

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Фізико-математичний факультет**  
**Кафедра інформатики та прикладної математики**

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В. М. Соловйов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Реєстраційний №

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ЛЦЕЇСТІВ**  
**ОСНОВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ**

Кваліфікаційна робота  
студентки групи Ім-16,  
ступінь вищої освіти «магістр»  
спеціальності  
014.09 Середня освіта (Інформатика)  
Богуненко Єлизавети Юріївни

Керівник: к. пед. н., доцент  
Шокалюк Світлана Вікторівна

Оцінка:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_\_

Голова ЕК \_\_\_\_\_

Члени ЕК \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Богуненко Єлизавета Юрївна, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ ОСНОВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ.....	6
1.1. Квантова інформатика у шкільному курсі інформатики .....	6
1.2. Квантова інформатика у закладах вищої освіти .....	10
1.3. Основні підходи до навчання основ квантової інформатики учнів ліцеїв.....	13
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ ОСНОВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ УЧНІВ ЛІЦЕЇВ .....	17
2.1. Загальна характеристика навчального курсу з основ квантової інформатики.....	17
2.2. Дидактичні засоби з основ квантової інформатики .....	19
2.3. Методичні рекомендації щодо організації навчання основ квантової інформатики.....	25
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32
ДОДАТКИ.....	36
Додаток А.....	36
Додаток Б .....	37

## ВСТУП

Квантові технології стали одним із засобів вирішення проблеми збільшення обчислювальних потужностей комп'ютерів класичної архітектури. Популярність квантових технологій, зокрема квантових комп'ютерів, обумовлена тим, що вони для розв'язання окремих задач здатні працювати швидше, а значить ефективніше, порівняно з класичними. Перспективи того, що в недалекому майбутньому буде можливість опрацювати величезний обсяг даних із мінімальними витратами часу, привертає багато уваги, особливо з боку молоді.

Формування та розвиток актуальних знань та умінь (як основних складових певних предметних/фахових компетентностей), на близьку чи далеку перспективу, є основним завданням як системи вищої освіти, так і в системи загальної середньої освіти. Перспективність та складність квантових інформатичних технологій, що є об'єктом квантової інформатики як наукової галузі або навчальної дисципліни, потребують вивчення питань їх систематизованого навчання вже на рівні загальної середньої освіти. Адже первинні уявлення учнів про квантовий світ та відповідні технології є фундаментом ґрунтовного опанування питань квантової галузі на етапі здобуття фахової освіти.

У переліку базових знань інформатичної освітньої галузі за новим стандартом базової освіти (2020 року затвердження) відсутні згадування про квантові інформатичні технології. Чи зазначатимуться квантові інформатичні технології у новому стандарті профільної освіти покаже час, проте додаткове (факультативне) вивчення основних засад квантової інформатики однозначно не буде зайвим.

Вищезазначене, а також відсутність методик навчання основ квантової інформатики на рівні загальної середньої освіти обумовлює **актуальність** даного дослідження.

**Об'єкт дослідження:** навчання інформатики учнів ліцеїв.

**Предмет дослідження:** методика навчання основ квантової інформатики учнів ліцеїв.

**Мета:** теоретично обґрунтувати та розробити окремі елементи методики навчання основ квантової інформатики учнів ліцеїв.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання:**

1. Узагальнити та систематизувати теоретичні відомості щодо квантових інформатичних технологій, світового досвіду їх популяризації серед учнівської молоді, місця у чинних навчальних програмах та підручниках України.

2. Проаналізувати умови ефективного навчання квантової інформатики в закладах загальної середньої освіти.

3. Спроекувати факультативний курс з основ квантової інформатики для учнів ліцеїв та надати методичні рекомендації щодо роботи з його окремими складовими.

**Основні методи дослідження:** *аналіз* джерел та програмного забезпечення з метою вивчення сучасного стану вивчення квантової інформатики у закладах освіти; *синтез* з основ квантової інформатики; методи педагогічного проектування для досягнення мети дослідження.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у розробці окремих складових факультативного курсу з основ квантової інформатики.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

**Апробація результатів дослідження, публікації.** Окремі результати дослідження доповідались та обговорювались на II Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті та науці» (Мелітополь, 2021) та відображені у 2-х публікаціях (у співавторстві), з них 1 – у виданні, що індексується у Scopus [18], 1 – у науковому фаховому виданні України [21].

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ ОСНОВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ

#### 1.1. Квантова інформатика у шкільному курсі інформатики

Квантова інформатика відносно нова галузь квантової механіки, що виникла в останні десятиліття, під якою розуміють:

– об'єднання квантової механіки (як основи всього, що працює на субатомному рівні), теорії інформації та обчислень [13];

– нова галузь сфери науки та технологій, яка комбінує в собі дисципліни із фізики, математики, комп'ютерних наук та інженерії [12].

Виходячи з означення поняття квантової інформатики, можна навести тлумачення понять «квантовий комп'ютер» та «квантові обчислення».

Квантовий комп'ютер – обчислювальний пристрій, що використовує властивості квантової фізики для збереження та опрацювання даних [3].

Квантові обчислення – область обчислень, яка сфокусована на розробці комп'ютерних технологій на основі принципів квантової теорії [11].

За останні роки відбулося значне зростання популярності квантової інформатики та квантових обчислень. Але, тим не менш, вивчення квантової інформатики досі потребує значних знань в області фізики, математики та комп'ютерних наук. Що в свою чергу робило неможливим викладання відповідних дисциплін.

Мова програмування Python почала ставати невід'ємною частиною багатьох дисциплін у закладах освіти як в Україні, так і за її межами [4; 17]. Відбулося це через простоту синтаксису та різні підходи до вирішення проблем, що дозволило успішно викладати Python в закладах освіти.

Популяризація мови програмування Python не могла обійти квантове програмування. Прикладом є популярний комплекс для розробки квантового забезпечення – Qiskit [10]. Цей комплекс представляє основний функціонал для роботи із різними областями квантових обчислень.

Так, компанія IBM запустила двотижневий курс під назвою The Qiskit Global Summer School 2021. Загалом, курс складається із 20 лекцій, 5 прикладних лабораторних робіт. Мінімальні вимоги для такого курсу це знання основних операцій над матрицями та уміння програмувати мовою Python. План першого тижня вивчення курсу представлений на рис. 1.1.

Day	Topic	Speaker	Format
Monday, July 12	Qiskit Global Summer School Kick Off	-	Lecture
Monday, July 12	Vector Spaces, Tensor Products, and Qubits	Elisa Bäumer	Lecture
Monday, July 12	Introduction to Quantum Circuits	Elisa Bäumer	Lecture
Monday, July 12	Q&A Sessions	-	Live Q&A
Tuesday, July 13	Simple Quantum Algorithms I	Elisa Bäumer	Lecture
Tuesday, July 13	Simple Quantum Algorithms II	Elisa Bäumer	Lecture
Tuesday, July 13	Q&A Sessions	-	Live Q&A
Wednesday, July 14	Noise in Quantum Computers	Zlatko Minev	Lecture
Wednesday, July 14	(Lab 1) Introduction to Quantum Computing Algorithms and Operations	Elisa Bäumer	Lab
Wednesday, July 14	Q&A Sessions	-	Live Q&A
Thursday, July 15	Introduction to Classical Machine Learning (ML)	Amira Abbas	Lecture
Thursday, July 15	Advanced Classical Machine Learning (ML)	Amira Abbas	Lecture
Thursday, July 15	Q&A Sessions	-	Live Q&A
Friday, July 16	Introduction to the Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) and its Applications	Johannes Weidenfeller	Lecture
Friday, July 16	Building a Quantum Classifier	Amira Abbas	Lecture
Friday, July 16	(Lab 2) Introduction to Variational Algorithms	Johannes Weidenfeller	Lab
Friday, July 16	Q&A Sessions	-	Live Q&A

Рис. 1.1. План першого тижня курсу «The Qiskit Global Summer School 2021»

Першою компанією, яка запровадила глобальні курси із навчання квантового програмування учнів старшої школи є QubitxQubit. Відбулось це в минулому році.

Деякі університети також ініціюють програми для школярів на допомогу опанування квантових технологій. Прикладом є курс «Quantum School for Young Students» [15] від філіалу науково-дослідницького інституту Університету Ватерлоо [14]. Курс орієнтований на вивчення питань щодо впливу квантових технологій, зокрема інформатичних, на зміни у світі.

У квітні 2020 року було розроблено спеціалізований курс «Quantum Computing as a High School Module» [1] для шкіл. Основною метою даного курсу є вивчення квантової механіки та квантового програмування. Курс розрахований на учнів старших класів. Курс поділений на декілька рівнів за рівнем складності.

Розглянемо підручники з інформатики вітчизняних авторів.

Перший і єдиний підручник з інформатики, в якому є інформація про квантові комп'ютери – це підручник для 5 класу авторського колективу О. В. Коршунової та І. О. Завадського [19, с. 30]. Автори підручника знайомлять учнів із квантовим комп'ютером та перспективами його використання (рис. 1.2).

Можна бачити, що це лише загальні відомості про квантові комп'ютери без занурення у деталі. Проте, такого матеріалу більш ніж достатньо для учнів 5 класу.

Хоча інформатика є важливою для вивчення квантових технологій, не менш важливою є і фізика. Розглянемо підручники з фізики, в яких подаються базові поняття з квантової фізики.

Першим розглянемо підручник для 11 класу за програмою рівня стандарту авторського колективу В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинов, О. О. Кірюхіна [26]. Фрагмент змісту наведено на рис. 1.3.

Очевидно, що у підручнику (відповідному розділі) перш за все розглядаються базові поняття атомної та ядерної фізики, і лише в окремому параграфі (38) приділяється увага вивченню квантово-оптичних генераторів (лазерів). Тоді як у підручнику за програмою профільного рівня (авторського колективу Т. М. та Д. О. Засекіних [25]) має місце окремий квантово орієнтований розділ – «Квантова та ядерна фізика» (рис. 1.4).



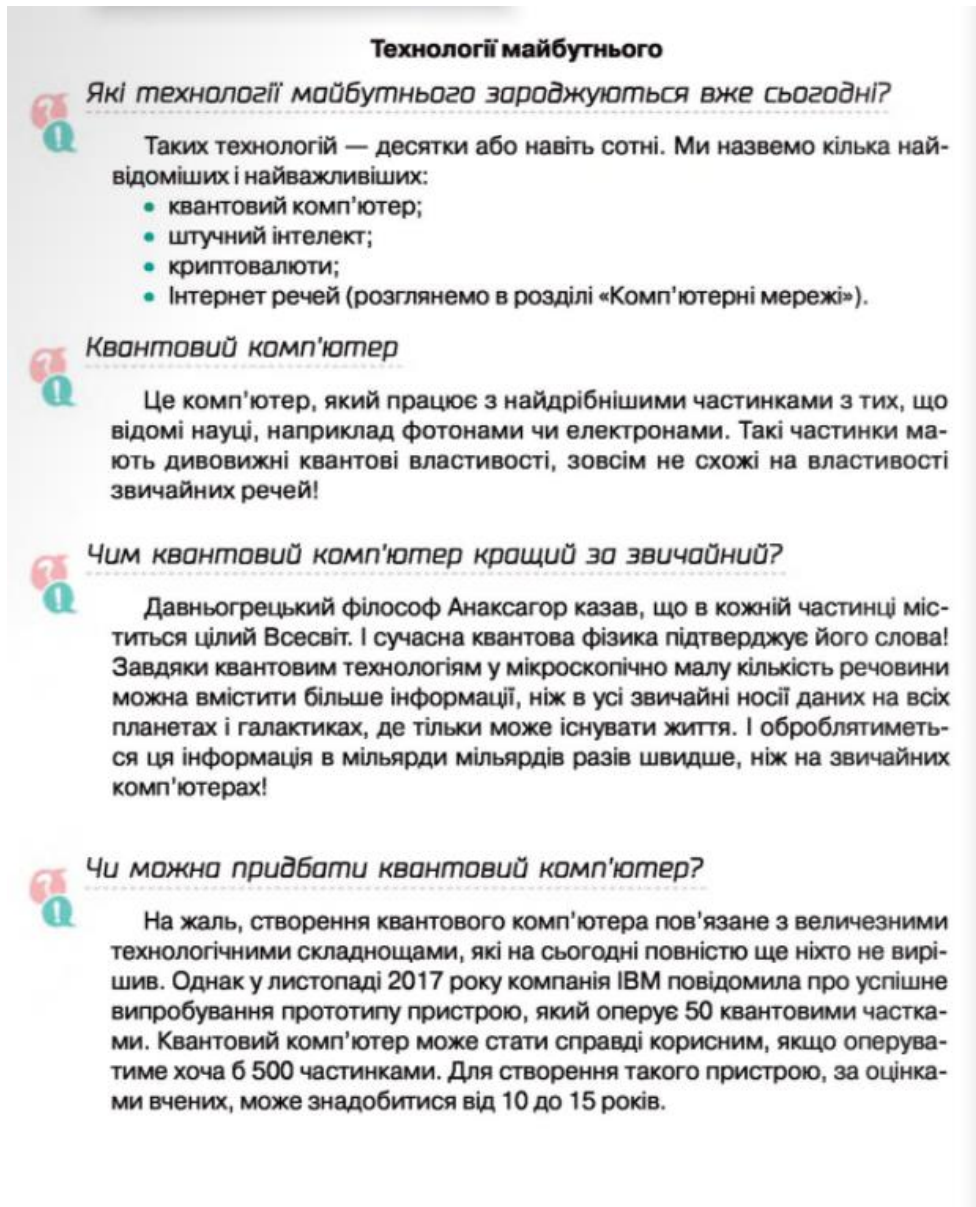


Рис. 1.2. Фрагмент із підручника з інформатики для 5 класу

## Розділ IV. Атомна та ядерна фізика

§ 36. Дослід Е. Резерфорда. Постулати Н. Бора. Енергетичні рівні атома . . . . .	210
§ 37. Види спектрів. Основи спектрального аналізу . . . . .	215
§ 38. Квантово-оптичні генератори (лазери) . . . . .	219
§ 39. Протонно-нейтронна модель атомного ядра. Ядерні сили. Енергія зв'язку . . . . .	224
§ 40. Радіоактивність. Основний закон радіоактивного розпаду . . . . .	230
§ 41. Отримання та застосування радіонуклідів. Методи реєстрації йонізуючого випромінювання . . . . .	236
§ 42. Ланцюгова реакція поділу ядер Урану. Термоядерні реакції . . . . .	241
§ 43. Елементарні частинки . . . . .	247

Рис. 1.3. Фрагмент змісту підручника [26]

<b>Розділ 4. КВАНТОВА ТА ЯДЕРНА ФІЗИКА</b> . . . . .	236
§ 50. Будова атома . . . . .	236
§ 51. Теорія атома Гідрогену за Бором . . . . .	238
§ 52. Спектри. Спектральний аналіз . . . . .	242
§ 53. Хвильові властивості матерії . . . . .	245
§ 54. Основні положення квантової механіки . . . . .	248
§ 55. Фізичні основи побудови періодичної системи хімічних елементів . . . . .	252
§ 56. Рентгенівське випромінювання . . . . .	258
§ 57. Квантові генератори та їх застосування . . . . .	262
§ 58. Атомне ядро . . . . .	265
§ 59. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду . . . . .	270
§ 60. Ядерні реакції . . . . .	276
§ 61. Методи реєстрації йонізуючого випромінювання . . . . .	281
§ 62. Біологічна дія радіації та захист від йонізуючого випромінювання . . . . .	285
§ 63. Елементарні частинки . . . . .	287

Рис. 1.4. Фрагмент змісту підручника [25]

У даному підручнику, на відміну від попередніх, є місце базовим поняттям саме квантової фізики. А саме, у параграфі 54 пояснюється, що таке хвильова функція тощо (додаток А).

Ми розуміли, що під час створення курсу з квантової інформатики викладання базових знань із квантової фізики будуть неймовірно корисними для учнів. Квантова інформатика, хоч і відрізняється від квантової фізики тим, що вона є більш вузькою областю, тим не менш, вона потребує знань про те, що собою являє хвильова функція та де її можна використовувати.

Підсумовуючи, можна сказати, що питання квантової інформатики та механіки епізодично представлені у системі шкільної фізико-інформатичної освіти: лише учні профільних класів з фізики мають можливість ознайомитись з особливостями квантового світу під час навчання в 11 класі.

## 1.2. Квантова інформатика у закладах вищої освіти

Заклади вищої освіти пропонують більш складні дисципліни та покривають більшу кількість предметних областей у порівнянні із закладами загальної середньої освіти.

Так, Львівський національний університет імені Івана Франка разом із компанією SoftServe запустили першу в Україні освітню програму квантово орієнтованого змісту – «Квантові комп'ютери та квантове програмування» на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти [20].

Філіал науково-дослідного інституту квантових обчислень Університету Ватерлоо пропонують міждисциплінарні освітні програми [8], адже структура ЗВО представлена таким чином:

1. Факультет природничих наук

- Кафедра хімії
- Кафедра фізики та астрономії

2. Інженерний факультет

- Кафедра електротехніки та обчислювальної техніки

3. Факультет математики

- Кафедра прикладної математики
- Кафедра комбінаторики та оптимізації
- Кафедра чистої математики
- Школа комп'ютерних наук Девіда Р. Черітона

Ефективне вивчення квантової інформатики, зокрема квантового програмування, в університетах потребує вивчення кількох додаткових дисциплін, а саме: дисципліни з фізики, зокрема квантової фізики, основ класичного (неквантового) програмування та лінійної алгебри. Так, для нових слухачів курсу CS 269Q Стенфордського університету [2] (орієнтованого на вивчення програмування квантових комп'ютерів) опорними знаннями є базові знання лінійної алгебри та програмування.

Було відмічено, що загальні вимоги до вивчення квантового програмування студентами на вище перерахованих курсах не є завищеними і не відрізняються від вимог до курсів із квантового програмування для учнів. Із чим ми не можемо погодитися, адже умови та підходи до навчання студентів та учнів (навіть ліцеїстів) мають певні особливості, що перш за все пов'язане

із переліком та рівнями сформованості предметних компетентностей студентів та учнів, а також методик набуття нових.

Все більшої популярності набувають масові відкриті онлайн курси у порівнянні з класичними академічними курсами. Кількість масових відкритих онлайн курсів помітно зросла через пандемію COVID-19. По всьому світу університети почали переносити власні академічні курси на онлайн-платформи для всіх зацікавлених. Прикладами таких платформ є edX і Coursera. Переліки курсів квантово орієнтованого змісту на платформах edX і Coursera показані на рис. 1.6. та рис. 1.7 відповідно.

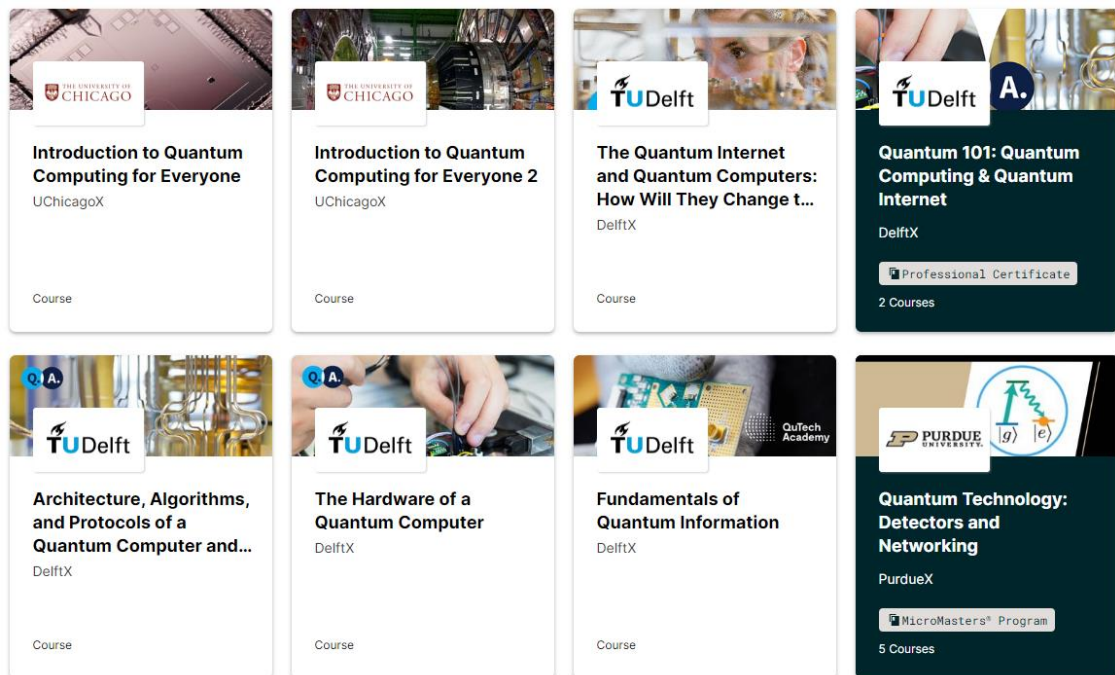
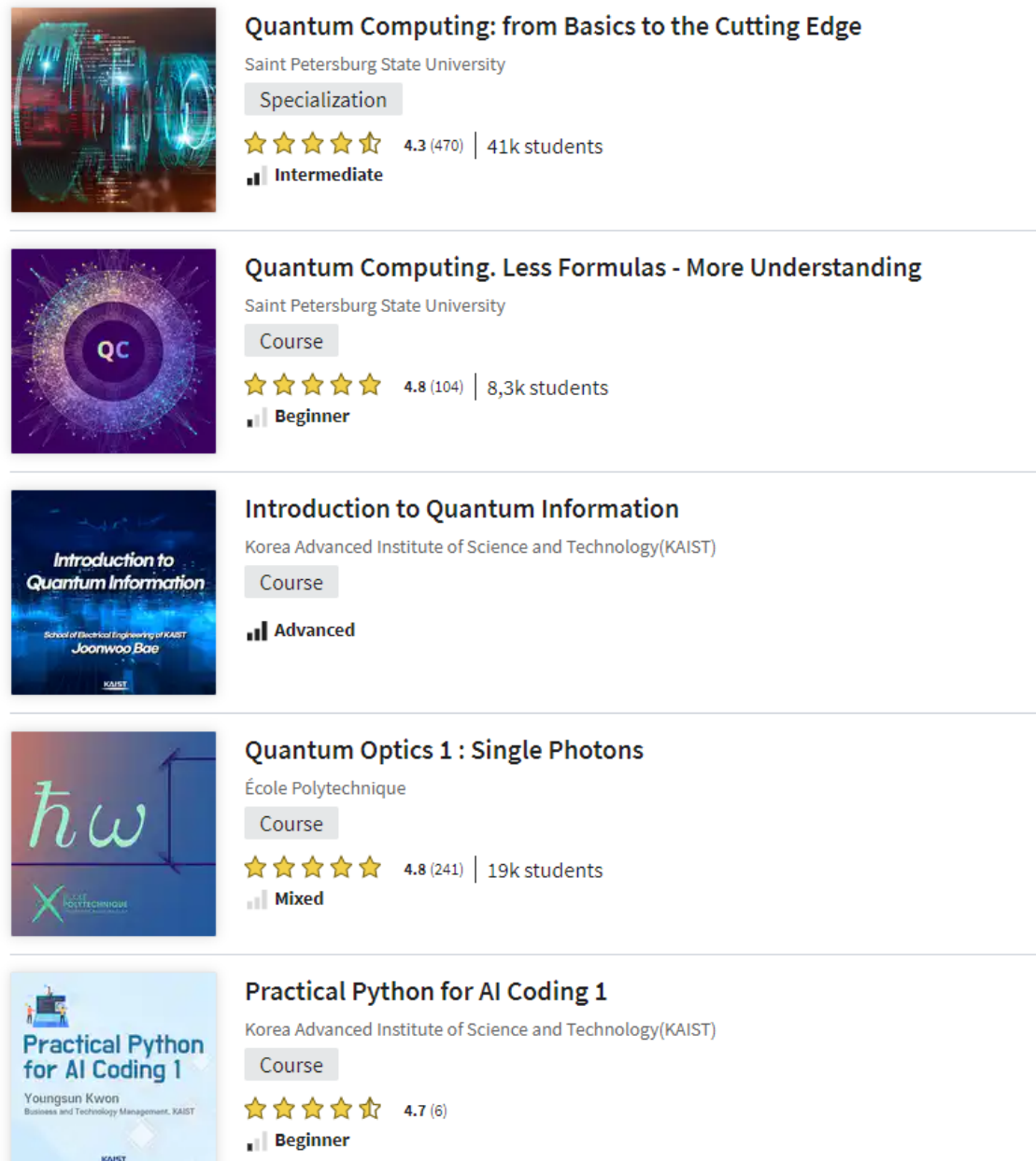


Рис. 1.6. Навчальні курси квантово орієнтованого змісту на платформі edX

На сьогодні на платформі edX налічується 24 курси квантово орієнтованого змісту, на платформі Coursera – 27. Незважаючи на популярність онлайн-платформ edX та Coursera, частка курсів квантово орієнтованого змісту не є досить представницькою (наприклад, навчальних курсів з математики пропонується у кількості 1713).



The image shows five course listings on the Coursera platform, each with a thumbnail, title, institution, level, rating, and student count.

- Quantum Computing: from Basics to the Cutting Edge**  
Saint Petersburg State University  
Specialization  
4.3 (470) | 41k students  
Intermediate
- Quantum Computing. Less Formulas - More Understanding**  
Saint Petersburg State University  
Course  
4.8 (104) | 8,3k students  
Beginner
- Introduction to Quantum Information**  
Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)  
Course  
Advanced
- Quantum Optics 1 : Single Photons**  
École Polytechnique  
Course  
4.8 (241) | 19k students  
Mixed
- Practical Python for AI Coding 1**  
Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)  
Course  
4.7 (6)  
Beginner

Рис. 1.7. Навчальні курси квантово орієнтованого змісту на платформі Coursera

### 1.3. Основні підходи до навчання основ квантової інформатики учнів ліцеїв

Зазначений у п. 1.1 спеціалізований курс «Quantum Computing as a High School Module», зміст якого може бути покладений в основу відповідного факультативу для учнів, має таку тематичну структуру:

1. Вступ до суперпозиції.

2. Що таке кубіт?
3. Створення суперпозиції: дільник променів.
4. Створення суперпозиції: дослід Штерна – Герлаха.
5. Квантова криптографія.
6. Квантові вентиля.
7. Квантова заплутаність.
8. Квантова телепортація.
9. Квантові алгоритми.

Структурна модель курсу наведена на рис. 1.8.

Зміст теоретичних відомостей курсу (бра-кет нотації, способів подання матриць, поняття кубіту тощо) та способи їх подання на візуалізованих прикладах можуть бути покладені в основу авторського україномовного факультативного курсу з основ квантової інформатики для учнів ліцеїв.

Більш практично орієнтованим курсом є курс з квантових обчислень, що пропонує IBM в межах проекту Qiskit Foundation [7].

Зміст курсу:

1. Квантові стани та кубіти.
2. Багатокубітні системи та квантова заплутаність.
3. Квантові протоколи та квантові алгоритми.
4. Прикладні квантові алгоритми.
5. Дослідження квантового обладнання за допомогою квантових мікросхем.
6. Дослідження квантового обладнання за допомогою мікрохвильових пульсацій.
7. Лабораторія квантових обчислень.
8. Додаткові питання.
9. Ігри та демонстрації.

Курс містить інтерактивні приклади мовою Python (рис. 1.9).

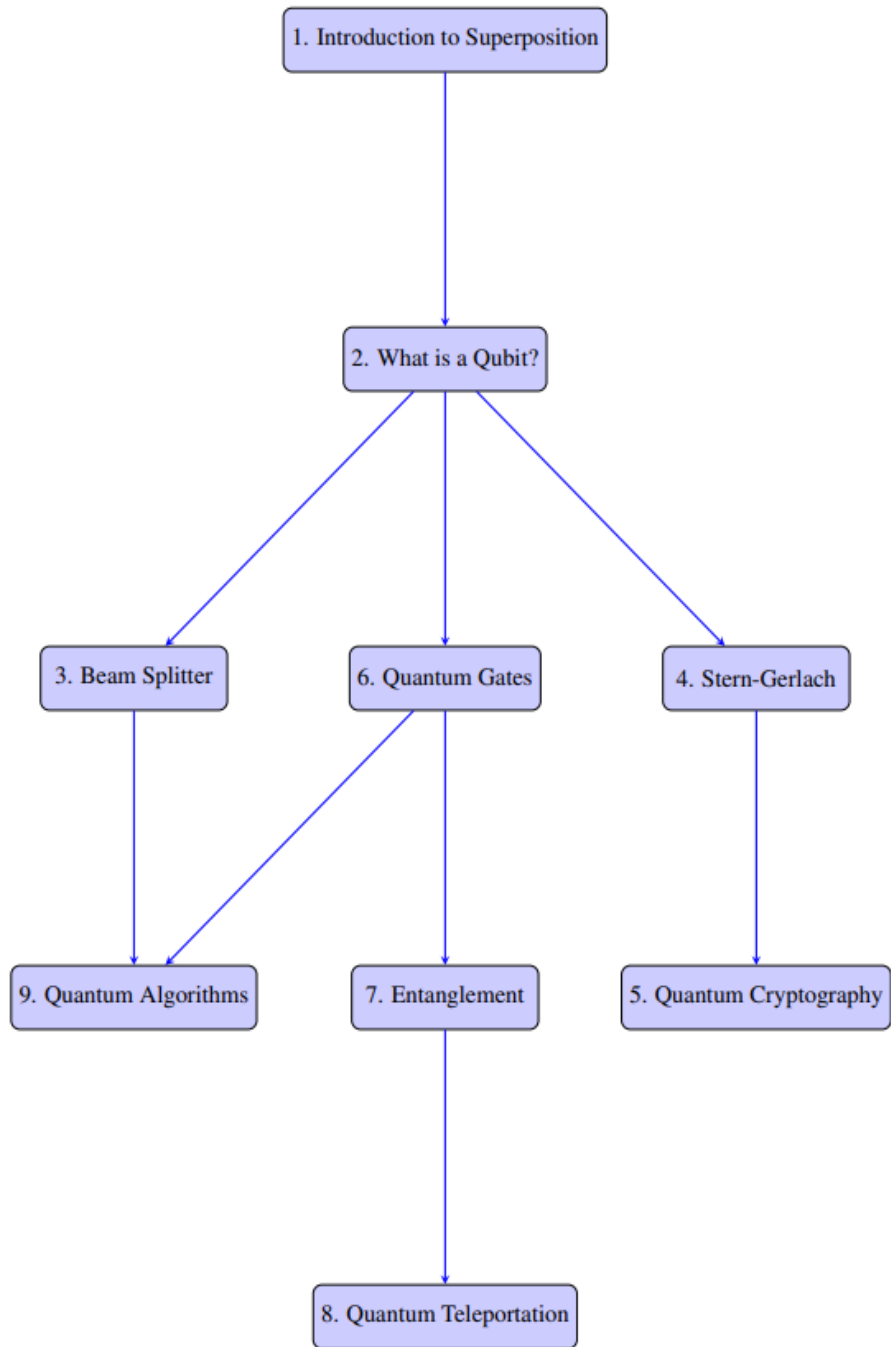


Рис. 1.8. Структурна модель курсу «Quantum Computing as a High School Module»

### 1.3 Exploring Qubits with Qiskit

First, we need to import all the tools we will need:

```
from qiskit import QuantumCircuit, assemble, Aer
from qiskit.visualization import plot_histogram, plot_bloch_vector
from math import sqrt, pi
```

try

In Qiskit, we use the `QuantumCircuit` object to store our circuits, this is essentially a list of the quantum operations on our circuit and the qubits they are applied to.

```
qc = QuantumCircuit(1) # Create a quantum circuit with one qubit
```

try

In our quantum circuits, our qubits always start out in the state  $|0\rangle$ . We can use the `initialize()` method to transform this into any state. We give `initialize()` the vector we want in the form of a list, and tell it which qubit(s) we want to initialize in this state:

```
qc = QuantumCircuit(1) # Create a quantum circuit with one qubit
initial_state = [0,1] # Define initial_state as |1>
qc.initialize(initial_state, 0) # Apply initialisation operation to the 0th qubit
qc.draw() # Let's view our circuit
```

try

q —  $|\psi\rangle_{[0,1]}$  —

Рис. 1.9. Фрагмент сторінки навчального курсу від компанії IBM

Особистий досвід вивчення квантового програмування та аналіз змісту розглянутих вище курсів, засвідчує, що для ефективного засвоєння основ квантової інформатики є потреба не просто перекласти даний навчальний матеріал на українську мову, а й адаптувати його під вікові особливості сприйняття навчального матеріалу учнями ліцеїв, доповнити необхідним навчальним матеріалом з курсу лінійної алгебри та теорії ймовірностей. Без адаптування, без логічної інтеграції початків фізико-математичних основ квантових технологій із основами квантових теорій інформації, алгоритмізації та програмування, “занурення” учнів у квантову предметну галузь не буде результативним (ефективним).



## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ ОСНОВ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ УЧНІВ ЛІЦЕЇВ

#### **2.1. Загальна характеристика навчального курсу з основ квантової інформатики**

Для організації навчання основ квантової інформатики учнів ліцеїв (учнів 10-11 класів) нами було розроблено факультативний курс. Метою розробленого факультативу є формування та розвиток уявлень щодо основ квантових інформатичних технологій, зокрема фізичних та математичних засад, понять «квантовий комп'ютер», «кубіт», «квантовий алгоритм», особливостей реалізації квантових алгоритмів у спеціалізованих середовищах та за допомогою спеціалізованих сервісів.

Опорними знаннями курсу є:

- базові знання класичної (неквантової) інформатики (відповідно до базової програми для 5-9 класів);
- базові знання класичної (неквантової) фізики (відповідно до базової програми для 7-9 класів);
- базові знання з математики (відповідно до базової програми для 5-9 класів).

Факультативний курс розрахований на 14 уроків такої тематики:

1. Знайомство з квантовим світом. Властивості фотонів.
2. Основи лінійної алгебри.
3. Арифметико логічні основи роботи класичного комп'ютера.
4. Кубіт. Квантовий логічний вентиль Паулі X.
5. Квантові логічні вентиля Паулі Z, Y. Комплексні числа.
6. Квантові логічні вентиля Адамара та контрольованого заперечення.
7. Алгоритм квантової телепортації. Реалізація алгоритму квантової телепортації за допомогою графічного середовища IBM Quantum Composer.
8. Квантові вентиля Тоффолі та Фредкіна.

9. Квантова комунікація. Квантова криптографія.
10. Алгоритм Бернштейна-Вазірані.
11. Алгоритм Дойча-Йожи.
12. Алгоритм Гровера.
13. Алгоритм Шора.
14. Підсумковий урок.

Можна бачити, що перші уроки присвячені початкам фізико-математичних основ квантових інформатичних технологій – хвильовій функції, матрицям та операціям на них, а також повторенню арифметико-логічних основ роботи класичних комп'ютерів.

Серед особливостей курсу слід відмітити його міжпредметність (інтегрованість), анімаційний підхід до унаочнення ключових понять, метод аналогій, діяльнісний підхід до виконання практичних завдань та тестування як засіб моніторингу і контролю досягнень учнів.

Міжпредметність (інтегрованість) курсу очевидна в силу інтегрованої природи квантової інформатики як предметної галузі. Першою фундаментальною основою квантової інформатики є квантова фізика. Беручи до уваги, що у навчальній програмі з фізики рівня стандарту [27] питанням квантової фізики немає місця, ознайомлення учнів із постулатами квантової фізики потребує особливого підходу, не виключається допомога (запрошення на бінарні уроки, попередня фахова консультація) вчителя фізики.

Таке рішення було прийняте через те, що велика кількість курсів із квантового програмування одразу занурюють слухача у світ складної та незрозумілої квантової фізики, що є неприпустимим на випадок навчання саме учнів. Потрібно розуміти, що ми з вами живемо у світі класичної механіки. У нас з дитинства формувалися уявлення, направлені на розуміння процесів класичної механіки. Для того, щоб почати розуміти особливості квантового світу, потрібно абстрагуватися від тих уявлень, що формувалися так довго. Навчаючи учнів ми робимо це за допомогою різних анімацій на презентаціях. Звісно повністю відмовитись від порівняння квантового світу та нашого не

вийде, але в якомусь сенсі, ці порівняння можуть допомогти учням зрозуміти базові поняття квантової інформатики.

Другою фундаментальною основою квантової інформатики (після квантової фізики) є математика. При вивченні квантової інформатики, навіть її основ, виникає потреба у розумінні складних математичних об'єктів – об'єктам лінійної алгебри – матрицям та операціям над ними, яким немає місця у навчальних програмах з математики а ні у базовій, а ні у профільній школі [22; 23; 24].

Третім фундаментом квантової інформатики є класична інформатика, зокрема арифметико-логічні основи роботи комп'ютера класичної архітектури. Не дивлячись на те, що принципи роботи квантових комп'ютерів суттєво відрізняються від принципів роботи класичних комп'ютерів, метод аналогії не завадить при знайомстві учнів з кубітом, з квантовими вентилями тощо.

## **2.2. Дидактичні засоби з основ квантової інформатики**

Комплект дидактичних засобів з основ квантової інформатики включає:

- комплект навчальних презентацій;
- систему практичних завдань;
- сервіс (середовище) реалізації квантових алгоритмів;
- комплект тестів.

Вже традиційно навчальні презентації супроводжують розповідь (лекцію) вчителя на етапі пояснення учням нового навчального матеріалу. Слід пам'ятати про те, що перевантаження слайдів презентації виключно текстом не є запорукою ефективного сприйняття учнями вивчаемого матеріалу. Саме тому на слайдах презентацій нашого курсу оптимально поєднано текстові та графічні фрагменти, зокрема анімовані зображення, реалізовані із використанням інструментарію редактору слайдових презентацій Microsoft Office PowerPoint. Так як більшість елементів квантової фізики є складними та важко уявити, то використання таких засобів дозволяє максимально ефективно продемонструвати різні явища (рис. 2.1 – 2.3).



Рис. 2.1. Слайд із анімованою демонстрацією траєкторій руху спінів (режим редагування)



Рис. 2.2. Слайд із анімованою демонстрацією траєкторій руху спінів (режим показу, старт анімації)



Рис. 2.3. Слайд із анімованою демонстрацією траєкторій руху спінів  
(режим показу, результат завершення анімації)

Систему тестових завдань було розроблено для організації моніторингу, тематичного та підсумкового контролю досягнень учнів.

Тематичні тести включають тестові завдання різних видів, що відповідає різним рівням складності. Розробка тестів, їх структуроване накопичення та власне тестування було організоване на платформі Classtime. Дана платформа має значну кількість переваг, як для вчителів, так і для учнів, у порівнянні з іншими існуючими аналогами.

Тестові завдання першого виду й першого рівня складності – це тестові завдання виду «альтернатива», в яких учні мають визначити чи є сформульоване твердження вірним чи ні, та обрати відповідний варіант відповіді (рис. 2.4).

Ваше питання

Повну енергію фотона можна визначити за законом взаємозв'язку маси-енергії

74 / 170

Опційно, додайте більше деталей тут...

Додати зображення   Додати YouTube відео   Додати аудіо

Правда/Неправда ▾

1 бал

Правда

Неправда

Рис. 2.4. Ілюстрація тестового завдання виду «альтернатива» на платформі Classtime

Другий вид тестових завдань передбачає вибір одного варіанту відповіді із 3-5 запропонованих (рис. 2.5). Такі тести орієнтовані на перевірку загальних знань учнів, таких як знання термінів, вивчених на уроці.

Ваше питання

Квант це-

9 / 170

Опційно, додайте більше деталей тут...

Додати зображення   Додати YouTube відео   Додати аудіо

Одна правильна відповідь ▾

1 бал

Електромагнітні хвилі видимого спектра

Елементарна дискретна неподільна частка певної фізичної величини

Коливальний рух частинок пружного середовища

Скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії

+ Додати варіант відповіді

Рис. 2.5. Ілюстрація тестового завдання виду «один з багатьох» на платформі Classtime

Тестові завдання наступного рівня складності є тестами виду «на відповідність» (рис. 2.6). Дані тести використовуються як для перевірки рівня засвоєних знань, так і для перевірки уважності учнів.

Ваше питання

Вкажіть максимальну швидкість, якої об'єкт може досягти в рамках вивчення певного розділу механіки

98 / 170

Де,  $V$  - швидкість об'єкту  
 $c$  - швидкість світла

Додати зображення | Додати YouTube відео | Додати аудіо

Встановити відповідність

1 бал

	$V=c$	$V<c$	$V>c$	+ Додати категорію
Квантова механіка	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	×
Релятивістська механіка	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	×
Класична механіка	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	×
+ Додати позицію	×	×	×	

Рис. 2.6. Ілюстрація тестового завдання виду «на відповідність» на платформі Classtime

Тестові завдання четвертого (найвищого у нашій системі) рівня складності – це тестові завдання із відкритою відповіддю у вигляді текстового фрагмента чи числа (рис. 2.7).

Ваше питання

Що таке спіні?

13 / 170

Опційно, додайте більше деталей тут...

Додати зображення | Додати YouTube відео | Додати аудіо

Текст

2 бали

Рис. 2.7. Ілюстрація тестового завдання із відкритою відповіддю на платформі Classtime

Для організації тестування у випадку відсутності Інтернету на уроці, або ж організації бланкового (некомп'ютерного) тестування, розробка тестів була також здійснена засобами текстового процесору Microsoft Office Word (рис. 2.8-2.9).

9. Результатом визначника матриці є...

1 бал

- Матриця тієї ж розмірності
- Матриця розмірності 2 на 2
- Число
- 2 числа

Рис. 2.8. Ілюстрація тестового завдання другого рівня складності, створеного у Microsoft Office Word

1. Вкажіть види матриць

1 бал

- Транспонована матриця
- Матриця квантова
- Матриця стовпчик
- Матриця рядок

Рис. 2.9. Ілюстрація тестового завдання третього рівня складності, створеного у Microsoft Office Word

У першому випадку учні мають змогу отримати електронний документ Microsoft Office Word із тестом. Після того, як учні виконають усі тестові завдання вони надсилають на перевірку вчителю файл із відповідями.



У другому випадку (безкомп'ютерному варіанті) вчитель має змогу роздрукувати тестові завдання та використовувати їх, як роздатковий матеріал.

### **2.3. Методичні рекомендації щодо організації навчання основ квантової інформатики**

Готуючись до роботи з матеріалами авторського факультативного курсу з основ квантової інформатики, вчителю потрібно завантажити їх із папки Google диску (рис. 2.10) за посиланням

<https://drive.google.com/drive/folders/1aFxY0KeCkgkfUJoSpRZmuvVr9aiuW5g3?usp=sharing>.

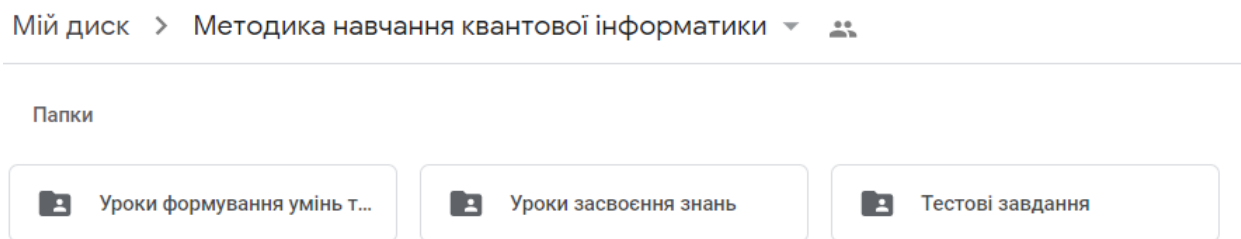


Рис. 2.10. Папка диску Google з навчальними матеріалами авторського факультативного курсу з основ квантової інформатики

Серед даних матеріалів диску Google:

- матеріали до уроків засвоєння нових знань;
- матеріали до уроків формування умінь та навичок;
- комплекти тестових завдань, створені у текстовому процесорі

Microsoft Office Word.

Для завантаження тестових завдань з платформи Classtime необхідно перейти за наданим у матеріалах уроку посиланням, після чого додати потрібну тестову теку до своєї бібліотеки на платформі (рис. 2.11).

Після завантаження питань до власної бібліотеки, вчитель матиме можливість розпочати тестову онлайн сесію для учнів.

## Знайомство з КВАНТОВИМ СВІТОМ

[+ Додати до моєї бібліотеки](#)

8 питань

- Вкажіть максимальну швидкість, якої об'єкт може досягти в рамках вивчення певного розділу механіки
- До досягнень Ернеста Резерфорда можна віднести:
- В чому полягала основна проблема атомної моделі Ернеста Резерфорда?
- Квант це-
- Чому дорівнює швидкість світла у вакуумі
- Повну енергію фотона можна визначити за законом взаємозв'язку маси-енергії
- Світло в цілому (як потік фотонів) не має маси

Рис. 2.11. Комплект тестових завдань на платформі Classtime

Для організації роботи на уроках формування умінь та навичок (на етапі практичного виконання завдань) відповідно до програми факультативного курсу і вчитель, і учні мають бути зареєстровані на платформі IBM Quantum (рис. 2.12). Зареєструватися на платформі IBM Quantum можна за наявним обліковим записом Google.

Для уникнення проблем із входом учнів в облікові записи на платформі IBM Quantum на випадок забування паролів та логінів (адже з даними обліковим записом учні не працюють щоденно), і для економії урочного часу на авторизацію учнів на платформі, вчителю рекомендується зафіксувати вхідні дані акаунтів учнів на платформі IBM Quantum, наприклад у вигляді електронної таблиці (рис. 2.13).

Already have an IBM account? [Log in](#)

## Sign up for an IBMid

### 1. Account information

E-mail ⓘ

lizaweta.bogunencko@gmail.com



We'll send you a 7 digit code that you'll use to verify your email in step 2.

First name

Last name

Password



- 8 characters minimum
- One lowercase character

- One uppercase character
- One number

Country or region of residence

Ukraine



Рис. 2.12. Сторінка реєстрації на платформі IBM Quantum

Анастасія	Агаєва	ahaievaanastasiia@shkola79.ukr.education
Марія	Блинова	blynovamariia@shkola79.ukr.education
Володимир	Бугай	buhaivolodymyr@shkola79.ukr.education
Олександра	Вишневська	vyshnevskaoleksandra@shkola79.ukr.education
Анастасія	Гавенко	havenkoanastasiia@shkola79.ukr.education
Олександр	Глебенко	hlebenkooleksandr@shkola79.ukr.education
Катерина	Губа	hubakateryna@shkola79.ukr.education
Ірина	Коропатова	koropatovairyna@shkola79.ukr.education
Софія	Котова	kotovasofiiia@shkola79.ukr.education
Микита	Кравченко	kravchenkomykyta@shkola79.ukr.education
Олексій	Макареєв	makarieievoleksii@shkola79.ukr.education
Вікторія	Малишенко	malyshekoviktoriia@shkola79.ukr.education
Ганна	Мітрофанова	mitrofanovahanna@shkola79.ukr.education
Валерія	Молодецька	molodetskavaleriia@shkola79.ukr.education

Рис. 2.13. Електронна таблиця із даними облікових записів учнів

Після реєстрації/авторизації вчитель та учні обирають середовище в якому будуть працювати, у нашому випадку це IBM Quantum Composer

(рис. 2.14). За допомогою IBM Quantum Composer учні разом із вчителем мають змогу будувати квантові алгоритми графічно – у вигляді квантових схем та запускати їх або на симуляторах, або на реальних квантових комп'ютерах.

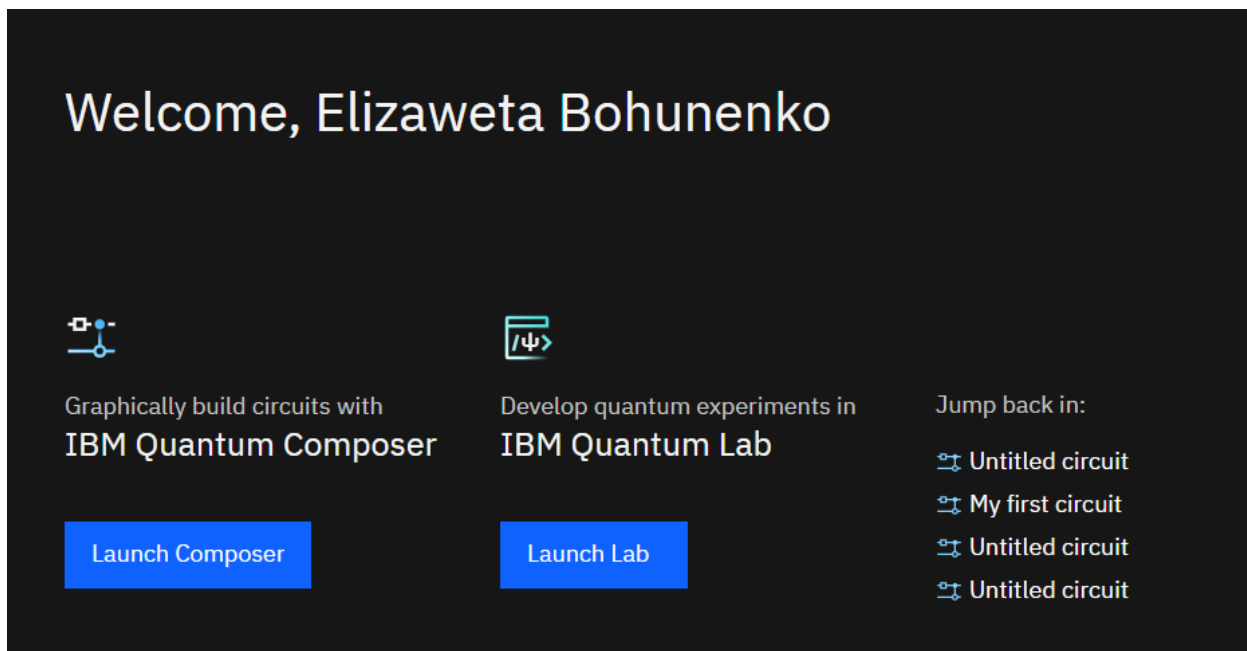


Рис. 2.14. Вікно вибору сервісу IBM Quantum

Робота в IBM Quantum Composer є інтуїтивно зрозумілою і заснована на технології drag-and-drop – під час проєктування квантової схеми користувач має перетягнути потрібний компонент з панелі (рис. 2.15) в область редактора схеми (рис. 2.16).



Рис. 2.15. Компоненти квантової схеми

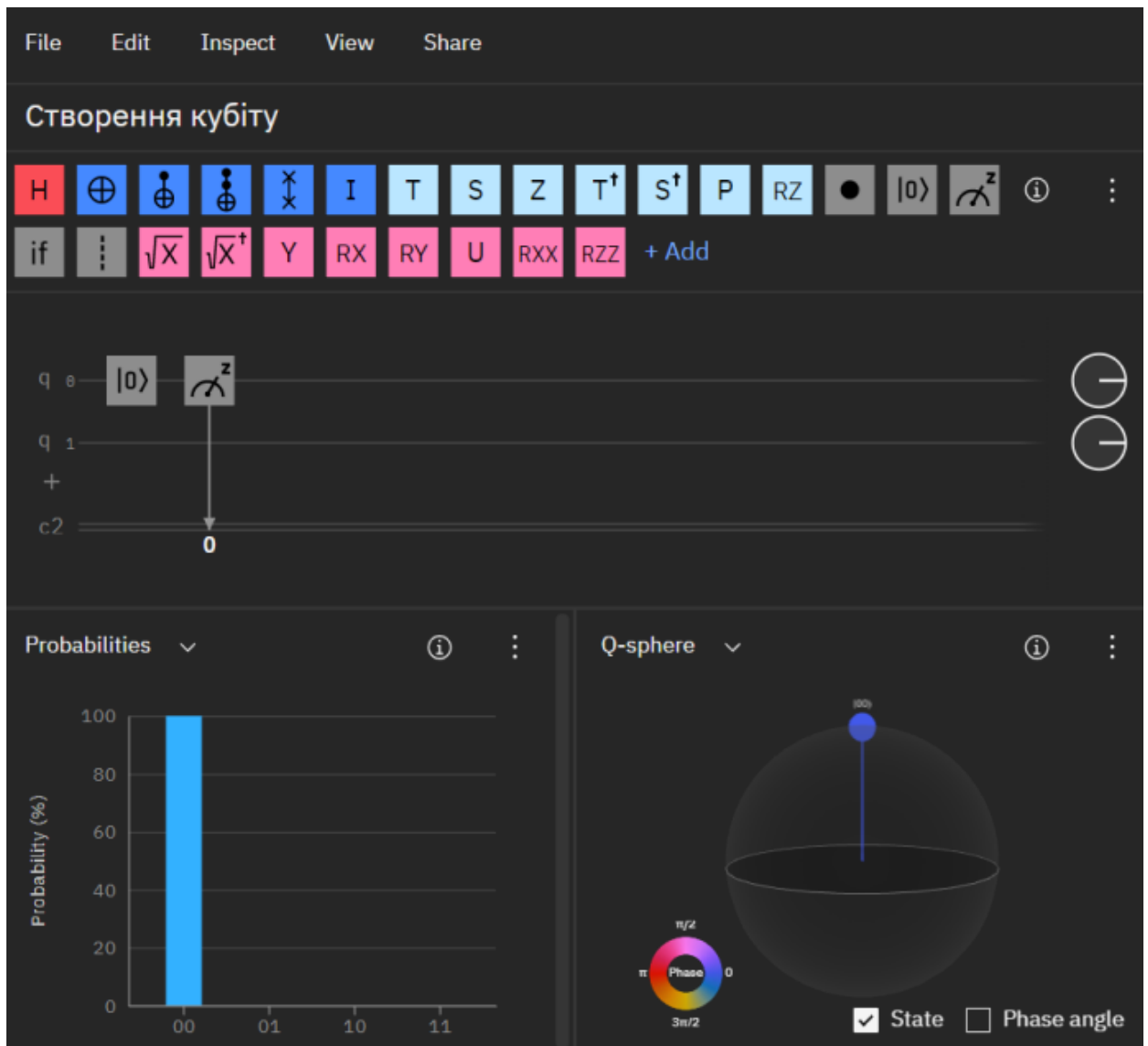


Рис. 2.16. Сторінка сервісу IBM Quantum Composer

Окремі елементи авторської методики навчання ліцеїстів основ квантової інформатики пройшли етап пілотного впровадження, у якому взяли участь 14 учнів 11-го класу інформаційно-технологічного профілю навчання КЗШ №79.

## ВИСНОВКИ

1. У результаті узагальнення та систематизації теоретичних відомостей щодо квантових інформатичних технологій було встановлено:

– квантова інформатика – нова галузь сфери науки та технологій, яка комбінує в собі дисципліни із фізики, математики, комп'ютерних наук та інженерії;

– квантовий комп'ютер – обчислювальний пристрій, що використовує властивості квантової фізики для збереження та опрацювання даних.

Такі корпорації-гіганти як IBM та Google не лише працюють на створення квантових обчислювальних пристроїв, а й популяризують квантові технології, зокрема серед учнівської молоді.

Аналіз змісту чинних програм та підручників у системі шкільної фізико-інформатичної освіти показав, що питання квантової інформатики та механіки представлені точково: у базовій школі – на уроках інформатики (у 5-х класах!) за підручниками О. Коршунової та І. Завадського оглядово піднімаються питання про квантові комп'ютери, їх призначення та загальні уявлення про особливості роботи; у старшій школі – лише на уроках фізики за програмою та відповідним підручником профільного рівня учні 11-го класу мають можливість ознайомитись з особливостями квантового світу.

2. Огляд існуючих, виключно англomовних, курсів з квантових технологій для учнівської молоді дозволив визначити ключову умову ефективного навчання квантової інформатики в закладах загальної середньої освіти є реалізація навчання на засадах інтегрованого та діяльнісного підходів.

3. Спроектовано факультативний курс з основ квантової інформатики для учнів ліцеїв, надано методичні рекомендації щодо організації роботи вчителя інформатики з його окремими складовими.

Серед особливостей курсу слід відмітити його міжпредметність (інтегрованість), анімаційний підхід до унаочнення ключових понять, метод

аналогій, діяльнісний підхід до виконання практичних завдань та тестування як засіб моніторингу і контролю досягнень учнів.

Авторський комплект дидактичних засобів факультативного курсу з основ квантової інформатики для учнів ліцею включає:

- комплект навчальних презентацій;
- систему практичних завдань;
- сервіс (середовище) реалізації квантових алгоритмів – IBM Quantum Composer;
- комплект різнорівневих тестів (створений, накопичений та апробований на платформі Classtime); для тестування учнів в умовах відсутності Інтернету, або ж проведення бланкового тестування розробка тестів була також здійснена засобами текстового процесору Microsoft Office Word.

Окремі елементи авторської методики навчання ліцеїстів основ квантової інформатики пройшли етап пілотного упровадження, у якому взяли участь 14 учнів 11-го класу інформаційно-технологічного профілю навчання КЗШ №79.

Матеріали розробленого факультативного курсу з основ квантової інформатики для учнів ліцеїв можуть бути використані на підтримку неформального та формального освітніх процесів, зокрема для учнів-членів МАН.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anastasia Perry, Ranbel Sun, Ciaran Hughes, Joshua Isaacson, Jessica Turner. Quantum Computing as a High School Module. – 1 April, 2020. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1905.00282.pdf> (дата звернення 06.12.2021)
2. CS 269Q: Quantum Computer Programming. – Режим доступу: <https://cs269q.stanford.edu/info.html> (дата звернення 28.11.2021)
3. Donna Lu, What is a quantum computer? – Режим доступу: <https://www.newscientist.com/question/what-is-a-quantum-computer/> (дата звернення 29.11.2021)
4. EDU-SIG: Python in Education | Python.org. – Режим доступу: <https://www.python.org/community/sigs/current/edu-sig/> (дата звернення 25.11.2021)
5. Grover, L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search. In Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing. – 1996, July. – pp. 212-219. (дата звернення 30.11.2021)
6. IBM Quantum. – Режим доступу: <https://quantum-computing.ibm.com/> (дата звернення 07.12.2021)
7. Learn Quantum Computation using Qiskit. – Режим доступу: <https://qiskit.org/textbook/preface.html> (дата звернення 02.12.2021)
8. Programs | Institute for Quantum Computing | University of Waterloo. – Режим доступу: <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/programs> (дата звернення 04.12.2021)
9. Qiskit Global Summer School 2021. – Режим доступу: <https://qiskit.org/events/summer-school/> (дата звернення 03.12.2021)
10. Qiskit. – Режим доступу: <https://qiskit.org/> (дата звернення 08.12.2021)
11. Quantum Computing Definition. – Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/q/quantum-computing.asp> (дата звернення 26.11.2021)



12. Quantum Information Science. An Emerging Field of Interdisciplinary Research and Education in Science and Engineering. – Report of the NSF Workshop, October 28-29, 1999, Arlington, Virginia. – Режим доступу: <https://www.nsf.gov/pubs/2000/nsf00101/nsf00101.htm> (дата звернення 25.11.2021)
13. Quantum Information Science: Making the Leap. – September 25, 2018. – Режим доступу: <https://www.nist.gov/blogs/taking-measure/quantum-information-science-making-leap> (дата звернення 14.11.2021)
14. Quantum program for high school students gets a new name, gears up for hybrid learning. – Режим доступу: <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/news/quantum-program-high-school-students-gets-new-name-gears> (дата звернення 16.11.2021)
15. Quantum School for Young Students. – Режим доступу: <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/qsys> (дата звернення 05.12.2021)
16. Qubits Qubit | Programs. – Режим доступу: <https://www.qubitbyqubit.org/programs> (дата звернення 06.12.2021)
17. Schools using Python – Python Wiki. – Режим доступу: <https://wiki.python.org/moin/SchoolsUsingPython> (дата звернення 29.11.2021)
18. Shokaliuk S. V. Technologies of distance learning for programming basics lessons on the principles of integrated development of key competences / Svitlana V. Shokaliuk, Yelyzaveta Yu. Bohunencko, Iryna V. Lovianova, Mariya P. Shyshkina // Proceedings of the 7th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2019), Kryvyi Rih, Ukraine, December 20, 2019 / Edited by : Arnold E. Kiv, Mariya P. Shyshkina // CEUR Workshop Proceedings. – Vol. 2643. – P. 548–562. – Access mode : <http://ceur-ws.org/Vol-2643/paper32.pdf> (дата звернення 17.11.2021)

- 19.Інформатика: підручник для 5 класів закладів загальної середньої освіти / О. В. Коршунова, І. О. Завадський. – К.: Видавничий дім «Освіта», 2018. – 144 с. : іл. (дата звернення 06.12.2021)
- 20.Квантове програмування в університеті. SoftServe та ЛНУ ім. І. Франка запускають першу в Україні бакалаврську програму. – Режим доступу: <https://dou.ua/forums/topic/34400/> (дата звернення 22.11.2021)
- 21.Легка Л., Шокалюк С., Богуненко Є. Пропедевтика вивчення квантової інформатики у профільній (старшій) школі. Фізико-математична освіта, 2019, 28(2), 51–56 с. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-028-2-009> (дата звернення 07.12.2021)
- 22.Математика. Поглиблений рівень. – 23 ст. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/matematika-poglibl-rivenfinal.docx> (дата звернення 16.11.2021)
- 23.Математика. Профільний рівень. – 24 ст. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/matematika-profilnij-rivenfinal.docx> (дата звернення 16.11.2021)
- 24.Математика. Рівень стандарту. – 15 ст. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/matematika.-riven-standartu.docx> (дата звернення 16.11.2021)
- 25.Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.): підручник для 11 класів закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. – К.: УОВЦ «Оріон», 2019. – 304 с.: іл. (дата звернення 17.11.2021)
- 26.Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.): підручник для 11 класів

закладів загальної середньої освіти / Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинів Ф. Я., Кірюхіна О. О; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. – Харків: Видавництво «Ранок», 2019. – 272 с. : іл., фот. (дата звернення 17.11.2021)

27. ФІЗИКА. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів. – 34 ст. 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-vm.pdf> (дата звернення 17.11.2021)

## ДОДАТКИ

## Додаток А

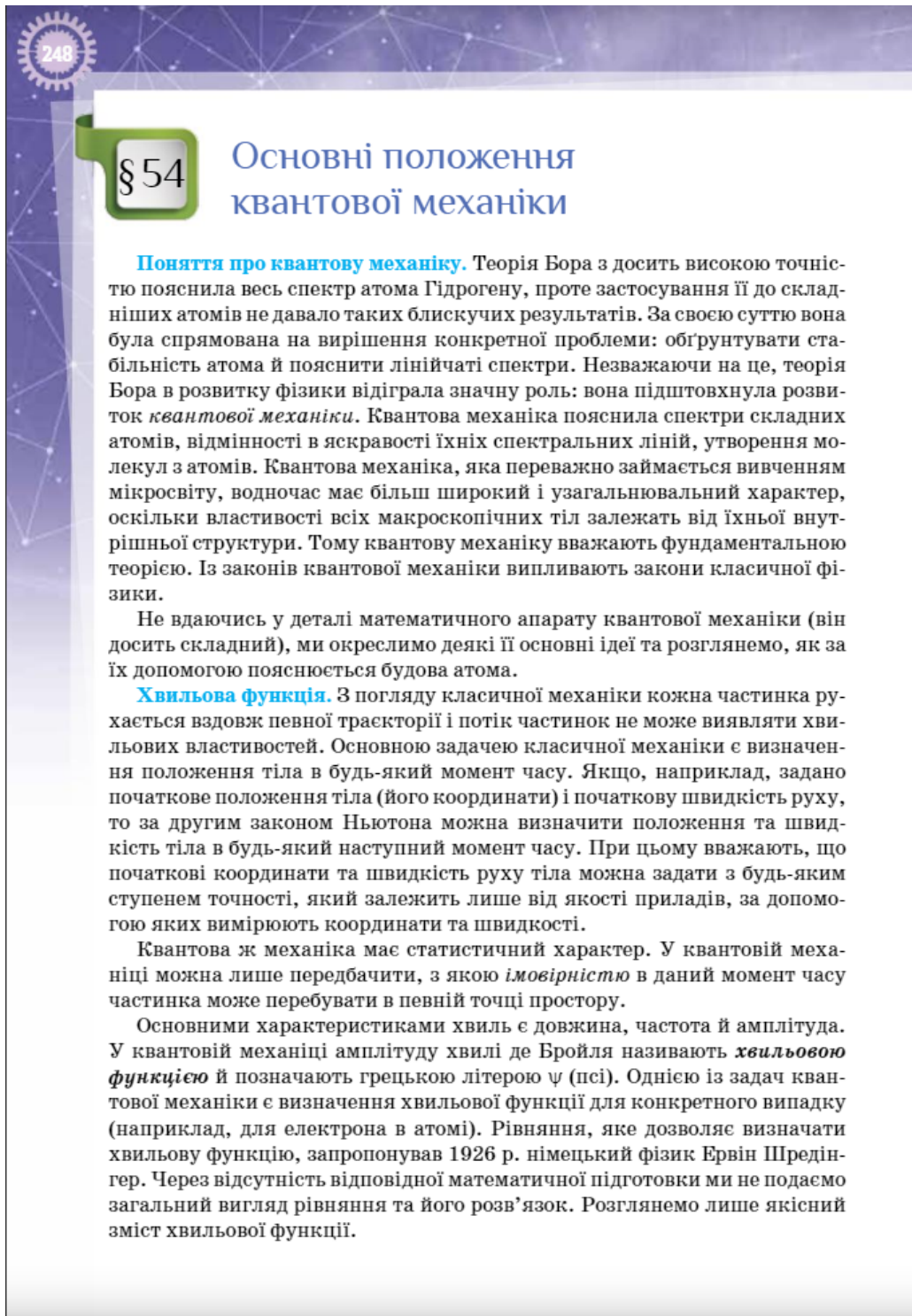
Про основні положення квантової механіки  
на уроках фізики у профільних класах

Рис. А.1. Фрагмент підручника [25]

**Додаток Б**  
**Зразки ілюстративних матеріалів до уроків/занять на різні теми**

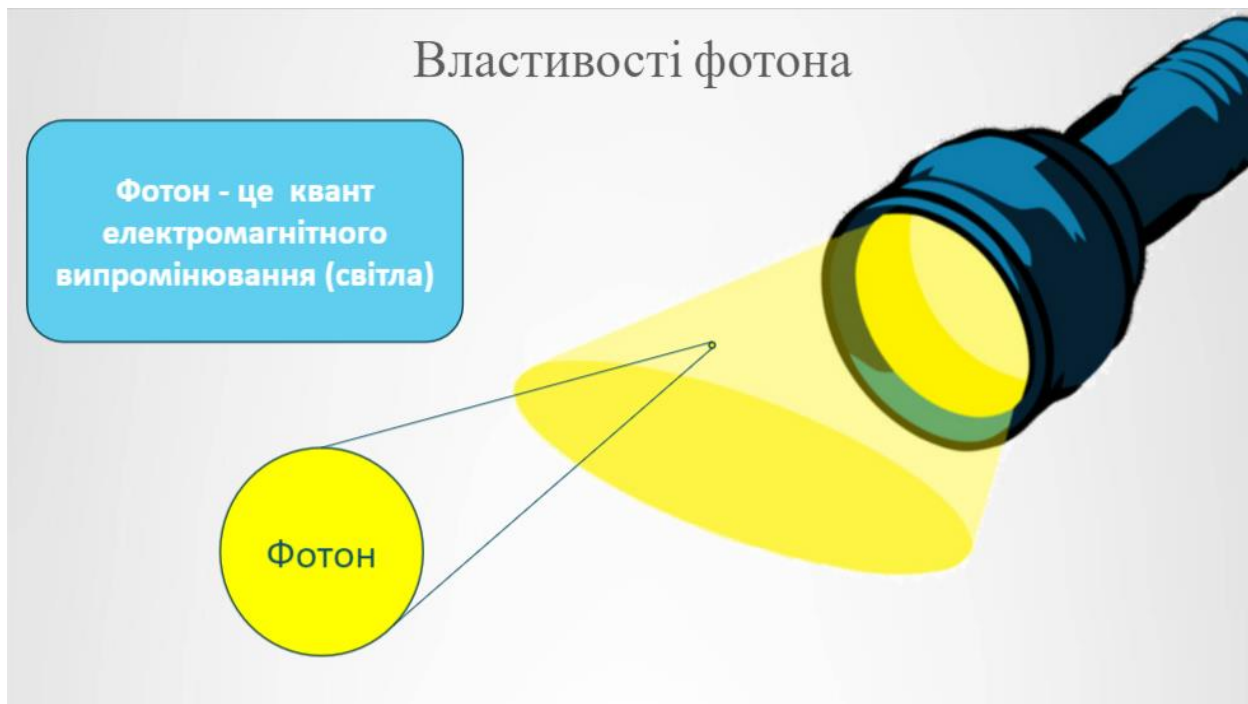


Рис. Б.1. Зразок ілюстративного матеріалу до уроку/заняття на тему  
 “Знайомство з квантовим світлом. Властивості фотонів”



Рис. Б.2. Зразок ілюстративного матеріалу до уроку/заняття на тему  
 “Основи лінійної алгебри”



Рис. Б.3. Зразок ілюстративного матеріалу до уроку/заняття на тему “Арифметико-логічні основи роботи класичного комп’ютера”

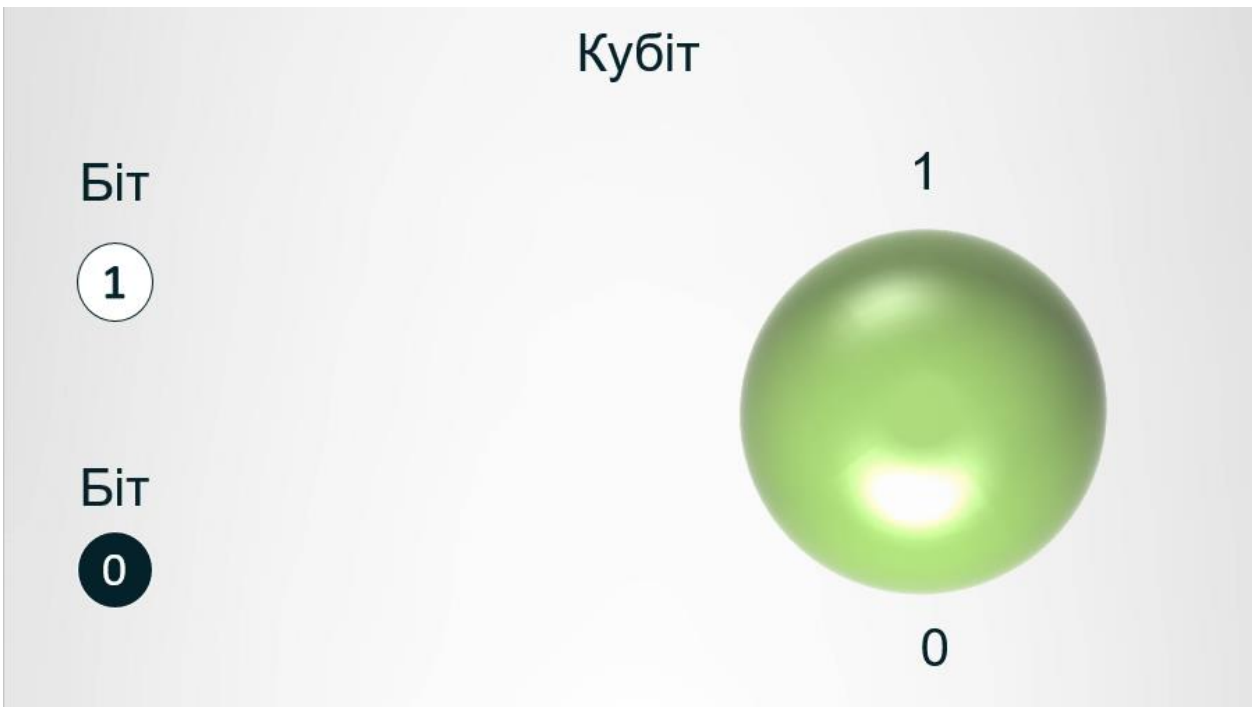


Рис. Б.4. Зразок ілюстративного матеріалу до уроку/заняття на тему “Кубіт. Квантовий логічний вентиль Паулі”



Рис. Б.5. Зразок ілюстративного матеріалу до уроку/заняття на тему  
 “Квантові логічні вентиля Паулі Z, Y. Комплексні числа”