

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

_____ Олексій НЕЧИПОРУК

« ____ » _____ 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Спеціальні розділи прикладної фізики

для студентів

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма

Прикладна фізика та наноматеріали

вид дисципліни

вибіркова

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2022/2023

Семестр

3,4

Кількість кредитів ECTS

6

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

залік

Викладач:

Андрій ГОРЯЧКО, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки.

Пролонговано:

на 20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.
на 20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.

Розробник:

Андрій ГОРЯЧКО, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки.

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики
та наноелектроніки

_____ Ганна КАРЛАШ

Протокол № __ від « __ » _____ 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № __ від « __ » _____ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« __ » _____ 2022 року.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – ознайомлення студентів із усіма основними аспектами сучасної наноелектроніки.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Семінар з наноелектроніки» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: “Загальна фізика”, “Фізика твердого тіла”, “Теоретична фізика”, “Диференціальні та інтегральні рівняння”, “Мікро та наноелектроніка”.

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу фізики твердого тіла, курсу теоретичної фізики, курсу лінійної алгебри, курсу диференціальних та інтегральних рівнянь та курсу теорії електричних кіл.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі реальних систем в рамках концепцій квантової фізики, записувати основні в рівняння їхніх математичних формулювань, ідентифікувати основні наближення для практичного розв’язку цих рівнянь, як аналітичними так і чисельними методами.

3. студент повинен знати: базові основи теорії мезоскопічних фізичних систем та традиційної схемотехніки інтегральної мікроелектроніки.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Вивчення дисципліни «Семінар з наноелектроніки» дозволяє вивчити фізичні та схемотехнічні принципи сучасної наноелектроніки та її перспективних поколінь. Розглядаються основні типи базових елементів наноелектронних приладів та наноелектронні схеми високого ступеню інтеграції. Детально аналізуються принципи роботи базових елементів на основі точного квантово-механічного опису, таких як квантові ями, квантові дроти та квантові точки. Слухачі вивчають сучасні та перспективні технології виготовлення цих елементів, як літографічні так і засновані на процесах самозбирання. Розглядаються концепції побудови наноелектронних схем, що є мімікою традиційних схемотехнічних рішень в мікроелектроніці, а також оригінальні концепції на кшталт серійних тунельних переходів, квантових коміркових автоматів, тощо, призначенням яких є генерація та підсилення аналогових сигналів, а також обробка цифрових та зберігання цифрової інформації. Окремо увагу приділено наноелектронним пристроям, що можуть реалізовувати квантові обчислення. Також вивченню підлягають наорозмірні активні елементи, що відносяться до гібридних технологій, зокрема опто-електроніки, магнето-електроніки, сенсорики.

4. Завдання (навчальні цілі):

- Надати основні відомості з курсу «Семінар з наноелектроніки», які складають важливу частину загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

- Надати основні знання з теорії нанорозмірних електронних приладів, технологій їхнього створення, практичних аспектів застосування та потенціалу подальшого розвитку.

- Навчити застосовувати знання в галузі наноелектроніки у подальшій професійній діяльності на виробництві, конструкторських бюро і т.п., а також в подальшому навчанні в аспірантурі.

- Навчити ефективно комунікувати отримані знання перед аудиторією фахівців, що підвищуватиме конкурентоспроможність випускника магістратури на ринку праці, в т.ч. і за межами України.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

Загальні компетентності:

- ЗК 4. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 6. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності:

- ФК 6. Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту.
- ФК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ФК 13. Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок.

- ФК 14. Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності.

5. Результати навчання за дисципліною:

| Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність) | | Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання | Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності) | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|--|--|---|--|--|
| Код | Результат навчання | | | |
| 1 | студент повинен знати : | практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій | доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій | до 45 |
| 1.1 | Загальні основи фізики електронних явищ у нанорозмірному масштабі в твердих тілах | ==/= | ==/= | До 7 |
| 1.2 | Базові підходи до обчислення спектру електронних станів в квантових точках, дротах та ямах | ==/= | ==/= | До 7 |
| 1.3 | Основні фізичні властивості одно- та дво- вимірних матеріалів та способи їхнього застосування в наноелектроніці | ==/= | ==/= | До 6 |
| 1.4 | Основні фізичні підходи до виготовлення, в т.ч. серійного, базових елементів наноелектронних схем. | ==/= | ==/= | До 9 |
| 1.5 | Основні фізичні моделі та механізми протікання електричного струму через тунельні переходи та нанорозмірні області твердого тіла | ==/= | ==/= | До 8 |
| 1.6 | Особливості спін-залежних явищ в наноелектронних приладах в присутності магнітного поля | ==/= | ==/= | До 8 |
| 2 | студент повинен вміти : | практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій | доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій | до 45 |
| 2.1 | Розраховувати спектр власних станів частинки в одновимірній потенціальній ямі за допомогою табличного процесора на персональному комп'ютері | ==/= | ==/= | До 10 |
| 2.2 | Застосовувати комерційно доступні програмні пакети для комп'ютерного розрахунку енергетичного спектру частинки в тривимірних потенціальних ямах довільної конфігурації | ==/= | ==/= | До 20 |
| 2.3 | Розраховувати в явному вигляді хвильові функції електрона в тривимірних потенціальних ямах високосиметричної конфігурації | ==/= | ==/= | До 15 |
| 3 | комунікація : | практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій | доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій | до 5 |
| 3.1 | Здатність грамотно комунікувати важливість розвитку такої галузі як наноелектроніка, та інвестицій в цю галузь, з метою створення рушійної сили для розвитку інших галузей: IT, аерокосмічної, оборонної, охорони здоров'я, тощо | ==/= | ==/= | До 3 |
| 3.2 | Здатність до командної роботи при участі у великих комерційних проектах створення наноелектронних приладів надвеликого ступеню інтеграції | ==/= | ==/= | До 2 |
| 4 | автономність та відповідальність : | практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій | доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних | до 5 |

| | | | | |
|-----|---|-------|------------|------|
| | | | технологій | |
| 4.1 | Здатність до самостійної роботи з науковою літературою, в т.ч. періодикою, в т.ч. іноземними мовами, за тематикою наноелектроніки, інтегральної електроніки, квантової фізики | ==/== | ==/== | До 3 |
| 4.2 | Здатність самостійно визначати практичні перспективи запропонованих концепцій базових елементів інтегральної наноелектроніки | ==/== | ==/== | До 2 |

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

| Програмні результати навчання | Результати навчання дисципліни | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 3.1 | 3.2 | 4.1 | 4.2 | |
| ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів. | + | + | | | + | | | + | | | | + | | |
| ПРН 2. Розуміння технологій та теоретичних та експериментальних методів дослідження властивостей речовин і матеріалів | + | + | | | | | | | + | | | + | + | |
| ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій | | | + | | | + | + | + | | | + | + | | |
| ПРН 8. Знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних проектів | | | | + | | + | + | | | | + | + | | |
| ПРН 11. Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, речовини, технологій | + | | | + | | | | | + | + | + | | + | |
| ПРН 12. Інтерпретувати науково-технічну інформацію | | | + | | | + | | | + | | | | | |
| ПРН 13. Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі | | | | | + | + | + | | | | | + | | |
| ПРН 14. Використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами | + | + | | | | | | | | + | | | + | |
| ПРН 15. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії | | + | + | + | | | + | | | | | + | + | |
| ПРН 17. Об'єктивна самооцінка отриманих результатів та спроможність забезпечувати їх надійність | + | | | | + | | | | + | | | + | | |
| ПРН 18. Розв'язувати складні наукові, дослідницькі та інженерно-технічні задачі в області прикладної фізики та фізики наноматеріалів, які вимагають поглиблених знань у галузі фізики, математики, комп'ютерних технологій | | + | + | | | | + | | | | + | | | |

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів: рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 [знання] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;

- результат навчання 4.1-4.2 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання студентів:

Семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом.

1. Доповідь студента в академічній групі з тем 1-7 (письмово): РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 30 балів.

2. Доповідь студента в академічній групі з тем 8-14 (письмово): РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 30 балів.

Підсумкове оцінювання (у формі заліку): форма заліку – письмово-усна. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому, оцінка за залік не може бути меншою **24 балів**.

Умови допуску до підсумкового заліку: умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр – **36 балів**.

7.2. Організація оцінювання:

Оцінювання за формами контролю:

| Семестрова робота | Кількість балів | |
|---|-----------------|--------------|
| | Min. – балів | Max. – балів |
| 1-а доповідь студента в академічній групі | 18 | 30 |
| 2-а доповідь студента в академічній групі | 18 | 30 |

Орієнтований графік оцінювання:

| Форма оцінювання | Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання |
|---|--|
| 1-а доповідь студента в академічній групі | вересень-грудень |
| 2-а доповідь студента в академічній групі | лютий-квітень |
| Залік | травень |

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

| Значення | Семестр | Залік | Підсумкова оцінка |
|----------|---------|-------|-------------------|
| Мінімум | 36 | 24 | 60 |
| Максимум | 60 | 40 | 100 |

7.3. Шкала відповідності оцінок

| Оцінка (за національною шкалою) / National grade | Рівень досягнень, % / Marks, % |
|--|--------------------------------|
| Зараховано / Accepted | 90-100% |
| Не зараховано / Not Accepted | 75-89% |
| | 60-74% |
| | 0-59% |

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план практичних занять

| № з/п | Назва теми | У тому числі - кількість годин | | |
|-------|--|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | | Лекції | Семінарські | Самостійна робота |
| 1 | Вступ та огляд курсу “Семінар з наноелектроніки”. | - | 6 | 10 |
| 2 | Твердотільна реалізація квантових ям, дротів та точок | - | 4 | 8 |
| 3 | Електронна структура квантових ям, дротів та точок, методи аналітичного та чисельного розрахунку | - | 4 | 8 |

| | | | | |
|---------------|---|---|-----------|------------|
| 4 | Тунельні бар'єри, твердотільна реалізація та методи обчислення тунельного струму | - | 4 | 8 |
| 5 | Транзистори та інші активні елементи на основі тунельних бар'єрів | - | 4 | 8 |
| 6 | Складні молекули як природні базові елементи наноелектронних схем | - | 4 | 8 |
| 7 | Створення активних елементів та наноелектронних схем на основі двовимірних матеріалів | - | 4 | 10 |
| 8 | Наноелектроніка НВЧ | - | 4 | 8 |
| 9 | Цифрова схемотехніка в наноелектронному виконанні, основні концепції та підходи | - | 4 | 8 |
| 10 | Наноелектронні пристрої зберігання інформації | - | 4 | 8 |
| 11 | Наноелектроніка та нанофотоніка | - | 4 | 8 |
| 12 | Магнітні явища в наноелектронних пристроях | - | 4 | 10 |
| 13 | Наноелектроніка та квантові обчислення | - | 4 | 8 |
| 14 | Наноелектронні схеми надвисокого ступеню інтеграції | - | 6 | 10 |
| Всього | | - | 60 | 120 |

Загальний обсяг **180** год., в тому числі:
Семінарські **60** год.
Самостійна робота **120** год.

9. Рекомендовані літературні джерела:

Основні джерела:

1. P. Harrison. Quantum Wells, Wires and Dots – Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures. – John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 482 pp.
2. V.V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. Introduction to Nanoelectronics – Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. – Cambridge University Press, 2008. – 329 pp.
3. B.R. Nag. Physics of Quantum Well Devices. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 296 pp.
4. E.A. Gutierrez-D. Nano-Scaled Semiconductor Devices - Physics, Modelling, Characterisation and Societal Impact. – The Institution of Engineering and Technology, 2016. – 453 pp.

Додаткові джерела:

1. S. Datta. Lessons from Nanoelectronics. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2017. – 251 pp.
2. J. Hoekstra. Introduction to Nanoelectronic Single-Electron Circuit Design. – Taylor & Francis Group, LLC, 2009. – 292 pp.
3. E.A. Gutierrez-D. Nano-Scaled Semiconductor Devices - Physics, Modelling, Characterisation and Societal Impact. – The Institution of Engineering and Technology, 2016. – 453 pp.