

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра теоретичної фізики



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана/директора
навчальної роботи

Сергій О. Сергійчук
2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹
ВСТУП ДО КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ
(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10. Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104. Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма фізика
(назва освітньої програми)
спеціалізований
вибірковий блок квантові комп'ютери, обчислення та інформація
(за наявності) (назва)
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	<u>5</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>3</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладачі: Гнатовський В.О.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

¹ Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролів.

Розробники: Гнатівський В.О., канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри теоретичної фізики

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри Теоретичної фізики

Решетняк В.Ю. (Решетняк В.Ю.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 19 від «27» Травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту (педагогічною радою коледжу)

Протокол від «10» Серпня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії Оліх О.Я. (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » _____ 20 року

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

1. Мета дисципліни – Курс «Вступ до квантової інформатики» покликаний ознайомити студентів з базовими поняттями квантової механіки такими як самоспряжений оператор, простір станів, повнота системи станів та з базовими поняттями цієї дисципліни такими як кубіт, сфера Блоха, однокубітні та двокубітні логічні елементи, однокубітні та двокубітні стани та оператори, однокубітні та двокубітні квантові схеми, стани Белла, квантова телепортація станів (на початковому рівні), класична та квантова інформаційна ентропія, когерентні стани випромінювання.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати базові принципи лінійної алгебри, теорії ймовірності та математичної статистики та квантової механіки. Зокрема, знати принцип квантової суперпозиції станів, основні властивості унітарних операторів та оператора густини.
- Вміти застосовувати попередні знання з курсу математичного аналізу для розкриття деяких типів невизначеностей.
- Володіти навичками обчислення власних значень та власних векторів матриць та алгебраїчними діями з матрицями.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

Нормативна дисципліна «Вступ до квантової інформатики» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр фізики». Програма курсу орієнтована на студентів, які вже знайомі з курсами математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії ймовірності та математичної статистики. Результати навчання полягають у вивченні додаткових розділів сучасної квантової теорії, пов'язаних з прикладними та теоретичними аспектами квантової інформатики (алгоритм розпізнавання функцій, стани Белла, квантова телепортація станів). Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекцій, модульні контрольні роботи після основних розділів курсу, виконання самостійних робіт та залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі семестрового оцінювання (80%) та заліку (20%).

4. Завдання (навчальні цілі) – освоєння студентами методів сучасної квантової фізики та теоретичного опису задач, пов'язаних з одно- та двокубітними квантовими схемами. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями з квантової фізики, здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу з всіх фізичних дисциплін.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти (сьомий рівень НРК України), галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП "Фізика", дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

інтегральної:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

загальних:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК3).

фахових:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК1).
- Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів (ФК2).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК6).
- Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи (ФК8).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК9).
- Здатність аналізувати світові тренди розвитку фізики та астрономії для вибору власної освітньої траєкторії навчання та тематики майбутніх наукових досліджень (ФК15).

5. Результати навчання за дисципліною:

<i>Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)</i>		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1	1.1 Координатне та імпульсне представлення операторів та хвильових функцій. Матриці Паулі та їхні основні властивості.	Лекція	Задачі, усні відповіді	10
	1.2 Однокубітні стани та оператори, однокубітні логічні елементи.	Лекція	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	6
	1.3 Двокубітні стани та оператори, двокубітний квантовий елемент CNOT.	Лекція	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	8
	1.4 Стани Белла та схему їхнього створення.	Лекція	Самостійна робота, модульна контрольна робота	8
	1.5 Механізм квантової телепортації станів (на початковому рівні).	Лекція	Самостійна робота	10
	1.6 Інформаційна ентропія (класична та квантова). Основні властивості матриці густини для чистих за змішаних станів.	Лекція	Задачі, усні відповіді, самостійна робота	16
	1.7 Основні властивості когерентних станів.	Лекція	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	10
2	2.1 Змінювати представлення операторів та хвильових функцій. Знаходити власні значення та власні вектори матриць, що відповідають	Лекція	Модульна контрольна робота	6

	основним однокубітним логічним елементам.			
	2.2 Представляти одно- та двокубітні оператори, логічні елементи та стани у вигляді матриць.	Лекція	Самостійна робота, модульна контрольна робота	4
	2.3 Записати оператор густини для одно- та двокубітних станів.	Лекція	Самостійна робота, модульна контрольна робота	6
	2.4 Розраховувати інформаційну ентропію для одно- та двокубітних станів.	Лекція	Самостійна робота, модульна контрольна робота	8
	2.5 Записати розклад когерентного стану по станам гармонічного осцилятора, обчислювати середні значення операторів координати та імпульсу на когерентних станах.	Лекція	Самостійна робота, модульна контрольна робота	8

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни			1	2
Програмні результати навчання			1	2
1.ПРН4.	Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання		+	+
2.ПРН13.	Розуміти зв'язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень		+	+
3.ПРН15.	Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних і астрономічних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини		+	+
4.ПРН16.	Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів		+	+
5.ПРН27.	Мати базові навички самостійної оцінки рівня освітніх		+	+

програм із природничих наук в Україні і світі для їх вибіркового опанування в рамках міждисциплінарного шляху розвитку науки		
б.ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії	+	+

7. Структура курсу:

Курс складається з двох змістових модулів у п'ятому семестрі (15 лекцій).

8. Схема формування оцінки.

8.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання (5 семестр)

1. Модульна контрольна робота РН 1.2, 1.3,1.4; 2.1,2.2 (35 балів).

2. Самостійна робота РН 1.8; 2.3 – 2.5 (35 балів).

3. Задачі, усні відповіді (10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку.

	ЗМ1	ЗМ2	залік	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>24</u>	<u>24</u>	<u>12</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>20</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестрового оцінювання отримав менше 48 балів.

Оцінка за залік не може бути меншою **12 балів**.

Залікова робота не є обов'язковою, якщо під час семестрового оцінювання студент отримав більше **60 балів**.

8.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів (2 модулі в п'ятому семестрі). Система оцінювання знань включає поточний та модульний контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: усні відповіді, оцінювання письмових самостійних завдань та модульних контрольних робіт. Студент може отримати максимально 80 балів за виконання самостійних завдань, усні відповіді та модульні контрольні роботи та 20 балів на заліку. Підсумковий контроль проводиться у формі заліку (20 балів). Білет включає теоретичні питання (по 10 балів) та задачу (10 балів).

Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Тематичний план лекцій, практичних занять та самостійних робіт

V СЕМЕСТР

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	самост. робота
Змістовий модуль 1				
1	Оператори в гільбертовому просторі	4		8
2	Властивості матриць Паулі.	1		2
3	Поняття про кубіт.	1		3
4	Однокубітні стани та оператори.	1		3
5	Приклади однокубітних елементів, квантові схеми.	1		3
6	Двокубітні стани та оператори. Двокубітний квантовий елемент CNOT.	2		5
7	Двокубітні квантові схеми. Стани Белла.	2		6
	Модульна контрольна робота 1	2		
Змістовий модуль 2				
9	Прикладні аспекти квантової інформатики. Квантова телепортація станів.	2		4
10	Класична та квантова інформаційна ентропія.	6		15
11	Квантова інформаційна ентропія станів Белла.	2		5
12	Когерентні стани випромінювання.	2		6
	Модульна контрольна робота 2	2		
	Залік.	2		
Всього		30		60

Загальний обсяг 90 год., в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **год.**

Практичні заняття - ____ год.

Лабораторні заняття - ____ год.

Тренінги - ____ год.

Консультації - ____ год.

Самостійна робота – **60 год.**

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
(М. Нильсен, И. Чанг, Квантовые вычисления и квантовая информация, Москва, Мир, 2006.)
2. Д.Бауместер, А.Экерт, А.Цайлингер, Физика квантовой информации, Москва, 2002.