

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Фізико-технічний факультет

Кафедра фізики і методики викладання

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Інтеграція вчення про X-промені у природничу освітню галузь»

Виконала:

студентка II курсу групи Ф(СО)м-21

спеціальність 014 Середня освіта

(014.08 Фізика)

Павлишій О.М.

Керівник: к. ф.-м. н., доц. Ліщинський І. М.

Рецензент: к. ф.-м. н., доц. Ліщинський І. М.

Івано-Франківськ – 2023р.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. X-промені. Основні поняття</b> .....	5
1.1. Історія розвитку вчення про X-промені.....	5
1.2. Технологія отримання та методи реєстрації .....	9
1.2.1. Генерування X-променів у рентгенівській трубці.....	9
1.2.2. Синхротронне випромінювання.....	11
1.2.3. X-промені позаземного походження.....	13
1.2.4. Реєстрація випромінювання.....	15
1.3. Застосування X-променевих досліджень у фізиці, хімії та біології.....	19
1.3.1 X-променеві методи у фізичних дослідженнях.....	19
1.3.2 Дослідження хімічних речовин .....	23
1.3.3 X-промені і біологічні об'єкти.....	29
<b>РОЗДІЛ 2. Особливості методики викладання основних понять про X-промені</b> .....	38
2.1. Аналіз навчальних програм природничої освітньої галузі.....	38
2.2. Методичні рекомендації щодо вивчення X-променів у природничій освітній галузі.....	40
<b>РОЗДІЛ 3. Розробка системи уроків з метою вдосконалення ключових компетентностей щодо X-променів</b> .....	43
3.1. Конспект уроку «X-промені – електромагнітне випромінювання».....	43
3.2. Конспект уроку «Рентгенівські промені чи Пулюївські?».....	53
3.3. Конспект уроку «X-променеві методи дослідження в хімії».....	61
3.4. Конспект уроку «Відкрите судове засідання над X-променями».....	66
3.5. Конспект уроку «X-промені. Підсумки».....	72
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	76
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	77

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** X-промені широко використовуються не тільки в сучасній науці, але і в техніці, і особливо в медицині та ветеринарії.

За допомогою X-променів можна провести дослідження тіла людини, виявивши, зокрема, кістки, а за допомогою сучасних приладів – і внутрішні органи. Крім звичайних апаратів, що створюють двовимірну проекцію, використовуються також комп'ютерні томографи, які дозволяють просторово реконструювати внутрішню частину тіла.

X-променеві методи дослідження використовуються в неорганічній хімії, зокрема в кристалографії. Методи X-променевого структурного аналізу допомагають встановити структуру кристала. X-промені використовуються для ідентифікації елементів структури досліджуваного кристала, а також визначення типу його симетрії, за допомогою якого можна встановити параметри кристалічної решітки, виявити в ній дефекти. Крім того, X-променева фотоелектронна спектроскопія дає можливість досліджувати хімічні зв'язки.

В аналітичній хімії X-промені допомагають досліджувати компоненти матеріалу. X-променевий флуоресцентний аналіз - дослідження елементного складу речовини, дозволяє якісно і кількісно виявити всі наявні в речовині елементи, які розташовані в періодичній системі після Оксигену.

У світі наночастинок X-променева мікроскопія також незамінна - це дослідження не тільки матеріалів, а й живих організмів - ціанобактерій та інших, які мають дрібні розміри.

Сучасні X-променеві технології дозволяють проводити пошарове дослідження будь-якого органу людини. Цей метод простий у використанні для лікарів і пацієнтів, і це є великою перевагою.

Все вище сказане свідчить про важливість більш детального вивчення X-променів в шкільному курсі навчальних предметів природничої освітньої галузі для всебічного розвитку випускників.

Отже, актуальність теми роботи пов'язана з вченням про X-промені в природничій освітній галузі, не викликає сумніву.

**Об'єкт дослідження:** природнича освітня галузь.

**Предмет дослідження:** вчення про X-промені на уроках фізики, хімії та біології.

**Мета дослідження:** розробка системи уроків з метою вдосконалення ключових компетентностей щодо X-променів.

У відповідності з поставленою метою визначено наступні **завдання дослідження:**

- на основі аналізу наукової та методичної літератури встановити зміст основних понять про X-промені;
- здійснити аналіз навчальних програм для загальноосвітніх навчальних закладів природничої освітньої галузі;
- вдосконалити методику введення основних понять про X-промені;
- підготувати систему уроків для використання у природничій освітній галузі.

**Методи дослідження:** аналіз наукової та методичної літератури з теми дослідження; приведення уроків з даної теми з фізики, хімії та біології; обговорення власного досвіду з учителями загальноосвітніх навчальних закладів та його узагальнення.

**Апробація та впровадження результатів.** Результати з теми дослідження були впроваджені в навчальну програму з фізики для учнів 10-11 класів у Тростянецькому ліцеї Долинської міської ради.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел (35 Найменувань). Загальний обсяг роботи - 80 сторінок.

## РОЗДІЛ 1. X-промені. Основні поняття.

### 1.1. Історія розвитку вчення про X-промені

У повсякденному житті, коли виникають проблеми зі здоров'ям, ми часто стикаємось з поняттями «рентген, рентгенівське випромінювання». Це випромінювання займає особливе місце серед інших видів електромагнітних хвиль. В науковій літературі, зокрема англійській, рентгенівські промені називають X-променями. Така назва збереглася і в багатьох інших мовах. В німецькій науковій літературі і в українській – частіше використовується словосполучення рентгенівське випромінювання.

X-промені (або рентгенівське випромінювання) — електромагнітне випромінювання високої енергії. А рентгенівським воно називається на честь вченого Вільгельма Рентгена, який відкрив його в 1895 році [1] і назвав X-променями, щоб позначити невідомий тип випромінювання. Хоча тут можна сумніватися, хто ж є першовідкривачем X-променів: Рентген чи Пулюй.

Як і гамма-промені, радіохвилі, видиме світло та ультрафіолетове, X-промені є формою електромагнітного випромінювання. Фотони X-променів досить потужні, з достатньою енергією, щоб розщепити молекули. Коли X-промені досягають речовини, деякі проходять крізь неї, а інші поглинаються.

У більшості випадків вищі рівні енергії призведуть до проходження більшої кількості X-променів. Ця проникаюча здатність дає змогу робити внутрішні зображення людського тіла та інших об'єктів. Завдяки своїй здатності допомагати виявляти та діагностувати різні медичні стани, у тому числі такі, що загрожують життю, рентгенівські промені є важливою та цінною частиною технології в медичному світі. [1, 2]

Газовий розряд під малим тиском привернув увагу фізиків ще наприкінці XIX століття. Працюючи з газорозрядними трубками, найчастіше це були трубки Крукса, вчені помітили появу швидких електронних пучків. Першим, хто звернув на них увагу, був Вільям Морган. Він навіть написав статтю, в якій докладно розповів про світіння, яке виникало, коли електричний струм проходив

через вакуумну скляну трубку з низьким тиском. Цим його відкриттям зацікавилися Генрі Деві та Майкл Фарадей. Але наукового прориву не сталося, рентгенівське проміння і надалі залишалося неідентифікованим.

Перші трубки Крукса, які були винайдені 1875 році, дійсно випромінювали X-промені, адже вони шляхом іонізації генерували вільні електрони, які прискорювалися високою напругою і, рухаючись від катода, стикалися з анодом. В результаті такого гальмування з'являлись невідомі промені. [3]

X-промені Рентген вперше спостерігав і задокументував у 1895 році. Він виявив, що потоки променів через руки та кисті створюють детальні зображення кісток усередині. Коли вам роблять рентгенівський знімок, рентгенівська плівка накладається на одну сторону вашого тіла, і X-промені проходять через вас. Оскільки кістки щільні та поглинають більше рентгенівського випромінювання, ніж шкіра, на рентгенівській плівці залишаються тіні кісток, тоді як шкіра виглядає прозорою.

Але досліджував катодні промені ще за 10 років до Рентгена український вчений Іван Пулюй. Саме він перший помітив, що якщо біля газорозрядної трубки розмістити фотопластинку, то вона засвітиться.

Пулюй провів серйозні дослідження катодних променів, опублікувавши кілька статей про ці промені між 1880 і 1882 роками. У 1881 році в результаті експериментів з тим, що він назвав холодним світлом, професор Пулюй розробив лампу Пулюя. Пулюй експериментував зі своїм новим пристроєм і опублікував свої результати в науковій статті « Світла електрична матерія та четвертий стан речовини в записках Австрійської імперської академії наук» (1880–1883), але висловлював свої ідеї в незрозумілій формі, використовуючи застарілу термінологію. Пулюй таки отримав певне визнання, коли твір був перекладений і опублікований як книга Королівським товариством у Великобританії . [4,5]

У 1889 році Іван Пулюй, що працював викладачем в Празькій політехніці, написав статтю про те, що фотопластинки стають темними, якщо на них попадало невідоме проміння з газорозрядних труб низького тиску.

А у 1890 році Пуллой отримав і опублікував у наукових журналах знімки дитячої руки та скелета жаби, зроблені своєю лампою.

У 1894 році Нікола Тесла помітив у своїй лабораторії пошкоджену плівку, яка, здавалося, була пов'язана з експериментами з трубкою Крукса, і почав досліджувати цю невидиму променисту енергію. [6] Після того, як Рентген ідентифікував рентгенівське випромінювання, Тесла почав робити власні рентгенівські зображення, використовуючи високі напруги та трубки власної конструкції, а також трубки Крукса.

У 1895 році німецький професор фізики Вільгельм Рентген під час експериментів із трубками Ленарда та Крукса натрапив на рентгенівські промені та почав їх вивчати. Він написав початкову доповідь «Про новий тип променів: попереднє повідомлення» і 28 грудня 1895 року подав її до журналу Фізико-медичного товариства Вюрцбурга. Це була перша робота, написана про рентгенівські промені. Рентген назвав випромінювання «Х», щоб вказати, що це був невідомий тип випромінювання.

Х-промені широко використовуються в медичній діагностиці (наприклад, перевірка зламаних кісток) і матеріалознавстві (наприклад, ідентифікація деяких хімічних елементів і виявлення слабких місць у будівельних матеріалах.[6] Рентген виявив їх медичне застосування, коли зробив знімок руки своєї дружини на фотопластинці, сформованій рентгенівськими променями. Фотографія руки його дружини була першою фотографією частини людського тіла за допомогою ідентифікованих Х-променів.

Численні застосування Х-променевого випромінювання відразу викликали величезний інтерес. Майстерні почали виготовляти спеціалізовані версії трубок Крукса для генерування Х-променів, і ці рентгенівські трубки Крукса з холодним катодом першого покоління використовувалися приблизно до 1920 року.

Довжина хвилі Х-променів коротша за хвилю УФ-променів і довша за гамма-промені. Загальноприйнятого, чіткого визначення меж рентгенівського діапазону не існує. Грубо кажучи, Х-промені мають довжину хвилі від 10 нанометрів до 10 пікометрів, що відповідає частотам у діапазоні від 30 петагерц

до 30 екзагерц ( $3 \times 10^{16}$  Гц до  $3 \times 10^{19}$  Гц) та енергії в діапазоні від 100 еВ до 100 кеВ відповідно .

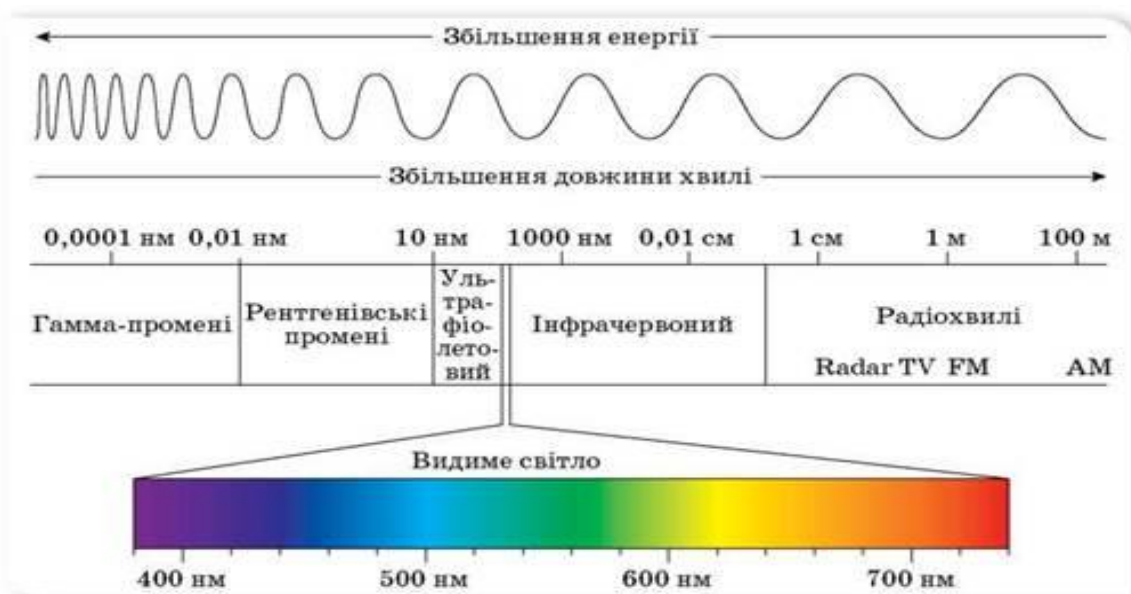


Рис. 1. Спектр електромагнітних хвиль

X-промені з високою енергією фотонів вище 5–10 кеВ (довжина хвилі нижче 0,2–0,1 нм) називається жорстким рентгенівським випромінюванням, тоді як випромінювання з меншою енергією (і більшою довжиною хвилі) називається м'яким рентгенівським випромінюванням.

Завдяки своїй проникаючій здатності жорстке X-променеве випромінювання широко використовується для зображення внутрішньої частини предметів (наприклад, у медичній радіографії та службах безпеки в аеропортах).

Термін «рентген» використовується для позначення рентгенографічного зображення, отриманого за допомогою цього методу, на додаток до самого методу. Оскільки довжини хвиль жорсткого X-променевого випромінювання подібні до розміру атомів, вони також використовуються для визначення кристалічних структур за допомогою X-променевої кристалографії . Навпаки, м'яке X-променеве випромінювання легко поглинається в повітрі; довжина ослаблення X-променевого випромінювання з енергією 600 еВ (~2 нм) у воді становить менше 1 мікрометра.



## 1.2. Технологія отримання та методи реєстрації

### 1.2.1. Генерування X-променів у рентгенівській трубці

Джерелом виникнення X-променів є внутрішня енергія атома. Атоми хімічних елементів складаються з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів, які рухаються навколо ядра на певній відстані – орбіталах. Одні ближче розташовані до ядра, а інші – далі. Особливими в цьому плані є атоми металічних хімічних елементів. В них на зовнішньому енергетичному рівні, як правило, знаходяться 1-3 електрони, які можуть легко відірватися від атома. Особливо, якщо провідник з цього металу під'єднати до джерела електричного струму і нагріти його. Це явище називається електронною емісією і зумовлює виникнення X-променів.

X-промені можуть генеруватися за допомогою рентгенівської трубки, вакуумної трубки, яка використовує високу напругу для прискорення електронів, вивільнених гарячим катодом, до високої швидкості. Високошвидкісні електрони стикаються з металевою мішенню, анодом, створюючи рентгенівське випромінювання. У медичних рентгенівських трубках мішенню зазвичай є вольфрам або більш стійкий до розтріскування сплав ренію (5%) і вольфраму (95%), але іноді молібден для більш спеціалізованих застосувань, наприклад, коли м'якше рентгенівське випромінювання необхідна як при мамографії. У кристалографії найбільш поширеною є мідна мішень, а кобальт часто використовують, коли флуоресценція від вмісту заліза в зразку може створити проблему. [7]

Рентгенівські трубки беруть початок з експериментальних трубок Крукса, за допомогою яких у 1895 році німецький фізик Вільгельм Конрад Рентген вперше відкрив рентгенівські промені. Перше покоління рентгенівських трубок з холодним катодом або трубок Крукса використовувалося до 1920-х років. Ці трубки працюють шляхом іонізації залишкового газу всередині трубки. Позитивні іони бомбардують катод трубки, щоб вивільнити електрони, які прискорюються до анода та створюють рентгенівське випромінювання, коли

вони стикаються з ним. Трубка Крукса була вдосконалена Вільямом Куліджем. Трубка Куліджа, яку також називають трубкою з гарячим катодом, використовує термоелектронну емісію, коли вольфрамовий катод нагрівається до достатньо високої температури, щоб випускати електрони, які потім прискорюються до анода в майже ідеальному вакуумі.

В будь-якій вакуумній трубці, є катод, який випускає електрони у вакуум, і анод, який збирає електрони, таким чином встановлюючи потік електричного струму, відомий як промінь, через трубку. Джерело живлення високої напруги, наприклад від 30 до 150 кіловольт (кВ), яке називається напругою лампи, підключається через катод і анод для прискорення електронів. Рентгенівський спектр залежить від матеріалу анода і прискорювальної напруги.

Рентгенівська трубка з відповідними компонентами, розміщеними у вакуумі, і генератор складають основу одержання X-променів. Основні компоненти рентгенівської трубки включають катод і анод, відокремлені на невеликій відстані один від одного, вакуумний кожух і кабелі високої напруги, що утворюють генератор рентгенівського випромінювання, приєднаний до компонентів катода й анода. Під час генерації X-променів нитка катода, оброблена в катодній чашці, активується, викликаючи інтенсивне нагрівання нитки катода. Нагрівання нитки призводить до вивільнення електронів у процесі, який називається термоелектронною емісією.

Коли електрони з високою кінетичною енергією нарешті досягають мішені анода, це ініціює процес генерування X-променів.

Вхідні електрони випромінюють X-промені, які сповільнюються, коли вони проходять поблизу ядра. Фотони цих променів, створені під час процесу, можуть коливатися в будь-якому діапазоні від майже нуля до енергії електронів. Вхідний електрон і атом також можуть зіткнутися в мішені, викликаючи вакансію в одній з електронних оболонок атома. Коли інший електрон заповнює цю вакансію, він випускає фотон, відомий як характеристичне рентгенівське випромінювання. [8]

Будь-яка вакуумна трубка, що працює на кілька тисяч вольт або більше, може створювати X-промені як небажаний побічний продукт, що зумовлює

проблеми з безпекою. Чим вища напруга, тим більш проникаюче випромінювання, що виникає, і тим більша небезпека. Дисплеї, які колись були поширені в кольорових телевізорах і комп'ютерах, працюють при напрузі 3-40 кіловольт залежно від розміру, що робить їх головною проблемою серед побутових приладів. Історично склалося так, що занепокоєння зосереджувалося не на електронно-променевої трубі, оскільки її товста скляна оболонка була просочена кількома фунтами свинцю для екранування.

### **1.2.2. Синхротронне випромінювання**

X-промені також можна отримати за допомогою синхротронного пристрою. Синхротрон прискорює електрони в кільці, керуючи ними за допомогою магнітів. Маніпулювання електронним променем за допомогою магнітів може створювати інтенсивне X-променеве випромінювання. Синхротронні установки зазвичай використовуються для дослідницьких цілей. Його унікальними особливостями є потужність X-променів на багато порядків більша, ніж у рентгенівських трубок, широкий спектр випромінювання, чудова колімація та лінійна поляризація.

Після того, як електронний промінь високої енергії генерується, він направляється на допоміжні компоненти, такі як згинальні магніти та вставні пристрої (ондулятори або віглери) в накопичувальних кільцях і лазери на вільних електронах. Вони постачають сильні магнітні поля, перпендикулярні пучку, необхідні для стимулювання електронів високої енергії до випромінювання фотонів.

Основні застосування синхротронного світла у фізиці конденсованих середовищ, матеріалознавстві, біології та медицині. Велика частина експериментів із використанням синхротронного світла передбачає дослідження структури матерії від субнанометрового рівня електронної структури до мікрометрового та міліметрового рівнів, важливих для медичної візуалізації.

Синхротронне X-променеве випромінювання можна використовувати для традиційної рентгенівської візуалізації, фазово-контрастної рентгенівської

візуалізації та томографії. Довжина хвилі X-променів дає змогу одержувати зображення за межі дифракції видимого світла, але практично найменша роздільна здатність, досягнута на сьогодні, становить близько 30 нм. Такі джерела нанозондів використовуються для скануючої просвічуючої рентгенівської мікроскопії. Зображення можна поєднати зі спектроскопією, такою як рентгенівська флуоресценція або рентгенівська абсорбційна спектроскопія, щоб відобразити хімічний склад або ступінь окиснення зразка з субмікронною роздільною здатністю. [9]

Переваги використання синхротронного випромінювання для спектроскопії та дифракції були усвідомлені постійно зростаючою науковою спільнотою, починаючи з 1960-х і 1970-х років. Спочатку прискорювачі створювалися для фізики елементарних частинок, а синхротронне випромінювання використовувалося в «паразитному режимі», коли випромінювання згинального магніту потрібно було вилучити шляхом свердління додаткових отворів у трубках пучка. Перше накопичувальне кільце, яке було введено в експлуатацію запрацювало в 1968 році.

Оскільки синхротронне випромінювання прискорювача стало більш інтенсивним, а його застосування більш перспективним, були створені пристрої, які підвищували інтенсивність синхротронного випромінювання в існуючих кільцях. Джерела синхротронного випромінювання третього покоління були задумані та оптимізовані з самого початку для отримання X-променів. Розглядаються джерела четвертого покоління, які включатимуть різні концепції для отримання імпульсних рентгенівських променів з часовою структурою для надзвичайно складних і, ймовірно, ще не задуманих експериментів.

Синхротронне світло є ідеальним інструментом для багатьох видів досліджень у матеріалознавстві, фізиці та хімії та використовується дослідниками з наукових, промислових та державних лабораторій. Кілька методів використовують переваги високої інтенсивності, регульованої довжини хвилі, колімації та поляризації синхротронного випромінювання на лініях променів, які призначені для конкретних видів експериментів. Висока

інтенсивність і проникаюча здатність синхротронного рентгенівського випромінювання дозволяє проводити експерименти всередині камер зразків, розроблених для певних середовищ. Зразки можна нагрівати, охолоджувати або піддавати дії газу, рідини чи високого тиску. Експерименти, які використовують ці середовища, називаються *in situ* і дозволяють охарактеризувати явища від атомів до наномасштабів, які є недоступними для більшості інших інструментів визначення характеристик. [10]

Звичайні рентгенівські трубки, на зразок тих, які побудував Рентген, створюють інтенсивні «характерні» рентгенівські лінії, але мають відносно слабе безперервне випромінювання. Навпаки, сучасні рентгенівські синхротронні джерела можуть виробляти інтенсивне X-променеве випромінювання з майже плоским спектральним розподілом у хімічно цікавому діапазоні енергій рентгенівського випромінювання. Загальний потік, доступний від синхротрона, перевищує потік звичайної рентгенівської трубки, можливо, на 6 порядків величини. Покращення, яке забезпечують синхротронні джерела, є ще більш вражаючим, якщо взяти до уваги щільність потоку (тобто кількість фотонів, які можна сфокусувати на маленькому зразку, такому як кристал). Тут синхротронні джерела перевершують звичайні джерела на 10 і більше порядків. Це величезне збільшення можливостей уможливило експерименти, про які десять років тому були лише мріями.

### **1.2.3. X-промені позаземного походження**

X-променеве випромінювання виникає щоразу, коли швидкі електрони сповільнюються, і не лише в рентгенівських трубках. Майже всі природні джерела X-променів є позаземними. (Ні, це не означає, що створене інопланетними створіннями з космосу. Це просто означає «за межами Землі».)

X-промені утворюються, коли сонячний вітер захоплюється магнітним полем Землі в радіаційних поясах. Чорні діри є важливими джерелами рентгенівського випромінювання у Всесвіті. Матерія, що падає в чорну діру, відчуває екстремальне прискорення, викликане інтенсивним полем чорної діри.

Одна ізольована частинка впала б, не виділяючи жодного випромінювання, але потік частинок, коли частинки закінчилися б, врізалися б одна в одну на шляху вниз по дірі. Кожне непружне зіткнення зарядженої частинки призведе до випромінювання фотона. Оскільки ці зіткнення відбуваються на великих швидкостях, енергії випромінюваних фотонів мають порядок енергії в рентгенівській області електромагнітного спектру. Непружні зіткнення при навіть вищих енергіях (більше мільйона електронвольт) породжують гамма-промені.

Деякі тіла Сонячної системи випромінюють X-промені, найближчим до нас з яких є Місяць, хоча більша частина рентгенівської яскравості Місяця виникає через відбиті сонячні X-промені. Вважається, що комбінація багатьох нероздільних джерел рентгенівського випромінювання створює спостережуваний рентгенівський фон.

Усі виявлені джерела X-променевого випромінювання на, навколо або поблизу Сонця, пов'язані з процесами в короні, яка є його зовнішньою атмосферою.

Континуум X-променів може виникати внаслідок гальмівного випромінювання, випромінювання чорного тіла, синхротронного випромінювання або того, що називається зворотним комптонівським розсіюванням фотонів нижчої енергії релятивістськими електронами, випадкових зіткнень швидких протонів з атомними електронами та рекомбінації атомів з або без додаткових електронних переходів.

Такі небесні тіла як комети також можуть утворювати X-промені. Сонячний вітер — швидкий рухомий потік частинок від Сонця — взаємодіє з ширшою хмарою атомів комети. Це змушує сонячний вітер світитися X-променями. Ця взаємодія, яка називається обміном зарядів, призводить до рентгенівського випромінювання більшості комет, коли вони проходять на близькій відстані від Сонця. [10]

Небесна сфера поділена на 88 сузір'їв. Сузір'я – це ділянки неба. Кожна з них містить різні джерела X-променів. За допомогою астрофізичного

моделювання деякі з них були ідентифіковані як галактики або чорні діри в центрах галактик. Деякі є пульсарами.

Щоб вловити X-промені, які до нас ідуть з космосу, потрібно бути за межами дії магнітного поля Землі, оскільки воно не пропускає це випромінювання. Для виявлення космічних X-променів, досліджують верхні шари атмосфери. Початок пошуку джерел рентгенівського випромінювання над земною атмосферою припав на 1948 рік. Перші рентгенівські промені Сонця зафіксував Т. Бернайт.

У 1960-х, 70-х, 80-х і 90-х роках чутливість детекторів значно зросла протягом 60 років рентгенівської астрономії. Крім того, надзвичайно розвинулася здатність фокусувати X-промені, що дозволяє отримувати високоякісні зображення багатьох захоплюючих небесних об'єктів. [10]

#### **1.2.4. Реєстрація випромінювання**

Детектори X-променевого випромінювання відрізняються за формою та функціями залежно від їх призначення. Детектори зображень, такі як ті, що використовуються для радіографії, спочатку базувалися на фотопластинках, а пізніше на фотоплівці, але зараз їх переважно замінили різні типи цифрових детекторів, наприклад пластини для зображення та детектори з плоскими панелями.

Для радіаційного захисту небезпеку прямого опромінення часто оцінюють за допомогою іонізаційних камер, тоді як дозиметри використовують для вимірювання дози опромінення, якої зазнала людина. Спектри X-променевого випромінювання можуть бути виміряні енергодисперсійним спектрометром або дисперсійним спектрометром довжини хвилі. Для виявлення дифракції X-променів у рентгенівській кристалографії, широко використовуються гібридні детектори з підрахунком фотонів.

Опромінюваний матеріал поглинає X-промені різною мірою залежно від того, чи це тканина, органи чи кістки. Екран позаду людини, яку опромінюють, потім різною мірою затемнюється рентгенівськими променями, що залишилися,

і на екрані можна чітко побачити, наприклад, кістки або штучний тазостегновий суглоб із металу.

Хоча основний принцип не змінився протягом більш ніж ста років простої рентгенівської діагностики, багато заходів значно покращили якість зображень і значно зменшили радіаційний вплив. [11]

Дуже великий прогрес у зниженні дози був досягнутий за допомогою так званих систем плівка-плівка. Рентгенівська плівка упакована між двома листами підсилювальної фольги. Вони перетворюють рентгенівське світло у видиме світло, що призводить до більшого почорніння рентгенівської плівки. Таким чином ви отримуєте менше радіації.

На наступному кроці використовувалися «пластини із зображеннями». Вони складаються з маленьких кристалів, які зберігають інтенсивність випромінювання. Після зчитування інформації з пластини зображення її можна використовувати знову; проявляти плівки більше не потрібно.

Цифровий рентген став стандартом. Тут X-промені вже не записуються на плівку, а реєструються за допомогою сцинтиляторів і з цифрових перетворюються на рентгенівське зображення. Ця технологія ще більше зменшує необхідне опромінення, забезпечує одразу доступність зображень і робить легкою цифрову обробку.

Після попадання X-променів на анод вони поширюється дивергентно від фокальної плями (точки попадання електронів на анод). Через вихідне вікно вони стикаються з рентгенівською плівкою (комбінація плівка-фольга), яка покрита емульсією світлочувливих кристалів аргентум броміду. Він розміщується у вигляді пластини під або позаду кожної частини тіла, яка піддається рентгенівському випромінюванню, і використовується, щоб зробити X-промені видимими. Крім того, рентгенівська плівка має підсилювальну плівку з люмінофору спереду та ззаду. Якщо їх тепер опромінити, вони випромінюють флуоресцентне світло. На це припадає 95% затемнення плівки. Справжні X-промені становлять лише 5% почорніння.



Цей підсилювальний екран забезпечує вищий контраст і може зберегти додаткові рентгенівські промені. Коли X-промінь потрапляє на плівку, створюється зображення, на якому електрон вивільняється з бромід-іона за допомогою енергії рентгенівського випромінювання та флуоресцентного світла (електронна фаза). Потім іони Аргентуму відновлюються до елементарного срібла шляхом поглинання цих електронів (іонна фаза). Це зображення називається латентним. Подальше відновлення срібла створює видиме зображення з прихованого зображення.

Чим щільніший і товщий об'єкт або чим вищий порядковий номер його атомів, тим більше рентгенівське випромінювання поглинається тілом. Це означає, що менше випромінювання «доходить» до рентгенівської плівки, і об'єкт виглядає яскравим на зображенні. Навпаки, X-промені лише незначно поглинаються тонкою або заповненою повітрям тканиною, і рентгенівська пластина стає ще більш темною, яка потім відображається як темний об'єкт на зображенні. Так виникає зображення.

Крім того, поглинання тканини залежить від використовуваного рентгенівського випромінювання. Якщо використовувалося більш жорстке (з більшою енергією) випромінювання, воно поглинається гірше, ніж м'яке. Зазвичай це небажано, оскільки призводить до погіршення контрасту щільності. Це використовується лише для рентгенівських знімків легенів, оскільки фотони все одно погано поглинаються легенями, і таким чином можна зменшити радіаційне опромінення.

Тканини подібної щільності візуалізуються за допомогою контрастної речовини. Контрастні речовини накопичуються в органі для зображення, що призводить до більшої різниці в щільності та більш чіткого зображення. Розрізняють рентгенопозитивні та рентгенонегативні контрастні речовини. Рентгенопозитивні контрастні речовини — це сполуки з високим порядковим номером, такі як сульфат барію або сполуки йоду. Вони спричиняють сильніше поглинання рентгенівських променів в органі, який знімається, ніж у навколишніх тканинах. Це збільшує контраст. Рентгенонегативні контрастні

речовини, такі як вуглекислий газ і повітря, спричиняють менше поглинання рентгенівських променів, ніж у навколишніх тканинах. Контрастні речовини широко використовуються у рентгенології тварин.

Коли фактичний рентгенівський процес завершено, проявна машина оцінює різні рівні затемнення на пластині та використовує їх для проявлення зображення. Потім пластину очищають, щоб її можна було використовувати знову. Однак для різних частин тіла використовуються різні пластини. Існує так звана комбінація 200, яка використовується для дослідження кісток, щоб мати можливість оцінити тонкі структури. Щоб записати щільні структури і зробити радіаційний вплив якомога нижчим, використовується 800 комбінацій. [11]

Рентгенографія на люмінофорних пластинах — це метод реєстрації Х-променевого випромінювання за допомогою фотостимульованої люмінесценції речовини, вперше розроблений у 1980-х роках. Замість звичайної фотопластинки використовується фотостимулююча люмінофорна. Після рентгенівського опромінення пластини збуджені електрони у люмінофорному матеріалі залишаються «вловленими» в «центрах забарвлення» в кристалічній решітці, доки їх не стимулює лазерний промінь, що пройде поверх поверхні пластини.

Світло, що виділяється під час лазерної стимуляції, збирається фотопомножувачем, а отриманий сигнал перетворюється на цифрове зображення за допомогою комп'ютерної технології. Пластину можна використовувати повторно, а наявне рентгенівське обладнання не вимагає жодних модифікацій для їх використання. Цей метод відомий як комп'ютерна рентгенографія.

Для виявлення Х-променевого випромінювання широко використовуються також Лічильники Гейгера. Однак ефективність виявлення Х-променів ними низька порівняно з альфа- та бета-частинками.

### 1.3. Застосування X-променевих досліджень у фізиці, хімії та біології

#### 1.3.1 X-променеві методи у фізичних дослідженнях

Фотони X-променів несуть достатньо енергії, щоб іонізувати атоми та розірвати молекулярні зв'язки. Це робить його різновидом іонізуючого випромінювання, а тому шкідливим для живої тканини. Дуже висока доза опромінення протягом короткого періоду часу викликає променеву хворобу, тоді як менші дози можуть спричинити підвищений ризик раку, спричиненого радіацією. У медичній візуалізації цей підвищений ризик раку, як правило, значно переважає переваги обстеження. Іонізуючу здатність X-променів можна використовувати в лікуванні раку для знищення злоякісних клітин за допомогою променевої терапії. Він також використовується для визначення характеристик матеріалу за допомогою X-променевої спектроскопії.

Жорстке X-променеве випромінювання може проходити через відносно товсті об'єкти без значного поглинання або розсіювання. З цієї причини X-промені широко використовуються для зображення внутрішньої сторони візуально непрозорих об'єктів. Найчастіше застосовуються в медичній радіографії та сканерах безпеки в аеропортах, але подібні методи також важливі в промисловості (наприклад, промислова радіографія та промислове КТ) і дослідженнях (наприклад, КТ дрібних тварин). Глибина проникнення змінюється на кілька порядків у X-променевому спектрі. Це дозволяє регулювати енергію фотона для застосування, щоб забезпечити достатню пропускну здатність через об'єкт і в той же час забезпечити хороший контраст зображення.

[12]

X-промені мають набагато коротшу довжину хвилі, ніж видиме світло, що дає змогу досліджувати структури, набагато менші, ніж можна побачити за допомогою звичайного мікроскопа. Ця властивість використовується в X-променевій мікроскопії для отримання зображень з високою роздільною здатністю, а також у X-променевій кристалографії для визначення положення атомів у кристалах.

X-променями можна маніпулювати як і променями видимого спектру. На цій властивості ґрунтуються такі методи дослідження як X-променева кристалографія, X-променева флуоресценція, мало кутове X-променеве розсіювання, X-променева мікроскопія, X-променеве фазово-контрастне зображення і X-променева астрономія.

Рентгенівський мікроскоп використовує електромагнітне випромінювання рентгенівського діапазону для отримання збільшених зображень об'єктів. Оскільки X-променеве випромінювання проникає через більшість об'єктів, немає необхідності спеціально готувати їх для рентгенівських мікроскопічних спостережень.

На відміну від видимого світла, X-промені не відбиваються або не заломлюються так легко і є невидимі для людського ока. Тому X-променеви́й мікроскоп експонує плівку або використовує детектор із зарядовим зв'язком для виявлення X-променевого випромінювання, яке проходить через зразок. Це технологія контрастного зображення, яка використовує різницю в поглинанні м'якого X-променевого випромінювання в області видимого вікна (довжини хвилі: 2,34–4,4 нм, енергії: 280–530 еВ) атомом Карбону (основним елементом, що входить до складу живої клітини) і атом Оксигену (елемент води).

Мікрофокусний рентген також забезпечує високе збільшення за допомогою проекції. Мікрофокусна рентгенівська трубка випромінює X-промені з надзвичайно маленької фокальної плями (від 5 мкм до 0,1 мкм). X-променеве випромінювання знаходиться в більш звичайному рентгенівському діапазоні (від 20 до 300 кеВ) і не перефокусується. [13]

Історія X-променевої мікроскопії сягає початку 20 століття. Після того, як у 1895 році німецький фізик Рентген відкрив X-промені, вчені незабаром висвітлили об'єкт за допомогою точкового джерела рентгенівського випромінювання та зафіксували зображення тіні об'єкта з роздільною здатністю кілька мікрометрів. У 1918 році Ейнштейн зазначив, що показник заломлення рентгенівських променів у більшості середовищ має бути лише трохи більшим

за 1, що означає, що заломлюючі оптичні частини буде важко використовувати для рентгенівських застосувань.

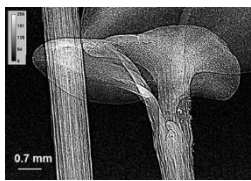


Рис. 2. Рентгенівське мікроскопічне зображення 10-денної рослини каноли. [14]

Джерела надзвичайно високої інтенсивності X-променевого випромінювання 9,25 кеВ для X-променевої фазово-контрастної мікроскопії з фокальної плями приблизно 10 мкм × 10 мкм можуть бути отримані за допомогою несинхротронного джерела X-променів, яке використовує сфокусований пучок електронів і рідкометалічний анод. Це було продемонстровано в 2003 році, а в 2017 році було використано для зображення мозку миші з розміром вокселя приблизно один кубічний мікромметр.

Оскільки застосування продовжує зростати, X-променева мікроскопія стала звичайною перевіреною технікою, яка використовується в науках про навколишнє середовище та ґрунти, гео- та космохімії, полімерних науках, біології, магнетизмі та матеріалознавстві. У зв'язку зі зростаючим попитом на рентгенівську мікроскопію в цих областях по всьому світу створюються мікроскопи на основі синхротронів, рідкометалевих анодів та інших лабораторних джерел світла. Рентгенівська оптика та компоненти також швидко комерціалізуються. [15]

X-променева рефракція заснована на ефекті заломлення електромагнітного випромінювання на границях розділу між областями різної щільності. Цей ефект дуже виражений, коли контраст показника заломлення (також не обов'язково контраст щільності) на поверхні розділу великий, наприклад між повітрям і речовиною. Він використовується в технічній оптиці для виробництва систем зображення для, наприклад, камер і мікроскопів. У характеристиках матеріалів і неруйнівному контролі він використовується для виявлення вільних поверхонь у вигляді пор або тріщин у матеріалі (або компоненті). На відміну від видимого

спектра, показник заломлення речовини  $n$  для X-променів менше 1 ( $n = 1 \cdot 10^{-5}$ ), що означає, що опуклі лінзи стають розсіювальними, а увігнуті - збиральними, а кути відхилення мають лише кілька кутових хвилин, що є дуже точним налаштуванням і температурною стабільністю вимірювального приладу.

Типовий вимірювальний апарат для рефракційних X-променевих досліджень складається з системи (лінійна обертання  $x$ ,  $y$ ,  $z$  і  $w$ ) і ПК, який контролює рух зразка та отримання вимірювань.

Промінь X-променевого випромінювання фокусується коліматорною системою на поперечний переріз пучка приблизно  $50 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$ . Маніпулятор зразків переміщує зразки в сітці в площині  $xu$  – перпендикулярно напрямку поширення променя. Два детектори X-променів використовуються для реєстрації властивостей пропускання та заломлення зразків залежно від місця розташування. За вимірним значенням визначають такі величини: лінійний коефіцієнт поглинання  $\times$  товщина зразка, значення заломлення  $\times$  товщина зразка.

X-промені з космосу поглинаються земною атмосферою, тому прилади для їх виявлення повинні бути доставлені на велику висоту за допомогою повітряних куль, ракет-зондерів і супутників. У рентгенівській астрономії використовується тип космічного телескопа, який може бачити X-промені, чого не можуть бачити стандартні оптичні телескопи

X-промені фіксують від астрономічних об'єктів, які містять надзвичайно гарячі гази з температурами від приблизно мільйона кельвінів до сотень мільйонів кельвінів. Крім того, збереження шару іонізованого газу високо в термосфері Землі також свідчить про потужне позаземне джерело X-променів.

Деякі тіла Сонячної системи також випромінюють X-промені, одним з яких є Місяць, хоча більша частина рентгенівської яскравості Місяця виникає через відбиті сонячні X-промені. Вважається, що комбінація багатьох нероздільних джерел X-променів створює спостережуваний рентгенівський фон. Континуум X-променевого випромінювання може виникати внаслідок гальмівного випромінювання, випромінювання чорного тіла, синхротронного випромінювання або того, що називається зворотним комптонівським

розсіюванням фотонів нижчої енергії релятивістськими електронами, випадкових зіткнень швидких протонів з атомними електронами та рекомбінації атомів з або без додаткових електронних переходів.

Кілька типів астрофізичних об'єктів випромінюють, флуоресціюють або відбивають X-промені від скупчень галактик, через чорні діри в активних галактичних ядрах до галактичних об'єктів, таких як залишки наднових, зірки та подвійні зірки, що містять білого карлика (катаклізмичні змінні зірки і надм'які джерела рентгенівського випромінювання), нейтронні зірки або чорні діри (подвійні рентгенівські системи).

Зазвичай вважається, що спостережна астрономія відбувається на поверхні Землі (або під нею в нейтринній астрономії). Ідея обмеження спостереження Землею включає рух навколо Землі. Як тільки спостерігач залишає затишні межі Землі, він стає дослідником глибокого космосу. Щоб супутник або космічний зонд кваліфікувався як рентгенівський астроном-дослідник глибокого космосу або «астрообот»-дослідник, усе, що йому потрібно мати на борту, — це рентгенівський детектор і залишити орбіту Землі.

На основі спостережуваного спектру X-променевого випромінювання в поєднанні з результатами спектрального випромінювання для інших діапазонів довжин хвиль можна побудувати астрономічну модель, яка розглядає ймовірне джерело випромінювання X-променів.

### **1.3.2 Дослідження хімічних речовин**

X-промені можуть взаємодіяти з речовиною трьома основними способами: через фотопоглинання, комптонівське розсіювання та релеївське розсіювання. Сила цих взаємодій залежить від енергії X-променевого випромінювання та елементного складу матеріалу, але не дуже залежить від хімічних властивостей, оскільки енергія X-променевого фотона набагато вища за енергію хімічного зв'язку. Фотопоглинання або фотоелектричне поглинання є домінуючим механізмом взаємодії в режимі м'якого X-променевого випромінювання та для

нижчих енергій жорсткого X-променевого випромінювання. При вищих енергіях домінує комптонівське розсіювання.

Комптонівське розсіювання, коли X-промені залишають лише незначну кількість своєї енергії в матеріалі мішені. Комптонівське розсіювання здебільшого ігнорувалося як життєздатний метод рентгенівської мікроскопії, оскільки воно потребує ще більшої енергії X-променів, де досі не існувало відповідних лінз з високою роздільною здатністю.

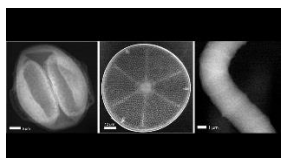


Рис. 3. Фото: DESY/CFEL

Зліва направо: пилкове зерно, діатомова водорість і ціанобактерія, усі зображені за допомогою мікроскопії X-променевого розсіювання Комптона. Ці мікрофотографії з роздільною здатністю до 70 нанометрів можна було зробити, не завдаючи шкоди вихідним зразкам, використовуючи високоенергетичні фотони, які були добре сфокусовані новими спеціальними лінзами. [16]

Пилкове зерно, яке демонструє нанопіну всередині, або діатомову водорість із чітко видимими окремими геометричними структурами всередині: використовуючи високоенергетичне X-променеве випромінювання від синхротронного джерела світла вдалося сфотографувати їх структур, не пошкоджуючи їх. Ця нова техніка створює рентгенівські зображення високої роздільної здатності висушеного біологічного матеріалу, який не був попередньо заморожений, не покритий або іншим чином змінений — і все це практично не пошкоджує зразок. Цей метод може створювати зображення матеріалу з нанометровою роздільною здатністю. Використовуючи високоенергетичні X-промені, які інтенсивно фокусується за допомогою набору нових дифракційних лінз, спеціальна техніка дозволяє виконувати зображення при менш ніж 1% порогу рентгенівського пошкодження зразка. [17]

X-променева кристалографія — це експериментальна наука, що визначає атомну та молекулярну структуру кристала, у якій кристалічна структура змушує пучок падаючих X-променів дифрагувати в багатьох певних напрямках. Для



цього дуже часто використовується монохроматичне X-променеве випромінювання, оскільки воно може бути генероване порівняно легко, як характеристичні X-промені рентгенівської трубки. [18, 19]

Кристалічна структура може бути розрахована за спостережуваною дифракційною картиною. Геометрія елементарної комірки кристалічної решітки може бути повністю виведена з кутів, під якими виникають дифракційні максимуми. За силою дифракційних максимумів розташування атомів в елементарній комірці можна розрахувати за допомогою різних математичних методів. Однак розрахунки, необхідні для цього, вже настільки складні для молекул середнього розміру, що їх неможливо виконати без комп'ютера.

Строго кажучи, аналіз кристалічної структури за допомогою X-променів визначає не положення атомів, а скоріше розподіл електронів в елементарній комірці, оскільки вони взаємодіють із випромінюванням. Таким чином, ви фактично отримуєте карту електронної густини, і в дуже точному аналізі кристалічної структури молекул з легкими атомами ви дійсно знаходите зв'язуючі електрони.

В ідеалі дифракція проводиться на монокристалі. Однак часто це неможливо, оскільки не завжди є достатньо великих монокристалів речовини. Сьогодні можна оцінити дифракційну картину кристалічних порошків як частину аналізу кристалічної структури (метод Рітвельда). Однак інформація втрачається через накладання дифракційних максимумів, тому результати, як правило, нижчої якості.

Оскільки багато речовин і органічних і неорганічних, можуть утворювати кристали, X-променева кристалографія стала фундаментом для розвитку різних галузей не тільки хімії, а й біології.

X-променева кристалографія привела до кращого розуміння хімічних зв'язків і нековалентних взаємодій. Початкові дослідження виявили типові радіуси атомів і підтвердили багато теоретичних моделей хімічного зв'язку, таких як тетраедричний зв'язок Карбону в структурі алмазу.

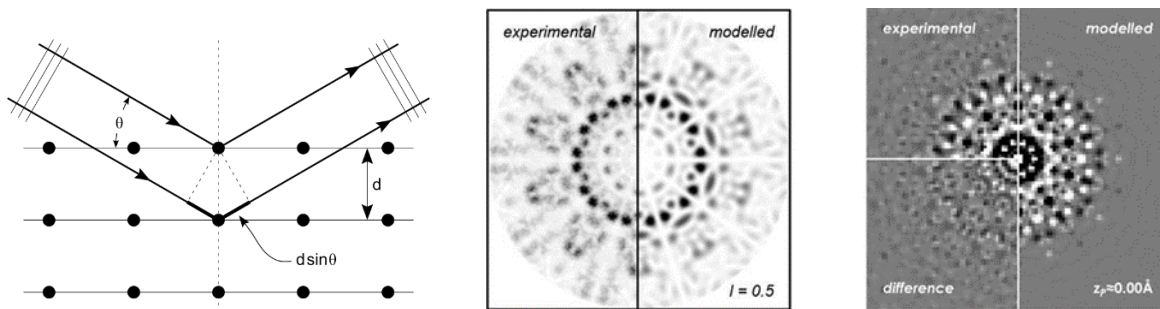


Рис. 4. Брегівська дифракція на кристалічній ґратці.

Подібні дифракційні картини можуть бути отримані шляхом розсіювання електронів або нейтронів. Зазвичай X-промені дифрагують не на атомних ядрах, а лише на оточуючих їх електронах.

Ці специфічні напрямки виглядають як плями на дифракційній картині, які називаються віддзеркаленнями. Таким чином, X-променева дифракція є результатом впливу електромагнітної хвилі (X-променів) на регулярний масив розсіювачів (повторюване розташування атомів у кристалі).

X-променева дифракція є формою пружного розсіювання в прямому напрямку; X-промені, що виходять, мають ту саму енергію, а отже, таку саму довжину хвилі, що й X-промені, які виходить, але зі зміненим напрямком. І навпаки, непружне розсіювання відбувається, коли енергія передається від вхідного рентгенівського випромінювання до електрона внутрішньої оболонки, збуджуючи його на вищий енергетичний рівень. Таке непружне розсіювання зменшує енергію (або збільшує довжину хвилі) пучка, що виходить. Непружне розсіювання корисно для дослідження такого збудження електронів, але не для визначення розподілу атомів у кристалі. [20]

Кристали — це регулярні масиви атомів, а X-промені можна вважати хвилями електромагнітного випромінювання. Атоми розсіюють рентгенівські хвилі, головним чином через електрони атомів. Подібно до того, як океанська хвиля, що вдаряється об маяк, створює вторинні кругові хвилі, що виходять від маяка, так X-проміння, що вдаряється об електрон, створює вторинні сферичні хвилі, що виходять від електрона. Це явище відоме як пружне розсіювання, а електрон (або маяк) відомий як розсіювач. Регулярний масив розсіювачів створює регулярний масив сферичних хвиль. Хоча ці хвилі гасять одна одну в

більшості напрямків через деструктивну інтерференцію, вони конструктивно додаються в кількох конкретних напрямках, визначених законом Брегга.

У матеріалознавстві багато складних неорганічних і металоорганічних систем були проаналізовані за допомогою монокристалічних методів, таких як фулерени, металопорфірини та інші складні сполуки.

X-променева дифракція є дуже потужним інструментом у розробці каталізатора. Вимірювання на місці проводяться регулярно для перевірки кристалічної структури матеріалів або для виявлення нових структур. Експерименти на місці дають повне розуміння структурної стабільності каталізаторів в умовах реакції.

Відстань між двома зв'язаними атомами є чутливою мірою міцності зв'язку та порядку зв'язку; таким чином, рентгенівські кристалографічні дослідження призвели до відкриття ще більше різноманітних типів зв'язків у неорганічній хімії, таких як подвійні зв'язки метал-метал, чотирикратні зв'язки метал-метал і трицентрові двоелектронні зв'язки. X-променева кристалографія — або, строго кажучи, експеримент непружного комптонівського розсіювання — також надала докази частково ковалентного характеру водневих зв'язків. У галузі металоорганічної хімії рентгенівська структура фероцену поклала початок науковим дослідженням сендвіч-з'єднань, тоді як структура солі Цайзе стимулювала дослідження «зворотного зв'язку» та комплексів метал-пі. Нарешті, рентгенівська кристалографія відіграла піонерську роль у розвитку супрамолекулярної хімії, зокрема в роз'ясненні структур краун-етерів і принципів хімії «господар-гість».

Відбивна здатність X-променів (іноді відома як X-променева дзеркальна відбивна здатність, X-променева рефлектометрія) — поверхнево-чутливий аналітичний метод, який використовується в хімії, фізиці та матеріалознавстві для характеристики поверхонь, тонких плівок і багатошаровості. Це форма рефлектометрії, заснована на використанні X-променів і пов'язана з методами нейтронної рефлектометрії та еліпсометрії.

Основний принцип відбивної здатності X-променів полягає у відображенні пучка X-променевого випромінювання від плоскої поверхні з подальшим вимірюванням інтенсивності, відбитого в дзеркальному напрямку (кут відбивання дорівнює куту падіння). Якщо межа поділу не є ідеально чіткою та гладкою, то інтенсивність відбитого світла буде відрізнятися від інтенсивності, передбаченої законом відбивної здатності Френеля. Потім відхилення можна проаналізувати для отримання профілю щільності межі розділу, нормального до поверхні.

X-променева абсорбційна спектроскопія використовується для вивчення координаційної структури атомів у матеріалах і молекулах. Енергія синхротронного променя налаштовується через край поглинання досліджуваної речовини, і вимірюються модуляції поглинання. Фотоелектронні переходи спричиняють модуляції біля краю поглинання, і аналіз цих модуляцій відкриває інформацію про хімічний стан і симетрію цього елемента. При енергіях падаючого променя, які значно перевищують межу поглинання, розсіювання фотоелектронів викликає «дзвінки» модуляції, які називаються тонкою структурою розширеного поглинання рентгенівського випромінювання. Перетворення Фур'є дає довжини зв'язків і число оточуючих поглинаючий атом; тому він корисний для вивчення рідин і аморфних матеріалів, а також розріджених видів, таких як домішки. Споріднена методика, рентгенівський магнітний круговий дихроїзм, використовує X-промені з круговою поляризацією для вимірювання магнітних властивостей елемента.

X-променева фотоелектронна спектроскопія може бути виконана на лініях променів, обладнаних фотоелектронним аналізатором. Вона зазвичай обмежується дослідженням кількох верхніх нанометрів матеріалу під вакуумом. Однак висока інтенсивність синхротронного світла дозволяє проводити вимірювання поверхонь за тиску газу, близького до навколишнього. X-променевою фотоелектронною спектроскопією навколишнього тиску можна використовувати для вимірювання хімічних явищ у імітованих каталітичних або рідинних умовах. Використання високоенергетичних фотонів дає

фотоелектрони з високою кінетичною енергією, які мають набагато довший непружний середній вільний пробіг, ніж ті, що генеруються на лабораторному приладі. Таким чином, глибину зондування синхротронного можна подовжити до кількох нанометрів, дозволяючи досліджувати приховані поверхні розділу.

Цей метод називається високоенергетичною X-променевою фотоемісійною спектроскопією. Крім того, регульована природа енергій фотонів синхротронного X-променевого випромінювання представляє широкий діапазон глибинної чутливості в порядку 2-50 нм. Це дозволяє досліджувати зразки на великих глибинах і проводити неруйнівні експерименти з визначенням профілю глибини.

Як і в інших фізичних методах останніх років, методи поглинання X-променів та дифракції в даний час розширюються, щоб включити часову область не тільки в макромолекулярні та полімерні дослідження, але й в інші галузі, що представляють безпосередній хімічний інтерес. Оскільки хімію називають наукою про молекулярні зміни, такі дослідження в часових масштабах від годин до наносекунд і менше є дуже актуальними та, як очікується, зроблять значний внесок у наше розуміння хімічних процесів на атомному рівні. Запланована конструкція рентгенівських лазерів на вільних електронах, що призведе до додаткового збільшення інтенсивності рентгенівського випромінювання на кілька порядків, підвищить потужність таких методів і зробить можливими експерименти, які ще не передбачалися. Зрозуміло, що важливість X-променів у хімії, швидше за все, зростатиме.

### **1.3.3 X-промені і біологічні об'єкти**

Історія X-променів у біологічних дослідженнях почалася майже одночасно з відкриттям Рентгена. Ця історія може бути унікальною завдяки видатній співпраці фізиків, хіміків, біологів і медиків — співпраці, яка зробила і продовжує робити значний внесок як у біологічну, так і в медичну науку. Ці внески включають використання рентгенівських променів для дослідження молекулярної структури та функцій, першу демонстрацію індукованого

мутагенезу, окреслення клітинного циклу, початок клонування *in vitro* та *in vivo* клітин ссавців, а також оригінальні дослідження відновлення ДНК.

І, звичайно, на першому місці рентгенологія, яка використовує X-промені для дослідження окремих органів і систем. X-промені вважаються основою рентгенології, бо на початку використовували лише їх. З часом на додаток до X-променів також почали використовувати інше іонізуюче випромінювання, таке як гамма-випромінювання або електрони.

Процедури візуалізації в діагностичній рентгенології, які використовувалися з 1895 року та були засновані як рентгенівська діагностика з 1904 року, включають проєкційну рентгенографію та процедури зображення поперечного перерізу: рентгенівську комп'ютерну томографію, сонографію та магнітну резонансна томографія. У всіх цих методах можна використовувати речовини, які полегшують представлення чи окреслення певних структур або надають інформацію про функцію системи. Ці речовини називають контрастними. Вибір процедури та рішення про використання контрастної речовини залежить від клінічного питання та оцінки ризику та користі.

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) також дає можливість краще виділити та розпізнати патологічні процеси.

Йодовмісні контрастні речовини для внутрішньовенного введення використовуються протягом багатьох років і зараз є невід'ємною частиною сучасної рентгенології. Структури, забарвлені йодовмісною контрастною речовиною, виглядають яскравими на рентгенівських або КТ-зображеннях через низьку радіопрозорість йоду. [18]

Контрастна речовина вводиться внутрішньовенно і потрапляє в кровотік і органи, перш ніж виводиться через нирки, роблячи сечоводи і сечовий міхур видимими. Це важливо для численних КТ-досліджень, оскільки багато патологічних змін характеризуються посиленням кровотоку і, таким чином, збільшенням поглинання контрастної речовини. Завдяки точному узгодженню часу початку, швидкості потоку (використовується шприц-машина) та інших технічних деталей можна виділити різні речі відповідно до потреби.

Під час рентгенографічних процедур (також відомих як «звичайне рентгенівське дослідження») ділянки тіла пацієнта опромінюються рентгенівськими променями в одному напрямку. З іншого боку, випромінювання реєструється відповідними матеріалами та перетворюється на зображення. Це показує тканини на шляху променя в проекції: кістки поглинають більше випромінювання, ніж м'які тканини, і тому відкидають тіні. Заповнені повітрям тканини, такі як легені, відносно проникні, тому за ними реєструється більш висока інтенсивність випромінювання. Оскільки різні структури зазвичай перекриваються на шляху променя, часто корисно зробити кілька зображень з різних напрямків проекції.

X-променева кристалографія біологічних молекул розпочалася з Дороті Кроуфут Ходжкін, яка дослідила структуру холестерину (1937), пеніциліну (1946) і вітаміну В12 (1956), за що вона була нагороджена Нобелівською премією з хімії в 1964 році. У 1969 році їй вдалося побудувати структуру інсуліну, над чим вона працювала понад тридцять років.

Кристалічні структури білків (які є нерегулярними та в сотні разів більшими за холестерин) почали досліджувати наприкінці 1950-х років, починаючи зі структури міоглобіну кашалота сером Джоном Каудері Кендрю, за що він розділив Нобелівську премію з хімії з Максом Перутцем у 1962 році.

X-променева кристалографія використовується регулярно, щоб визначити, як фармацевтичний препарат взаємодіє з білком-мішенню та які зміни можуть його покращити. Проте внутрішні мембранні білки залишаються складними для кристалізації, тому що вони потребують детергентів або інших денатурантів для їх розчинення в ізоляції, і такі детергенти часто перешкоджають кристалізації. Мембранні білки є великим компонентом геному і включають багато білків, які мають велике фізіологічне значення, таких як іонні канали та рецептори. Гелієва криогенність використовується для запобігання радіаційним пошкодженням білкових кристалів.

Незважаючи на те, що кристалографія білка є безцінним інструментом у структурній біології, вона має певні проблеми в своїй методології, які перешкоджають інтерпретації даних.

Кристалічна решітка, яка утворюється в процесі кристалізації, містить численні одиниці очищеного білка, які щільно і симетрично упаковані в кристалі. Під час пошуку раніше невідомого білка визначити його форму та межі кристалічної решітки може бути складно. Білки зазвичай складаються з менших субодиниць, і завдання розрізнити субодиниці та ідентифікувати справжній білок може бути складним завданням навіть для досвідчених кристалографів.

Білки, як правило, важко кристалізуватися, і без кристалів немає кристалографії. Підготовка матеріалу та модифікація білка за допомогою білкової інженерії, щоб він міг фактично кристалізуватися, є нетривіальною. Запобігання радіаційному пошкодженню іонізуючим рентгенівським випромінюванням вимагає кріоохолодження кристалів, і багато кристалів важко швидко охолодити. Рентгенівські дифрактограми не дають прямого зображення молекулярної структури. Електронна густина розсіюючої молекулярної структури повинна бути реконструйована за допомогою методів перетворення Фур'є.

X-променева кристалографія є найбільш часто використовуваним експериментальним методом визначення біомолекулярних структур. Він також регулярно використовується для вивчення взаємодії ліків з білками-мішенями. Однак нещодавнє дослідження, показує, що поточні програмні програми, які використовуються для візуалізації білкових структур за допомогою рентгенівської кристалографії, різко недооцінюють ступінь динаміки білка. Як наслідок, структурна гетерогенність білка не є реалістично представленою.

У галузі біологічних досліджень, поряд зі стандартними методами, сучасна фізика пропонує нові засоби. Методи X-променевої спектроскопії дозволяють досліджувати електронну структуру зайнятих і незайнятих станів досліджуваного атома та розрізняти ступінь окиснення, локальну геометрію та тип ліганду елементів, які зустрічаються в біологічному матеріалі. Прямий аналіз



за допомогою рентгенівської спектроскопії дозволяє уникнути багатьох етапів хімічної підготовки, які можуть змінити біологічні зразки. Отримана інформація дає нам уявлення про важливі біохімічні процеси в усіх фізіологічних умовах.

X-променева спектроскопія є потужним методом, що дозволяє зрозуміти хімічну та електронну структуру досліджуваних зразків. Починаючи з двадцятого сторіччя, він широко використовувався у багатьох галузях досліджень, а також як біологічні та медичні дослідження. Перевагами цієї методики є її елементарна специфічність і висока глибина проникнення X-променів, що дає можливість проводити на місці експерименти, які надають інформацію про зразок в навколишніх робочих умовах, тобто пряме спостереження видів на молекулярному рівні в низьких (біологічних) концентраціях без необхідності попереднього концентрування, екстракції чи кристалізації. [19, 20]

З цих причин X-променева спектроскопія була визнана цінним доповненням до класичних методів, що використовуються в біологічних науках, і багато вдосконалень було зроблено в експериментальній техніці, а також в аналізі та інтерпретації даних. Дослідження включають найпростіші системи, такі як окремі сполуки, а також більш складні та гетерогенні структури, такі як клітини та тканини.

X-променева спектроскопія також дає можливість стежити за біологічно значущими процесами в експериментах з роздільною здатністю в часі, включаючи ультрашвидку часову область.

Методи X-променевої спектроскопії — це специфічні для атома методи, які використовують збудження рентгенівських променів для збору інформації про електронну та геометричну структуру досліджуваної системи. X-промені в діапазоні від кількох до кількох десятків кеВ поглинаються речовиною в основному завдяки фотоелектричному ефекту. У цьому процесі фотон X-променів з достатньою енергією поглинається електроном на тісно зв'язаному рівні квантового ядра (такому як 1s, 2s або 2p) атома. Основний електрон переходить у вищий, незайнятий стан. [21]

Після події поглинання атом перебуває у збудженому стані, при цьому один із основних електронних рівнів залишається порожнім (дірка в серцевині). Під час розпаду цього проміжного збудженого стану дірка в ядрі заповнюється іншим електроном внутрішньої або валентної оболонки. Розпад від збудженого до кінцевого стану супроводжується випромінюванням рентгенівського фотона, енергія якого залежить від електронних рівнів, що беруть участь у процесі, або випромінюванням електрона Оже або електрона Костера-Кронінга.

Комп'ютерна томографія, що використовує проникаючу здатність рентгенівського випромінювання, з іншого боку, дозволяє отримати неінвазивне зображення великого поля зору, навіть для оптично непрозорих матеріалів, у діапазоні роздільної здатності, і зразок підготовка порівняно проста. Мікрокомп'ютерна томографія була вперше представлена для дослідницьких застосувань у 1982 році, коли Еліот зобразив внутрішню частину раковини равлика *Biomphalaria glabrata*.

Ці досягнення разом із нанокомп'ютерною томографією тепер дозволяють отримувати 3D-зображення від рівня організму аж до рівня органоїдів усередині клітини.

По суті, комп'ютерна томографія передбачає отримання багатьох (зазвичай понад 1000) рентгенівських проєкцій (цифрових рентгенограм) під різними кутами навколо зразка (зазвичай під кутом  $360^\circ$  або  $180^\circ$ ). Рентгенівські проєкції показують ослаблення X-променів, коли вони проходять через зразок. Дані потім реконструюються, утворюючи віртуальний 3D-об'єм відтінків сірого. Після реконструкції набору 3D-даних віртуальні зрізи (подібні до віртуальних гістологічних зрізів) можна витягти в будь-якій орієнтації та на будь-якій глибині для перегляду. Крім того, можна використовувати сегментацію (часто на основі порогових значень сірого) для розрізнення певних складових у 3D, що дозволяє кількісно визначити об'єм, наприклад зв'язність судинних мереж, пористість (взаємозв'язок, щільність і розподіл пор) у біоматеріалі або діаметр і розподіл клітин у тканині. [22]

Контрастність м'яких тканин покращується зі зменшенням енергії Х-променів, тому вибір оптимальної енергії має вирішальне значення для отримання хорошого співвідношення сигнал-шум.

Мічення наночастинками золота (від ~ 5 до 200 нм у діаметрі) є новою технікою для мічення живих клітин. Це дозволяє відстежувати терапевтичні клітини після того, як вони були введені *in vivo*, щоб побачити, чи мігрують вони до цільового місця в організмі та продовжують залишатися в ньому. Високий порядковий номер золота (79) означає, що наночастинки послаблюють рентгенівське випромінювання набагато більше, ніж м'які тканини, забезпечуючи хороший контраст зображення.

Кількісну оцінку також можна провести за допомогою денситометричних вимірювань, наприклад, шляхом порівняння ослаблення кістки з калібраним фантомом, щоб дати змогу кількісно визначити мінеральну щільність кісткової тканини при остеопорозі. [18]

Рентгенівські системи з низькою дозою також використовуються для моніторингу мічених морських тварин у дослідженнях навколишнього середовища.

Візуалізація матерії за допомогою Х-променів почалася в 1950-х роках і стала більш помітною приблизно через 20 років із появою високоякісних зональних пластин для фокусування. Таким чином, були розроблені рентгенівські мікроскопи з повним полем пропускання, які використовують м'яке рентгенівське випромінювання та використовують контраст поглинання. Приблизно в той же час були представлені скануючі просвічуючі рентгенівські мікроскопи із сфокусованими променями та додатковою опцією для енергодисперсійних детекторів для захоплення рентгенівської флуоресценції. Х-флуоресценцію можна легко поєднувати з іншими методами, оскільки сигнал випромінюється в усіх напрямках, тому детектор можна розмістити під будь-яким кутом щодо зразка.

Однак отримання зображень біологічних клітин за допомогою Х-променів залишається складним через склад самих клітин, які містять елементи з низьким

протонним числом, такі як Гідроген, Карбон, Оксиген або Нітроген. Електронна густина біологічних зразків є відносно низькою. Оскільки рентгенівське випромінювання взаємодіє з електронними хмарами атомів, контраст зростає зі збільшенням порядкового номера елемента.

Однак високий потік різко збільшує дозу зразка, і оскільки біологічна речовина є високочутливою до радіації, може бути спричинено серйозне радіаційне пошкодження. Пряме або непряме радіаційне пошкодження може мати різні наслідки для зразка: при прямому радіаційному пошкодженні структура молекул змінюється з можливістю втрати кристалічності до більш аморфної системи (наприклад, розрив хімічних зв'язків); при непрямому радіаційному пошкодженні, як правило, іонізація води утворює вільні радикали, які можуть розривати хімічні зв'язки або викликати окиснення. Це питання залишається найскладнішим у сучасній рентгенівській синхротронній візуалізації біологічної матерії.

X-промені мають низку переваг перед видимим світлом і електронами, наприклад велику глибину проникнення, що дозволяє досліджувати товсті об'єкти. Через малу довжину хвилі рентгенівського випромінювання межі роздільної здатності знаходяться в діапазоні нанометра для всіх представлених методів і все ще розширюються. Останні роки також чітко продемонстрували великий потенціал для комбінування кількох рентгенівських методів, послідовно або паралельно, або доповнюючи X-промені, наприклад, (флуоресцентною) мікроскопією у видимому світлі або електронною мікроскопією кореляційним способом.

Клітинні системи або біологічні тканини відрізняються тим, що неоднорідності всередині зразка зазвичай відіграють важливу роль для їх функціонування. Ієрархічні структури, такі як цитоскелет, ядро, кістка, деревина або зуби, кодуєть певні механічні та біологічні властивості, тому представляє великий інтерес для зображення та вивчення різних рівнів ієрархії. Ансамблеве усереднення, яке часто застосовується до біологічної матерії не фіксує такі

неоднорідності, і тому методи, які тут представлені, надають багато величезних можливостей для майбутніх відкриттів. [18]

Аналізуючи все вищесказане, приходимо до висновку, що X-променеві методи дослідження надзвичайно широко використовуються у всіх галузях науки і не тільки. Вони дозволяють побачити найменші живі організми і спостерігати за гігантськими космічними об'єктами, дослідити будову речовини і виявити патології органів. Ці методи справляються з такими завданнями, з якими інші не можуть. Тому необхідно поглибити і вдосконалити вивчення X-променів, особливо в шкільному курсі природничої освітньої галузі рівня стандарту. Тому виникла потреба у розробці системи уроків про X-промені, яка може бути використана при викладанні предметів природничого циклу і яка покращить набуття ключових компетентностей щодо X-променевого випромінювання.

## **РОЗДІЛ 2. Особливості методики викладання основних понять про X-промені**

### **2.1. Аналіз навчальних програм природничої освітньої галузі**

Для сучасного випускника школи прості формальні знання та вміння відтворювати вивчений матеріал стали вже неактуальними. На перше місце виходить розуміння самої суті фізичних процесів, а також уміння оцінити негативний вплив безвідповідального використання досягнень технічного прогресу. Під час вивчення фізики в школі учні повинні набути ключові компетентності, які допоможуть їм потім самовизначитись в сучасному суспільстві з можливістю подальшого розвитку. Розвинути логічне мислення, навчитися розв'язувати реальні проблеми та розуміти природні явища навколо себе. Це стане основою для подальшого розвитку наукового підходу та може бути корисним у багатьох професіях, включаючи інженерію, медицину, інформаційні технології.

Це основне завдання сучасної освіти реалізується в навчальній програмі, де подано перелік і зміст ключових компетентностей.

Аналіз діючих навчальних програм для загальноосвітніх навчальних закладів 7-9 класів з фізики, хімії та біології [23] показав, що ознайомлення учнів з X-променями передбачено тільки в курсі фізики в 9 класі під час вивчення розділу «Механічні та електромагнітні хвилі». Зокрема в темі «Залежність властивостей електромагнітних хвиль від частоти. Шкала електромагнітних хвиль». В курсі хімії та біології 7-9 клас це поняття не вивчається.

В підручнику Фізика 9 клас за редакцією Бар'яхтара В. Г. , Довгого С.О. [24] представлена шкала електромагнітних хвиль і описані умови виникнення рентгенівського випромінювання та галузі де його використовують. Також наголошено на руйнівній дії X-променів на живі організми. Описані загальні властивості електромагнітних хвиль загалом.

У підручнику Фізика 9 клас для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням авторів Засекіна Т. М. та Засекін Д. О. [25] аналогічно,

тільки ще згадано Івана Пулюя та Вільгельма Рентгена, які досліджували Х-промені і подано зображення рентгенівської трубки.

Аналіз діючих навчальних програм для закладів загальної середньої освіти з фізики, хімії та біології рівень стандарту для 10-11 класів [26, 27, 28] також показав мізерну увагу до Х-променів. Там про них можна згадати тільки в контексті розкриття інших тем. Наприклад, в 11 класі в курсі фізики тема «Електромагнітні коливання та хвилі», де, в тому числі, говориться і про Х-промені. [29, 30]

Більшу увагу приділено вивченню Х-променів в програмі фізика рівня «профільний» для 11 класу в розділі «Атомна та ядерна фізика». Там окремо винесені поняття «рентгенівські спектри» та пропонується ознайомити учнів з основами рентгеноструктурного аналізу. [31] При вивченні хімії і біології в 10-11 класах Х-промені згадуються вкрай рідко.

В підручнику Фізика 11 клас профільний рівень автора Засєкіна Т. М. в розділі «Квантова та ядерна фізика» цілий параграф присвячений рентгенівському випромінюванню. Описано історію відкриття, властивості Х-променів та їх застосування в різних галузях, пояснено принцип дії рентгенівської трубки, наголошено на високій проникній здатності цих променів. А також детально розглянуто рентгенівський спектр, звернено увагу на те, чому він називається характеристичним, бо кожен хімічний елемент має власний такий спектр, пояснено його природу. Розкрито поняття «рентгенографія». [31]

Така мала увага до вивчення Х-променів у природничій освітній галузі рівня стандарту загалом призводить до того, в учнів не формуються предметні компетентності з цього питання, або вони є досить низькими.

Логічний висновок з цього аналізу такий, що потрібно більшу увагу звернути на вчення про Х-промені в природничій освітній галузі. Зокрема, акцентувати на корпускулярно-хвильовій природі цього випромінювання, його використання для дослідження властивостей різних речовин, хімічного зв'язку та вплив на живі організми. Це можна реалізувати, створивши систему уроків на

тему «Х-промені», яку можна впровадити в курс фізики, хімії чи біології (рівень стандарту) у будь який клас, відповідно її адаптувавши. Уроки цієї системи глибше розкриють окремі питання щодо рентгенівського випромінювання, що допоможе побудувати цілісну картину важливості Х-променів.

Систему уроків можна змінювати чи доповнювати з урахуванням вікових і інтелектуальних можливостей учнів. Кожний урок в цій системі є самодостатнім і може бути використаний як окремий компонент, не пов'язаний з іншими. Використання всієї системи допоможе сформувати в учнів глибокі і ґрунтовні знання з теми Х-промені.

## **2.2. Методичні рекомендації щодо вивчення Х-променів у природничій освітній галузі**

Підбираючи навчальний матеріал для пояснення теми «Х-промені» в різних класах, необхідно враховувати те, що навчальний предмет не є проекцією науки на процес навчання в школі. Науковий матеріал потребує дидактичної обробки для впровадження в навчальний процес з метою формування ключових компетентностей. Слід враховувати, що змістовий елемент природничих наук як навчальних предметів має відображати систему знань із цих наук. Наукові поняття, факти, закони та їх докази повинні бути включені до навчальних предметів і саме до цієї теми.

При цьому слід враховувати, що основною ідеєю фізики, як науки, так і шкільного предмета, є єдність речовини і поля - двох видів матерії, які не тотожні один одному і можуть взаємодіяти один з одним. Ця єдність проявляється в різних фізичних теоріях і допомагає формувати науковий світогляд.

У сучасній освіті навчальний матеріал будується навколо теорії, адже в науці теорія є не лише основною формою пізнання, а й методом пізнання навколишнього світу. Тому, щоб сформувати в учнів певні компетенції пояснення та прогнозування природних явищ, цілісного уявлення про наукову картину світу, новий навчальний матеріал має формуватися саме навколо теорії.



При виборі навчального матеріалу для пояснення нової теми слід враховувати рівень знань і розуміння учнів, рівень їх підготовки з даного питання.

Вікові особливості учнів також є важливі при відборі навчального матеріалу. Від них залежить розуміння і сприйняття теорії, усвідомлення фізичних і хімічних явищ, абстрактне мислення, а також знання математичного апарату для пояснення певних законів. [32]

В програму курсу фізики цю систему уроків можна ввести в 11 класі в розділ «Електромагнітні коливання і хвилі» або в розділ «Атомна і ядерна фізика», так як це передбачено на профільному рівня. Перед вивчення теми варто повторити про термоелектронну емісію та будову атома хімічних елементів.

Почати варто з електромагнітних хвиль, оскільки учні вже мають уявлення про явище виникнення електромагнітного випромінювання на прикладі радіохвиль. Звернути увагу, що під час руху електрона від катода до анода в рентгенівській трубці навколо нього виникає магнітне поле, яке після гальмування електрона на аноді зникає. Натомість утворюється електричне поле, яке поширюється в середовищі трубки. І ця електромагнітна хвиля, яка утворюється і являє собою X-промені. Розглянути процес вибивання електронів із внутрішніх орбіталей атома.

Варто детальніше розглянути хвильову та корпускулярну природу X-променів та умови коли той чи інший вид проявляється: дифракція та інтерференція, фотоэффект та взаємодія з речовиною.

Особливу увагу слід приділити історії відкриття X-променів, оскільки це питання пов'язане з ім'ям вченого українського походження. Наголосити, що іноземні джерела інформації применшують важливість досліджень Івана Пулюя, але саме його роботи мають велику практичну цінність.

Для кращого розуміння генерації X-променів варто ознайомитися з будовою і принципом роботи рентгенівської трубки. Демонструвати її дію не можна через негативний вплив іонізуючого випромінювання і її використання заборонене в шкільному кабінеті фізики.

В програму курсу біології цю систему доцільно ввести у розділ «Застосування результатів біологічних досліджень у селекції, медицині та біотехнології» в 11 класі. Ширшу увагу слід приділити питанню впливу Х-променів на різні біологічні об'єкти, розглянути і позитивну сторону і негативну. Також більше розкрити використання Х-променів для лікування та діагностики.

Наголосити, що Х-промені є різновидом іонізуючого випромінювання — під час взаємодії з речовиною воно має достатню енергію, щоб змусити нейтральні атоми викидати електрони. Завдяки цьому процесу іонізації енергія Х-променів осідає в речовині. Проходячи через живі тканини, рентгенівські промені можуть викликати шкідливі біохімічні зміни в генах, хромосомах та інших компонентах клітини. Біологічні ефекти іонізуючого випромінювання, які є складними і сильно залежать від тривалості та інтенсивності опромінення, все ще активно вивчаються.

В програмі курсу хімії ці уроки можна провести в 11 класі під час вивчення розділу «Хімічний зв'язок і будова речовини». Розкрити важливість Х-променевого методу дослідження в усіх галузях хімії: неорганічній, органічній, аналітичній. Більшу увагу приділити таким методам Х-променевого дослідження як Х-променева кристалографія, рефлектометрія, абсорбційна спектроскопія Х-променева фотоелектронна спектроскопія. Ознайомити з речовинами, будову і якісний та кількісний склад яких було розкрито з допомогою Х-променів та історією їх відкриття.

### РОЗДІЛ 3. Розробка системи уроків з метою вдосконалення ключових компетентностей щодо X-променів

#### 3.1. Конспект уроку «X-промені – електромагнітне випромінювання»

##### Урок 1

Тема: **X-промені – електромагнітне випромінювання**

Мета: формувати ключові компетентності (уміння пояснювати природні явища і технологічні процеси; оцінювати значення фізики для сталого розвитку; використовувати іншомовні джерела для отримання необхідної інформації; вибирати важливу і необхідну інформацію; ефективно працювати в команді; застосовувати отримані знання для збереження здоров'я; ефективно організувати свою діяльність).

Обладнання: комп'ютер, проектор, презентація.

Прийом критичного мислення «ЗаХід»

Хід уроку

I. Організаційний етап

II. Актуалізація і корекція. Мотивація навчальної діяльності.

Кожен з вас не раз бачив такі зображення. Що їх поєднує ?



Рис. 5. Рентгенівські знімки

III. Повідомлення теми і мети уроку.

На сьогоднішньому уроці ми поговоримо про один з видів електромагнітного випромінювання, а саме про X-промені.

(Працюємо з прийомом критичного мислення «ЗаХід»)

В процесі уроку потрібно в парах заповнити таблицю:

Що я Знаю?	Про що я хочу Дізнатися	Про що я Дізнався?

Перші дві колонки заповнюють перед вивченням нового матеріалу, а третю – після. Доповнювати дану таблицю потрібно і на наступних уроках теми «Х-промені» і на підсумковому уроці використати її як складову тематичного оцінювання.

IV. Вивчення нового матеріалу. Робота з роздатковим матеріалом та іншими джерелами інформації.

План

1. Електромагнітне випромінювання.
2. Дуалізм частинок і хвиль.
3. Х-промені.
4. Генерування Х-променів.
5. Властивості Х-променів.

Корисні посилання для здобувачів освіти:



Здобувачі освіти самостійно знаходять потрібний матеріал, або можна запропонувати вже готовий.

### **1. Електромагнітне випромінювання**

Електромагнітна хвиля або електромагнітне випромінювання — це хвиля, що складається із взаємо перпендикулярних електричного та магнітного полів, які утворюють електромагнітне поле. Вільні електромагнітні хвилі в середовищі є поперечними хвилями і тому демонструють явище поляризації. Їх вектори

електричного і магнітного полів перпендикулярні один до одного і до напрямку поширення. Уздовж напрямку поширення хвилі плавно змінюється напруженість ( $E$ ) та магнітна індукція ( $B$ ) електромагнітного поля.

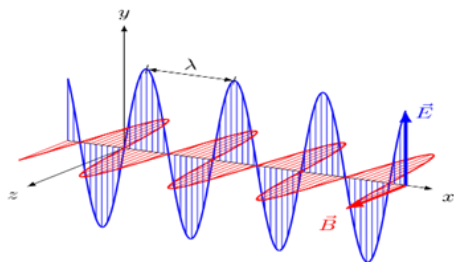


Рис. 6. Електричне та магнітне поле електромагнітних хвиль.

Електромагнітні хвилі можуть випромінювати заряджені частинки, які рухаються з прискоренням, атоми, молекули, ядра атомів та антени. Будь яке електромагнітне випромінювання являє собою потік фотонів, який можна вважати безперервним процесом лише за наявності великої їх кількості.

З фізичної точки зору електромагнітні хвилі – це поширення в просторі коливань електромагнітного поля.

Прикладами електромагнітних хвиль є радіохвилі, інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове випромінювання, рентгенівські та гамма-промені (частота зростає на 20 порядків). Взаємодія електромагнітних хвиль з речовиною залежить від їх частоти.

Електромагнітні хвилі класифікуються за їх частотою, а отже й довжиною в електромагнітному спектрі.

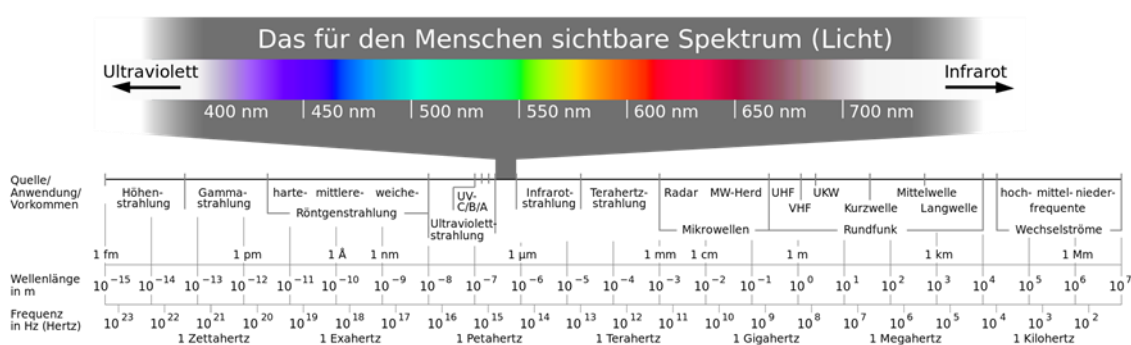


Рис. 7. Спектр електромагнітного випромінювання.

На відміну від звукових хвиль, електромагнітні хвилі не потребують пружного середовища для поширення. Тому вони можуть поширюватися на

великі відстані в просторі. Ці хвилі рухаються у вакуумі найкраще, зі швидкістю світла незалежно від їх частоти ( $3 \cdot 10^8$  м/с). Однак електромагнітні хвилі також можуть поширюватися у речовині (газі або рідині), в цьому випадку їх швидкість зменшується і залежить від показника заломлення, частота залишається незмінною.

Приймачі електромагнітного випромінювання називаються сенсорами або детекторами, а у живих істот — фоторецепторами.

## **2. Дуалізм частинок і хвиль**

Корпускулярно-хвильовий дуалізм — гіпотеза, запропонована французьким фізиком Луї де Бройлем, згідно з якою об'єктам слід приписувати властивості класичних хвиль, а також властивості класичних частинок. Класичні хвилі розповсюджуються в просторі. Вони послаблюють або підсилюють одна одну, накладаючись, і можуть існувати в різних місцях одночасно та мати різний вплив. Класична частинка може бути присутня тільки в певному місці в певний час. Здається, що ці дві властивості є взаємовиключними. Проте кілька ключових експериментів показали існування обох властивостей для різних квантових об'єктів, дозволяючи кожному тілу приписати властивості хвилі.

Електромагнітне випромінювання має хвильові властивості, а також властивості, характерні для частинки (корпускули), бо воно випромінюється і поглинається порціями — квантами з дискретним значенням енергії. Кванти електромагнітного випромінювання називаються фотонами

Приклади дослідів в яких проявляється хвильовий характер електромагнітного випромінювання: такі явища, як когерентність і інтерференція, можна пояснити лише за допомогою хвильової моделі, оскільки для цього потрібна фаза хвилі.

Приклади ефектів, у яких електромагнітне випромінювання поводить себе як потік частинок.

У ефекті Комптона електромагнітна хвиля потрапляє на електрон з одного напрямку, а потім поширюється в іншому напрямку та з іншою довжиною. При

кожному куті відхилення зміна довжини хвилі точно відповідає втраті енергії, яку зазнає фотон вхідної хвилі, коли він стикнувся з електроном, як пружне тіло.

Щоб описати цю взаємодію, необхідно використовувати природу електромагнітних хвиль як потоку частинок. Будь-яка спроба пояснити спостережувану зміну довжини хвилі хвильовою моделлю не вдається.

При фотоефекті кінетична енергія вибитих електронів не залежить від амплітуди випромінювання, а лінійно зростає з частотою. Це можна пояснити лише природою частинок.

Фотони з достатньою енергією (кілька електронвольт і більше) чинять іонізуючу дію на речовину, якщо їх енергія перевищує енергію електронного зв'язку. Вони можуть викликати хімічні (фотохімічні) ефекти, які також називають активністю.

### **3. X-промені**

X-промені або рентгенівське випромінювання — це один з видів електромагнітних хвиль. Довжина хвиль X-променів коротша за хвилі ультрафіолетових променів і довша за хвилі гамма-променів. Загальноприйнятого, чіткого визначення меж X-променевого діапазону не існує, часто він перекривається з діапазоном гама-променів. Загалом, X-промені мають довжину хвилі від 10 нанометрів до 10 пікометрів ( $10^{-9} - 10^{-11}$  м), що відповідає частотам у діапазоні від 30 петагерц до 30 екзагерц ( $10^{16}$  Гц –  $10^{19}$  Гц) та енергії в діапазоні від 100 еВ до 100 000 еВ відповідно.

X-промені відрізняється від гамма-випромінювання способом утворення: гамма-випромінювання - це фотони, які виникають в результаті ядерних реакцій або радіоактивного розпаду, тоді як рентгенівське випромінювання виникає внаслідок зміни швидкості заряджених частинок (швидкого гальмування електронів), переходів електронів між оболонками в атомі.

Рентгенівські промені були відкриті 1895 року Вільгельмом Конрадом Рентгеном у Вюрцбурзі та названі на його честь у німецькомовних країнах і майже у всій Центральній та Східній Європі. В інших країнах їх часто називають терміном X-промені, який спочатку використовував сам Рентген. Рентгенівські

промені є іонізуючим випромінюванням, тому, працюючи з X-променями, слід бути дуже уважними і обережними.

X-промені з високою енергією фотонів вище 5–10 кеВ (довжина хвилі нижче 0,2–0,1 нм) називається жорстким X-променевим випромінюванням, тоді як випромінювання з меншою енергією (і більшою довжиною хвилі) називається м'яким X-променевим випромінюванням.

Завдяки своїй проникаючій здатності жорстке X-променеве випромінювання широко використовується для зображення внутрішньої частини предметів (наприклад, у медицині та службах безпеки в аеропортах).

Спектр випромінювання в рентгенівських трубках є суперпозицією безперервного спектра з дискретним спектром. Положення максимуму інтенсивності залежить від робочої напруги лампи. Фотони рентгенівських трубок мають енергію приблизно від 1 кеВ до 250 кеВ, що відповідає частоті приблизно від  $0,25 \cdot 10^{18}$  Гц до  $60 \cdot 10^{18}$  Гц. Немає єдиного визначення граничної довжини хвилі в короткохвильовому діапазоні. Однак існують технічні обмеження для генерації X-променевого випромінювання з коротшою довжиною хвилі.

#### **4. Одержання X-променів**

Джерелом виникнення X-променів є внутрішня енергія атома. Атоми хімічних елементів складаються з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів, які рухаються навколо ядра на певній відстані – орбіталах. Одні ближче розташовані до ядра, а інші – далше. Особливими в цьому плані є атоми металічних елементів. В них на зовнішньому енергетичному рівні, як правило, знаходяться 1-3 електрони, які можуть легко відриватися від атома. Особливо, якщо провідник з цього металу під'єднати до джерела електричного струму і нагріти його. Це явище називається електронною емісією і зумовлює виникнення X-променів.

X-промені можуть генеруватися за допомогою рентгенівської трубки – вакуумної трубки, яка використовує високу напругу для прискорення електронів, вивільнених гарячим катодом, до високої швидкості. Високошвидкісні



електрони стикаються з металевою мішенню, анодом, створюючи X-променеве випромінювання. У медичних рентгенівських трубках анодом зазвичай є вольфрам або більш стійкий до розтріскування сплав ренію (5%) і вольфраму (95%), але іноді – молібден, для більш спеціалізованих застосувань, наприклад, коли необхідне м'якше X-променеве випромінювання як при мамографії. У кристалографії найбільш поширеним є мідний анод, а кобальт часто використовують, коли флуоресценція від вмісту заліза в зразку може створити проблему.

В будь-якій вакуумній трубці, є катод, який випускає електрони у вакуум, і анод, який збирає електрони, таким чином встановлюючи потік електричного струму, відомий як промінь, через трубку. Джерело живлення високої напруги, наприклад від 30 до 150 кіловольт (кВ), яке називається напругою лампи, підключається через катод і анод для прискорення електронів. X-променевий спектр залежить від матеріалу анода і величини напруги.

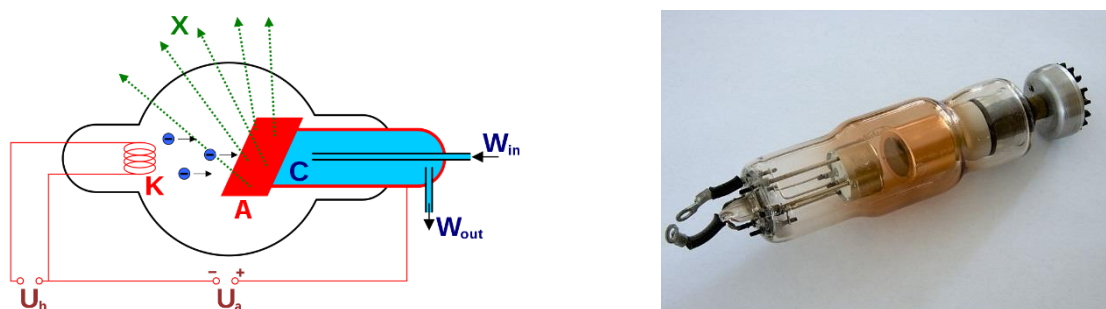


Рис. 8. Принцип роботи та сучасна рентгенівська трубка. X – X-промені, K – катод, A – анод, C - охолоджувач,  $U_h$  - напруга катода,  $U_a$  – напруга лампи,  $W_{in}$  – струмінь води для охолодження,  $W_{out}$  – вихід нагрітої води.

Рентгенівська трубка з відповідними компонентами, розміщеними у вакуумі, і генератор складають основу для одержання X-променів. Основні компоненти рентгенівської трубки включають катод і анод, відокремлені на невеликій відстані один від одного, вакуумний кожух і кабелі високої напруги, що утворюють генератор X-променевого випромінювання, приєднаний до компонентів катода й анода. Під час генерації X-променів нитка катода, оброблена в катодній чашці, активується, викликаючи інтенсивне нагрівання.

Нагрівання нитки призводить до вивільнення електронів. Цей процес називається термоелектронною емісією.

Коли електрони з високою кінетичною енергією нарешті досягають анода, це ініціює процес утворення X-променів.

X-промені також можна генерувати за допомогою синхротронного пристрою. Синхротрон прискорює електрони в кільці, керуючи ними за допомогою магнітів. Маніпулювання електронним променем за допомогою магнітів може створювати інтенсивні X-промені. Синхротронні установки зазвичай використовуються для дослідницьких цілей. Її унікальними особливостями є потужність X-променів на багато порядків більша, ніж у рентгенівських трубок, широкий спектр випромінювання, чудова колімація та лінійна поляризація.

Після того, як електронний промінь високої енергії генерується, він направляється на допоміжні компоненти, такі як згинальні магніти та вставні пристрої (ондулятори або віглери) в накопичувальних кільцях і лазери на вільних електронах. Вони генерують сильне магнітне поле, перпендикулярне пучку, необхідне для стимулювання електронів високої енергії до випромінювання фотонів.

Синхротронне випромінювання є ідеальним інструментом для багатьох видів досліджень у матеріалознавстві, фізиці і хімії та використовується дослідниками з наукових та промислових лабораторій.

Деякі тіла Сонячної системи також випромінюють X-промені. Найближчим до нас з яких є Місяць, хоча більша частина рентгенівської яскравості Місяця виникає через відбиті сонячні X-промені. Вважається, що комбінація багатьох нероздільних джерел X-променевого випромінювання створює спостережуваний рентгенівський фон космосу. Усі виявлені джерела рентгенівського випромінювання на, навколо або поблизу Сонця, пов'язані з процесами в короні, яка є його зовнішньою атмосферою.

## 5. Властивості X-променів

X-променеве випромінювання майже не відбивається при падінні. Тим не менш, в X-променевої оптиці були знайдені способи розробки оптичних компонентів для X-променів.

X-промені можуть проникати через речовину. Відповідно до закону Ламберта-Бера, інтенсивність X-променевого випромінювання зростає з довжиною шляху, пройденого в речовині.

Поглинання відбувається через фотопоглинання, комптонівське розсіювання та, за високих енергій фотонів, утворення пар.

Під час фотопоглинання фотон вибиває електрон з електронної оболонки атома. Залежно від електронної оболонки для цього потрібна певна мінімальна енергія. Імовірність цього процесу як функція енергії фотона різко зростає до високого значення, коли досягається мінімальна енергія (край поглинання), а потім безперервно зменшується при вищих енергіях фотона до наступного краю поглинання. «Дірка» в електронній оболонці заповнюється електроном з вищої оболонки. Це створює низькоенергетичне флуоресцентне випромінювання.

Окрім міцно зв'язаних електронів, як і при фотопоглинанні, фотон X-променів може також розсіюватися незв'язаними або слабозв'язаними електронами. Цей процес називається комптонівським розсіюванням. Внаслідок розсіювання фотони набувають збільшення своєї довжини хвилі на фіксовану величину, залежно від кута розсіювання, і, таким чином, втрачають енергію. По відношенню до фотопоглинання комптонівське розсіювання виходить на перший план лише при високих енергіях фотонів і особливо з легкими атомами.

Фотопоглинання та комптонівське розсіювання є непружними процесами, під час яких фотон втрачає енергію та зрештою поглинається. Крім того, можливе також пружне розсіювання (томсонівське розсіювання, релеївське розсіювання). Розсіяний фотон залишається когерентним з падаючим фотоном і зберігає свою енергію.

X-промені мають іонізуючі властивості. Вони можуть викликати зміни в живому організмі та завдати шкоди, наприклад спричинити опік чи призвести до

утворення ракової пухлини. Тому при роботі з X-променями необхідно дотримуватися радіаційного захисту. На початку використання X-променів це ще не було відомо, тому багато лікарів і дослідників захворіли або померли.

Люмінесцентний ефект. X-промені стимулюють певні речовини до випромінювання світла («флуоресценції»). Цей ефект також використовується для створення радіологічних зображень. Медичні рентгенівські плівки зазвичай містять флуоресцентну речовину, яка випромінює світло, коли рентгенівський фотон потрапляє на неї та оголює навколишню світлочутливу фотоемульсію.

Фотографічний ефект. X-промені, як і світло, можуть безпосередньо чорнити фотоплівку. Перевага полягає в більшій чіткості знятого зображення.

Окремі фотони X-променів реєструються за допомогою сцинтиляційних лічильників або лічильників Гейгера.

#### V. Узагальнення і систематизація.

Дослідження у віртуальній лабораторії Phet (радіохвилі і електромагнітні поля, фотоэффект), перегляд відео.



Здобувачі освіти заповнюють таблицю. Частина матеріалу, яку не встигли опрацювати на уроці, залишається на домашнє завдання.

#### VI. Підсумки уроку. Рефлексія.

Скласти сенкан на тему X-промені.

Випромінювання –

Проникаюче, невидиме,

Просвічує, дифрагує, розсіюється.

Допомагає виявити приховані речі –

X-промені.

## 3.2. Конспект уроку «Рентгенівські промені чи Пулюївські?»

### Урок 2

Тема: **Рентгенівські промені чи Пулюївські**

Мета: формувати ключові компетентності (уміння пояснювати природні явища і технологічні процеси; оцінювати значення фізики для сталого розвитку; використовувати іншомовні джерела для отримання необхідної інформації; вибирати важливу інформацію; ефективно працювати в команді; застосовувати отримані знання для збереження здоров'я; дотримуватись правил безпеки в мережі Інтернет).

Обладнання: комп'ютери з доступом до мережі Інтернет, проектор.

Метод короткострокових проєктів

### Хід уроку

I. Організаційний етап

II. Актуалізація і корекція опорних знань. Мотивація навчальної діяльності.

Перегляд відео:

[https://www.youtube.com/watch?v=hTz\\_rGP4v9Y](https://www.youtube.com/watch?v=hTz_rGP4v9Y)

III. Повідомлення теми і мети уроку. Формулювання проблеми уроку, яку мають дослідити учні.

На попередньому уроці ми познайомилися із одним з видів електромагнітного випромінювання, а саме з X-променями.

Сьогодні на уроці ми повинні, дослідивши різні інформаційні джерела, встановити, кому ж належить пальма першості у відкритті X-променів.

IV. Робота над короткостроковими проєктами (повідомлення, підготовка презентації, підготовка буклетів)

Перша група досліджує наукову діяльність Івана Пулюя.

На допомогу здобувачам освіти:

✓ <https://www.youtube.com/watch?v=AxeAeGIKc2E>



#### Очікувані результати:

Іван Пулюй народився в релігійній греко-католицькій родині на Тернопільщині. З 1857 по 1865 рік він навчався у Тернопільській класичній гімназії в Галичині, тодішній землі Австро-Угорської імперії. У гімназії всі предмети викладалися німецькою мовою. З 1865 по 1869 рік Пулюй навчався на теологічному факультеті Віденського університету, а потім з 1869 по 1872 рік вивчав математику, фізику та астрономію на філософському факультеті цього університету.

Наукова школа Кундта, в якій Пулюй закінчив аспірантуру, випустила кількох відомих фізиків, у тому числі Ніколу Тесла та Фердинанда Брауна. Через останнього Пулюй познайомився з Вільгельмом Конрадом Рентгеном. Він вів з ним наукову переписку, ділився своїми напрацюваннями, зокрема і про дослідження катодних променів в газорозрядних трубках низького тиску власної конструкції.

До свого призначення професором у Празі в 1884 році Пулюй цікавився механічною теорією тепла, молекулярною фізикою та катодним випромінюванням.

Між 1880 і 1882 роками Іван Пулюй опублікував чотири статті про катодне випромінювання. Вчений досліджував вплив магнітного поля на катодні промені та показав, що промені виявляють подібність до електричного струму у твердих тілах. Він розробив люмінесцентну лампу, пізніше відому як лампа Пулюя. Ця лампа була нагороджена в 1881 році срібною медаллю, як принципово нове джерело світла. Пізніше виявилось, що ця лампа була прототипом рентгенівської трубки. Але вчений відмовився патентувати свою унікальну катодну лампу.

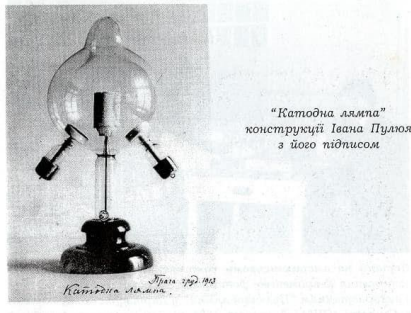


Рис. 9. Лампа І. Пулюя

Пулюй був першим, хто включив антикатод у свою трубку. Згодом Пулюй зацікавився питаннями електротехніки. Лише після першої доповіді фізика Вільгельма Конрада Рентгена про новий тип променів Пулюй відновив свої дослідження катодного випромінювання в січні 1896 року. 13 лютого 1896 року він представив свою публікацію «Про походження рентгенівських променів та їх фотографічний ефект». Стаття з'явилася перед другою і третьою публікаціями Рентгена. За короткий час Пулюй зробив ряд зображень, використовуючи нове випромінювання. Якість його фотографій була незаперечною на той час, і вони часто публікувалися в пресі, одним з перших був знімок дитячого скелету. Пулюй показав потенціал рентгенівського випромінювання для медичної діагностики. І його роботи мали велике практичне значення.

Розробивши свою лампу Пулюя, він заклав важливу основу для відкриття Рентгеном X-променів. Пулюй був одним із перших фізиків, хто використав X-промені для медичної діагностики. По суті, І. Пулюй стоїть біля витоків медичної рентгенографії.

Кілька версій щодо пріоритету Пулюя як першовідкривача X-променевого випромінювання поширювали журналісти. Однією з причин цього був той факт, що на момент відкриття не було твердо встановленої термінології для катодного випромінювання та X-променів. Неспеціалісти часто плутали ці два типи випромінювання. Ось чому Пулюя, який досліджував катодне випромінювання в 1880-х роках, багато хто називав справжнім першовідкривачем X-променів.

Пріоритет Рентгена визнав і сам Іван Пулюй, однак дуже важко переживав його славу. Хоча обидва вчені знали один одного, Вільгельм Конрад Рентген, перший лауреат Нобелівської премії з фізики в 1901 році, ніколи не цитував

роботу Пулюя. Син Пулюя Олександр Пулюй пізніше стверджував, що його батько зробив однією зі своїх ламп перший рентгенівський знімок.

Друга група досліджує як X-промені відкрив Вільгельм Рентген.

На допомогу здобувачам освіти:

- ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=18KGeTGvmyc&list=PLHFiRIZzK97iqEs-02nA3D09iPyu-JlG&index=1&t=123s>
- ✓ [https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Conrad\\_R%C3%B6ntgen](https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen)
- ✓ <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/facts/>



Очікувані результати:

Будучи професором Вюрцбурзького університету, Рентген у 1895 році відкрив рентгенівські промені, які пізніше всупереч його волі були названі на його честь у німецькомовних та ряді інших країнах. Це відкриття сталося випадково.

Спочатку Рентген з великим інтересом стежив за дослідженнями катодних променів, що генеруються у вакуумних трубках, які проводили Генріх Герц і Філіп Ленард, а також інші фізики. І, насамперед заохочений Ленардом, почав проводити незалежні експерименти з такими трубками. У 1894 році Рентген вивчив широко відомий трактат Філіпа Ленарда про катодні промені, які виходили з отвору на трубці і могли бути виявлені на великій відстані від неї. Пізніше він придбав одну із таких трубок.

Увечері 8 листопада 1895 року Рентген виявив, що якщо газорозрядну трубку помістити в герметичний щільний чорний картон, що не пропускав світло, і якщо працювати у темній кімнаті, паперова пластина, покрита з одного боку платиноціанідом барію розміщена на шляху променів, ставала



флуоресцентною, навіть коли вона знаходився на відстані двох метрів від газорозрядної трубки.

Під час подальших експериментів він виявив, що об'єкти різної товщини, розміщені на шляху променів, виявляли різну прозорість для них під час запису на фотопластинку. Коли він на деякий час зафіксував руку своєї дружини на шляху променів над фотопластинкою, він побачив після прояву пластини зображення кисті руки своєї дружини. На зображенні були чіткі тіні, відкинуті кістками її руки та перстень, який вона носила, оточений півтіною м'яких тканин, які були більш проникні для променів і тому відкидали слабшу тінь. Це була перша в історії "рентгенограма".



Рис. 10. Знімок руки дружини Рентгена

У подальших експериментах Рентген показав, що нові промені утворюються внаслідок впливу катодних променів на матеріальний об'єкт. Оскільки фізика газового розряду тоді була ще недостатньо досліджена й природа нових променів надалі залишалася загадковою, вчений назвав їх «Х-променями». Під впливом панівного вчення про ефіри Рентген схилився до того, що мова йде про поздовжні хвилі в ефірі. Пізніше Макс фон Лауе та його учні показали, що вони мають таку ж електромагнітну природу, що й світло, але відрізняються від нього лише вищою частотою.

Рентген писав: «Я працював з трубкою Хітторфа-Крукса, яка була повністю покрита чорним папером. Поруч на столі лежав аркуш барій-платиноціанідного паперу. Я пустив струм через трубку і помітив дивну чорну лінію на папері! Невдовзі всі сумніви зникли. З трубки виходили «промені», які люмінесцентно впливали на екран». У роботі Рентген був ученим-одинаком. Він працював на самоті, часто вечорами. Тому немає і очевидців його відкриття.

У період до січня 1896 року Рентген написав три наукові звіти про це відкриття. Перша доповідь, яку Рентген подав як рукопис для друку секретарю Фізико-медичного товариства у Вюрцбурзі 28 грудня 1895 року, мала назву «Про новий тип випромінювання» і була лдразу надрукована без обговорення.

На лекції кайзеру Вільгельму II 12 січня 1896 р. Рентген публічно представив своє відкриття, а 23 січня на засіданні Вюрцбурзького фізико-медичного товариства він прочитав лекцію для захоплених слухачів з усіх кіл науки та суспільства в переповненій лекційній залі Фізичного інституту. Після лекції анатом Альберт Келлікер запропонував перейменувати «Х-промені» на «рентгенівські промені» що й було прийнято на зборах.

Невдовзі після цього лекція з'явилася англійською (23 січня 1896), французькою (8 лютого), італійською та російською мовами. Десятисторінкові окремі відбитки, зроблені придворними та університетськими книжковими та художніми магазинами, були надіслані колегам (таким як Джонатан Зеннек і Отто Ламмер). Новина про відкриття невідомого типу випромінювання поширювалася з величезною швидкістю.

Рентген також надіслав кілька копій своїх перших рентгенівських знімків віденському фізику Францу Екснеру. Під час колегіального дискусійного вечору Ернст Лечер із Праги позичив записи та показав їх своєму батькові, який тоді був редактором газети «Presse» у Відні. Той доручив своєму синові зробити запис для недільного випуску, щоб описати сенсаційне відкриття.



Рис. 11. Сканована копія історичного документа: Про новий тип промені. Опублікована 1895 року

Перші рентгенівські трубки були виготовлені на скляних заводах у Штюцербаху і Гельберзі неподалік від Ренштайга. Тут були розроблені

газорозрядні труби відповідно до ідей Рентгена. Згодом вони виготовлялися серіями в численних моделях протягом багатьох років.

До того часу тут також проходили різні випробування цих трубок на людях. Оскільки на той час нічого не було відомо про ризик для здоров'я нещодавно відкритого типу випромінювання, а використовувана доза опромінення була в рази більша, ніж у сучасних рентгенівських апаратів, у багатьох працівників з'явилися ракові пухлини та опіки і вони швидко померли. Пам'ятний камінь, встановлений на кладовищі в Гельберзі як вшанування пам'яті цих людей.

Ніколи раніше новина про наукове відкриття не поширювалася так швидко, як у випадку з рентгенівськими променями. 5 січня 1896 року перша публічна новина про це з'явилася в ранковому випуску «Die Presse» у Відні під заголовком «Сенсаційне відкриття». Корисність «рентгенівських променів» у медицині тепер одразу стала зрозуміла неспеціалістам.

Незабаром після цього вюрцбурзький приват-доцент Альберт Хоффа запровадив клінічні обстеження за допомогою рентгенівських променів у своїй приватній ортопедичній лікарні, де він також створив рентгенівську станцію. Уже в березні 1896 року Герман Гохт заснував рентгенівський інститут при лікарні в Гамбурзі. Через три роки після відкриття Рентгена у Бремені була заснована одна з перших німецьких лікарень з рентгенкабінетом. Відкриття Рентгена не тільки зробило революцію в медичній діагностиці, але й дало поштовх іншим новаторським науковим досягненням 20 століття.

Для Вільгельма Рентгена, людини замкнутої та стриманої, миттєва світова слава здається іронією, але так і сталося. Дослідники в усьому світі могли експериментувати з X-променями, оскільки Рентген відмовився патентувати своє відкриття, переконаний, що його «винаходи та відкриття належать світу в цілому».

Медична діагностика і сьогодні залишається найважливішою сферою застосування рентгенівських променів. Радіаційне опромінення з часом зменшувалося, і в той же час зображення ставали більш деталізованими.

Використовуючи нові методи візуалізації, такі як комп'ютерна томографія, тепер можуть створювати тривимірні зображення внутрішньої частини тіла.

Перша Нобелівська премія з фізики 1901 року була присуджена Вільгельму Конраду Рентгену «на знак визнання надзвичайних заслуг, які він зробив у відкритті дивовижних променів, згодом названих на його честь». За нею вчений відмовився їхати в Швецію, зіславшись на зайнятість і отримав її поштою. Коли почалася Перша світова війна, Рентген віддав усі свої заощадження, включно з Нобелівською премією, державі.

У своєму романі «Чарівна гора» Томас Манн ( нобелівський лауреат 1929 р. ) присвятив цілий розділ докладному опису рентгенівського дослідження в санаторії в Давосі, філософським дискусіям лікаря і пацієнта про науковий прогрес і природу людини. Назва цього розділу підсумовує наукову та громадську реакцію на відкриття Рентгена: «Боже мій, я бачу!»

Вільгельм Рентген зазвичай вважається першовідкривачем X-променів завдяки тому, що він їх першим став систематично вивчати.

Кожна група презентує свій проект

V. Узагальнення і систематизація.

Презентація буклетів

Хто ж перший відкрив X-променів? Однозначної відповіді немає, але є свідчення дивної поведінки Рентгена, після того, як його оголосили лауреатом Нобелівської премії у 1901 році. На саму церемонію він не з'явився, потім спалив свої лабораторні записи і листи. Рентген нікому не розказував, якою газорозрядною трубкою він користувався, коли зробив своє відкриття, не згадував і ім'я Пулюя, хоча вони були особисто знайомі. Відомо, що Пулюй ділився з Рентгеном своїми дослідженнями катодних променів.

Можна підсумувати, що відкриття X-променів одночасно належить і Пулюю і Рентгену і вони б могли розділити Нобелівську премію у 1901 році.

VI. Підсумки уроку. Рефлексія.

Створити мем на тему «Відкриття X-променів»

### 3.3. Конспект уроку «Х-променеві методи дослідження в хімії»

#### Урок 3

Тема: **Х-променеві методи дослідження в хімії**

Мета: формувати ключові компетентності (уміння пояснювати природні явища і технологічні процеси; оцінювати значення фізики для сталого розвитку; використовувати іншомовні джерела для отримання необхідної інформації; вибирати важливу інформацію; ефективно працювати в команді; застосовувати отримані знання для збереження здоров'я; планувати і організовувати свою діяльність).

Обладнання: комп'ютери з доступом до мережі Інтернет, проектор.

Урок-конференція

#### Хід уроку

I. Організаційний етап

II. Актуалізація і корекція опорних знань. Мотивація навчальної діяльності.

Кубик Блума на тему «Х-промені»

1. Назви (яка довжина хвилі Х-променів?)
2. Поясни (як виникають Х-промені?)
3. Застосуй (який вплив чинять Х-промені на людину?)
4. Проаналізуй (в якій галузі науки найширше використовують Х-променеві методи дослідження)
5. Запропонуй (що можна досліджувати Х-променями)
6. Оціни (переваги і недоліки Х-променевих методів дослідження)

III. Повідомлення теми і мети уроку.

На попередніх уроках ми познайомилися із одним з видів електромагнітного випромінювання, а саме з Х-променями.

Сьогодні на уроці ми повинні, розглянути використання Х-променів для досліджень в різних галузях хімії.

IV. Вивчення нового матеріалу. Конференція.

Здобувачі освіти на основі отриманої інформації створюють ментальні карти.

Очікувані результати

### Фізхімік

X-променевий спектр – це неперервний спектр з характерними максимумами, утворений гальмівним випромінюванням, коли енергія електронів, що бамбардують анод, є невелика. Якщо енергія електронів висока і вони можуть вибити електрони з внутрішніх оболонок атомів анода, то тоді на спектрі з'являються характеристичні лінії. Частота цих ліній залежить тільки від природи речовини аноду, тобто від того, які хімічні елементи входять до її складу.

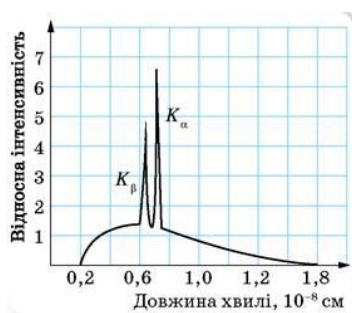


Рис. 12. Спектр X-променевого випромінювання.

Характеристичне X-променеве випромінювання з'являється, коли електрони зовнішньої оболонки заповнюють вакансію у внутрішній оболонці атома, випускаючи X-промені за шаблоном, який є «характерним» для кожного елемента. Характеристичні X-промені були відкриті Чарльзом Гловером Баркла в 1909 році, який отримав Нобелівську премію з фізики за своє відкриття в 1917 році.

Спектр випромінювання розбивається на різні групи, залежно між якими орбіталями відбувається перехід електрона. Група, яка має найкоротшу довжину, позначається літерою K, наступні групи позначаються літерами L, M, N.

Характеристичне X-променеве випромінювання утворюється, коли елемент бомбардується частинками високої енергії, якими можуть бути фотони, електрони або йони. Коли падаюча частинка стикається зі зв'язаним електроном (електроном анода) в атомі, електрон анода вилітає з внутрішньої оболонки атома. Після вильоту електрона в атомі залишається вільний енергетичний

рівень, також відомий як «дірка в серцевині». Після цього електрони зовнішньої оболонки потрапляють у внутрішню оболонку, випромінюючи при цьому фотон. Цей квант енергії дорівнює різниці енергій між вищим і нижчим станами.

Кожен елемент має унікальний набір енергетичних рівнів, і, отже, перехід від вищих до нижчих рівнів енергії створює X-променеве випромінювання з частотами, характерними для конкретного елемента.

### Хімік-неорганік

У вивчення будови речовини X-променевими методами значний внесок зробили вчені Пауль Кніпінг, Макс фон Лауе, Вільям Брегг. Вони вивчали дифракцію цих променів при потрапленні на кристал. За свої розробки фізики були удостоєні Нобелівськими преміями. У 1914 році – Лауе за відкриття явища дифракції X-променів, а у 1915 році – Брегг за розробку принципів X-променевого структурного аналізу.

Дифракційні методи X-променевого аналізу використовують для визначенні фазового складу та внутрішньої будови кристалічних речовин.

Кожна речовина має свою кристалічну структуру. X-променева кристалографія дозволяє показати елементи структури за допомогою опромінення кристалічного зразка X-променями.

X-променева кристалографія — це експериментальна наука, що визначає атомну та молекулярну структуру кристалів. Кристалічна гратка «змушує» пучок падаючого X-променевого випромінювання дифрагувати в певних напрямках. Вимірюючи кути та інтенсивність цих дифрагованих променів, кристалограф може створити тривимірну картину щільності електронів у кристалі. За цією електронною густиною можна визначити середнє положення атомів у кристалі, а також їхні хімічні зв'язки, їх неупорядкованість, дефекти в кристалі та різну іншу інформацію.

У перші десятиліття використання цей метод допомагав визначати розміри атомів, довжину та типи хімічних зв'язків, а також відмінності в атомному масштабі між різними матеріалами, особливо мінералами та сплавами .

X-променева кристалографія все ще є основним методом для характеристики атомної структури нових матеріалів і для розпізнавання матеріалів, які здаються схожими в інших дослідженнях. Рентгенівські кристалічні структури також можуть пояснити незвичайні електронні або пружні властивості матеріалу, пролити світло на хімічні взаємодії та процеси або служити основою для розробки нових фармацевтичних засобів проти різних хвороб.

Найдавнішим і найточнішим методом X-променевої кристалографії є дифракція X-променів на монокристалах. X-промені, потрапляючи на монокристал, утворюють розсіяні пучки. Коли ці пучки потрапляють на плівку чи інший детектор, то з'являється дифракційна картина з плям. Інтенсивність та кути цих пучків записуються, коли кристал поступово обертається (метод обертового кристала).

### Хімік-органік

За допомогою X-променевого структурного аналізу вдалося розшифрувати будову складних органічних сполук, включаючи білки. Зокрема, так була визначена структура молекули гемоглобіну, що містить десятки тисяч атомів.

Перша структура органічної сполуки, гексаметилентетраміну, була розкрита в 1923 році. Після цього було проведено кілька досліджень вищих карбонових кислот, які є важливим компонентом біологічних мембран.

X-променева кристалографія біологічних молекул розпочалася з Дороті Кроуфут Ходжкін, яка визначила структуру холестерину (1937), пеніциліну (1946) і вітаміну B12 (1956), за що вона була нагороджена Нобелівською премією з хімії в 1964 році. У 1969 році їй вдалося визначити структуру інсуліну, над чим вона працювала понад тридцять років.

Кристалічні структури білків, які є нерегулярними та в сотні разів більшими за холестерин, X-променями почали досліджувати наприкінці 1950-х років, починаючи зі структури міоглобіну кашалота Джоном Кендрю, за що він розділив Нобелівську премію з хімії з Максом Перутцем у 1962 році за дослідження структури глобулярних білків.



X-променева кристалографія є найбільш надійним методом з'ясування повної тривимірної структури білків. Повне дослідження структури білка надає інформацію про низку молекулярних механізмів, таких як конструювання ліків, мутагенез, ферментний механізм і взаємодії білків, наприклад взаємодія білок-ліганд, білок-ДНК, білок-РНК та імунні комплекси.

#### Хімік-аналітик

X-променеві спектральні методи аналізу використовують для визначення якісного та кількісного складу речовини. Оскільки будь який елемент періодичної системи може випромінювати X-промені з частотами, характерними тільки для нього.

Існують два методи X-променевого спектрального аналізу. У першому методі речовина, що досліджується, поміщається на місце катода в рентгенівській трубці і аналізують X-промені, які при цьому генеруються анодом. У другому – зразок опромінюється X-променями, а досліджуються промені, що пройшли крізь нього або відбиті промені.

X-променевий спектральний аналіз є прямим методом і характеризується високою достовірністю, експресністю та відносною дешевизною. Метод не вимагає великої кількості речовини, аналіз можна проводити без руйнування деталі.

X-променева дифракція має широке та різноманітне застосування в хімічних, біохімічних, фізичних, матеріалознавчих та мінералогічних науках. Дифракція X-променів аналогічна мікроскопу з роздільною здатністю на атомному рівні, який показує атоми та розподіл електронів в них. Ці методи можна застосовувати для вивчення властивостей усіх матеріалів, неорганічних, органічних чи біологічних.

Можна перевіряти склад вихідних матеріалів металургійного виробництва, продуктів синтезу, результат фазових змін при термічній і хіміко-термічній обробці, вести аналіз різних покриттів, тонких плівок і т.д.

V. Узагальнення і систематизація.

Дослідження з Phet – симуляціями (Квантова інтерференція і дифракція хвиль).



Обговорення ментальних карт.

VI. Підсумки уроку. Рефлексія.

Закінчити речення:

Сьогодні я дізналася....

Мене здивувало.....

Мені незрозуміло....

### **3.4. Конспект уроку «Відкрите судове засідання над X-променями»**

#### Урок 4

Тема: **Відкрите судове засідання над X-променями**

Мета: формувати ключові компетентності (уміння пояснювати природні явища і технологічні процеси; оцінювати значення фізики для сталого розвитку; використовувати іншомовні джерела для отримання необхідної інформації; вибирати важливу інформацію; ефективно працювати в команді; застосовувати отримані знання для збереження здоров'я).

Обладнання: комп'ютер, проектор, презентація.

Урок-рольова гра.

Дійові особи: Суддя, Секретар суду, Прокурор, Адвокат, Підсудні – X-промені, Свідки.

Хід уроку

I. Організаційний етап

II. Актуалізація і корекція опорних знань. Мотивація навчальної діяльності.

Кубик Блума на тему «Х-промені»

III. Повідомлення теми і мети уроку.

На попередніх уроках ми познайомилися із одним з видів електромагнітного випромінювання, а саме з Х-променями.

Сьогодні на уроці ми повинні, розглянути вплив Х-променів на різні біологічні об'єкти.

IV. Вивчення нового матеріалу. Засідання суду.

**Секретар суду:** Шановні, ви присутні на відкритому судовому засіданні. Встати, суд іде!

**Суддя:** Справа № 5 проти Х-променів оголошується відкритою. Прошу сідати. Підсудні, представтесь, будь-ласка.

**Х-промені:** Ми – один із видів електромагнітного випромінювання. Довжина наших хвиль може бути від 0,01 до 10 нм і ми є дуже енергійні – від 100 еВ до 100 кеВ, тому маємо іонізуючу дію, що є шкідливою для живих тканин.

Ми виникаємо, коли швидкий електрон різко гальмує, коли електрони в атомі переходять з одного енергетичного рівня на інший. Наш дім – рентгенівська трубка або синхротрон.

Ми можемо проходити через відносно товсті об'єкти без значного поглинання або розсіювання, а також візуалізувати дуже дрібні частинки.

Перші, хто нас побачив, були Пулюй і Рентген, вони нас і охрестили.

Найбільше свого часу ми проводимо в лікарні, де допомагаємо лікарям і в наукових лабораторіях.

**Суддя.** Сьогодні на судовому засіданні розглядається справа Х-променів, які обвинувачують у низці злочинів: негативний вплив на біологічні об'єкти (людей, тварин, рослин). Слово надається прокурору, який повідомить суду про злочини, що інкримінуються обвинуваченим.

**Прокурор.** Х-промені обвинувачуються у багатьох злочинах. Прошу суд уважно все вислухати і винести по цій справі справедливий вирок.

По-перше: X-промені негативно впливають на людей. Висока доза цього випромінювання може збільшувати ризик розвитку раку, особливо у дітей. X-промені викликають пошкодження ДНК та інших органел клітин, що може призвести до хромосомних аномалій та мутацій. Крім того, вони спричиняють глибокі опіки на шкірі, які погано заживають. На початку історії дослідження цього випромінювання багато вчених втратили пальці на руках.

Довгостроковий вплив цих променів призводить до зміни складу крові, що зумовлює лейкемію та змін на генетичному рівні. Після рентгенографії малого тазу, в жінок особливо, може наступити безплідність.

**Адвокат.** Прошу суд вислухати свідка – лікаря сімейної медицини.

**Лікар.** X-промені – наші найбільші помічники! Вони можуть проникати через м'які тканини організму та поглинаються твердими, тому ми використовуємо їх для видимого зображення скелета та виявлення патологій. Зображення на плівці чи детекторі формується завдяки цій різниці в поглинанні. Ми виявляємо переломи, пухлини та інше.

Через високу концентрація кальцію наші кістки більше поглинають X-промені. X-променеве випромінювання може сформувати хорошу картину існуючих структур скелета. Кістки, що поглинають X-променеве випромінювання, виглядають як світліші візерунки, тоді як м'які тканини пропускають X-промені та мають більш темні тони. Сучасні рентгенівські знімки зазвичай роблять, розміщуючи частину тіла (наприклад, травмовану руку або ногу) перед рентгенівським детектором і піддаючи її короткому випромінюванню. Процес займає приблизно 1/50 секунди. Також можна зробити рентген легень, де захоплені гази поглинають менше X-променів, ніж навколишні тканини. X-променеве випромінювання також використовується в стоматології, оскільки зуби містять кальцій і поглинають ці промені.

X-промені ми використовуємо для лікування злоякісних пухлин і деяких захворювань шкіри і слизових.

Якщо зменшити час і дозу опромінення, то опіків X-променями можна уникнути. Для захисту пацієнтів ми використовуємо свинцеві фартушки, для свого захисту – свинцеві екрани і дистанційні методи.

Нешкідливі дози випромінювання для діагностики грудної клітки становлять 0,1-0,2 мЗв, а для рентгенівської терапії ураженого органу – 2-10 мЗв. Ефективність X-променевого методів зафіксовано в численних клінічних дослідженнях.

**Прокурор.** По-друге: X-промені негативно впливають на тварин.

Високі дози X-променевого випромінювання негативно впливають на тварин і риб. Це призводить до пошкодження ДНК та інших клітинних структур, що впливає на розвиток та виживання індивідів. Також воно спричиняє порушення у функціонуванні окремих органів та цілих систем. Це призводить до змін в популяціях тварин, в їхній чисельності та порушує рівновагу в екосистемі.

Найбільш чутливі до дії іонізаційного випромінювання ссавці, потім птахи, риби, плазуни, комахи.

**Ветеринар.** Одна з наших найпоширеніших діагностик – це рентгенографія. Так, це складно, але дозволяє обійтися без хірургічного втручання. Ми її використовуємо при первинному профілактичному огляді і для вивчення стану тканин і окремих органів при різних травмах і захворюваннях у тварин. Для виділення необхідного органу ми вводимо контрастні речовини – так ми обстежуємо видільну та фільтрувальну функцію нирок, стан стравоходу шлунку і кишечника, захворювання, пов'язані зі спинним мозком.

Для контрастування шлунково-кишкового тракту собаки чи kota ми використовуємо різні гази: повітря, кисень, вуглекислий газ, ксенон.

Рентген органів тварин проводиться після спеціальної підготовки та введення транквілізаторів.

**Прокурор.** По-третє: X-промені негативно впливають на рослини.

X-промені можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослин, зупиняти його, або порушувати. Це в свою чергу призводить до зниження врожайності. Після впливу іонізуючого випромінювання у рослин розвивається радіаційний

синдром, до якого призводить ушкодження усіх меристем: апікальних, латеральних, інтеркалярних. Оскільки всі органи рослин, і вегетативні і генеративні, формуються саме з цих меристем, то спостерігається ушкодження цілої рослини. Ступінь впливу визначається потужністю джерела та тривалістю його дії. Найчутливіші до X-променевого випромінювання генеративні органи рослин, потім всі органи, що складаються із меристем, що активно діляться.

Зміни, що виникають у рослин під впливом X-променів: посилюється розгалуження коренів, порушується утворення корневих волосків, змінюється тип галуження, форма листка, порядок жилкування, утворюються місцеві розростання (пухлини), появляються бруньки у незвичних місцях.

Різні рослини по різному реагують на X-промені. Менш чутливі до них мохи, лишайники, водорості.

**Агроном.** Не часто я зустрічався з впливом X-променів на рослини, в сільському господарстві зокрема. Але знаю, що ці промені можуть сприяти росту і розвитку рослин через активізацію метаболічних процесів у рослинних клітинах. І прискорюють процеси цвітіння. Це у свою чергу призведе до підвищення врожайності.

**Мікробіолог.** А я хочу зауважити, що X-промені низької та середньої енергії суттєво не знижують життєдіяльність мікроорганізмів і не викликають мутацій у мікробному геномі. А також не чинять впливу на віруси. Але високі дози можуть гальмувати реплікацію і призводити до смерті, оскільки пошкоджують генетичний матеріал.

**Адвокат.** Дякую всім свідкам!

Враховуючи все вище сказане, я прошу суд виправдати X-промені, зняти з них всі обвинувачення і повернути їм добродесне ім'я.

**Суддя.** Суд дякує прокурору, адвокату та свідкам за наведені факти. Тепер X-промені можуть сказати своє останнє слово на свій захист.

**X-промені.** Так, багато різної інформації про нас ви почули: і позитивної і негативної! Ми можемо додати одне – якщо нас чітко контролювати, то ми ідеальні!

В різних медичних установах потрібно дотримуватися санітарних правил і норм, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 04.06.2007 № 294 «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур» із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 1126 від 22.09.2017 [33] та прислухатися до лікарів. І будете ви здорові!

Ну, а науковці самі прекрасно знають, що вони з нами повинні робити, як нас використовувати і як від нас берегтися.

**Суддя.** Суд дякує підсудним і йде до нарадчої кімнати для обговорення.  
(обговорення з класом про вплив X-променів на біологічні об'єкти)

**Суддя.** Суд уважно вислухав всі «за» і «проти» і прийшов до такого висновку: визнати X-промені невинними і звільнити їх з під варті в залі суду.

Також суд постановив, щоб знизити ризик небезпеки від X-променів потрібно:

Чітко контролювати діяльність людини. Наголошувати кожного разу про небезпеку при застосуванні X-променів. Проводити всі можливі обрахунки і вживати застережні заходи аби запобігати можливим трагічним наслідкам при X-променевиx методах дослідження.

Оптимально вибирати дозу та тривалість опромінення, щоб досягти позитивного ефекту без негативних наслідків.

Наголосити вчителям, щоб належним чином викладали фізику в школі і особливу увагу звертали на X-промені. Не тільки науковці, а й інші люди повинні розуміти, що таке X-променеве випромінювання і які його властивості.

V. Узагальнення і систематизація.

Соціологічне опитування (Прийом «Мікрофон»)

- Чи згодні ви з вироком суду?
- Чи корисною була для вас інформація, почута в залі суду?

VI. Підсумки уроку. Рефлексія.

Висловіть своє ставлення до даного судового засідання.

### 3.5. Конспект уроку «X-промені. Підсумки»

#### Урок 5

Тема: **X-промені. Підсумки**

Мета: формувати ключові компетентності (уміння пояснювати природні явища і технологічні процеси; оцінювати значення фізики для сталого розвитку; використовувати іншомовні джерела для отримання необхідної інформації; ефективно працювати в команді; застосовувати математичні методи для розв'язування фізичних задач; застосовувати отримані знання для збереження здоров'я).

Обладнання: комп'ютер, проектор, смартфони.

Урок-узагальнення.

#### Хід уроку

I. Організаційний етап

II. Актуалізація і корекція опорних знань. Мотивація навчальної діяльності. Обговорення проблеми зі здобувачами освіти.

Як часто можна робити рентген дослідження, якщо виникають проблеми із здоров'ям?

Очікувана відповідь.

Лікарі рекомендують проходити рентген діагностику грудної клітки обов'язково 1 раз на рік – це мінімум, при цьому пацієнт отримує дозу опромінення до 0,18 мЗв. Річна безпечна доза опромінення для дорослої людини становить 1 мЗв, максимум – 5 мЗв.

При проходженні мамографії опромінення може бути до 0,6 мЗв, одноразова КТ всього тіла – до 30 мЗв, межа професійної дози, сумарний еквівалент ефективної дози, на рік – 50 мЗв.

Один комплект рентгенограм зубів – 0,01 мЗв. [34]



Розв'язування задач.

**Задача 1.** Лікар-рентгенолог, після року роботи у своєму кабінеті (250) днів отримав еквівалентну дозу іонізуючого опромінення 4 мЗв. Визначте середню потужність поглиненої дози Х-променів, якщо рентгенівський апарат працював загалом 1 год в день. [35]

**Задача 2.** Рентгенівська трубка працює при напрузі 75 кВ. З якою швидкістю рухається електрон від катода до анода?

III. Повідомлення теми і мети уроку.

IV. Узагальнення і систематизація. Обговорення заповненої таблиці «ЗаХід»

Метод шести капелюхів

Кожна група учнів повідомляє все про Х-промені з позиції кольору свого капелюха:

Білий – факти (що я знаю про Х-промені)

Червоний – емоції (моє ставлення до Х-променів)

Чорний – критика (недоліки цього випромінювання)

Жовтий – позитив (переваги Х-променевих методів дослідження)

Зелений – креатив (нові ідеї використання цих досліджень)

Сині – рефлексія (що ще можна дізнатися нового)

VI. Самостійна робота (пройти тестування на платформі Наурок)



Тест

1. До електромагнітного випромінювання належить:

А) Радіохвилі; Б) Світло; В) Гама-промені; Г) Звукові хвилі.

2. Хто Х-промені так назвав?  
А) Пулюй; Б) Фарадей; В) Рентген; Г) Тесла.
3. Хто з цих вчених досліджував Х-промені?  
А) Резерфорд; Б) Рентген; В) Вебер; Г) Пулюй.
4. Яка швидкість поширення Х-променів у вакуумі?  
А) 1 світловий рік; Б)  $3 \cdot 10^8$  м/с; В) 100 км/с; Г) 300 м/с.
5. Приймачі електромагнітного випромінювання в живих організмах називають:  
А) Детектори; Б) Гормони; В) Осцилографи; Г) Фоторецептори.
6. Х-промені мають властивості:  
А) Хвиль; Б) Частинок; В) Хвиль і частинок; Г) Звуку.
7. Яка довжина хвилі Х-променів?  
А) 0,01-10 нм; Б) 10-100 нм; В) 0,01-10 мм; Г) більше 100 нм.
8. Виберіть джерела Х-променевого випромінювання:  
А) Генератори; Б) Рентгенівські трубки; В) Циклічні прискорювачі частинок; Г) Хімічні реакції.
9. Х-променева кристалографія визначає:  
А) Колір кристалів; Б) Структуру кристалів; В) Походження кристалів; Г) Переломи в кістках.
10. Процеси одержання Х-променів:  
А) Прискорення заряджених частинок; Б) Поглинання світла; В) Прискорення атомів; Г) Переходи електронів в оболонках атомів.
11. Структуру гемоглобіну визначили з допомогою  
А) Якісних реакцій; Б) Х-променевого структурного аналізу; В) Титрування; Г) Заломлення світла.
12. Що таке ефект Комптона?  
А) Перехід електрона на вищий енергетичний рівень; Б) Поглинання фотона електроном; В) Взаємодія двох фотонів; Г) Зміна напрямку руху фотона.

Інтерактивна вправа.

Гра «Перший мільйон»: <https://learningapps.org/display?v=pfgegzu323>

## VII. Підсумки уроку. Рефлексія.

### Картка самооцінювання

1. Я можу пояснити природу і властивості X-променів (0-3б.)
2. Я вмію знайти потрібну інформацію (0-3б.)
3. Я впевнено виконую всі завдання (0-3б.)
4. Я маю свою думку про значення X-променів (0-3б.)

Самооцінка \_\_\_\_\_

## ВИСНОВКИ

Сучасна молода людина повинна бути обізнаною з новітніми досягненнями науки, які їй зустрічаються всюди та розумітися у питаннях пов'язаних з безпекою життя та здоров'я.

У даній магістерській роботі на тему «Інтеграція вчення про X-промені у природничу освітню галузь» було встановлено зміст основних понять з теми X-промені. Проведено короткий аналіз історії розвитку вчення про X-променеве випромінювання. Розглянуто технологію отримання і методи реєстрації даного випромінювання та його використання у наукових дослідженнях. Наголошено на надзвичайній важливості детальнішого розгляду питання X-променів у природничій освітній галузі.

Здійснено короткий огляд і аналіз програм предметів природничої освітньої галузі та встановлено необхідність вдосконалити методику вивчення X-променів у шкільній програмі (рівень стандарту), через недостатню увагу до цього питання. Наведено критерії підбору навчального матеріалу для цієї теми відповідно до вікових та психологічних особливостей учнів. Розроблено короткі методичні рекомендації щодо вивчення теми «X-промені» в природничій освітній галузі.

Розроблено систему уроків для використання у природничій освітній галузі, зокрема на уроках фізики, хімії чи біології (рівень стандарту), яка допоможе здобувачам освіти краще зрозуміти поняття «X-промені». Випускники зможуть використовувати сформовані компетентності у повсякденному житті, для вирішення проблем довкілля, для збереження власного здоров'я. Завдяки розумінню впливу X-променевого випромінювання на живі організми, правильно сприймати переваги та недоліки X-променів. Зможуть оцінити значення X-променів для сталого розвитку та дослідження природніх об'єктів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клос Є. С., Караван Ю. В. Малий фізичний довідник. — Л. : Світ, 1997. — 272 с.
2. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики. — К. : Техніка, 2006. — 532+452+518 с.
3. Нагорняк С., Медюх М. Фізико-технічні ідеї Івана Пулюя. — Тернопіль, 1999. — 212 с.
4. Підвальна У., Пляцко Р., Лончина В. Іван Пулюй та відкриття Х-променів // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки. — 2021, Т. 64, № 1. — С. 180—190.
5. Чумак М. Стецик С. Іван Пулюй – фізик-винахідник, діяч української науки та культури. до 175-річчя від дня народження // Фізика та астрономія в рідній школі. – 2020. – №1. – с. 43-46.
6. Грабак М, Падован Р.С., Кралік М., Озретик Д., Потоцький К. (липень 2008). «Сцени з минулого: Нікола Тесла і відкриття рентгенівських променів» . Рентгенографія . 28 (4): 1189–1192.
7. Володимир А. Бордовіцин, «Синхротронне випромінювання в астрофізиці» (1999)
8. J. Daillant, A. Gibaud, X-ray and Neutron Reflectivity: Principles and Applications . Springer, (1999).
9. Riccardo Giacconi; Herbert Gursky; Frank R. Paolini; Bruno B. Rossi (December 1, 1962). "EVIDENCE FOR X RAYS FROM SOURCES OUTSIDE THE SOLAR SYSTEM". Physical Review Letters. Vol. 9, no. 11. pp. 439–443. doi:10.1103/PhysRevLett.9.439. Retrieved February 7, 2021.
10. Chithra Karunakaran et al - <http://www.nature.com/articles/srep12119>, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45616587>
11. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с.
12. Полінг Л (1960). Природа хімічного зв'язку (3-е вид.). Ітака, Нью-Йорк

13. Рентгенологічні методи дослідження: навчальний посібник для студентів / уклад. Н. В. Туманська, К. С. Барська, С. В.Скринченко – Запоріжжя: ЗДМУ, 2016. – 82 с.
14. Czapla-Masztafiak J, Kwiatek WM, Sá J, Szlachetko J. X-Ray Spectroscopy on Biological Systems [Інтернет]. Рентгенівське розсіювання. InTech; 2017. Доступно з: <http://dx.doi.org/10.5772/64953>
15. Роусон С. Д., Максимчука Дж., Візерс П. Дж. та ін. Рентгенівська комп'ютерна томографія в науках про життя. BMC Biol 18 , 21 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12915-020-0753-2>
16. Зображення біологічних матеріалів і клітин за допомогою рентгенівського розсіювання та дифракції .Клеман Ю. Ж. Емонно та Сара Кестер ACS Nano 2017 11 (9), 8542-8559 DOI: 10.1021/acsnano.7b03447
17. Тан Лі, Лукас Дрессельхаус, Ніколай Іванов, Мауро Прасьолу, Хольгер Флекенштейн, Олександр Єфанов, Венхуей Чжан, Девід Пеннікард, Енн-Крістін Діппель, Улоф Гутовскі, Пабло Вільянуева-Перес, Генрі Н. Чепмен, Саша Байт «Дозоефективна скануюча рентгенівська мікроскопія Комптона» Світло: наука та застосування, 2023
18. Радіологія (променева діагностика та променева терапія): Підручник для студ. вищ. мед. заклад. освіти IV р. акред. / За заг. ред. М. М. Ткаченка. — К.: Книга-плюс, 2011. — 720 с.
19. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія дисперсних гетерогенних систем. Автореф. дис... д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.18 [Електронний ресурс / І. В. Плюто; НАН України. Ін-т металофізики ім. Г. В. Курдюмова. — К., 2002. — 32 с. — укр.]
20. Прикладна оптика. Спектральні прилади та методи спектральних вимірювань : навч. посіб. / О. В. Макаренко [та ін.] ; за заг. ред. проф. Л. В. Поперенка. - К. : Пульсари, 2013. - 254 с.
21. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія дисперсних гетерогенних систем. Автореф. дис... д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.18 [Електронний ресурс /

- І. В. Плюто; НАН України. Ін-т металофізики ім. Г. В. Курдюмова. — К., 2002. — 32 с. — укр.
22. Основи медичної інформатики: Підручник / Л. О. Момоток, Л. В. Юшина, О. В. Рожнова. - К.: Медицина, 2008. - С. 166 - 168.
23. Навчальні програми для 6-9 класів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas>
24. Фізика: підруч. Для 9 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.]; за ред. Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О. – Харків : Вид-во « Ранок», 2019. – 270 с. іл.
25. Фізика для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закладів / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2017. — 272 с. : іл.
26. Навчальні програми “Фізика і астрономія. 10-11 класи. Рівень стандарту. Профільний рівень” (авторський колектив під керівництвом Ляшенка О.І.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-i-astronomiya-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lyashenka-o-i.doc>
27. Навчальні програми “Фізика. 10-11 класи. Рівень стандарту. Профільний рівень” (авторський колектив під керівництвом Локтева В.М.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva>
28. Навчальні програми для 10 – 11 класів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasi>
29. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.): підруч. Для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О.

- О.]; за ред. Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О. – Харків : Вид-во « Ранок», 2019. – 272 с. іл.
30. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.): підруч. Для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.]; за ред. Бар'яхтар В. Г., Довгий С.О. – Харків : Вид-во « Ранок», 2019. – 272 с. іл., фот.
31. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2019. — 304 с. : іл.
32. Методика навчання природознавства в старшій школі: методичний посібник / [К. Ж. Гуз, О. С. Гринюк, В. Р. Ільченко та ін.]. — К.: ТОВ «КОНВІ ПРІНТ», 2018. — 192 с.
33. Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»: Спільна постанова Міністерства охорони здоров'я України та Головного державного санітарного лікаря від 01.12.1997 р. зі змінами №62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>
34. Паньков С. Б. Оцінка впливу випромінювання при рентгенодіагностиці / С. Б. Паньков. // Журнал "Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки". – 2017. – №1. – С. 214–217.
35. Мельник Ю. С. Задачі прикладного змісту з фізики у старшій школі / Ю.С. Мельник // Навчально-методичний посібник. – К.: Педагогічна думка, 2013. – 120 с