансформацій [4].

Ефективність природничо-наукової освіти також зростає завдяки використанню цифрових лабораторій, віртуальних симуляцій, інтелектуальних освітніх систем, що дають змогу моделювати складні процеси та явища. Одним із перспективних напрямів є інтеграція понять із сучасної науки (таких як симетрія, квантові ефекти, наноструктури) у навчальні програми, що забезпечує оновлення змісту освіти відповідно до наукових і технологічних тенденцій.

У дослідженні О. Семерня [5] та інших наголошено, що цифрові інструменти не мають замінювати традиційне навчання, а мають доповнювати його, роблячи процес навчання більш гнучким, інтерактивним та ефективним. Підкреслюється важливість професійного розвитку вчителів, оновлення

навчальних програм і матеріально-технічної бази закладів освіти. У статті розглядається ключове питання сучасної освіти — як ефективно інтегрувати цифрові технології у процес навчання, особливо в умовах розвитку онлайн-освіти, викликаних цифровою трансформацією та наслідками війни. Автори акцентують на необхідності забезпечення рівного доступу до цифрових ресурсів, розширення цифрової компетентності учнів і викладачів, а також на створенні умов для використання віртуальних лабораторій, онлайн-курсів, мобільних додатків і сучасних освітніх платформ у природничо-науковій освіті [5].

У своїй дисертації О. Колесникова [6] пропонує використовувати мобільні та дистанційні технології для формування в учнів експериментаторських умінь з фізики у межах діяльнісного підходу. Вона обґрунтовує ефективність змішаного навчання (поєднання класичної та онлайн-форм), з акцентом на мобільне навчання за концепцією BYOD (Bring Your Own Device) — тобто використання учнями власних пристроїв (смартфонів, планшетів) для проведення фізичних дослідів.

Колесникова О. [6] розробила систему прийомів мобільного навчання, що базується на мобільних та хмарних технологіях, із чіткими принципами: системність, інструментальна незалежність, кросплатформеність тощо. Вона рекомендує застосовувати мобільні додатки, зокрема Lab4Physics, Phyphox, Smart ToolKit, VoltLab, а також сервіси Kahoot!, Quizizz, Plickers для вивчення фізики та тестування учнів.

Також у роботі представлено навчально-методичний вебкомплект «Навчальний фізичний експеримент у хмароорієнтованому середовищі», адаптовано інструкції до реальних та віртуальних дослідів, запропоновано організаційно-методичні умови для ефективного впровадження мобільних засобів у фізичну освіту. Таким чином, Колесникова робить вагомий внесок у модернізацію викладання фізики відповідно до потреб цифрового покоління [6].

Нас зацікавив зручний і сучасний інструмент, який не просто демонструє фізичні явища, а допомагає учням досліджувати їх самостійно, що сприяє формуванню експериментаторських умінь і критичного мислення – Lab4Physics. *Lab4Physics* — це мобільний додаток (рис. 1.1), розроблений спеціально для вивчення фізики за допомогою вбудованих датчиків смартфонів, який перетворює телефон на портативну лабораторію [7]. Його створено з метою зробити навчальний фізичний експеримент доступним, цікавим і інтерактивним як у класі, так і вдома.



Рис. 1. 1. «Лабораторія фізики Lab4Physics» [7]

Ми проаналізували інформацію про цей додаток [Lab4Physics] і склали таблицю 1.1 його переваг та можливостей.

Таблиця 1.1.

### Можливості та переваги додатку Lab4Physics

Категорія	Функціональність / Перевага
Вимірювання	Використання вбудованих датчиків смартфона: акселерометра, гіроскопа, мікрофона, камери, GPS для реального вимірювання фізичних величин
Експерименти	Готові модулі для вивчення: – Рух тіла (кінематика) – Гармонічні коливання

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Звук і хвилі</li> <li>– Закони Ньютона</li> <li>– Вільне падіння</li> <li>– Енергія, імпульс</li> </ul>
Аналіз даних	Побудова графіків у реальному часі, збереження даних, аналіз результатів, формулювання висновків
STEM-освіта	Сприяє навчанню через дослідження, розвитку експериментаторських умінь
Доступність	Не потребує спеціального обладнання — достатньо смартфона
Офлайн	Частина функцій працює без підключення до інтернету
Збереження результатів	Експорт графіків, звітів, результатів експериментів
Навчальний супровід	Відеоінструкції, завдання, пояснення до дослідів
Мова	Доступний українською, англійською, іспанською (залежно від налаштувань пристрою)
Інтерактивність	Створює умови для активного навчання: учень не лише спостерігає, а й діє.
Адаптованість	Підходить для використання в школі, вдома або в дистанційному форматі
Розвиток критичного мислення	Через аналіз результатів і побудову висновків учні формують дослідницькі навички

У цілому, підвищення ефективності природничо-наукової освіти потребує цілісного підходу, який включає оновлення змісту, впровадження інноваційних методів навчання, розвиток методичного забезпечення та підготовку вчителів до роботи в нових освітніх умовах.

Розглянувши різні джерела наукових праць, ми склали схему «Основні вимоги до підвищення ефективності викладання фізики в закладах освіти» (рис.1.2)



Рис. 1.2. Основні вимоги до підвищення ефективності викладання фізики в закладах освіти.

Отже, підвищення ефективності викладання фізики в закладах освіти передбачає модернізацію змісту навчання, що включає актуалізацію тематики, міжпредметну інтеграцію та орієнтацію на практичне застосування знань.

## РОЗДІЛ 2

### СИМЕТРІЯ ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНЕ ПОНЯТТЯ В СУЧАСНІЙ ФІЗИЦІ

#### 2.1. Поняття симетрії та її наслідки для квантово-механічних систем.

##### Просторово – часова симетрія і закони збереження

У фізиці поняття «симетрія» має широкий зміст, його значення формувалося впродовж століть – від натурфілософських уявлень давніх греків до сучасних теорій. Уже в поглядах Демократа простежується ідея ізотропності простору – рівноправності всіх напрямків, яка є прикладом фундаментальної симетрії. Греки також асоціювали симетрію з ідеалом краси та гармонії, що вплинуло на їхнє розуміння будови Всесвіту. З відкриттями Кеплера стало зрозуміло, що світ не є ідеально впорядкованим, як здавалося раніше. Однак, праці Галілея, а згодом Ньютона, повернули симетрію в наукову картину світу: принцип відносності, закони руху, ідея інваріантності законів природи у різних системах відліку – усе це відображає глибинний зв'язок між симетрією та фізичними законами.

Ці ідеї стали основою для пізніших відкриттів, зокрема в квантовій механіці, де симетрії відіграють ключову роль у побудові моделей мікросвіту. Збереження енергії, імпульсу та інших фізичних величин прямо впливає з наявності симетрій у системі – відповідно до теореми Нетер. Таким чином, симетрія стала не лише ознакою краси, а й важливим принципом, що визначає фундаментальні властивості квантово-механічних систем.

Поняття симетрії відіграє фундаментальну роль у сучасній фізиці, зокрема в квантовій механіці. Симетрія фізичної системи означає її інваріантність (незмінність) відносно певних перетворень. Ці перетворення можуть стосуватися як просторово-часових координат, так і внутрішніх характеристик системи. Вивчення симетрій дозволяє не тільки глибше

зрозуміти структуру квантових систем, але й отримати важливі наслідки, такі як існування законів збереження та класифікація станів [8].

На підставі проведених досліджень О. П. Колосової та В. В. Ваніна [9] можна зробити висновок, що симетрія пов'язана з характеристиками структури об'єктів дослідження (систем, процесів, явищ) і являє собою сукупність геометричних закономірностей, які залишаються незмінними під час фізичних, хімічних та інших внутрішніх змін, а також під впливом зовнішніх факторів. Застосування принципів симетрії допомагає виявити спільні структурні властивості та взаємозв'язки між процесами як внутрішнього, так і зовнішнього характеру.

Особливо важливими є просторово-часові симетрії, які відображають фундаментальні властивості простору та часу. Однорідність часу – означає, що фізичні закони не змінюються з часом. Іншими словами, якщо систему ізолювати і провести експеримент сьогодні, а потім повторити його за тих самих умов завтра, результати будуть однаковими. Оператором, пов'язаним з нескінченно малим зсувом у часі, є гамільтоніан системи (з точністю до множника). Інваріантність гамільтоніана відносно зсувів часу (тобто, його незалежність від часу) призводить до закону збереження енергії [10].

Однорідність простору – означає, що фізичні закони однакові в усіх точках простору, тобто, результати експерименту не залежать від того, де саме в просторі він проводиться (за умови ізоляції системи). Інваріантність гамільтоніана відносно просторових зсувів (трансляцій) призводить до закону збереження імпульсу. Якщо система інваріантна відносно зсуву вздовж певної осі, то зберігається відповідна компонента імпульсу [11]. Ізотропія простору – означає, що фізичні закони не залежать від напрямку в просторі. Тобто, якщо повернути ізолювану систему в просторі як ціле, її властивості та поведінка не зміняться. Інваріантність гамільтоніана відносно поворотів у просторі призводить до закону збереження моменту імпульсу.

Крім неперервних просторово-часових симетрій, існують також дискретні симетрії. Просторова інверсія (парність, P-симетрія) – перетворення

полягає у зміні знаків усіх просторових координат ( $r \rightarrow -r$ ). Якщо гамільтоніан системи інваріантний відносно такої інверсії, то зберігається просторова парність. Однак, як відомо, слабка взаємодія не зберігає парність.

Обернення часу (Т-симетрія) – полягає у зміні напрямку плину часу ( $t \rightarrow -t$ ). Більшість фундаментальних взаємодій є інваріантними відносно обернення часу, хоча спостерігаються невеликі порушення Т-симетрії в розпадах деяких частинок. Зарядове спряження (С-симетрія) – замінює частинки на античастинки. Електромагнітна та сильна взаємодії інваріантні відносно зарядового спряження, тоді як слабка взаємодія порушує цю симетрію. Фундаментальною в квантовій теорії поля є СРТ-теорема, яка стверджує, що будь-яка лоренц-інваріантна квантова теорія поля з ермітовим гамільтоніаном повинна бути інваріантною відносно комбінованого перетворення СРТ (зарядове спряження, просторова інверсія та обернення часу, виконані в будь-якому порядку) [12].

Отже, якби речовину замінили на антиречовину, не змінюючи час, наявні часові асиметрії збереглися б, але змінили б свій напрямок на протилежний. Це означає, що галактики з антиматерії показували б порушення Т-симетрії у слабких взаємодіях, дзеркальні до тих, що спостерігаються у нас. Якщо термодинамічна стріла часу пов'язана з таким Т-порушенням, то при заміні речовини на антиречовину напрямок стріли часу також змінився б. За таких умов антиматерія поводитися б антитермодинамічно: її зорі не випромінювали б, а елементарні частинки та відповідні античастинки мали б риси, властиві обом світам одночасно.

## 2.2. Симетрія в мікросвіті

Симетрія в мікросвіті є важливим принципом для опису взаємодій елементарних часток, атомів та молекул. У квантовій механіці симетрії визначають поведінку часток, їхні енергетичні рівні, а також закони збереження, такі як збереження енергії, імпульсу та зарядової симетрії. Для елементарних часток, таких як електрони, симетрії полягають у збереженні

певних характеристик, наприклад, спіну та парності, при їхній взаємодії з іншими частками або полями.

Один із найважливіших здобутків фізики ХХ століття — відкриття існування двох типів частинок із різною симетрією: ферміонів і бозонів. Ферміони (наприклад, електрони) мають напівцілий спін і не можуть перебувати в одному квантовому стані одночасно, тоді як бозони мають цілий спін і можуть знаходитися в одному стані у будь-якій кількості. Це впливає з принципу тотожності частинок у квантовій механіці та властивостей симетрії: при перестановці тотожних частинок хвильова функція змінюється або не змінюється на знак, що й визначає їх тип. Теорія, яка що зв'язує бозони і ферміони в природі, дістала назву суперсиметрії. Сьогодні одним із головних завдань багаточисельних експериментів на сучасних прискорювачах часток є пошук різних проявів суперсиметрії в природі.

Окрім звичайних частинок, існують їхні двійники — античастки, існування яких вперше передбачив Поль Дірак. Ці частинки та античастки мають цікаву властивість, при зустрічі вони анігілюють, перетворюючись на фотони. Варто пояснити, що електрон був однією з перших відкритих елементарних частинок, а концепція фотона з'явилася пізніше. На початку 20 століття вже були відомі протон, нейтрон і позитрон. При вивченні елементарних частинок їх зазвичай поділяють на три основні групи: адрони, лептони та фотони [13]. Цей поділ базується на типах фундаментальних взаємодій, у яких вони беруть участь. У природі існує чотири види таких взаємодій:

- 1) Сильна взаємодія, що діє виключно між адронами.
- 2) Електромагнітна взаємодія, яка відбувається між усіма зарядженими частинками, а також опосередковується фотонами (хоча самі вони без заряду).
- 3) Слабка взаємодія, відповідальна за повільні процеси розпаду частинок, включаючи нейтрино.
- 4) Гравітаційна взаємодія, що виникає між об'єктами, які мають масу.



симетрія є наближеною, оскільки електромагнітна взаємодія розрізняє протон (заряджений) і нейтрон (нейтральний).

Кольорова симетрія ( $SU(3)$  color) – кварки, фундаментальні складові адронів (як-от протони та нейтрони), несуть специфічний квантовий заряд, названий "кольором" (умовні назви: червоний, зелений, синій). Ця симетрія є точною і лежить в основі квантової хромодинаміки (КХД) – теорії сильних взаємодій. Глюони, переносники сильної взаємодії, також несуть "колір" та "антиколір". Одним із наслідків цієї симетрії є конфайнмент – неможливість спостереження вільних кварків та глюонів.

Ароматні симетрії (наприклад,  $SU(3)$  flavor) – історично, для класифікації адронів та передбачення нових частинок використовувалися наближені "ароматні" симетрії, що об'єднували кварки різних типів (ароматів:  $u, d, s$ ). Це призвело до створення "вісімкового шляху" Гелл-Манна. Внутрішні симетрії призводять до появи відповідних квантових чисел, що зберігаються (або наближено зберігаються) у взаємодіях, і дозволяють систематизувати величезну кількість відомих елементарних частинок.

Таким чином, концепція симетрії належить до тих методологічних принципів, які лежать в основі різних фізичних теорій і визначають структурну організацію сучасної фізичної теорії як цілого. Є корисним наголосити учням на проявах симетрії при вивченні явищ мікросвіту у розділі «Атомна і ядерна фізика».

### 2.3. Основні елементи теорії симетрії

Теорія симетрії є однією з ключових концепцій у природничих науках, зокрема у фізиці, хімії, кристалографії та математиці, оскільки вона дозволяє систематизувати закономірності структури об'єктів і передбачати їхні властивості. Симетрія описує інваріантність системи щодо певних перетворень, які зберігають її геометричні чи фізичні характеристики. У контексті сучасної освіти, зокрема STEM-підходів і принципів Нової

української школи (НУШ), вивчення симетрії сприяє розвитку критичного мислення, міждисциплінарного підходу та розуміння фундаментальних законів природи. Теорія симетрії є основою для аналізу складних систем, від молекул до кристалічних структур, і має практичне застосування в технологіях, інженерії та дизайні.

Поняття групи є основою теорії симетрії. У математиці група — це множина елементів із бінарною операцією, яка задовольняє чотири аксіоми: замкненість (результат операції належить множині), асоціативність, існування одиничного елемента (який не змінює інші елементи) та існування оберненого елемента для кожного елемента групи. У контексті симетрії група описує набір перетворень, що зберігають об'єкт незмінним. Наприклад, симетрії рівностороннього трикутника утворюють групу  $D_3$ , яка включає повороти на  $120^\circ$  і віддзеркалення відносно трьох осей. Групи симетрії є основою для класифікації об'єктів у природі, наприклад, молекул води чи кристалів кварцу, і широко застосовуються в квантовій механіці для аналізу енергетичних станів.

Елементи та операції симетрії визначають базові перетворення, які зберігають вигляд об'єкта. До елементів симетрії належать (рис.2.2) [14,15] :

- *Вісь симетрії* — пряма, навколо якої об'єкт можна обертати на певний кут, щоб він виглядав незмінним (наприклад, вісь обертання на  $180^\circ$  у молекулі бензену).
- *Площина симетрії* — поверхня, віддзеркалення відносно якої залишає об'єкт конгруентним (наприклад, площина в кристалі солі).
- *Центр симетрії* — точка, через яку інверсія (заміна координат на протилежні) зберігає об'єкт (характерно для кубічних кристалів).
- *Гвинтова вісь* — поєднання обертання та зсуву вздовж осі, що зустрічається в біологічних структурах, таких як ДНК.

- *Трансляція* — зсув об'єкта на певну відстань, характерний для таких періодичних структур, як кристалічні ґратки.

Кристали мають поворотні осі 1-го, 2-го, 3-го, 4-го і 6-го порядків, що відповідно означає обертання кристалів на кути  $360$ ,  $180$ ,  $120$ ,  $90$  і  $60^\circ$ . Нещодавні дослідження показали, що в таких структурах як квазікристали, можуть існувати осі симетрії 5-го порядку [16].

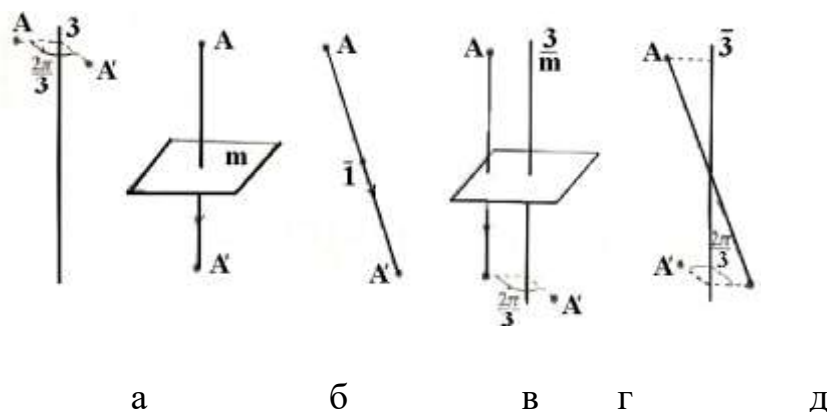


Рисунок 2.2. Прості (а-в) та складні (г, д) точкові операції симетрії: а - поворот навколо осі (на прикладі осі 3-го порядку); б - відбивання в площині; в - інверсія; г - відбивання з поворотом; д - інверсія з поворотом

Операції симетрії — це дії, що переводять об'єкт у еквівалентне положення. Наприклад, у кубі можна виконати поворот на  $90^\circ$  навколо осі, що проходить через центри протилежних граней, або віддзеркалення відносно діагональної площини. Ці операції є основою для аналізу симетричних властивостей матеріалів, що має значення в розробці напівпровідників чи оптичних приладів.

Точкові та просторові групи використовуються для класифікації симетрії об'єктів і структур. Точкові групи симетрії описують перетворення, які залишають принаймні одну точку нерухомою, наприклад, повороти, віддзеркалення чи інверсії.

У тривимірному просторі існує 32 точкові групи, які застосовуються для опису симетрії молекул, кристалів чи архітектурних форм. Наприклад,

молекула метану ( $\text{CH}_4$ ) належить до точкової групи  $T_d$ , яка включає повороти та віддзеркалення.

Просторові групи симетрії, яких налічується 230, враховують не лише точкові перетворення, а й трансляції, що характерно для періодичних кристалічних структур. Просторові групи є ключовими в кристалографії, оскільки дозволяють визначити розташування атомів у кристалах, наприклад, у діаманті чи графіті.

Поняття класу у теорії симетрії стосується групування елементів групи, які є кон'югатами один одного. Елементи одного класу мають схожі геометричні чи фізичні властивості, наприклад, усі повороти на  $90^\circ$  у кубі належать до одного класу. Класи симетрії спрощують аналіз груп, оскільки дозволяють згрупувати операції з однаковими характеристиками. У кристалографії класи використовуються для визначення симетричних властивостей кристалів, що впливають на їхні оптичні чи механічні характеристики.

Сингонії — це система класифікації кристалічних ґраток за їхньою симетрією. Існує сім сингоній (див.табл.1.2), які визначаються формою елементарної комірки кристала та її симетричними властивостями: триклінна (найменш симетрична), моноклінна, ромбічна, тетрагональна, тригональна, гексагональна та кубічна (найвища симетрія). Наприклад, кубічна сингонія характерна для кристалів солі ( $\text{NaCl}$ ), тоді як гексагональна — для кварцу. Сингонії є основою для розуміння кристалографічних систем і дозволяють передбачати фізичні властивості матеріалів, такі як твердість чи теплопровідність.

Таблиця 2.1.

	Сингонії або кристалічні системи	Кристалічні класи
1	триклінна $S_2=C_i$	$E, C_i=\{E, J\}$
2	моноклінна $C_{2h}$	$C_{1h}=C_s=\{E, \sigma_h\}, C_2, C_{2h}$

3	ромбічна $D_{2h}$	$C_{2v}, D_2, D_{2h};$
4	тетрагональна $D_{4h}$	$C_4, C_{4v}, C_{4h}, S_4, D_{2d}, D_4, D_{4h}$
5	ромбоедрична $D_{3d}$	$C_3, S_6, C_{3v}, D_3, D_{3d}$
6	гексагональна $D_{6d}$	$C_6, C_{3h}, C_{6h}, C_{6v}, D_{3h}, D_6, D_{6h}$
7	кубічна $O_h$	$T, T_h, T_d, O, O_h.$

Тут у таблиці 2.1 приведені позначення для точкових груп та вказані елементи симетрії. Найбільшу кількість елементів симетрії містить кубічна сингонія (48 елементів), а найменш симетрична триклінна тільки два елементи симетрії- одиничний елемент та поворот навколо осі.

Важливою концепцією є теорія груп, яка дозволяє описати симетрії систем за допомогою математичних груп і використовувати їх для передбачення фізичних властивостей матеріалів.

Застосування теорії симетрії виходить далеко за межі теоретичних досліджень, від мікро- до макросвіту. У мікросвіті симетрії також проявляються через так звані «симетрії розташування» атомів у кристалічних решітках, що визначають їхні механічні, електричні та оптичні властивості. У хімії симетрія молекул визначає їхні спектроскопічні властивості, що важливо для розробки нових матеріалів. У кристалографії теорія симетрії допомагає створювати надпровідники чи напівпровідники, які використовуються в електроніці.

Зокрема, симетрія кристалічної структури визначає енергетичні рівні та поведінку електронів у твердих тілах, що важливо для розуміння таких властивостей, як провідність, магнетизм та спостереження за новими квантовими ефектами в матеріалах. Взаємодія симетрії з квантовими станами часток в мікросвіті має велике значення для розвитку нових матеріалів, зокрема в області нанотехнологій і квантових обчислень.

## РОЗДІЛ 3

### КОНЦЕПЦІЯ СИМЕТРІЇ В КУРСІ ФІЗИКИ В СЕРЕДНІЙ ШКОЛІ

#### **3.1. Розгляд симетрії при вивченні фізики в середній школі. Розробка методичних матеріалів до кейс-уроку**

У шкільному курсі природничих наук симетрія подається не як ізольована тема, а як елемент структури, форми та функції систем, що формує в учнів здатність до моделювання, класифікації, розуміння закономірностей.

Інтеграція понять симетрії у шкільний курс фізики сприяє розвитку просторового мислення, логіки, розуміння структурності світу, а також поглиблює міжпредметні зв'язки з математикою, біологією та хімією. Для цього доцільно створювати методичні матеріали, візуалізації, мініпроекти й інтерактивні вправи, які демонструють симетрійні властивості фізичних явищ у доступній формі. Такий підхід наближає навчання до рівня наукового мислення й готує учнів до глибшого засвоєння фізики у старших класах або в університеті [17].

У роботі Т. Засєкіна [18] акцентовано на інтеграції змісту природничих дисциплін (фізики, хімії, біології, астрономії, географії) на основі наскрізних понять, серед яких важливе місце посідає симетрія. Вона розглядається як фундаментальна властивість фізичних законів, що проявляється в їх незмінності при певних перетвореннях (обертанні, зсуві, відображенні), та є основою виникнення чотирьох фундаментальних взаємодій у Всесвіті.

Також наголошується, що деякі закони збереження можна вивести саме з принципів симетрії, що надає їй ще більшої методичної ваги у викладанні. Симетрія, як і масштаб, причинно-наслідковість, цикли, стабільність, має бути складовою оновленого змісту навчальних програм та використана як потужний інструмент розвитку системного, логічного і критичного мислення учнів [17].

С. П. Величко [19] досліджує наукову спадщину І.З. Ковальова як методиста, викладача й популяризатора фізики. Особливу увагу приділено його кандидатській дисертації «Вчення про симетрію в курсі фізики середньої школи», яка була однією з перших наукових праць, присвячених методичному впровадженню поняття симетрії у шкільну фізику. Ковальов довів, що симетрія — не лише абстрактне поняття, а й дієвий інструмент навчання, що може використовуватись для розв'язання низки дидактичних цілей. Він показав, як складні фізичні концепції можна адаптувати до рівня сприйняття школярів, тим самим поглиблюючи їхнє розуміння фундаментальних законів природи. Величко [19] висвітлює його активну участь в олімпіадному русі, створення навчально-методичних посібників (зокрема, про використання лазера в шкільному курсі фізики), упровадження сучасних навчальних технологій (наприклад, голографічних решіток) та розробку дидактичних матеріалів, що робили фізику доступнішою для школярів [18].

У статті С. Стадніченко [20] також підкреслюється актуальність застосування ідеї симетрії при вивченні фізики, оскільки принципи симетрії, з однієї сторони, допомагають одержати висновки про фізичну систему простим і зручним способом, а з іншої сторони, дозволяють підвищити науковий рівень шкільного курсу фізики та об'єднати матеріал курсу навколо загальних фізичних понять і закономірностей.

На відміну від математичної симетрії, яка у сучасній науково-методичній літературі представлена більш широко, при вивченні фізики розкривається глибоке розуміння поняття симетрії, яке може бути проілюстроване значною кількістю прикладів, задач та малюнками з природи, техніки.

Проаналізувавши новий підручник з фізики для 9-го класу [21] часткову інформацію про симетрію можна знайти у розділі V, який стосується руху, взаємодії та законів збереження. На нашу думку, у розділах про механіку доцільно підкреслювати зв'язок між симетрією фізичних систем і законами збереження (імпульсу, моменту імпульсу, енергії).

Проте симетрія як загальнонаукове поняття має великий потенціал для формування цілісного уявлення про фізичні закономірності. Наприклад, вивчення дзеркального відображення, обертання, симетрії електричних і магнітних полів може слугувати основою для формування в учнів уявлень про просторові трансформації та сталість фізичних властивостей. В оптиці можна використовувати приклади симетрії в будові оптичних систем (лінз, дзеркал, інтерференційних картин). Навіть у теплових явищах можна звертати увагу на ізотропність середовища як прояв симетрії.

Ми підібрали декілька задач на симетрію для учнів 9-го класу.

**Задача 1.** *Симетрія та збереження імпульсу* (рис.3.1). Уявіть собі двох фігуристів на ідеально гладкій ковзанці. Вони стоять нерухомо поруч. Раптом перший фігурист відштовхує другого. Опишіть, як рухатимуться фігуристи після цього поштовху, якщо взаємодіяли лише вони між собою (не було зовнішніх сил у горизонтальному напрямку). Як ви думаєте, чому їхній "спільний рух" (загальний імпульс системи) залишається незмінним до і після поштовху? Подумайте про те, що відбувається, якщо перемістити всю цю ситуацію (фігуристів) в інше місце на ковзанці – чи зміниться результат поштовху? Як ця "однаковість простору" пов'язана зі збереженням імпульсу?

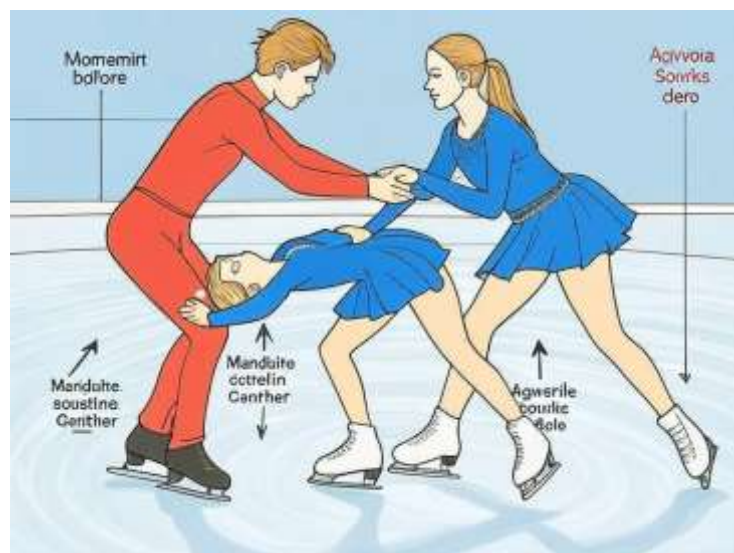


Рис.3.1. «Симетрія та збереження імпульсу»

Задача підводить учнів до розуміння закону збереження імпульсу як наслідку симетрії простору (однорідності). Якщо фізична система ізольована

від зовнішніх впливів у певному напрямку, то її загальний імпульс у цьому напрямку зберігається. Відсутність зовнішніх горизонтальних сил означає, що система "не відчуває" свого абсолютного положення у просторі, що є проявом цієї симетрії.

**Задача 2.** *Дзеркальна симетрія та відбиття світла* (рис. 3.2). Коли ви дивитесь в плоске дзеркало, ваше зображення виглядає так, ніби воно знаходиться за дзеркалом на такій самій відстані від нього, як і ви. Водночас, ліве і праве міняються місцями. Це явище пов'язане із законом відбиття світла та властивістю дзеркальної симетрії. Намалуйте схему: точкове джерело світла (наприклад, маленька лампочка) перед плоским дзеркалом. Зобразіть кілька променів світла, що йдуть від джерела, відбиваються від дзеркала і потрапляють в око спостерігача. Продовжуючи відбиті промені за дзеркало пунктирними лініями, знайдіть місце, де, як здається спостерігачеві, знаходиться уявне зображення джерела. Порівняйте розташування джерела та його уявного зображення відносно площини дзеркала. Що ви помітили?



Рис. 3.2. «Дзеркальна симетрія та відбиття світла» [створено автором]

Задача демонструє симетрію відбиття. Площина дзеркала є площиною симетрії. Об'єкт та його уявне зображення симетричні відносно цієї площини. Закон відбиття світла (кут падіння дорівнює куту відбиття) є базовим принципом, що призводить до такої симетрії зображення).

**Задача 3.** *Кіт біля дзеркала* (рис. 3.3). Перед плоским дзеркалом стоїть кіт на відстані 2 м. Позаду кота, на відстані 3 м від дзеркала, стоїть миска з молоком. На якій відстані від кота він побачить у дзеркалі відображення миски? Скільки метрів відокремлює зображення миски від зображення кота в дзеркалі?

Кіт бачить зображення миски на 3 м за дзеркалом. Він сам — на 2 м перед дзеркалом. Тобто, між ним і зображенням миски: 2 м (до дзеркала) + 3 м (за дзеркалом) = 5 м.

$$2\text{ м (до дзеркала)} + 3\text{ м (за дзеркалом)} = 5\text{ м}$$

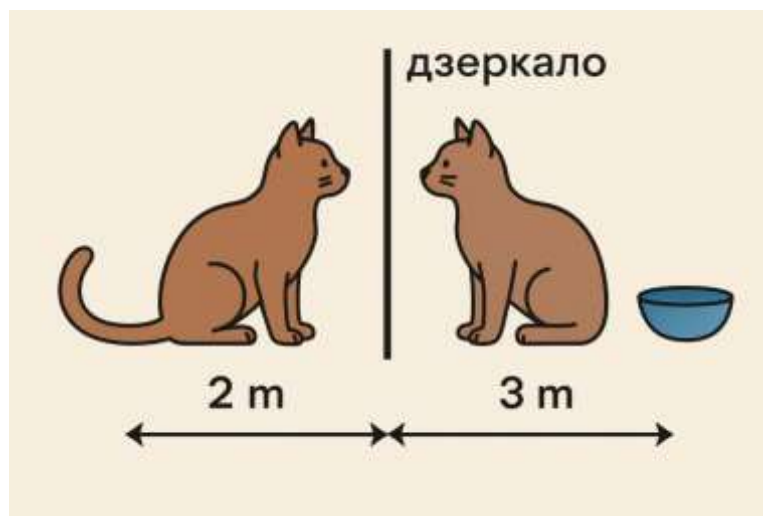


Рис. 3.3. «Кіт біля дзеркала» [створено автором]

Відповідь: кіт бачить зображення миски на відстані 5 м від себе. Відстань між зображеннями кота і миски в дзеркалі — 1 м.

**Задача 4.** На гладкій горизонтальній поверхні лежать дві однакові кульки масою 1 кг, розміщені симетрично відносно точки  $O$  на відстані 2 м одна від одної. У момент часу  $t=0$  кулькам одночасно надають однакову за модулем, але протилежно напрямлену швидкість  $v=2\text{ м/с}$  — одна кулька рухається вправо, інша — вліво. Через який час і де вони зустрінуться? Як використати симетрію для спрощення розв'язання задачі?

**Розв'язок:**

**Дано:**

- маси однакові:  $m_1=m_2=1$  кг
- початкове положення симетричне відносно точки  $O$
- відстань між кульками:  $2$  м
- швидкість:  $v=2$  м/с.

*Класичний розв'язок:* Нехай кульки розміщені на осі  $x$  Перша кулька в точці  $x= -1$ м рухається вправо:  $v =+2$ м/с. Друга кулька в точці  $x = +1$ м, рухається вліво:  $v = -2$ м/с

Положення кульок через  $t$ :  $x_1(t) = -1 + 2t$ ,

$$x_1(t) = -1 + 2t$$

$$x_2(t) = 1 - 2t$$

Знайдемо момент зустрічі:

$$x_1(t) = x_2(t) \rightarrow -1 + 2t = 1 - 2t \rightarrow 4t = 2 \rightarrow t = 0,5$$

Місце зустрічі:  $x=-1+2\cdot 0,5=0$ м

*Аналіз через симетрію:* Оскільки маси однакові, швидкості однакові за модулем і протилежні, положення симетричне щодо центру  $O$  то рухи повністю дзеркальні, а отже, зустріч відбудеться в точці симетрії — центрі  $O$  через половину часу зближення.

Відповідь: кульки зустрінуться через  $0,5$ с

Завдяки симетрії можна було одразу передбачити місце зустрічі — центр симетрії, і зменшити обчислення.

Ці задачі охоплюють різні аспекти симетрії у фізиці і можуть бути адаптовані залежно від рівня підготовки класу. Важливо підкреслити зв'язок між спостережуваною симетрією системи та її фізичною поведінкою або законами, що її описують.

Ми розробили план кейс- уроку з фізики для учнів 10-11 класів, що спрямований на формування у школярів уявлень про симетрію як важливу

властивість фізичних процесів у розділах фізики. Даний тип уроку сприяє поєднанню теоретичних знань з практичними навичками і компетенціями, і представляє інноваційний підхід у навчанні. У кейс-уроці підбирається навчальний матеріал таким чином, який об'єднаний спільною ідеєю ( в даному випадку стосується поняття симетрії) і структурований в особливому форматі. Він складається з декількох важливих вкладок, які системно відображають розділи шкільної програми з фізики, а також суміжну інформацію за межами шкільної програми. Відповідно, це є навчальна методика, спрямована на всебічне уявлення про явище, що досліджується, та розуміння визначальної ролі і можливості симетрії у різних розділах фізики.

**Мета уроку:** Ознайомити учнів з поняттями симетрії та його застосування при вивченні фізики.

**Тема:** Поняття симетрії у різних фізичних явищах. Пояснити симетрію при розгляді симетрії на уроках з фізики при вивченні механіки, оптики та електрики. Розвивати вміння аналізувати ситуації на основі понять симетрії. Формувати навички моделювання фізичних явищ. Виховувати допитливість, спостережливість, інтерес до природничих наук.

**Очікувані результати:** учень пояснює, що таке симетрія в природі та фізиці; наводить приклади симетрії в механіці, оптиці та; використовує поняття симетрії при аналізі руху тіл та відбиття світла; працює з інтерактивними платформами для моделювання фізичних явищ.

### Хід кейс -уроку

#### 1. *Організаційний момент* (2 хв)

Актуалізація уваги: Чи бачили ви коли-небудь симетрію в природі?»

#### 2. *Актуалізація опорних знань* (5 хв)

Метод: «Мозковий штурм»

- Що таке симетрія?
- Які види симетрії знаєте з математики або життя?

- Яка симетрія у бабки? У листка? У дзеркала?

Короткий показ слайдів з природною симетрією (Butterfly, сніжинка)

### 3. Вивчення нового матеріалу (20 хв)

#### 3.1. Симетрія у геометричній оптиці (Кут падіння = кут відбиття)

У дзеркалі зображення має симетрію відносно площини дзеркала. Використати інтерактивну симуляцію на сайті PhET → Geometric Optics [https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics\\_uk.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_uk.html)

(Інструкція до завдання на PhET: відкрити симуляцію (з планшетів або ноутбуків, ввімкнути «Ray diagram» і розмістити промінь. Знайти симетрію між падаючим і відбитим променем. Зробити скріншот або короткий висновок). Обговорення: - Що означає «дзеркальна симетрія»?

- Чому промені розташовані симетрично?
- Що відбувається, якщо дзеркало нахилити?

#### 3.2. Симетрія у механіці

Приклад: Рух автомобіля туди-назад з однаковою швидкістю — приклад симетрії в часі.

Завдання (групова робота): Побудуйте графік руху тіла, яке рухається в один бік, зупиняється, а потім повертається назад.

Інструмент: використання онлайн-платформи Desmos Graphing Calculator [https://play.google.com/store/apps/details/Desmos\\_Graphing\\_Calculator?id=com.desmos.calculator&hl=uk](https://play.google.com/store/apps/details/Desmos_Graphing_Calculator?id=com.desmos.calculator&hl=uk)

(Учні мають змодельовати графік  $S(t)$ , де видно симетрію відносно моменту зупинки).

#### 3.3. Симетрія в електриці

Симетрія допомагає не лише в математиці чи мистецтві, а й в електриці! Розглянемо трифазну систему електропостачання, яка живить наші будинки. У ній три дроти (фази) мають однакову напругу, але зміщені на  $120^\circ$  за часом.

Це симетричне розташування забезпечує рівномірну передачу енергії. Наприклад, уявіть вентилятор із трьома лопатями: якщо вони однакові й розташовані симетрично, він працює плавно. Так само в трифазній системі симетрія зменшує втрати енергії. Якщо одна фаза перевантажена, симетрія порушується, і система може вийти з ладу.

Запитання до учнів:

1. Чому симетрія в трифазній системі важлива для роботи електроприладів?

2. Що станеться, якщо одна фаза в системі буде слабшою за інші?

3. Де ще в побуті ви бачите приклади симетрії в електричних пристроях?

Завдання: Намалюйте схему трифазної системи, позначте фази та поясніть, як симетрія впливає на її роботу [22].

#### **4. Закріплення (10 хв)**

1. Інтерактивне завдання на LearningApps: <https://learningapps.org/27162458>

2. Міні-вікторина «Так/Ні»:

- В дзеркалі зображення асиметричне —
- Вектор швидкості змінює напрямок при дзеркальному відбитті —
- Всі фізичні процеси симетричні —
- Рух в одну сторону і в зворотну — симетричні, якщо умови однакові.

#### **5. Підсумок уроку (5 хв)**

Обговорення:

- Що нового дізналися?
- Чим подібні симетрії в оптиці та механіці?
- Чому симетрія допомагає нам розуміти світ?

(Симетрія — це мова природи, яку ми розшифровуємо через фізику)

#### **Домашнє завдання:**

Створити власну фотографію прикладу симетрії з побуту або природи, пояснити її.

### 3.2. Застосування симетрії в рамках STEM-освіти

Вивчення фізики твердого тіла потребує знання елементів симетрії. Більшості матеріалів притаманна кристалічна структура, тобто структура з впорядкованим та періодичним розташуванням структурних елементів. Відповідно, не дивлячись на часто складну будову кристалів, завдяки симетрії (закономірності розташування структурних частин, симетрії упакування) можна вивчати їхні фізичні властивості. На основі використання принципів симетрії є можливість виявляти загальні характеристики структури, взаємозв'язки фізичних процесів, передбачати нові явища. Зокрема, теорія симетрії відіграє важливу роль в кристалофізиці, в розумінні структурних фазових переходів, магнітного упорядкування, пружних властивостей твердих тіл і т.д.

Вперше учні вивчають будову твердих тіл та їх властивості у 10 класі. Інформація є досить обмеженою, вводяться тільки поняття кристалу, аморфного тіла, полікристалів, поліморфізму, властивість ізотропії та анізотропії, коротко розглядаються механічні характеристики. Але поринаючи у світ природи, представляє інтерес формування в учнів уявлення про тверді тіла на атомарному рівні та яким чином симетрія може впливати на їх фізичні властивості. Більш широке вивчення структури кристалів, їх симетрії може бути реалізоване в межах факультативних занять, гуртків чи підготовки наукового проєкту у рамках сучасної STEM-освіти.

У STEM-освіті теорія симетрії інтегрується в проєктні завдання, такі як моделювання молекул чи аналіз інженерних конструкцій, що відповідає компетентнісному підходу НУШ. Наприклад, учні можуть досліджувати симетрію сніжинок, щоб зрозуміти принципи гексагональної сингонії, або створювати симетричні моделі мостів, поєднуючи інженерію та математику.

Зв'язок із сучасною освітою полягає в тому, що теорія симетрії ідеально вписується в міждисциплінарний підхід, який пропагують НУШ і STEM. Вона сприяє розвитку аналітичних і творчих навичок, необхідних для вирішення

складних завдань. У НУШ принципи симетрії можуть бути впроваджені в інтегровані уроки, де учні вивчають зв'язки між математикою, природничими науками та мистецтвом. Наприклад, аналіз симетрії в природі (листя, квіти) чи архітектурі допомагає формувати естетичне сприйняття та наукове мислення. У STEM-освіті симетрія є основою для проєктів із робототехніки, 3D-друку чи комп'ютерного моделювання, що готує учнів до професій у високотехнологічних галузях.

Таким чином, теорія симетрії є потужним інструментом для розуміння структури світу та підготовки молоді до інноваційної діяльності. Її вивчення в освіті, зокрема через призму НУШ і STEM, сприяє формуванню компетентностей, необхідних для успішної самореалізації в науково-дослідницькій діяльності.

Надалі представимо розробку матеріалу, який може бути використаний для проєкту «Симетрія в твердих тілах. Політипи»

### **3.3. Застосування симетрії для вивчення структурних та фізичних властивостей твердих тіл. Навчально-дослідницький проєкт “Симетрія в твердих тілах. Політипи”**

Учні можуть познайомитись з операціями симетрії, які визначають тип симетрії; визначити яким чином класифікуються кристали відносно симетрії кристалічної ґратки та за властивостями міжатомних сил зв'язку; показати, що ідеальні кристалічні ґратки завжди мають просторову симетрію, що є поєднанням точкової та трансляційної симетрії.

Розглянемо деякі поняття і терміни, які стосуються елементів теорії симетрії. Учні повинні оперувати такими поняттями як кристалічна ґратка, елементи і операції симетрії, ґратки Браве, точкові і просторові групи, сингонії. У STEM-освіті точкові та просторові групи, сингонії можуть вивчатися через практичні заняття, наприклад, створення 3D-моделей

кристалів, що сприяє інтеграції математики, фізики та технологій та розвиває просторове мислення учнів [23].

У навколишньому світі, який нас оточує, зустрічається надзвичайна кількість різноманітних твердих матеріалів, більшість з яких складаються з окремих структурних елементів, які впорядковано розташовані в тривимірному просторі і утворюють кристалічну ґратку. Завдяки такій особливості, тобто внутрішній симетрії ці матеріали дістали назву кристалів. Кристал може мати геометричну форму з чітко визначеними гранями, які перетинаються по ребрах. У результаті утворюється багатогранник, де точки перетину ребер утворюють вершини. Такі просторові фігури, у вершинах яких розміщено атоми, називаються комірками кристалічної ґратки [14,15].

Любий вузол ґратки можна виразити радіус-вектором:

$$\vec{R} = n_1\vec{a}_1 + n_2\vec{a}_2 + n_3\vec{a}_3,$$

де  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ - це базисні вектори групи трансляцій, а  $n_1, n_2, n_3$  приймають цілі числа. На основі базових векторів будується елементарна комірка, яка може бути як простою (один атом в комірці) , так і складною (більше одного атома).

Геометрична будова елементарних комірок характеризує кристалографічну структуру речовини. Тому за формою зручно класифікувати не кристали, а елементарні комірки. При цьому всі кристали, як це було відмічено у другому розділі, поділяються на кристалографічні системи (сингонії) різних типів.

Базові вектори, в більшості кристалів це параметри ґратки  $(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c})$ , які визначаються методами рентгенівського аналізу, можуть мати різну довжину та розташовуватись під різними кутами  $\alpha, \beta, \gamma$  (рис.3.4).

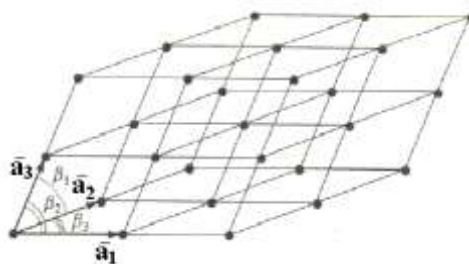


Рис. 3.4 . Основні вектори трансляції і кути між ними

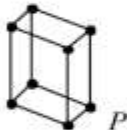
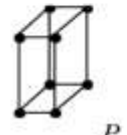

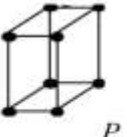

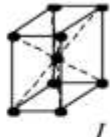
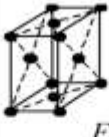
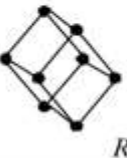


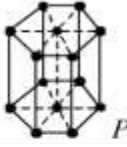
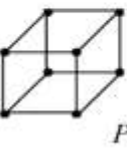
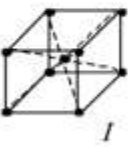
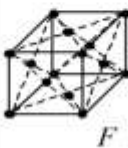
Отже, елементарна комірка характеризується шістьма параметрами: довжинами ребер ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) і кутами між ними ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Залежно від співвідношення між цими відрізками (сталими ґратки) і кутами розрізняють сім кристалографічних систем (сингоній) .

На основі кристалічних ґраток, що відповідають різним кристалографічним системам, Н. Франкенгейм (1835р.), а потім О. Браве (1850р.) виділили 14 видів трансляційних ґраток, які називаються ґратками Браве. Властивістю ґратки Браве є те, що із будь-якої її точки весь (безкінечний) кристал «спостерігається однаково».

Всі типи ґраток Браве для відповідної сингонії представлені в Табл.3.1 [15].

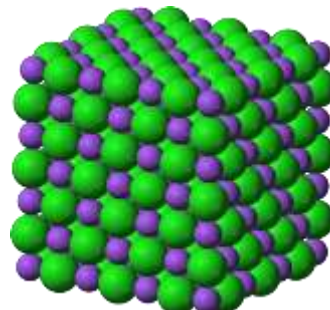
Таблиця 3.1.

## Гратки Браве для різних сингоній

Сингонія (Базис ґратки)	Тип ґраток			
	Примітивна	Базо- центрична	Об'ємно- центрична	Гране- центрична
<b>Триклінна</b> $a \neq b \neq c;$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	 <i>P</i>			
<b>Моноклінна</b> $a \neq b \neq c;$ $\alpha = \gamma = 90^\circ;$ $\beta \neq 90^\circ$	 <i>P</i>	 <i>C</i>		
<b>Ромбічна</b> (Орторомбічна) $a \neq b \neq c;$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <i>P</i>	 <i>C</i>	 <i>I</i>	 <i>F</i>
<b>Тригональна</b> (Ромбоедрична) $a = b = c;$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	 <i>R</i>			
<b>Тетрагональна</b> $a = b \neq c;$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <i>P</i>		 <i>I</i>	
<b>Гексагональна</b> $a = b \neq c;$ $\alpha = 120^\circ;$ $\beta = \gamma = 90^\circ$	 <i>P</i>			
<b>Кубічна</b> $a = b = c;$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <i>P</i>		 <i>I</i>	 <i>F</i>

На рис. 3.5 представлені структури кристалів, які описується різною симетрією, наприклад, кристал кухонної солі NaCl (а) (кубічна симетрія),

кристали кварцу (тригональна) і кремнію (кубічна типу алмазу), графіту (гексагональна) та нових алотропних форм на його основі .



а) кристал кухонної солі в природі та його структура

Кремній  $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$

Сировина - кварцит

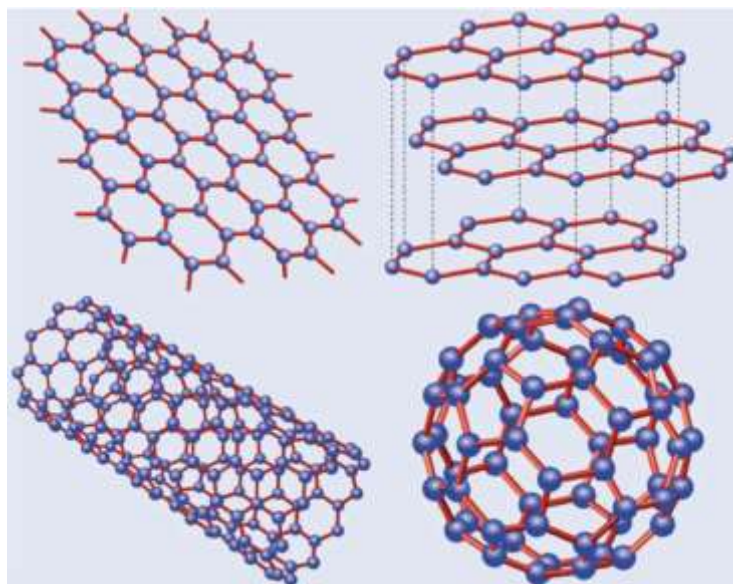
Кварц (діоксид сіліцію)  
 $\text{SiO}_2$

діелектрик,  
Тригональна  
крист. сим.

$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

Si

б) кристалічна структура кремнію та кварц



в) на основі вуглецю (шари графену, графіт, нанотрубка, фулерен).

Рис.3.5. Приклади різних кристалічних структур

Слід зазначити, що чим більше атомів в елементарній комірці, тим нижча симетрія. На рис. 3.6 представлені приклади кристалів, які описуються тетрагональною та моноклінною сингонією.

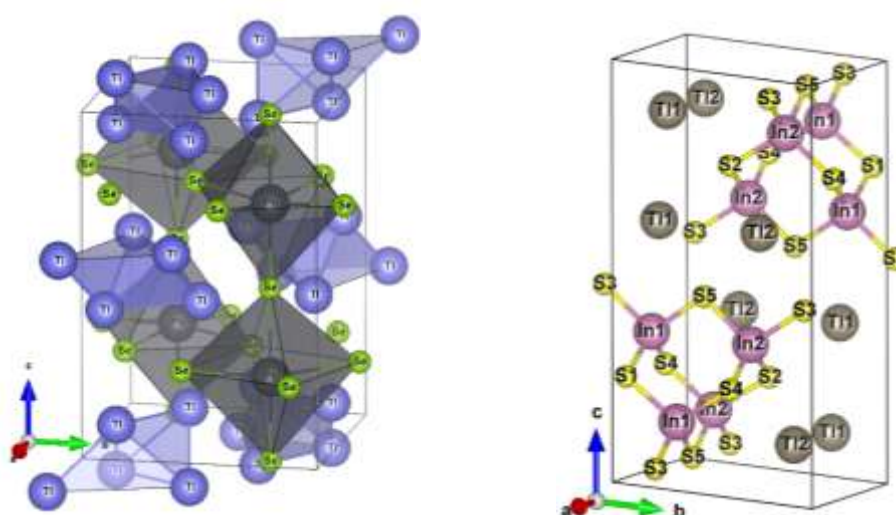


Рис.3.6. Елементарна комірка тетрагонального кристалу  $Tl_4Pb(Sn)Se_3$  ( $D_{4h}^8$ ) [23] (а) та моноклінного кристалу  $TlInS_2$  ( $C_{2h}^6$ ) [24] (б)

Тут рисунки представлені за допомогою програмного забезпечення VESTA [25], яке також може бути освоєне учнями для візуалізації кристалічних структур різної просторової симетрії. Показано також, як структури можна побудувати за допомогою координаційних полієдрів.

Як видно з цих рисунків, склад кристалічної решітки залежить від того, з яких частинок складається матеріал та якими хімічними зв'язками вони утримуються. Це можуть бути одноатомні кристали як кремній (ковалентний зв'язок), іонні кристали як кухонна сіль, молекулярні кристали, де можна виділити окремі групи атомів, в межах яких атоми зв'язані більш сильними хімічними зв'язками, а між групами – слабкими ван-дер-ваальсовими зв'язками. Такі кристали ще називають шаруватими (приклад графіту,  $Tl_4Pb(Sn)Se_3$ ). Якщо структури складаються з металевих атомів, то це металеві кристали, і атоми утримуються завдяки металевому зв'язку.

При іонному хімічному один атом або молекула втрачає електрон, а інший набуває електрон, утворюючи іони з протилежними зарядами. Заряджені іони утримуються разом електростатичними силами. Ці зв'язки зазвичай міцні, що надає іонним кристалам високі температури плавлення та міцність .

Якщо два атоми спільно використовують пару електронів для досягнення стабільної електронної конфігурації, то це ковалентний зв'язок. Також у складних ґратках може мати місце іонно-ковалентний зв'язок.

У металах атоми віддають свої валентні електрони і ці електрони утворюють "електронний газ", який вільно мігрує між усіма атомами. Це забезпечує металеві властивості, такі як електропровідність, теплопровідність і ковкість. У металевих кристалах атоми розташовані в регулярній решітці, а електронний газ утримує їх разом [26].

Отже, як відмічається в роботі , симетрія пов'язана з характеристиками структури об'єктів дослідження (систем, процесів, явищ) і являє собою сукупність геометричних закономірностей, які залишаються незмінними під час фізичних, хімічних та інших внутрішніх змін, а також під впливом

зовнішніх факторів. Застосування принципів симетрії допомагає виявити спільні структурні властивості та взаємозв'язки між процесами як внутрішнього, так і зовнішнього характеру[8], дозволяє пояснити, чому деякі кристали проявляють ізотропні, а деякі анізотропні властивості.

Також доцільно ввести поняття координаційного числа, ближнього і дальнього порядку. Продемонструвати, якщо дальній порядок порушується, то виникає аморфний стан.

Цікавим питанням є явища поліморфізму та політипії, які реалізуються в сполуках, що мають однаковий хімічний склад. Нагадаємо, що поліморфізмом [27] називається властивість деяких речовин існувати у декількох кристалічних фазах (поліморфних модифікаціях), які відрізняються за симетрією структури, властивостями, а іноді і типом зв'язку. Приклад поліморфних перетворень графіту в алмаз, які відбуваються при високих тисках і температурах, приведений у підручнику фізики для учнів 10 класу.

Політипія (або політипізм) – явище, яке характерне для деяких щільно упакованих або шаруватих структур [27]. Структури, які побудовані з однакових шарів із різною послідовністю їх упакування називаються політипами. Параметри ґратки політипів в площині шару лишаються незмінними, змінюється параметр перпендикулярний до шару, при цьому він завжди є кратним відстані між найближчими шарами. Відмінності політипів проявляються не лише у геометрії ґратки, а й у деяких їх фізичних властивостях, особливо оптичних [27].

Нами можуть бути розглянуті різні політипні модифікації в селеніді індію (InSe), який сьогодні привертає увагу науковців завдяки унікальним фізичним властивостям. Він, як і графен, є перспективним матеріалом для сучасної опто- і наноелектроніки, а також сонячної енергетики і термоелектрики.

### 3.3.1. Селенід індію як приклад політипних перетворень. Симетрійний аналіз кристалічної структури різних модифікацій

Як відомо, кристал селеніду індію відзначається своєю шаруватою структурою. Він містить площини Se-In-In-Se, всередині яких атоми зв'язані ковалентним зв'язком з деяким іонним характером. Ковалентні In-In зв'язки орієнтовані перпендикулярно до шарів. Кожний атомний шар в площині (111) має структуру типу цинкової обманки. Шари зв'язані між собою ван-дер-ваальсовою взаємодією.

В залежності від способу упакування шарів та їхньої кількості, (АВАВ, АВСАВС і АСАС) InSe може існувати в різних політипних модифікаціях ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ) [28-31].

Згідно рентгеноструктурних даних [28], кристал  $\beta$ -InSe кристалізується в гексагональній ґратці, симетрія якої описується просторовою групою  $D_{6h}^4$  ( $P6_3/mmc$ ). Параметри ґратки рівні  $a = b = 4.048 \text{ \AA}$ ,  $c = 16.930 \text{ \AA}$ . Елементарна комірка  $\beta$ -InSe містить вісім атомів, які формують два трансляційно нееквівалентні шари з Se-In-In-Se структурою, які розміщені перпендикулярно до гексагональної осі Oz (рис.3.7). Координати атомів приведені у таблиці 3.2.

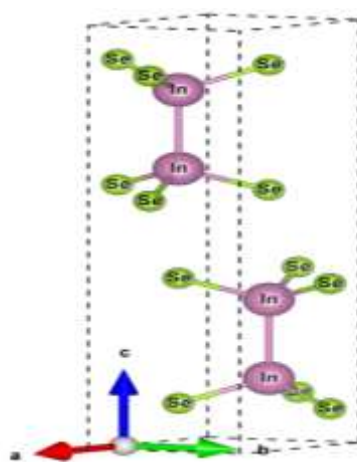


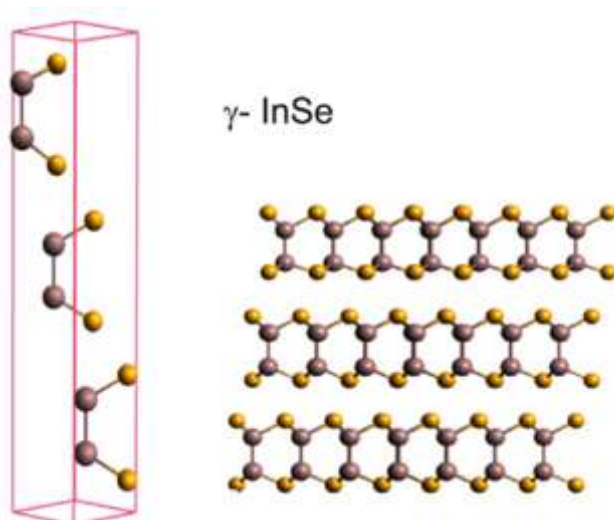
Рис.3.7. Елементарна комірка  $\beta$ -InSe.

Таблиця 3.2.

Відносні координати атомів  $\beta$ -InSe

Атом	X	Y	Z
Se	0.33333	0.66667	0.89800
In	0.33333	0.66667	0.15700

InSe в  $\gamma$ -модифікації характеризується ромбодринчною ґраткою  $C_{3v}^5$  ( $R3m$ ) та параметрами  $a=4.002$ ,  $c=24.946$  Å [30], яка складається з одного шарового пакету (чотири атоми в елементарній комірці, рис.3.8). Координати атомів у таблиці 3.3.

Рис.3.8. Елементарна комірка  $\gamma$ - InSe

Таблиця 3.3.

Відносні координати атомів  $\epsilon$ -InSe

Атом	X	Y	Z
In	0	0	0.75
Se	0.6667	0.3333	0.15
In	0.6667	0.3333	0.575
Se	0.3333	0.6667	0.65

$\epsilon$ -модифікація селеніду індію (параметри ґратки  $a=3.743$ ,  $c=15.919$  Å), як і  $\beta$ -InSe, містить два шарові пакети в елементарній комірці (8 атомів, рис.3.10) і належить до гексагональної групи симетрії  $D_{3h}^1$  ( $P\bar{6}m2$ ) [28], в якій відсутній центр інверсії.

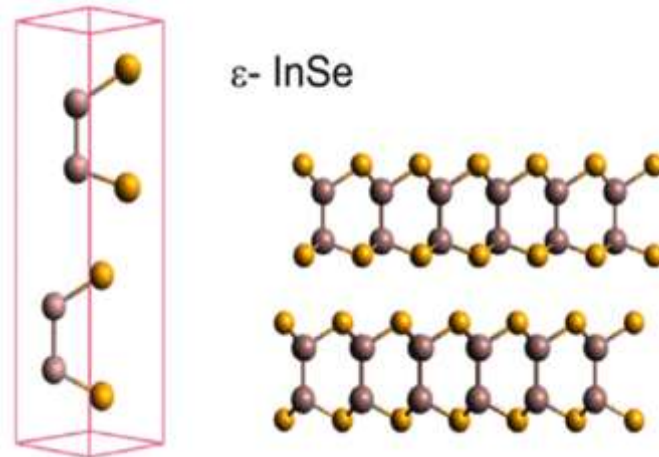


Рис.3.10. Елементарна комірка  $\epsilon$ - InSe

Таблиця 3.4.

Відносні координати атомів  $\epsilon$ -InSe

Атом	X	Y	Z
In	0	0	0.75
Se	0.6667	0.3333	0.15
In	0.6667	0.3333	0.575
Se	0.3333	0.6667	0.65

### 3.3.2. Вплив симетрії на механічні характеристики селеніду індію

Формування в учнів уявлення про механічні властивості твердих тіл базується на вивченні таких характеристик як твердість, міцність, пружність, крихкість. Є спеціальна шкала, за якою порівнюють твердість, згідно якої до найтвердіших належить алмаз, а найм'якіших – тальк. Але потрібно відзначити, що сучасні наукові відкриття свідчать про те, що найміцнішим серед кристалічних тіл сьогодні вважається графен. Додавання частинок

графену до інших матеріалів (пластик, гума, силікон або будь-який текстильний матеріал) робить їх набагато міцнішими.

Причину таких різних механічних характеристик твердих тіл потрібно шукати у особливостях їх внутрішньої структури та хімічного складу. Симетрія матеріалу впливає на те, як він буде реагувати на зовнішні навантаження (*міцність*), чинити опір локальним деформаціям (*твердість*), мати спроможність відновлювати свою первинну форму після зняття навантаження (*пружність*), чи навпаки, зберігати деформацію при знятті навантаження (*пластичність*). Матеріали також можуть крихкими, легко розпадатись при незначних деформаціях. Тобто властивості матеріалу, який має симетрію, можуть змінюватися залежно від напрямку, на який діє відповідне навантаження. Наприклад, кристалічні матеріали, які мають симетричну структуру, зазвичай мають вищу твердість та міцність, ніж аморфні матеріали.

У шкільному курсі фізики дається означення механічної напруги та її зв'язок з відносною деформацією. Але додатково можна акцентувати увагу на тому, що модуль Юнга, який характеризує пружні властивості кристалу при його розтягу чи стиску вздовж різних кристалографічних напрямків, є різним. Більш високе значення модуля Юнга вказує на більшу жорсткість матеріалу і меншу його деформацію.

Використаємо наші дослідження механічних властивостей для різних політипних модифікацій розглядуваного селеніду індію.

У таблиці 3.5 приведені розраховані механічні характеристики: об'ємний модуль, який описує здатність кристалу чинити опір зміни об'єму при дії усестороннього тиску, коефіцієнт Пуассона, значення якого дає інформацію про пластичність чи крихкість кристалу. Згідно теорії, якщо  $B/G > 1.75$ , то кристал вважається пластичним, в протилежному випадку ( $B/G < 1.75$ ) – крихким.

Таблиця 3.5.

Механічні параметри для різних модифікацій InSe.

Параметри	$\beta$ -InSe	$\varepsilon$ -InSe	$\gamma$ -InSe
Об'ємний модуль, В (ГПа)	37.56	38.54	43.81
Модуль зсуву G (ГПа)	18.96	20.97	20.88
B/G -коефіцієнт Пуассона	1.98	1.84	2.10
Універсальний параметр анізотропії	0.39	0.14	0.41
Коефіцієнти Пуассона			
$E_{xy}$	0.27	0.23	0.14
$E_{xz}$	0.25	0.36	0.46
$E_{yx}$	0.27	0.23	0.14
$E_{yz}$	0.25	0.36	0.46
$E_{zx}$	0.23	0.25	0.31
$E_{zy}$	0.23	0.25	0.31
Модуль Юнга X	58.61	59.68	59.68
Модуль Юнга Y	58.61	59.68	59.68
Модуль Юнга Z	53.00	41.49	39.60

Аналіз одержаних даних показує, що розглядувані модифікації селеніду індію, які описуються різною просторовою симетрією, характеризуються різними значеннями для всіх механічних параметрів.

Тим не менше, згідно оцінок можна відмітити, що  $\gamma$ -InSe демонструє найбільший об'ємний модуль пружності (43.81 ГПа), що вказує на його високу жорсткість.  $\varepsilon$ -InSe найбільш ізотропний (параметр універсальної анізотропії = 0.14), а  $\gamma$ -InSe має найбільшу ступінь анізотропії (0.41). Відношення B/G для  $\beta$ -InSe і  $\gamma$ -InSe (1.98 і 2.10) мають близькі значення і більші, ніж  $\varepsilon$ -InSe модифікації, що свідчить про їх більшу пластичність.

Розуміння учнями представленого вище матеріалу можна перевірити такими контрольними запитаннями:

1.Що впливає на зміну властивостей матеріалу при прикладенні навантаження? Поясніть, як симетрія структури матеріалу впливає на його механічні властивості.

2.Чим відрізняються кристалічні матеріали від аморфних з точки зору міцності та твердості?

3.Яке фізичне значення має модуль Юнга? Чому його значення може змінюватися в різних кристалографічних напрямках?

4. Що характеризує об'ємний модуль матеріалу?

5. Що означає коефіцієнт  $B/G$  у механіці матеріалів? Яке значення цього коефіцієнта вказує на пластичність, а яке — на крихкість кристалу?

6. Який висновок можна зробити, якщо значення  $B/G < 1.75$ ?

7. Чому важливо вивчати механічні характеристики матеріалів з різними політипними модифікаціями?

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи:

1. Зроблено акцент на концепцію НУШ та STEM-освіту, де використовується міждисциплінарний підхід, який поєднує теоретичні знання з практичним застосуванням. Однією з провідних тенденцій розвитку сучасної освіти є трансформація парадигми освіти з сукупності знань на компетентнісну, що забезпечить особистості здатність успішно реалізувати себе у житті та професійній діяльності.
2. Проаналізовано застосування принципу симетрії у шкільному курсі фізики та обґрунтовано його значення для глибшого розуміння фізичних явищ. Розроблено методичку проведення кейс-уроку на тему «Поняття симетрії у різних фізичних явищах», у якому приведені приклади прояву принципів симетрії в механіці, оптиці та електриці, що дозволяє об'єднати матеріал курсу навколо загальних фізичних понять і закономірностей.
3. З метою навчально-дослідницької діяльності у рамках STEM-освіти для учнів запропоновано матеріал для проєкту «Симетрія в твердих тілах. Політипи», де представлено більш розширене вивчення елементів симетрії у розділі молекулярної фізики «Будова та властивості твердих тіл», що сприяє формуванню уявлення про тверді тіла на атомарному рівні та яким чином симетрія може впливати на їх фізичні властивості. В якості прикладу розглянуто структуру селеніду індію в різних політипних модифікаціях. Проведено симетрійний опис цих структур і розрахунок їх механічних характеристик. Встановлено, що зміна симетрії в політипах впливає на механічні властивості матеріалу, зокрема на модуль Юнга, об'ємний модуль та співвідношення  $V/G$ , яке визначає пластичність або крихкість кристалу.
4. Отримані результати можуть бути використані як у навчальному процесі, так і в учнівських дослідницьких роботах, що відповідає сучасним підходам НУШ і європейським тенденціям в освіті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Пастушенко О. Ключові акценти Концепції Нової української школи: актуально. Освітня платформа. -2023.  
<https://oplatforma.com.ua/article/2372-ad-fontes-pro-kontseptsyu-novo-ukransko-shkoli>
2. STEM-освіта в Україні: виклики та перспективи [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України. – Київ, 2020.  
<https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2020/metod-zbirka-osvita-ta-covid-2020.pdf>
3. Каленик М. В. Роль демонстраційного експерименту у формуванні в учнів природничо-наукової компетентності//Фізико-математична освіта (ФМО).- 2020.- Випуск 4(26).- С.51-55. DOI 10.31110/2413-1571-2020-026-4-009;  
<https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1221865>
4. Стрижак О. Є. STEM-освіта: основні дефініції / О. Є. Стрижак, І. А. Сліпучіна, Н. І. Полісун, І. С. Чернецький// Інформаційні технології і засоби навчання. - 2017. - Т. 62, № 6. - С. 16-33. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN\\_2017\\_62\\_6\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2017_62_6_4).
5. Семерня О., Рудницька Ж., Бородій І. Роль цифрових ресурсів у модернізації природничо-наукової освіти// Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія педагогічна.- 2024.- В. 30.- С. 30-34.  
DOI: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2024-30.30-34>.
6. Колесникова О.А. Діяльнісний підхід до формування в учнів експериментаторських умінь засобами мобільних та дистанційних технологій в навчанні фізики// PhD Thesis.- 2021, 250 с.  
[https://npu.edu.ua/images/file/vidil\\_aspirant/dicer/%D0%94\\_26.053.06/Kolesnikova.pdf](https://npu.edu.ua/images/file/vidil_aspirant/dicer/%D0%94_26.053.06/Kolesnikova.pdf)

7. Лабораторія фізики. [Електронний ресурс]. – Спосіб доступу: <https://appsource.microsoft.com/en-us/product/web-apps/lab4uinc.lab4physics?tab=overview>
8. Кузьменко О.С., Дембіцька С.В. Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти// Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2017. - Т. 2 (10). С.65-68. <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/1041>.
9. Колосова О. П., Ванін В. В. Роль симетрії в формуванні об'єктів та процесів// Сучасні проблеми моделювання. – 2018.- №11.- С. 88-93.
10. Подопрігора Н.В. Закони збереження у квантовій механіці та їх зв'язок з властивостями симетрій простору-часу// Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.- 2016.- <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/viewFile/544/520>.
11. Теоретична фізика. Класична механіка [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. І. Джежеря, С. О. Решетняк, В. В. Хіст. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,12 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 143 с. – Назва з екрана. URI: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72189>.
12. Мриглюд І. Історія часу: Необоротність vs оборотність. Обрії науки II. Історія часу / за редакцією Ю. Головача, Я. Грицака та Б. Новосядлого. Львів: Український католицький університет, 2020. 176 с. [https://astro.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/10/Obriji-nauky-II\\_compressed.pdf#page=9](https://astro.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/10/Obriji-nauky-II_compressed.pdf#page=9)
13. Грищук А. М., Корнічук П.П. Конспект лекцій та практичних завдань із «Фізики ядра та елементарних частинок» для спеціальності «104 Фізика та астрономія». 2023. URI: <http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/38247>.
14. Anselm A.I. Introduction to Semiconductor Theory.- 1981.- 645 p.

15. Поплавко Ю. М. П57 Фізика діелектриків : підручник / Ю. М. Поплавко ; за заг. ред. акад. НАН України Ю. І. Якименка. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 572 с.
16. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство. Діелектрики/ Ю.М.Поплавко, Л.П.Переверзева, С.О.Воронов, Ю.І.Якименко//Част.2.- Київ, НТУУ “КПІ” 2007. – 390 с.
17. Івашковська В. В. та ін. Естетичні підходи у викладанні фізики.- 2025. URI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-396-404](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-396-404)  
<http://ir.dsru.edu.ua/jspui/handle/123456789/5172>
18. Засекіна Т. М. Особливості шкільного курсу фізики в контексті реформи нової української школи//Фізика та астрономія в рідній школі/-2020. -Т. 2 (149).- С. 2-6. URI: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/721901>
19. Самійло Величко — перший історик Козаччини. Портал SPADOK.ORG.UA  
<https://spadok.org.ua/ukrayinske-kozatstvo/samiylo-velychko-pershyu-istoryk-kozachchynu>
20. Стадніченко С. Елементи симетрії при вивченні розділу «МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА»//Наукові записки.-2005.- Т.60.- С.222-225.  
”[https://cusu.edu.ua/download/nauk\\_zapiski/2005\\_vipusk\\_60\\_chastyna\\_2\\_z\\_amovlennya\\_3902\\_2.pdf#page=222](https://cusu.edu.ua/download/nauk_zapiski/2005_vipusk_60_chastyna_2_z_amovlennya_3902_2.pdf#page=222)
21. Фізика: підручник для 9 класу загальноосвіт.навч.закл. За редакцією В.Г.Бар’яхтара, С.О.Довгого.- 2022.- Видав.-во «Ранок»  
[https://shkola.in.ua/2541-fizyka-9-klas-bar-iakhtar-2022.html#google\\_vignette](https://shkola.in.ua/2541-fizyka-9-klas-bar-iakhtar-2022.html#google_vignette)
22. Фізика електрики та магнетизму / В. І. Коган, М. М. Семенов. – Київ: Вища школа, 1986. – 328 с.
23. Malakhovska T.O. Crystal structure of the  $Tl_4PbSe_3$  ternary compound /T.O.Malakhovska, M.Yu. Sabov, E.Yu. Peresh et. al// Chem. Met. Alloys.- 2009.- 2.- P. 15-17.

24. Panich A. M. Electronic properties and phase transition in low-dimensional semiconductors // J. Phys.: Condens. Matter. -2008. -20.- P. 293202/1
25. VESTA <https://www.jp-minerals.org/>
26. Міні-посібник «Основи кристалографія» <https://naurok.com.ua/mini-posibnik-osnovi-kristalografii-470354.html>
27. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л. О. Бірюкович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.832 Кбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.
28. Ман Л.И. Типы кристаллических халькогенидов Ga, In и Tl/ Л.И. Ман, Р.М.Имамов, С.А.Семилетов // Кристаллография. - 1976.- Т.21, №3. - С.628-639.
29. I. Grimaldi I., Gerace T. [et al]. Structural investigation of InSe layered semiconductors// Solid State Communications.- 2020.- V. 311.\_ - P.113855.
30. P.G. da Costa, M.Balkanski, R.F.Wallis. First-principles study of the electronic structure of  $\gamma$ -InSe and  $\beta$ -InSe // Phys.Rev.B.- 1991.- V.43.- P.7066.
31. Хархаліс Л.Ю. Моделювання електронної і ґраткової підсистем в шаруватому кристалі  $\beta$ -InSe з перших принципів/Л.Ю. Хархаліс, К.Є. Глухов, Т.Я. Бабука// Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. № 42. – 2017.-С.35-46.