



ФІЗИКА НАНОСТРУКТУР

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерне моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 (120), 36 лекцій, 36 практик., 48 - срс</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>https://schedule.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор : д.ф.-м.н., проф. Назаров Олексій Миколайович, e-mail: nazarov51@yahoo.com Практичні: д.ф.-м.н., проф. Назаров Олексій Миколайович, e-mail: nazarov51@yahoo.com</i>
Розміщення курсу	<i>Еcampus</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Фізика наноструктур» належить до циклу професійної підготовки фахівців фізичних спеціальностей. **Метою** навчальної дисципліни є вивчення фізичних основ нанорозмірних і квантоворозмірних явищ, що визначають основні властивості напівпровідникових наноструктур, основні сучасні методи їх виготовлення та діагностики, а також перспективи їх використання в наноелектронних пристроях. **Предметом** дисципліни є фізичні процеси, які мають місце в структурах і системах з геометричним розміром меншим 100 нм, і їх фізичні властивості, а також технологічні операції, які дозволяють отримувати такі структури і системи. **Завданнями** даної дисципліни є формування у студентів знань теоретичних основ модифікації енергетичного спектра електронних та інших типів збудження в системах зниженої розмірності, проявів цих ефектів в особливостях механічних, магнітних, оптичних, і електрофізичних властивостях наноструктур, сучасних методів створення цих структур, заснованих як на самоорганізації, так і на цілеспрямованого виготовлення, щодо можливостей і проблем, пов'язаних з діагностикою наноструктур, та вже реалізованих прикладних аспектів використання наноструктур та уявлень про перспективу їх подальшого розвитку.

Навчальна дисципліна формує у студентів наступні *загальні та фахові компетентності*:

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Фахові компетентності:

ФК01 Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК09. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програми результати навчання**:

ПРН03 Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПРН05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.

ПРН06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.

ПРН 08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПРН 13. Розуміти зв'язок фізики та/або 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.

ПРН 17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.

ПРН 22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПРН 24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

ПРН 25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Фізика наноструктур» можна використовувати в подальшому для виконання прикладних та фундаментальних наукових досліджень, що формують нові природничо-наукові знання.

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

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни можна використовувати в подальшому для виконання прикладних та фундаментальних наукових досліджень, що формують нові природничо-наукові знання, а також при аналізі отриманих результатів, отриманих під час проходження практики та написанні магістерської дисертації.

В структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця дисципліну забезпечують наступні дисципліни та кредитні модулі: “Математичний аналіз”, “Загальна фізика”. Дисципліна забезпечує наступні навчальні дисципліни та кредитні модулі: “Методи експериментальних досліджень”, “Науково-дослідна робота за темою магістерської дисертації”.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до курсу фізика наносистем. Основні поняття

Тема 1. Класифікація нанооб'єктів, критерії визначення і фізичні ознаки наноструктур. Розмірні ефекти.

Тема 2. Основні квантові ефекти в наноструктурах і наноматеріаліх.

Тема 3. Основні поняття фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів

Розділ 2. Технології створення наноструктур і наносистем

Тема 4. Класифікація методів і термодинамічні основи формування нанокластерів

Тема 5. Технології формування тонких шарів: хімічне висадження із газової фази; фізичне випаровування; фізико-хімічні методи

Тема 6. Технології виготовлення наносистем (наноелектронні прилади).

Розділ 3. Фізичні властивості наноструктур

Тема 7. Структура і форма нанокластерів. Магічні числа.

Тема 8. Дефекти в наноструктурах і наноматеріалах, механічні властивості наноструктур.

Тема 9. Динамічні властивості нанокластерів.

Тема 10. Магнітні властивості наноструктур.

Тема 11. Оптичні властивості нанокластерних систем.

Розділ 4. Фізичні властивості вуглецевих наноструктур і прилади на їх основі

Тема 12. Електронна структура вуглецю і його хімічні зв'язки. Графен, його головні фізичні властивості.

Тема 13. Графен: отримання, електронні і оптичні властивості, використання

Тема 14. Вуглецеві нанотрубки (ВНТ).

Розділ 5. Фізичні властивості наносистем - наноелектроніка

Тема 15. Закони масштабування напівпровідникових приладів, закон Мура. Фундаментальні фізичні обмеження зменшення розмірів приладів.

Тема 16. Структури кремнію-на-ізоляторі (КНІ) - сучасна база наноелектроніки

Тема 17. Фізика одноелектронних приладів

Тема 18. Гетероструктури і надгратки

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Назаров О.М., Нищенко М.М. Наноструктури і нанотехнології. – Київ: НАУ. – 2012. – 248 с.
2. Cao G. Nanostructures and Nanomaterials: London, Imperial College Press. - 2004. - 433 p.
3. Mitin V.V., Kochelap V.A., Stroschio M.A. Quantum heterostructures: microelectronics and optoelectronics. Cambridge Univ. Press.- 1999. - 642 p.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая Механика. Нерелятивисткая теория. М.: изд. Наука. – 1974. – 752 с
5. Biswas A., Bayer I. S., Biris A. S., Wang T., Dervishi E., Faupel F. Advances in top–down and bottom–up surface nanofabrication: Techniques, applications & future prospects, Advances in Colloid and Interface Science 2012. Vol.170, pp. 2–27. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.11.001>.
6. Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 2007. - 762 P

Додаткова література:

6. S. Datta. *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*. Ed. by H. Ahmed, M. Pepper, A. Broers, Cambridge University press, 1995
7. Сусліков Л.М., Дьордяй В.С. Фізика і технологія наноматеріалів: навчальний посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей. – Ужгород: Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с.
8. Поп М.М., Біланич В.С. Фізика і технологія наноструктур: навчальний посібник. - Ужгород: ДВНЗ «УжНУ» 2024. – 104 с.
9. Находкін М. Г., Шека Д.І. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: Підручник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2005. - 451 с.
10. Руденко Т.О., Назаров О.М., Лисенко В.С. Фізика та електрична діагностика наноелектронних структур в приладів на основі системи на ізоляторі. – Київ: Наукова Думка, 2024 – 261 с
11. Colinge J. P. Silicon-On-Insulator Technology: Material for VLSI. 3^d edition. Boston, Dordrecht, London: Kluwer. - 2002. – 365 p.
12. Graphen nanoelectronics. From materials to circuits. – ed. By R. Murali. – Springer 2012. – 263 p.
13. Pierson H. O. Handbook of Chemical Vapor Deposition (CVD). Principles, Technology, and Applications. Second Ed., Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A 1999. 505 P.
14. Pierret R.F. Advanced Semiconductor Fundamentals. Modular Series on Solid State. Eds. R.F. Pierret and G.W. Neudeck, Pearson Education Inc., New Jersey, Vol.6, 2004.

15. Biswas A., Bayer I. S., Biris A. S., Wang T., Dervishi E., Faupel F. Advances in top–down and bottom–up surface nanofabrication: Techniques, applications & future prospects, *Advances in Colloid and Interface Science* 2012. Vol.170, pp. 2–27. doi :10.1016/j.cis.2011.11.001.
16. Givargizov E.I. Highly Anisotropic Crystals, Springer Netherlands, 1987. 394 pages
17. Brack M. The physics of simple metal clusters: self-consistent jellium model and semiclassical approaches. *Reviews of Modern Physics*, 1993. Vol.65, N3, pp.677–732. doi:10.1103/revmodphys.65.677.
18. Pizzini S. Defects in Nanocrystals: Structural and Physico-Chemical Aspects, CRC Press 2020. 294 pages. doi.org/10.1201/9780429328206
19. Pande C.S., Cooper K.P. Nanomechanics of Hall–Petch relationship in nanocrystalline materials // *Progress in Materials Science*. – 2009. – Vol.54. – PP. 689–706. doi:10.1016/j.pmatsci.2009.03.008.
20. Suzdalev P., Buravtsev V.N., Maksimov Yu.V., Zharov A.A., Imshennik V.K., Novichikhin S.V., Matveev V.V. Magnetic phase transitions in nanosystems: role of size effects, intercluster interactions and defects // *Journal of Nanoparticle Research*. - 2003. - Vol.5. - PP.485–495. DOI: 10.1023/B:NANO.0000006071.34908.ad
21. Murray W A, Barnes W L. Plasmonic materials. // *Advanced materials*, 2007, 19(22): 3771-3782
22. Clemons T. D., Kerr R. H., Joos A., Multifunctional Magnetic Nanoparticles: Design, Synthesis, and Biomedical Applications, in Comprehensive Nanoscience and Nanotechnology (Second Edition), 2019
23. Li X., Tao L., Chen Z., Fang H., Li X., Wang X., Xu J.-B., and Zhu H. Graphene and related two-dimensional materials: Structure-property relationships for electronics and optoelectronics // *Appl. Phys. Rev.* 4, 021306 (2017); doi:10.1063/1.4983646
24. Popov V. N. Carbon nanotubes: properties and application // *Materials Science and Engineering R* 43 (2004) 61–102
25. Colinge J.-P., Colinge C.A. *Physics of Semiconductor Devices*. Springer Science & Business Media, 2002. 465 P.
26. Haensch W., Nowak E. J., Dennard R. H. et. al. Silicon CMOS devices beyond scaling // *IBM J. RES. & DEV.* – 2006. - VOL. 50 NO. 4/5, - PP. 339 - 351
27. Likharev K. K. *Single-Electron Devices and Their Applications* // *Proceedings of the IEEE*. - 1999. - VOL. 87, NO. 4. – pp.606 - 632

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано проведення лекційних, практичних занять та самостійної роботи студентів. Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На лекційних заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання практичних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з метою дисципліни. Лекційні та практичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та глобальної мережі Internet. Заняття проводяться у аудиторії або через Zoom. Лекції проводяться у вигляді презентації теоретичного матеріалу з використанням мультимедіа-проектора. Практичні заняття з відповідної теми проводяться з використанням ПК. Модульна контрольна робота проводиться на атестаційних тижнях. Велика частина методичних матеріалів міститься у вищевказаній методичній літературі.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів з посиланням на літературу)
1	<p>Вступ до курсу фізика наносистем. Основні поняття і квантові ефекти в наноструктурах. <i>Класифікація нанооб'єктів, критерії визначення і фізичні ознаки наноструктур. Розмірні ефекти. Квантове обмеження в потенціальній квантовій ямі і в нульвимірній структурі</i> <i>Туннелювання через потенціальний прямокутний бар'єр і через трикутний бар'єр.</i> <i>Щільність станів в 3D, 2D, 1D і 0D системах</i> Основна література: [1, 2, 4]. Додаткова література: [7, 8, 15]</p>

2	<p>Технології створення наноструктур <i>Поверхнева енергія, термодинамічні основи формування нанокластерів. Класифікація методів формування наноструктур. Методи знизу-вгору і методи зверху-вниз.</i> Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [7, 16]</p>
3	<p>Технології створення наноструктур <i>Технології формування тонких шарів: хімічне висадження із газової фази, осадження атомарних шарів; фізичне випаровування, метод молекулярної епітаксії; фізико-хімічні методи, реактивне плазмохімічне осадження, технології формування одновимірних наноструктур: метод газ-тверде тіло; метод газ-рідина-тверде тіло; наноконтейнери, електропрядіння.</i> Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [8, 14, 17]</p>
4	<p>Фізичні властивості наноструктур і наноматеріалів <i>Структура і форма нанокластерів. Магічні числа: структурні магічні числа і електронні магічні числа. Модель желе. Структура нанокристалічних матеріалів.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [18]</p>
5	<p>Фізичні властивості наноструктур і наноматеріалів <i>Дефекти в наноструктурах і наноматеріалах. Нульвимірні дефекти: термодинамічний опис формування вакансії в металевому нанокластері. Вакансії і домішки в напівпровідникових нанокластерах. Одновимірні дефекти. Дислокації Франка-Рида. Двовимірні дефекти. Дефекти упаковки, двійники, границі зерен. Дисклінації.</i> Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [19]</p>
6	<p>Механічні властивості наноструктур <i>Зв'язок механічних властивостей із розміром нанозерен. Фізичні механізми, що визначають таку залежність. Термодинамічний опис залежності концентрації дефектів в зерні від розміру зерна.</i> Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [19, 20, 21]</p>
7	<p>Динамічні властивості наноструктур. <i>Вплив поверхні на плавлення кластерів. Модель Дебая і модель Енштейна. Критерій Ліндемана. Термодинамічна модель плавлення нанокластерів.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [19]</p>
8	<p>Магнітні властивості нанокластерів. <i>Основні поняття магнетизму. Парамагнетики, діамагнетики, феромагнетики. Магнітні домени у наноструктурах. Супермагнетизм. Блокуюча температура і критичний об'єм. Наночастинки у зовнішньому магнітному полі.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [23]</p>
9	<p>Оптичні властивості нанокластерів. <i>Оптичні властивості металевих нанокластерів. Плазмонний ефект. Поглинання світла напівпровідниковими нанокластерами. Екстинція.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [22]</p>
10	<p>Фізичні властивості вуглецевих наноструктур <i>Електронна структура атома вуглецю та його електронні зв'язки. Графен, головні властивості. Методи отримання графену. Електронні властивості графену. Залежності щільності станів від енергії у графені. Рухливість носіїв.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [13, 24]</p>
11	<p>Фізичні властивості вуглецевих наноструктур <i>Амбіполярий ефект поля в графені. Транспорт носіїв заряду і механізми розсіяння у графенових шарах. Дефекти в графені: внутрішні, зовнішні, крайові. Оптичні властивості графену. Комбінаційне розсіяння світла в графені. Застосування графену.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [13, 24]</p>

12	<p>Фізичні властивості вуглецевих наноструктур <i>Вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Будова і електронна структура ВНТ. Хіральність. Методи синтезу ВНТ. Дефекти будови ВНТ. Загальні фізичні властивості. Комбінаційне розсіяння світла в ВНТ. Балістична провідність. Механічні властивості. Теплопровідність. Емісійні властивості ВНТ. Застосування ВНТ.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [25]</p>
13	<p>Фізичні властивості наносистем <i>Закони масштабування МДН приладів. Фундаментальні фізичні обмеження геометричного масштабування. Імпіричний закон Мура. Надбар'єрна модель транспорту заряду в надкоротких каналах. Принципи масштабування в нанорозмірних каналах.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [26, 27]</p>
14	<p>Технології створення наносистем <i>Літографічні методи отримання наноструктур: оптична УФ літографія, електронна літографія, наноімпринт, маніпуляція атомними структурами. Плазмові методи осадження і травлення матеріалів.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [8]</p>
15	<p>Структури кремнію-на-ізоляторі (КНІ) – основа сучасної наноелектроніки <i>Позитивні якості приладів, виготовлених на базі КНІ. Технології отримання систем КНІ. Транзистори, виготовлені на базі КНІ структур і їх специфічні властивості: неповного збіднення, повного збіднення.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [11, 12]</p>
16	<p>Сучасні прилади на основі КНІ структур. <i>Квантово-розмірна товщина каналу КНІ транзистора. Багатозатворні і нанодротові польові транзистори, безперехідний нанодротовий КНІ транзистор. Одноелектронні прилади. Принцип роботи: одноелектронний ящик, одноелектронна пастка. Кулонівська блокада при проходженні заряду крізь два тунельних бар'єра.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [11, 12]</p>
17	<p>Сучасні прилади на основі КНІ структур. <i>Одноелектронний транзистор, фізичний принцип роботи і його характеристики. Одноелектронна пам'ять і методи реалізації приладів одноелектронної енергонезалежної пам'яті. Елементи одноелектронної логіки.</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [28, 29]</p>
18	<p>Гетероструктури і надгратки. <i>Основні поняття гетероструктури, модель Андерсена. Селективно-легований гетероперехід і польовий транзистор з високою рухливістю носіїв в квантовому каналі. Напівпровідникові надгратки. Транзистори на балістичних носіях. Резонансне тунелювання. Резонансно тунельний діод.</i> Основна література: [1 3,]. Додаткова література: [10]</p>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми (перелік завдань, які виконуються під керівництвом викладача)
1	<p>Повторення і засвоєння основних понять з фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів. <i>Поняття забороненої зони. Ефективна маса. Щільність станів в залежності від енергії. Зона Брилюена, дисперсійні залежності. Уровень Фермі і його залежність від легування. Семінар.</i> Основна література: [6]. Додаткова література: [25]</p>

2	<p>Аналіз основних квантових ефектів у нанорозмірних структурах. <i>Квантове обмеження, тунелювання, щільність станів в структурах зменшеною розмірністю. Семінар</i> Основна література: [1, 2, 4]. Додаткова література: [7, 8, 15]</p>
3	<p>Технологія створення наноструктур <i>Поверхнева енергія, термодинамічні основи формування нанокластерів. Класифікація методів формування наноструктур. Семінар</i> <i>Модульна контрольна робота з модуля технології наноструктур.</i> Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [7, 16]</p>
4	<p><i>Захист модульної контрольної роботи з модуля технології наноструктур, наноматеріалів і наноприладів</i> <i>Структура і форма нанокластерів. Магічні числа: структурні магічні числа і електронні магічні числа. Модель желе. Семінар</i> Основна література: [1]. Додаткова література: [18]</p>
5	<p>Дефекти в наноструктурах і наноматеріалах. Семінар <i>Захист рефератів</i></p>
6	<p>Механічні властивості наноструктур <i>Зв'язок механічних властивостей із розміром нанозерен. Фізичні механізми, що визначають таку залежність. Термодинамічний опис залежності концентрації дефектів в зерні від розміру зерна. Семінар</i></p>
7	<p>Динамічні властивості наноструктур. <i>Вплив поверхні на плавлення кластерів. Модель Дебая і модель Енштейна. Критерій Ліндемана. Термодинамічна модель плавлення нанокластерів. Семінар.</i> <i>Захист рефератів</i></p>
8	<p>Магнітні властивості нанокластерів. Семінар Основна література: [1]. Додаткова література: [23]</p>
9	<p>Оптичні властивості нанокластерів Семінар <i>Модульна контрольна робота з модуля фізичні властивості нанокластерів і наноматеріалів</i></p>
10	<p>Фізичні властивості вуглецевих наноструктур Семінар <i>Захист модульної контрольної роботи з модуля фізичні властивості нанокластерів і наноматеріалів</i></p>
11	<p>Фізичні властивості вуглецевих наноструктур <i>Графен, його фізичні властивості і використання. Семінар</i></p>
12	<p>Вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Семінар <i>Модульна контрольна робота з модуля вуглецеві наноструктури</i></p>
13	<p><i>Основні елементи інтегральних схем. Системи метал-напівпровідник (бар'єр Шотткі) та метал-діелектрик-напівпровідник (МДН), зона просторового заряду. Семінар</i> <i>Захист модульної контрольної роботи з модуля вуглецеві наноструктури</i> <i>Захист рефератів.</i></p>
14	<p>Закони масштабування МДН приладів. Фундаментальні фізичні обмеження геометричного масштабування. Імпіричний закон Мура. Семінар</p>
15	<p>Структури кремнію-на-ізоляторі (КНІ) – основа сучасної наноелектроніки Семінар Основна література: [1]. Додаткова література: [11, 12]</p>

16	Квантово-розмірна товщина каналу КНІ транзистора. Багатозатворні і нанодротові польові транзистори, безперехідний нанодротовий КНІ транзистор. Семінар
17	Одноелектронний транзистор, фізичний принцип роботи і його характеристики Семінар Модульна контрольна робота з модуля наноелектронні прилади, масштабування, КНІ і одноелектронні прилади.
18	Захист модульної контрольної роботи наноелектронні прилади, масштабування, КНІ і одноелектронні прилади. Залік

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми , що виноситься на самостійне опрацювання (завдання на СРС)	Кількість годин СРС
1	Основні поняття з фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів. Поняття забороненої зони. Ефективна маса. Щільність станів в залежності від енергії в зонах. Зона Брилюена, дисперсійні залежності. Уровень Фермі і його залежність від легування. Основна література: [6]. Додаткова література: [25]	7
2	Квантові ефекти в наноструктурах (тема реферату) Взаємодія електрону із потенціальними бар'єрами. Інтерференція. Тунелювання. Балістичний перенос носіїв. Основна література: [1, 2, 4]. Додаткова література: [7, 8, 15]	7
3	Фізичні основи наноелектронних технологій (тема реферату) Сонохімія. Метод синтезу нанодротів - газ-рідина-тверде тіло; наноконтейнери. Наноімпринт. Основна література: [1, 2]. Додаткова література: [8, 14, 17]	7
4	Наноелектронні прилади на базі графена (тема реферату) Прилади для сонячної енергетики, прилади для ІЧ і ТГц електроніки, хімічні сенсори, Основна література: [1]. Додаткова література: [13, 24]	7
5	Основні елементи інтегральних схем. Системи метал-напівпровідник (бар'єр Шотткі) та метал-діелектрик-напівпровідник (МДН), зона просторового заряду. Основна література: [6]. Додаткова література: [25]	7
6	Сучасні принципи масштабування і КНІ наноелектроніка (тема реферату) Основна література: [1]. Додаткова література: [11, 12]	7
7	Типи одноелектронних приладів і технології їх виготовлення (тема реферату) Основна література: [1]. Додаткова література: [28, 29]	7

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати заняття.

Правила поведінки на заняттях

Під час занять студенти можуть використовувати засоби зв'язку для пошуку інформації по темі заняття в мережі Інтернет.

Правила захисту самостійних та домашніх контрольних робіт студентів

Виконані реферати та модульні контрольні роботи студентів надсилаються на електронну пошту викладача.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Активність на практичному занятті +3 бали

Несвоєчасна (пізніше на 1 тиждень) здача модульної роботи студента без поважної причини -3 бали

Несвоєчасний (пізніше на 1 тиждень) захист МКР без поважної причини -5 балів

Політика дедлайнів та перескладань

Дедлайн захисту реферату — останній тиждень занять.

Дедлайн захисту модульної контрольної роботи — 2 тижні після видачі завдання.

Політика щодо академічної доброчесності

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>.

Застосування під час написання рефератів, МКР або при здачі заліку студентами інтелектуальних (автоматичних) засобів створення вмісту (наприклад, ChatGPT і Galactica), здатних опрацьовувати мову та вміст, зокрема створювати довгі фрагменти тексту, забороняється. У разі виявлення застосування цих засобів за допомогою сервісів для перевірки текстів на штучний інтелект, відповіді на питання зараховані не будуть.

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. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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

Поточний контроль: захист рефератів, модульні контрольні роботи

Самостійні роботи студента сформовано так, що їх завдання сприяють більш глибокому розумінню предмета навчання і розвитку навичок представлення результатів у магістерській дисертації.

Модульні контрольні роботи проводиться у формі письмових відповідей на контрольні запитання.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації		9-ий тиждень	18-ий тиждень
Умови	Поточний рейтинг	≥30 балів	≥ 30 балів

отримання атестації	Поточний контрольний захід	Самостійна робота студента 1-9	+	-
	Поточний контрольний захід	Самостійна робота студента 10-18	-	+
	Поточний контрольний захід	Модульні контрольні роботи	+	+

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю.

Обов'язкові:

Виконані і захищені модульні контрольні роботи

Активність на практичних заняттях

Позитивний результат першої та другої атестації

Необов'язкові:

Написання реферату і його захист

Система рейтингових балів

Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю, заохочувальних та штрафних балів.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі проводиться семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи (усне опитування). Рейтингова оцінка, у разі виконання залікової контрольної роботи, визначається як сума балів за залікову контрольну роботу та балів за індивідуальне семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання.

Розрахунок шкали рейтингу:

№ з/п	Контрольний захід семестр	%	Ваговий бал	Кіль-ть	Всього
1	Виконання та захист реферату	24	24	1	24
2	Активність на практичних заняттях	36	2	18	36
3	Модульна контрольна робота	40	10	4	40
	Всього				100

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре

84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на залік.

1. Поверхнева енергія і хімічний потенціал як функція розмірів нанокластерів. Рівняння Юнга-Лапласа.
2. Класична теорія зародкоутворення. Дозрівання Освальда.
3. Щільність станів у нанорозмірних структурах
4. Тунелювання через трикутний бар'єр.
5. Розмірні ефекти (на довжині Дебая; нанорозмірні ефекти - явище кулонівської блокади; квантовий розмірний ефект в тонких плівках).
6. Структурні магічні числа і електронні магічні числа. Модель «желе» для кластерів лужних металів.
7. Дефекти в наноструктурованих матеріалах. Механізм Франка-Ріда.
8. Термодинамічний опис зв'язку концентрації дефектів із розміром нанокристалів.
9. Дінамічні властивості нанокластерів.
10. Оптичні властивості металевих нанокластерів. Плазмони.
11. Магнітні властивості нанокластерів. Суперпарамагнетизм. Блокуюча температура.
12. Методи отримання наноматеріалів знизу-вверх.
13. Методи отримання наноматеріалів зверху-вниз.
14. Газофазна епітаксія. Висадження атомарних шарів
15. Осадження тонких плівок на підкладку. Фізичні механізми формування тонких плівок і їх особливості.
16. Методи формування нанопроволок. Механізм пара-рідина-тверде тіло.
17. Фотолітографія. Послідовність процесів; типи фотолітографій; досягнення і недоліки фотолітографії.
Електронна літографія. Принцип і особливості; досягнення і недоліки.
18. Йонна імплантація. Принцип і можливості процесу; досягнення і недоліки.
19. Електронні властивості графену. Визначення рухливості носіїв.
20. Оптичні властивості графену. Комбінаційне розсіяння світла у графені.
21. Вуглецеві нанотрубки. Хіральність. Зв'язок електронних властивостей ВНТ із хіральністю.
22. Принципи масштабування на прикладі транзистора МДН. Фундаментальні фізичні обмеження роботи МДН приладів
23. КНІ матеріали. Технологія йонного синтезу. Метод зпечення пластин. Технологія UNIBOND.
24. Особливості функціонування приладів і схем на базі структур кремнію на ізоляторі
25. КНІ транзистори неповного збіднення. Ефекти плаваючої плівки, їх придушення.
26. КНІ транзистори повного збіднення. Особливості роботи, досягнення.
27. Одноелектронний транзистор. Принцип роботи. Електричні характеристики.

28. Одноелектронна енергонезалежна пам'ять.
29. Селективно-легований гетероперехід. Робота транзистора з селективно-легованим гетеропереходом.
30. Прилади на балістичних носіях.

Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою

Відповідно до Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті (https://document.kpi.ua/files/2020_7-177.pdf) з даної дисципліни є можливість зарахування сертифікату як виконані СРС наступного онлайн курсу: «Nanotechnology: A Beginners Guide» (<https://www.udemy.com/course/nanotechnology-a-beginners-guide>). Мова: англійська, 15 лекцій (01:10 год.).

Визнання результатів навчання проводиться до початку семестру. Здобувач вищої освіти звертається з заявою на ім'я декана фізико-математичного факультету з проханням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній освіті. До заяви додається відповідний сертифікат, який визначають тематику, обсяги та перелік результатів навчання, набутих під час неформального навчання, а також результати контролю.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором, д.ф.-м.н. **Назаровим Олексієм Миколайовичем**

Ухвалено кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 06-24 від 11.06.2024)

Погоджено Методичною комісією фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 25.06.2024)