



Інформаційні технології та прикладна фізика

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>ECTS – 3, Годин – 90, Лекції – 36, СРС - 54</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>Лекції – 2 години на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.ф.-м.н., доцент, Монастирський Геннадій Євгенович, monastyrskygennady@gmail.com</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Курс ставить на меті системне ознайомлення студентів із науковими проблемами, парадигмами і сучасними підходами в пост-CMOS еру з точки зору фізичної імплементації технологій і пристроїв для реалізації високопродуктивних обчислень, енергоефективних обчислень та платформ на фоні Неймановської архітектури. Вивчення курсу є необхідним етапом освіти фізика, що займається прикладними проблемами реалізації пристроїв в області інформаційних технологій. Воно базується на апеляції до останніх експериментальних та теоретичних наукових досліджень в галузі прикладної фізики, наук про матеріали та нанотехнології, методів квантово-механічних обчислень, квантового комп'ютинга та нейроморфних обчислень. З огляду на специфіку курсу його засвоєння передбачає добре знання англійської мови, принаймні на рівні достатньому для вільного читання наукових текстів. Значний обсяг самостійної роботи спрямований на розвиток у здобувачів навичок ефективного пошуку науково-технічної інформації, її систематизації та викладу її у концентрованому вигляді в презентації та/або літературного огляду.

Здобувачі на лекціях беруть участь в бліц-опитуваннях та виконують значний обсяг самостійної роботи, що включає самостійний пошук, систематизацію, узагальнення свіжих наукових робіт, підготовки звітів-оглядів за окремими темами. Заохочується самостійне опанування презентації власних наукових здобутків дотичних до тематики курсу, участі в конференціях, школах, презентації лекцій на тематику курсу для колег та студентів молодших курсів тощо.

Під час навчання використовуються:

- Технічні засоби подання інформації (мультимедійні комплекси, інтерактивні дошки тощо);
- Засоби дистанційного навчання (електронна пошта, hangout, zoom тощо)

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та здобувача з метою засвоєння здобувачами матеріалу та розвитку у них відповідних компетентностей.

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

Для засвоєння матеріалу курсу здобувачі повинні засвоїти термінологію та базові поняття квантової механіки, фізики твердого тіла, фізичного матеріалознавства, мікроелектроніки, нелінійної оптики, методів дослідження структури і властивостей матеріалів, технологій отримання наноструктур, методи математичного моделювання, основи програмування на Python.

Програмні результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни **Інформаційні технології та прикладна фізика** мають продемонструвати такі результати навчання:

ПРН 1. Системні знання у фізиці та інших природничих науках, включаючи оволодіння методами наукового дослідження при здійсненні професійної діяльності.

ПРН 2. Системні знання поглибленого рівня в галузі прикладної фізики, наукомістких технологій, нових речовин і матеріалів, методів дослідження їх властивостей, зокрема, знання сучасних досягнень та інноваційних прикладних рішень, в тому числі на стику різних галузей наук.

ПРН 6 Знання сучасних концепцій розвитку інформаційно-комунікаційних технологій, основ програмування певних процесів та об'єктів за темою наукового дослідження

ПРН 15. Вміння збирати та інтерпретувати наукову та фахову інформацію, з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та пошукових систем.

ПРН 16. Вміння використовувати сучасні методи і технології професійної комунікації українською та іноземними мовами.

Набуті знання та практичні навички сформують у здобувачів:

Загальні компетентності:

ЗК 2. Здатність використовувати у професійній діяльності сучасні знання з різних наук, у тому числі міждисциплінарного характеру.

ЗК 4. Здатність застосовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології у різних видах професійної діяльності.

ЗК 5. Здатність знаходити, обробляти й аналізувати необхідну інформацію для вирішення проблем й прийняття рішень.

ЗК 6. Здатність використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами.

ЗК 11. Здатність спілкуватися з рівними собі, науковою спільнотою та широкою громадськістю (в діалозі) в галузі своєї спеціалізації (в широких межах).

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

ФК 2. Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в галузі прикладної фізики для вирішення наукових і практичних проблем

ФК 6. Здатність у оформленні науково-технічної документації, написанні, впровадженні та оприлюдненні результатів наукових досліджень, у тому числі самостійних.

3. Зміст навчальної дисципліни

- 1) Нові ідеї ери пост-CMOS технологій для реалізації високопродуктивних та/або енергоєфективних обчислень та не-фон-Неймановської архітектури.
- 2) Альтернативні комп'ютерні парадигми та підходи до їх імплементації
- 3) Пристрої для обробки та зберігання інформації, зондування та зв'язку, що забезпечують функціональну диверсифікацію в пост-CMOS еру
- 4) Фізичні принципи функціонування пост-CMOS пристроїв та пристроїв на не-кремнієвих технологіях
- 5) Матеріали для реалізації пристроїв за межами кремнієвих технологій
- 6) Фізична імплементація і платформи для квантового комп'ютера
- 7) Алгоритми квантових обчислень в прикладній фізиці
- 8) Фізична імплементація приладів для нейроморфних обчислень
- 9) Новітні реалізації класичних і комп'ютерних алгоритмів в прикладній фізиці
- 10) Області застосування новітніх інформаційних технологій в природничих науках

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна:

1. Т. Є. Крохмальський, Вступ до квантових обчислень. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 204с.
2. Квантові інформаційні системи. Навчальний посібник для спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» / Карлаш Г.Ю. – Київ: факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2018. – 77 с.
3. І. О. Вакарчук, Квантова механіка (вид. 4-е, доп.). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. (Розділ Основи квантової інформації.)
4. [Michael A. Nielsen & Isaac L. Chuang Quantum Computation and Quantum Information, 2010, Cambridge University Press](#)
5. EDX – курси з К²<https://www.edx.org/search>
6. Coursera – курси з К²<https://www.coursera.org/courses?query=quantum%20computing>
7. JointCenterforQuantumInformationandComputerScience (QuICS) – платформа ресурсів <https://quics.umd.edu/>
8. IBM Quantum – симулятор, тьюторіал, депозитарій, доступ до QC superconducting <https://www.ibm.com/quantum-computing/learn/what-is-quantum-computing/>
9. Quantum AI – google симулятор, тьюторіал, депозитарій, статті, доступ до QC <https://quantumai.google/software>

Додаткова:

10. Д.Бауместер, А. Экерт, А.ЦайлингерФизикаквантовойинформации. М.: Постмаркет, 2002, 376 с.
11. <http://www.mrs.org/home>,<http://www.mrs.org/webinars>,<http://www.mrs.org/on-demand> – сайти конференцій, присвяченим дослідженню і впровадженню інноваційних матеріалів
12. QuantumBrilliance – vendorQuantumBrilliance Gen1 Modelquantumacceleratorwhitepapers<https://quantumbrilliance.com/>
13. D-waveAdvantage™ quantumsystemmorethan 5000 qubitforbusiness (quantumannealing, QUBO) <https://www.dwavesys.com/quantum-computing>
14. RigettiComputing – company<https://www.rigetti.com/about>
15. ARCHER ¹²CQ - vendor¹²CQ qubitprocessorchip<https://archerx.com.au/our-business>

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Тема	Програмні результати навчання	Основні завдання	
			Контрольний захід	Термін виконання
1.	Quovadis? Нові ідеї ери пост-CMOS технологій для реалізації високопродуктивних та/або енергоефективних обчислень та не-фон-Неймановської архітектури. Нові технологічні підходи і принципи їх реалізації за межами закону Муру. Проблема енергоефективності обчислень. Внутрішній паралелізм нейроморфних і квантових обчислень. Підходи до імплементації платформ не фон Неймановської архітектури.	№ 1,2,6	Експрес тестування під час занять	1 тиждень
2.	Альтернативні комп'ютерні парадигми та підходи до їх імплементації. Нейроморфні обчислення Neuro(morphicComputing). Стохастичні обчислення (ApproximateandStochasticComputing) Комп'ютер Больцмана (Boltzmanmachine) Квантовий комп'ютер та обчислення (QuantumComputingandQuantumInformationProcessing)	№ 1,2,6	Експрес тестування під час занять	2 тиждень
3.	Пристрої для обробки та зберігання інформації, зондування та зв'язку, що забезпечують функціональну диверсифікацію в пост-CMOS еру. Новітні технології пам'яті (FeRAM, MRAM, STT-RAM, PCM, RRAM), мемрістори. Прилади для реалізації нейроморфних обчислень. Одно-електронні транзистори. Спінові пристрої. Однофотонні детектори. Квантові магнітометри та інтерферометри	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	3,4 тиждень
4.	Фізичні принципи функціонування пост-CMOS пристроїв та пристроїв на не-кремнієвих технологіях. Кулонівська блокада. Спінові системи. Топологічні матеріали. Надпровідність. Ефект джозефсона.	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	5,6 тиждень

5.	Матеріали для реалізації пристроїв за межами кремнієвих технологій. Мультифероїки, 2D матеріали, топологічні матеріали, надпровідні матеріали, матеріали для спінтроніки, фазо-змінні матеріали, матеріали для мемрісторів	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	7,8 тиждень
6.	Фізична імплементація квантового комп'ютера. Кубіт. Сфера Блоха. Заплутаність станів. Критерій Ді Вінчензо. Час когерентності. Надпровідні кубіти на контактах Джозефсона (Superconducting loops). Кубіти на дефектах «нітроген-вакансія» в діаманті (NV qubit). Кубіти на квантових точках (Siliconquantumdot). Кубіти на захоплених іонах (Trapped ions). Топологічні кубіти (Majoranafermionsqubit). Керування станом кубіта. Однокубітна багатокубітнілогічні елементи. Квантові схеми. Квантова телепортація. Виправлення помилок.	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях, МКР	9-11 тиждень
7.	Алгоритми квантових обчислень в прикладній фізиці. Стиснуте кодування. Алгоритм Шора. Квантове перетворення Фур'є. Алгоритми квантового відпалу, симуляції, оптимізації. Квантові алгоритми машинного навчання. Гібридні квантово-класичні алгоритми.	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	12,13 тиждень
8.	Фізична імплементація приладів для нейроморфних обчислень. Штучні нейронні мережі. Стохастичний комп'ютинг. Спайк нейронні мережі.	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	14,15 тиждень
9.	Новітні реалізації класичних і комп'ютерних алгоритмів в прикладній фізиці. Методи і алгоритми: Монте-Карло і квантовий Монте-Карло методи, метод Хартрі-Фока, теорія функціонала густини, теорія середнього поля, методи молекулярної динаміки	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	16,17 тиждень
10.	Області застосування новітніх інформаційних технологій в природничих науках. Розподілені обчислення. Методи машинного навчання в комп'ютерному матеріалознавстві, фізиці високих	№ 1,2,6,15-16	Експрес тестування на лекціях	18 тиждень

енергій, астрономії та космології. Методи оптимізації в квантових обчисленнях.			
--	--	--	--

6. Самостійна робота здобувача

Самостійна робота передбачає в першу чергу самонавчання і заохочується високим рейтинговим балом. Виконується за тематикою, яка вибирається здобувачем самостійно після обговорення з викладачем і є дотичною або охоплює тему дисертаційної роботи здобувача. Здобувач обирає не менше 3 тем із модулів курсу, які хотів би дослідити більш ретельно. Робота за кожним із модулем закінчується коротким, змістовним звітом (від 5 до 10 сторінок). Звіт може бути у вигляді: А) Огляду найсвіжшої наукової літератури на обрану тему. Пріоритет надається оригінальним науковим статтям, оглядам, збіркам, монографіям відомих видавництв (Elsevier, Academicpress, John Wiley & Sons тощо) із високим індексом цитування; В) Презентації обсягом від половини до однієї академічної години на обрану тему; С) Самостійно розроблений програмний код, що використовує модернові технології обчислення в галузі прикладної фізики, із демонстрацією результатів його роботи; D) Презентації обсягом від половини до однієї академічної години результатів власних досліджень, дотичних до тематики курсу; Е) інші форми СР (звіти з участі в конференціях, школах, лекції на тематику курсу тощо). Заохочується також самостійне опанування сертифікованого курсу за тематикою дисципліни або дотичною до неї (за наявності сертифікату).

Критерії оцінювання СРС: максимальна кількість балів за звіт – 25 балів:

- Максимальна оцінка – лаконічно викладено 95% інформації, що стосується тематики, інформація релевантна, подана лаконічно, послідовно і структуровано, не калькована, наведено ілюстрації, посилання, формулювання та терміни, терміни роз'яснено. Презентація зроблена послідовно, структуровано, не переобтяжена деталями, якісно представлена.
- Зменшення від 1 до 3 балів – викладено не більше ніж 65% інформації, що стосується тематики, інформація релевантна, проте переобтяжена деталями, подана в основному послідовно і структуровано, не калькована, наведено ілюстрації, посилання, формулювання та терміни в основному точні, терміни роз'яснено. Презентація зроблена в основному послідовно, структуровано, можливо переобтяжена деталями, представлена задовільно.
- Зменшення від 4 до 7 балів – в огляді викладено не більше ніж 35% інформації, що стосується тематики, інформація переобтяжена деталями, подана не послідовно і не структуровано, часто калькована, мало ілюстрована, посилання відсутні або неповні, формулювання та терміни не точні, терміни не роз'яснено. Презентація зроблена не послідовно і не структуровано, переобтяжена деталями, представлена погано або зтягнута

Валідність оцінок забезпечується:

- чіткими критеріями оцінювання
- [опціонально] наявністю незалежних чинників оцінювання у вигляді сертифікатів проходження курсів, участі в школах та конференціях

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Програмні результати навчання, політика навчальної дисципліни, методика її опанування, контрольні заходи та терміни виконання оголошуються студентам на першому занятті.

Відвідування лекцій, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, здобувачам рекомендується відвідувати заняття, оскільки викладений на них теоретичний матеріал та надані інструкції дозволять ефективніше зорієнтуватися у темі, вибраній для самостійної роботи, спланувати її виконання та спосіб дослідження.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали наведені в таблиці.

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Звіт з участі у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах за тематикою близькою до тематики курсу	До 20 балів, залежно від рівня представництва і якості звіту	Порушення термінів виконання звітування за самостійну роботу	-5 балів
Виступ із лекцією перед студентами молодших курсів на обрану тему за тематикою близькою до тематики курсу	До 20 балів за кожен із доповідей		
Самостійне опанування сертифікованого курсу за тематикою дисципліни або дотичною до неї.	Від 20 балів і до повного зарахування дисципліни		

Академічна доброчесність

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

Норми етичної поведінки

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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Здобувачі вищої освіти 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)

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кількість	Всього
1.	Активність на лекційних заняттях	15	3	5	15
2.	Самостійна робота (огляд, презентація, програмний код тощо)	60	20	3	60
3.	Залік	25	25	1	25
	Всього				100

Активність на лекційних заняттях дозволяє отримати додаткові бали до рейтингу. За кожну вірну відповідь під час бліц-опитування отримується до 3 балів.

За кожний окремий звіт у вигляді презентації, огляду літератури, програмного коду, інших можливих видів самостійної роботи за обраними здобувачем модулями отримується до 20 балів за кожний модуль.

Обов'язкова умова допуску до заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	$RD \geq 40$

Додаткові умови допуску до заліку, які заохочуються:

1. Виступ із лекцією перед студентами молодших курсів (додаються заохочувальні бали)
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.
3. Самостійне опанування сертифікованого курсу за тематикою дисципліни або дотичною до неї.

Таблиця переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою ¹

Рейтингові бали, RD	Оцінка за університетською шкалою	Можливість отримання оцінки «автоматом»
$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно	+
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре	+
$75 \leq RD \leq 84$	Добре	+
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно	+
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо	+
$RD < 60$	Незадовільно	-
Невиконання умов допуску	Не допущено	-

Залік

Здобувачі, що за рейтингом допущені до заліку і набрали протягом семестру не менше ніж 60 балів ($RD \geq 60$), можуть отримати оцінку за іспит «автоматом» згідно рейтингових балів. Якщо оцінка не задовольняє, здобувач здає залік, максимальна кількість балів за який - 25. Питання, що виносяться на залік складаються із 2-х теоретичних питань. Критерії оцінювання:

- максимальна кількість балів – 95% інформації, повна правильна відповідь, там де треба наведено рисунки, позначення, є письмовий коментар щодо базових понять
- до 80% балів від максимуму – умови попереднього пункту виконано не в повній мірі,
- до 60% балів від максимуму – 60% інформації, відповідь правильна, але не повна, рисунки не наведено, позначення та терміни в основному вірні, проте неточні, письмові коментарі щодо базових понять є не всюди.
- До 40% балів від максимуму – 30% інформації, відповідь не на всі питання правильна, рисунки не наведено, позначення та терміни в основному вірні, деякі ні, письмові коментарі щодо базових понять відсутні.
- відповіді, які здобувач не може пояснити, не зараховуються

¹ Оцінювання результатів навчання здійснюється за рейтинговою системою оцінювання відповідно до рекомендацій Методичної ради КПІ ім. Ігоря Сікорського, ухвалених протоколом №7 від 29.03.2018 року.

Здобувачі, які отримали менше 40 балів готують огляд літератури за обраною викладачем темою і після отримання додаткових рейтингових балів здають залік.

Остаточна оцінка є сумою рейтингових балів та балів отриманих на заліку

Теми на залік:

- Нові ідеї ери пост-CMOS технологій для реалізації високопродуктивних та/або енергоефективні обчислень та не-фон-Неймановської архітектури.
- Нові технологічні підходи і принципи їх реалізації за межами закону Муру.
- Проблема енергоефективності обчислень.
- Внутрішній паралелізм нейроморфних і квантових обчислень.
- Підходи до імплементації платформ не фон Неймановської архітектури.
- Альтернативні комп'ютерні парадигми та підходи до їх імплементації.
- Нейроморфні обчислення Neuro(morphicComputing).
- Стохастичні обчислення (ApproximateandStochasticComputing)
- Комп'ютер Больцмана (Boltzmanmachine)
- Квантовий комп'ютер та обчислення (QuantumComputingandQuantumInformationProcessing)
- Пристрої для обробки та зберігання інформації, зондування та зв'язку, що забезпечують функціональну диверсифікацію в пост-CMOS еру.
- Новітні технології пам'яті (FeRAM, MRAM, STT-RAM, PCM, RRAM), мемрістори.
- Прилади для реалізації нейроморфних обчислень.
- Одно-електронні транзистори.
- Спінові пристрої.
- Однофотонні детектори.
- Квантові магнітометри та інтерферометри.
- Фізичні принципи функціонування пост-CMOS пристроїв та пристроїв на не-кремнієвих технологіях.
- Кулонівська блокада.
- Спінові системи.
- Топологічні матеріали.
- Надпровідність.
- Ефект джозефсона.
- Матеріали для реалізації пристроїв за межами кремнієвих технологій.
- Мультифероїки, 2D матеріали, топологічні матеріали, надпровідні матеріали, матеріали для спінтроніки, фазо-змінні матеріали, матеріали для мемрісторів.
- Фізична імплементація квантового комп'ютера.
- Кубіт.
- Сфера Блоха.
- Заплутаність станів.
- Критерій Ді Вінчензо.
- Час когерентності.
- Надпровідні кубіти на контактах Джозефсона (Superconducting loops).
- Кубіти на дефектах «нітроген-вакансія» в діаманті (NV quibit).
- Кубіти на квантових точках (Siliconquantumdot).
- Кубіти на захоплених іонах (Trapped ions).
- Топологічні кубіти (Majoranafermionsquibit).
- Керування станом кубіта.
- Однокубітні та багатокубітні логічні елементи.
- Квантові схеми.
- Квантова телепортація.
- Виправлення помилок.
- Алгоритми квантових обчислень в прикладній фізиці.
- Стиснуте кодування.
- Алгоритм Шора.
- Квантове перетворення Фур'є.
- Алгоритми квантового відпалу, симуляції, оптимізації.
- Квантові алгоритми машинного навчання.
- Гібридні квантово-класичні алгоритми.
- Фізична імплементація приладів для нейроморфних обчислень.
- Штучні нейронні мережі.

- Стохастичний комп'ютинг.
- Спайк нейронні мережі.
- Новітні реалізації класичних і комп'ютерних алгоритмів в прикладній фізиці.
- Монте-Карло і квантовий Монте-Карло методи,
- Метод Хартрі-Фока,
- Теорія функціонала густини,
- Теорія середнього поля,
- Методи молекулярної динаміки
- Области застосування новітніх інформаційних технології в природничих науках. Розподілені обчислення.
- Методи машинного навчання в комп'ютерному матеріалознавстві, фізиці високих енергій, астрономії та космології.
- Методи оптимізації в квантових обчисленнях.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Інформаційні технології та прикладна фізика

Складено доцент кафедри прикладної фізики, Монастирський Г.Є.

Ухвалено кафедрою ПФ (протокол № 2/2020-2021 від 04.09.2020 р.)

Затверджено Вченою радою ФТІ (протокол № 7/1 від 07.09.2020 р.)