



ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	11 Математика і статистика
Спеціальність	113 Прикладна математика
Освітня програма	Математичні методи криптографічного захисту інформації
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	Загальна кількість: (4 кр.) 120 год. Лекційних занять: 36 год. Практичних занять: 18 год. Самостійна робота студентів: 66 год.
Семестровий контроль / контрольні заходи	залік, поточний контроль, модульна контрольна робота
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Наказной Павло Олександрович (p.nakaznoy@kpi.ua). Практика: Наказной Павло Олександрович (@nakaznoy).
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Квантова теорія інформації (КТІ) — наука, що вивчає способи збереження, переробки та передачі інформації з використанням квантових законів та явищ. Її основним поняттям є сплутані стани, що утворюються в системах з декількох частинок за рахунок квантових кореляцій.

Мета курсу «Основи квантової інформації» полягає в тому, щоб довести до студента основні принципи цієї сучасної науки, що бурхливо розвивається в останні десятиріччя; розповісти за якими законами живе мікросвіт, яке місце вони займають у загальній науковій картині світу; показати що, незважаючи на численні успіхи, основи квантової механіки не до кінця зрозумілі та що лише в останні роки з'явилися експериментальні можливості з'ясувати принципові питання, які 100 років чекають своєї відповіді. КТІ є засобом, який, як очікується, дозволить це зробити. Отже КТІ є водночас прикладною наукою, що бурхливо розвивається та призводить до революції в обчислювальних технологіях, а також розділом квантової механіки, який вивчає її теоретичні засади та фундаментальні проблеми, розв'язок яких допоможе, як при побудові квантових комп'ютерів, так й при розумінні законів Всесвіту.

Під час вивчення курсу розглядаються такі базові поняття як хвильова функція, квантування систем, принцип невизначеності, фізика сплутаних станів, класичні квантовомеханічні парадокси.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

Загальні компетентності СВО

- ЗК 5: Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- ЗК 6: Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 8: Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові компетентності СВО

- ФК 2: Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі.
- ФК 3: Здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач, моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень.

Програмні результати навчання

- РН 1: Демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій прикладної математики і використовувати їх на практиці
- РН 3: Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для вивчення матеріалу курсу «Основи квантової інформації» необхідне успішне засвоєння курсу:

1. Математичний аналіз (ЗО7);
2. Теорія функцій комплексної змінної (ЗО9);
3. Алгебра та геометрія (ЗО11);
4. Основи класичної фізики (ЗО17).

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Основи квантової інформації» можна використовувати в подальшому для вивчення та роботи в області квантової теорії інформації, а також квантової механіки.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Засади квантової механіки

Вступ

- Тема 1.1 Експериментальні основи квантової механіки. Хвильова функція
- Тема 1.2 Хвильова поведінка частинок
- Тема 1.3 Стан у квантовій механіці
- Тема 1.4 Спостереження у квантовій механіці

Розділ 2. Математичний опис квантовомеханічних систем

Тема 2.1 Хвильові функції

Тема 2.2 Вільна частинка

Тема 2.3 Співвідношення невизначеностей

Тема 2.4 Оператори фізичних величин

Тема 2.5 Представлення станів квантових систем

Розділ 3. Сплутані стани

Тема 3.1 Квантова механіка багатьох частинок

Тема 3.2 Парадокс Ейнштейна-Розена-Подольського

Тема 3.3 Квантова телепортація на фотонах

Тема 3.4 Спінові стани

Тема 3.5 Нерівності Белла

Розділ 4. Квантові комп'ютери

Тема 4.1 Квантові комп'ютери

Тема 4.2 Реалізації квантових комп'ютерів

Тема 4.3 Квантова криптографія

4. Навчальні матеріали та ресурси

Нижче наводиться перелік навчальних матеріалів та ресурсів для засвоєння матеріалу, розглянутого на лекційних заняттях та для додаткового вивчення. Його поділено на базові, які слід вивчати у першу чергу та додаткові, до яких можна звертатись факультативно.

Базові підручники та посібники

1. І. О. Вакарчук. Квантова механіка. 4-е вид. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 с.
2. M. A. Nielsen and I. L. Chuang. Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition. 10 Anv. Cambridge University Press, 2011. 708 pp.

Додаткові підручники та посібники

3. A. Bohm. Quantum Mechanics: Foundations and Applications. Texts and Monographs in Physics. Springer Berlin Heidelberg, 1986. 596 pp.
4. John Preskill. [The Physics of Quantum Information](https://arxiv.org/abs/10.48550/ARXIV.2208.08064). 2022. DOI: [10.48550/ARXIV.2208.08064](https://arxiv.org/abs/10.48550/ARXIV.2208.08064).
5. D. Bouwmeester, A. K. Ekert, and A. Zeilinger. The physics of quantum information: quantum cryptography, teleportation, computation. Springer, 2000. 326 pp.
6. R. Penrose. The road to reality. Vintage, 2007. 1123 pp.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та студента для засвоєння студентами матеріалу та розвитку у них практичних навичок. Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративний метод та метод проблемного викладу.

Для дистанційної форми навчання записи пар зберігаються на Youtube, контрольні завдання виконуються у Google Classroom. Заняття проводяться за допомогою платформи Microsoft Teams, інформаційні повідомлення та обговорення поза парами здійснюються в каналі Telegram та приєднаному чаті.

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ I. Засади квантової механіки	
1.	Тема 1.1 Експериментальні основи квантової механіки. Хвильова функція. Вступ. Експериментальні засади квантової механіки. Хвиля Де Бройля. Рівняння Шредингера. Статистичний зміст хвильової функції
2.	Тема 1.2 Хвильова поведінка частинок. Уявний експеримент Фейнмана. Інтерференція електронів. Редукція хвильової функції. Копенгагенська інтерпретація квантової механіки
3.	Тема 1.3 Стан у квантовій механіці. Фізичний зміст модулю та фази хвильової функції. Принцип суперпозиції. Принцип невизначеності
4.	Тема 1.4 Спостереження у квантовій механіці. Класичні та квантові об'єкти, їх взаємодія. Принцип доповнюваності Бора. Парадокс kota Шредингера та його пояснення в різних інтерпретаціях квантової механіки. Інтерпретації Еверетта та Пенроуза. Інтеграл за траєкторіями Фейнмана
Розділ II Математичний опис квантовомеханічних систем	
5.	Тема 2.1 Хвильові функції. Хвильова функція як розв'язок рівняння Шредингера.
6.	Тема 2.2 Вільна частинка. Інтеграл Фур'є та δ -функція. Хвильова функція вільної частинки та її нормування
7.	Тема 2.3 Співвідношення невизначеностей. Середні значення координат та імпульсу. Співвідношення невизначеностей та його тлумачення
8.	Тема 2.4 Оператори фізичних величин. Ермітові та унітарні оператори. Комутатор операторів. Власні функції та власні значення операторів. Властивості ермітових операторів. Вимірювання фізичної величини.
9.	Тема 2.5 Представлення станів квантових систем. Значення фізичних величин як змінні хвильової функції. Результати вимірювання у різних станах. Позначення Дірака
Розділ III Сплутані стани	
10.	Тема 3.1 Квантова механіка багатьох частинок. Принцип тотожності частинок. Спін. Бозони та ферміони. Спінова взаємодія та обмінна енергія. Хвильова функція пари тотожних частинок
11.	Тема 3.2 Парадокс Ейнштейна-Розена-Подольського. Парадокс де Бройля. EPR-парадокс. Хвильова функція EPR-пари.
12.	Тема 3.3 Квантова телепортація на фотонах. Постановка задачі. Обрахунок підсумкової хвильової функції. Явище «перекидання» стану. Неможливість класичної телепортації
13.	Тема 3.4 Спінові стани. Сплутані стани Белла. Міра сплутаності станів внаслідок квантової кореляції. Приклади систем двох та трьох частинок. Телепортація електронів
14.	Тема 3.5 Нерівності Белла. Проблема схованих параметрів квантової механіки. Нерівність Белла. Модель класичних спінів. Порухення нерівності Белла EPR-парою. Перспективи подальшого розвитку квантової теорії

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ IV Квантові комп'ютери	
15.	Тема 4.1 Квантові комп'ютери. Кубіти. Прямі добутки кубітів. Квантовий комп'ютер. Перетворення Адамара. Задання чисел за допомогою квантового комп'ютера. Схема однокубітного квантового комп'ютера. Проблеми побудови квантових комп'ютерів
16.	Тема 4.2 Реалізації квантових комп'ютерів. Ядерні спіни в молекулах. Електромагнітні пастки. Квантові точки. Квантовий комп'ютер на надпровідниках
17.	Тема 4.3 Квантова криптографія. Криптологія, криптографія та криптоаналіз. RSA-код. Надійність шифру та обмін таємним ключом. Атака RSA-шифру. EPR-пари як квантовий шифр. Редукція хвильової функції як індикатор несанкціонованого втручання
18.	Залік.

Практичні заняття

№	Назва теми заняття та перелік розглянутих питань
1.	Розв'язки рівнянь Шредингера для різних потенціалів
2.	Наближені оцінки енергії основного стану
3.	Операції з операторами
4.	Знаходження власних функцій та власних значень
5.	EPR-парадокс та нерівність Белла
6.	Квантові схеми: операції на одному кубіті. Універсальні квантові елементи. Квантове моделювання
7.	Квантові алгоритми пошуку: Оракул. Квантове моделювання. Квантове перерахування. Пошук у неструктурованій базі даних
8.	Квантовий комп'ютер: Гармонічний осцилятор. Представлення квантової інформації
9.	Квантова криптографія: Закритий ключ. Посилення конфіденційності. Квантовий розподіл ключей. Секретність та когерентна інформація

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів має на меті розвиток творчих здібностей та активізація їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток морально-вольових зусиль. Завданням самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його та формування навичок до щоденної роботи з метою одержання та узагальнення знань, умінь і навичок.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- виконання підготовчої роботи до практичних занять, до написання МКР (модульної контрольної роботи) та колоквиуму;
- підготовка до складання семестрового контролю.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для успішного складання семестрового контролю.

Календарний рубіжний контроль

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації. Бал, необхідний для отримання позитивного календарного контролю доноситься до студентів викладачем не пізніше ніж за 2 тижні до початку календарного контролю.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (згідно «Положення про систему забезпечення якості вищої освіти у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», «Положення про організацію навчального процесу»).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Видами контролю успішності засвоєння матеріалу дисципліни «Основи квантової інформації» є модульна контрольна робота (МКР), колоквиум, робота на практичних заняттях та семестровий контроль (залік).

Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено виконання студентами модульної контрольної роботи (МКР). Основною метою МКР є перевірка поточного рівня засвоєності теоретичних знань та навичок їх самостійного застосування до розв'язання практичних задач. Варіанти завдань МКР містять базові теоретичні питання та типові практичні задачі з відповідного розділу програми. МКР складається з двох частин:

1. Основи квантової механіки
2. Основи квантової теорії інформації.

Максимальна кількість балів за кожну контрольну роботу дорівнює 30 балів, за дві 60. Максимальна кількість балів за кожне завдання вказана в умові. Оцінка за завдання може варіюватись у залежності від кількості зроблених помилок у розв'язку та специфіки конкретного завдання. Списані відповіді, які студент не може пояснити, не зараховуються.

Колоквіум

Колоквіум відбувається у формі письмової роботи або за матеріалами лекцій. У разі необхідності уточнення оцінки викладач може задати усно додаткові запитання. Максимальна оцінка за колоквіум – 30 балів.

Активність на практичних заняттях

Ваговий бал для роботи біля дошки – 2. Максимальна кількість – 10 балів. Робота оцінюється згідно критеріїв:

- Отримання повної правильної відповіді без підказок (+) – 2 бала
- Отримання повної правильної відповіді з підказками (+.) – 1.5 бали
- В цілому правильний хід розв'язку, що супроводжувався суттєвими помилками (\pm) – 1 бал
- В цілому неправильний хід розв'язку що містив правильні ідеї (\mp) – 0.5 бала
- Розв'язку нема, або він повністю неправильний (–) – 0 балів.

Конструктивна ідея або відповідь із місця оцінюється в 1 бал. З огляду на обмежену кількість виходів до дошки студенти зацікавлені у активній участі в роботі на практичних заняттях.

Бонусні бали

За особливу гарну роботу на практиці або на лекції студент може додатково до базових балів отримати 5 бонусних балів.

Семестровий контроль (залік)

Підсумковий рейтинг **RD** є сумою базових (див. таб. 3) та бонусних (не більше ніж 5) рейтингових балів отриманих у семестрі. Сума максимально можливих базових балів дорівнює 100 балам:

№	Контрольний захід	Бал	Кількість	Всього
1	Модульні контрольні роботи	30	2	60
2	Колоквіум	30	1	30
3	Практичні заняття	10		10
	Всього			100

Таблиця 3. Розподіл базових семестрових балів за видами контролю

Підсумковому значенню **RD** ставиться у відповідність традиційна оцінка (див. таб.4):

Кількість балів	Оцінка
95 – 100	Відмінно
85 – 94	Дуже добре
75 – 84	Добре
65 – 74	Задовільно
60 – 64	Достатньо
0 – 59	Незадовільно

Таблиця 4. Відповідність між **RD** та традиційною оцінкою

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: _____ старший викладач Наказной Павло Олександрович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

Ухвалено: кафедрою _____ математичного моделювання та аналізу даних
(повна назва кафедри)

(протокол № 14 від 22.06. 2022 р.)

Погоджено: методичною комісією _____ навчально-наукового фізико-технічного інституту
(назва факультету/інституту)

(протокол № 6 від 30.06. 2022 р.)