



СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

• Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти *Третій (доктор філософії)*

Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова (циклу загальної підготовки для здобуття глибинних знань зі спеціальності)</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>Рік підготовки 2-й, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>ECTS – 3, 90 годин</i> <i>Лекції - 18 годин, семінарські заняття - 18 годин, СР - 54 години</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій</i> <i>Залік</i>
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	<i><u>Українська</u></i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції та семінарські заняття: професор, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Стронський Олександр Володимирович, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603680521 , https://orcid.org/0000-0002-5096-3740 , https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=T912ZwMAAAAJ , alexander.stronski@gmail.com
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Googleclassroom, тощо)

• Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій» відноситься до фундаментальних природничо-наукових програм. В курсі вивчаються загальні характеристики матеріалів на рівні розмірів 1-100 нм, процеси і явища в таких структурах. Розглядаються теоретичні та експериментальні дані про нанокластери та наносистеми, методи дослідження нанокластерів та поверхонь твердого тіла мікроскопічними та термодинамічними підходами до вивчення nanoоб'єктів. Вивчаються також нанотехнології та перспективи практичних застосувань наноматеріалів та нанотехнологій. Розглянуті також мікро(нано)-електромеханічні системи, фотонні кристали та метаматеріали. Дисципліна призначена для ознайомлення з теоретичними основами фізичних явищ на нанорівні та оволодіння можливістю їх практичного використання в основній фаховій роботі майбутніх спеціалістів. Причому основна увага приділяється як викладанню загальної картини явищ, так і їх теоретичному обґрунтуванню, експериментальних методів. Курс є складовою частиною циклу дисциплін підготовки докторів філософії, є базовою поряд з іншими нормативними спеціальними дисциплінами освітньо-кваліфікаційного рівня "доктор філософії". Він базується на знаннях, що отримали аспіранти при вивченні таких курсів, як „Загальна фізика”, „Теорія поля”, „Квантова механіка”, „Теорія твердого тіла”, „Квантова електроніка”, „Лазерна техніка” та „Оптоелектроніка”, „Оптика”, „Матеріалознавство”.

Силабус навчальної дисципліни «Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій» розроблений на основі принципу конструктивного вирівнювання (constructive

alignment), що дозволяє передбачити необхідні навчальні завдання та активності, які потрібні аспірантам для досягнення очікуваних результатів навчання, а потім спроектувати навчальний досвід таким чином, щоб максимально збільшити можливості аспірантів досягти бажаних результатів.

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій» та згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати:

Загальні компетентності:

ЗК 1. Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових і складних ідей, переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику, розв'язувати значущі наукові та інші проблеми.

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

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

ЗК7. Здатність забезпечувати безперервний саморозвиток і самовдосконалення, відповідальність за розвиток інших.

ЗК11 Здатність спілкуватися з рівними собі, науковою спільнотою та широкою громадськістю (в діалозі) в галузі своєї спеціалізації (в широких межах).

Спеціальні (фахові) компетентності:

ФК 1. Здатність самостійно здійснювати науково-дослідну та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій

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

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі *програмні результати навчання (ПРН)*:

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 9 Вміння орієнтуватися в наукових проблемах у професійній сфері, знаходити оптимальні шляхи їх розв'язання;

ПРН 10 Вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові складні ідеї, які заслуговують на рецензовану публікацію на національному або міжнародному рівні;

ПРН 11 Вміння розширення меж і переосмислення наявного теоретичного знання й професійних практик, здатності сприймати, розробляти, застосовувати і адаптувати основний процес дослідження з науковою повнотою і цілісністю;

ПРН 17 Вміння ефективно взаємодіяти в професійному середовищі й соціумі в цілому, результативно, науково і професійно працювати над новими ідеями як індивідуально, так і як член творчої команди.

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

Місце навчальної дисципліни в програмі навчання

- дати аспірантам ґрунтовні знання з сучасного матеріалознавства, сучасної оптики, фотоніки, та продемонструвати їх можливості при розв'язанні практичних задач з тим, щоб аспіранти-випускники були спроможні до розуміння сучасних науково-дослідницьких задач, розуміти підходи для створення нових систем та технологій в цих напрямках.

Необхідні навички

Опанувати основні загальноосвітні природничі дисципліни з вищої математики, матаналізу, загальної фізики, оптики, квантової механіки, кристалографії, фізики твердого тіла, матеріалознавства. Microsoft Word. Microsoft PowerPoint.

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни «Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій» надається 90 годин / 3 кредити ECTS (з них лекції – 20 годин, семінарські заняття – 16 годин, самостійна робота – 54 години), семестрова атестація – залік).

Вступ. Класифікація і типи наноструктурних систем. Розмірні ефекти. Гранулярні, волоконні, шарові і змішані наноструктури. Границі зерен. Площа внутрішньої поверхні. Зміна температури фазових перетворень. Розмірна залежність електронних, механічних, теплофізичних (теплоємність, фононний спектр, і ін.), кінетичних (дифузії і ін.), електричних, магнітних, оптичних властивостей. Фізика і геометрія.

Розділ 1. Квантові точки, дроти, ями. Нанокластери. Нуклеація і ріст нанокластерів в нанопорах речовини. Колоїдні наносистеми. Плівки поверхнево-активних речовин. Плівки Ленгмюра-Блоджет. Самозборка. Напівпровідникові острівцеві структури. Електричні та оптичні властивості. Кулонівська блокада. Одноелектронне тунелювання. Одноелектронні прилади.

Розділ 2. Фулерени і нанотрубки. Синтез, структура вуглецевих, нітрідборних, діхалькогенідних, оксидних нанотрубок. Електронні, оптичні, динамічні, механічні властивості. Деякі можливі застосування.

Розділ 3. Метаматеріали. Метаматеріали. Властивості метаматеріалів. Теорія «лівих» речовин Веселаго. Обернений ефект Доплера. Обернений закон Снеліуса – від'ємний показник заломлення. Лінза Веселаго. Суперрозділення. Перспективні області застосувань.

Розділ 4. Фотонні кристали. Традиційна багатошарова плівка: одновимірний фотонний кристал. Мембрани, цеоліти, опали. Методи синтезу і виготовлення. Властивості $2D-3D$ фотонних кристалів. Електронна структура. Оптичні властивості. Локалізація світла. Фотонна щілина. Незвичні властивості фотонних кристалів. Перспективні застосування фотонних кристалів. Оптичні фільтри, антени, хвилеводи, резонатори, лазер на барвниках в цеолітах, лазерний діод на вертикальних пустотах, мультizonдові кантілевери для зондових мікроскопів, двуюкозаломні лінзи і призми, емітери для високороздільних плоских дисплеїв, хімічні сорбенти, сенсори.

Розділ 5. Вступ в новітні нанотехнології. Мікро- та нанолітографії. Мікро- та нано-електро-механічні системи (МЕМС та НЕНС). Методи отримання наноструктур. Гетерогенні процеси формування наноструктур. Молекулярно-пучкова епітаксія. Газофазна епітаксія з метадорганічних сполук. Формування структур на основі колоїдних розчинів. Атомно-шарова епітаксія. Методи діагностики і аналізу наносистем. АСМ та СТМ мікроскопія. Наноманіпуляція. Наноелектроніка.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна літератури

1. M. Fischetti, W.G. Vandenberghe. Advanced Physics of Electron Transport in Semiconductors and Nanostructures. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 481 pp.
2. Klaus D. Sattler. Fundamentals of Picoscience. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2014. – 754 pp.
3. G. Iadonisi. G. Cantele, M. L. Chiofalo. Introduction to Solid State Physics and Crystalline Nanostructures. – Springer Verlag Italia, 2014. – 707 pp
4. Klaus D. Sattler. Handbook of Nanophysics — Nanoparticles and Quantum Dots. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 718 pp.
5. E.L. Wolf. Nanophysics and Nanotechnology — An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 2006. – 301 pp.
6. A. Nabok Organic and Inorganic Nanostructures.-Artech-House, Inc. – 2005. – 268 p.

7. Nanoparticles. From theory to application Ed. G. Schmidt. – 2004. - Wiley-VCH-Verlag GmbH & Co. KGaA. – 434 p.
8. E.L.Wolf Nanophysics and Nanotechnology. An introduction to Modern Concepts in Nanoscience. -Wiley-VCH-Verlag GmbH & Co. KGaA. – 2004. – 174 p.
9. Semiconductor Nanostructures for Optoelectronic Applications.-Ed. T.Steiner.-Artech House, Inc.-2004.-424 с.
10. B. Bhushan (Ed.) Handbook of Nanotechnology. Springer. - 2003. – 1247 pp.
11. K. Sakoda Optical properties of photonic crystals Springer. – 2001. – 223 pp.
12. T.D. Burchell Carbon Materials for Advanced Technologies.-Pergamon Press.-Elsevier Science Ltd.-1999. – 535 p.
13. S.N.Magonov and M.-H. Whangbo Surface Analysis with STM and AFM.-VCH.-1996. – 323 с.
14. J.D. Joannopoulos, R.D. Meade, Joshua N. Winn. Photonic Crystals. – Princeton University Press. – 1995. – 137 p.
15. H.O. Pierson Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes. - Noyes-publications.-1993.-384 p.
16. В.В.Покропивний, Л.В.Поперенко «Фізика наноструктур» К.:Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 220 с.
17. Гладких Н.Т., Дукаров С.В., Крышталь А.П., Ларин В.И., Сухов В.Н., Богатыренко С.И. Поверхностные явления и фазовые превращения в конденсированных пленках / Под ред проф. Н.Т. Гладких.-Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина. – 2004. – 276 с.
18. М. Ткач. Квазічастинки у наногетеросистемах, квантові точки та дроти.- Чернівці : ЧНУ ім. Ю.Федьковича.-2003.-312 с.
19. В.В.Скорород, І.В.Уварова. А.В.Рагуля. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах. – К: Академперіодика, 2001. – 180 с.

Допоміжна література

20. R. Wiesendanger. Atomic- and Nanoscale Magnetism. – Springer Nature Switzerland, 2018. – 400 pp.
21. V. M. Fomin. Physics of Quantum Rings. – Springer International Publishing AG, 2018. – 600 pp.
22. P. Hommelhoff, M. F. Kling Attosecond Nanophysics — From Basic Science to Applications. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2015 – 392 pp.
23. J. Fransson. Non-Equilibrium Nano-Physics — A Many-Body Approach. – Springer, 2010. – 230 pp.
24. T. Zhai. J. Yao. One-dimensional nanostructures — Principles and Applications. – John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 594 pp.
25. Daniel Minoli Nanotechnology applications to telecommunications and networking 2006 by John Wiley & Sons, Inc. -487pp.
26. Junghuei Chen,·Nataša Jonoska, Grzegorz Rozenberg Nanotechnology: Science and ComputationSpringer-Verlag Berlin Heidelberg. 2006. – 391 pp.
27. Shunri Oda, David Ferry Silicon Nanoelectronics 2006 Taylor & Francis Group. – 304 pp.
28. N. P. Mahalik Micromanufacturing and Nanotechnology Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006. – 468 pp.
29. William A. Goddard, Donald W. Brenner, Sergey Edward LyshevskiGerald J. IafrateHandbook of Nanoscience,Engineering,and Technology 2003 by CRC Press LLC.

● **Навчальний контент**

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;
- семінарські заняття;
- самостійна робота.

Курс побудований таким чином, що для виконання кожного наступного завдання аспірантам необхідно застосовувати навички та знання, отримані у попередньому. Фінальним завданням є

семестрове індивідуальне завдання у формі індивідуальної контрольної роботи з обов'язковим публічним захистом, для виконання якого аспіранти використовують теоретичні знання та застосовують практичні навички, отримані під час виконання всіх видів завдань (тематичних завдань) та активної участі на заняттях (виконання поточних завдань та активностей).

Особлива увага приділяється принципу заохочення аспірантів до активного навчання, у відповідності з яким аспіранти мають працювати над практичними тематичними завданнями, які дозволять в подальшому вирішувати реальні проблеми та завдання.

Під час навчання враховуються фактори, які впливають на навчання аспірантів, принципи ефективного навчання тощо. Навчання здійснюється на основі аспірантоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та аспіранта з метою засвоєння аспірантами матеріалу та розвитку у них практичних навичок.

Під час навчання та для взаємодії зі аспірантами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань, а також обладнання (проектор та електронні презентації для лекційних та консультаційних занять); дистанційна форма навчання (лекційні заняття проводяться з використанням платформи ZOOM з відеозаписом).

Програмні результати навчання, контрольні заходи та терміни виконання оголошуються аспірантам на першому занятті.

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на заняття	Кількість годин		
		Лекції	Семінарські заняття	Самостійна робота
1	<p>Розділ 1. Квантові точки, дроти, ями.</p> <p>Тема 1. 1 Вступ. Предмет та структура курсу. Особливості наносвіту. Приклади важливих структур. Нанорозмірні матеріали і квантова механіка. Від атомів до молекул та квантових точок.</p> <p>Тема 1.2 Квантові точки. Енергетичні рівні (напівпровідникової) квантової точки. Різноманіття квантових точок. Оптичні властивості квантових точок. Деякі можливі застосування.</p> <p>Тема 1.3. Енергетичні рівні (напівпровідникової) квантової точки. Різноманіття квантових точок. Оптичні властивості квантових точок. Деякі можливі застосування. Електричні властивості квантових точок. Кулонівська блокада. Одноелектронне тунелювання. Тунельний перенос - форма ліній піків провідності. Деякі застосування.</p> <p>Тема 1.4. Нанодроти. Методи синтезу. Характеризація і фізичні властивості нанодротів: структура, транспортні та оптичні властивості. Застосування</p>	3	3	10
2	<p>Розділ 2 Фулерени. Вуглецеві нанотрубки. Нанокластери.</p> <p>Тема 2.1 Молекулярна структура фулеренів. Характеристики молекул фулеренів. Механізм формування. Фулерени у конденсованому стані. Властивості агрегатів фулеренів. Хімічні властивості і фулеренові сполуки. Отримання фулеренів. Потенційні застосування.</p> <p>Тема 2.2. Вуглецеві нанотрубки. Синтез. Структура вуглецевих нанотрубок. Електронні властивості. Коливальні властивості. Застосування.</p> <p>Тема 2.3 Нуклеація і ріст нанокластерів в нанопорах речовини. Нуклеація і ріст кластерів на основі твердотільних реакцій. Термодинамічна модель кластера. Структурні особливості твердотільних наноструктур.</p> <p>Тема 2.4. Формування колоїдних наносистем. Міцели. Мікроемульсії. Формування кластерів в мікроемульсіях. Організація і самоорганізація колоїдних структур. Оптичні і електронні властивості кластерів.</p>	3	3	11

3	<p>Розділ 3. Метаматеріали</p> <p>Тема 3.1. Властивості метаматеріалів. Теорія «лівих» речовин Веселаго. Обернений ефект Доплера. Обернений закон Снеліуса – від’ємний показник заломлення. Лінза Веселаго. Суперрозділення. Перспективні області застосувань.</p>	4	4	11
4	<p>Розділ.4.</p> <p>Тема 4.1. Електромагнетизм в діелектричних середовищах. Порівняння електродинаміки та квантової механіки. Фотонні кристали. Електромагнетизм в діелектричних середовищах. Порівняння електродинаміки та квантової механіки. Фотонні кристали. Структури фотонних зон. Обертальна симетрія та незвідна зона Брилюена. Часообернена інваріантність Фотонні кристали. Структури фотонних зон. Обертальна симетрія та незвідна зона Брилюена. Часообернена інваріантність.</p> <p>Тема 4.2 Фотонні кристали. Традиційна багатошарова плівка: одновимірний фотонний кристал. Багатошарова плівка. Фізична природа фотонних заборонених зон. Поверхневі стани. Двовимірні фотонні кристали. Двовимірні блоховські стани. Квадратна решітка діелектричних колонок. Повна заборонена зона для всіх поляризацій. Локалізація світла лінійними дефектами. Планарна локалізація: Поверхневі стани.</p> <p>Тема 4.3. Тривимірні фотонні кристали. Два класи фотонних кристалів. Кристали з повними забороненими зонами. Локалізація у точковому дефекті. Локалізація на лінійному дефекті. Локалізація на поверхні. Застосування фотонних кристалів. Виготовлення фотонних кристалів.</p>	4	4	11
5	<p>Розділ 5. Вступ в новітні нанотехнології.</p> <p>Тема 5.1 Технологія виготовлення МЕМС. Технологія виготовлення МЕМС. Об’ємні мікромашини. Мікромашини з високими показниками відношень розмірів елементів. LIGA, HEXSIL та HARPS методів.</p> <p>Тема 5.2. Методи отримання наноструктур. Гетерогенні процеси формування наноструктур. Молекулярно-пучкова епітаксія. Газофазна епітаксія з метадорганічних сполук. Формування структур на основі колоїдних розчинів. Атомно-шарова епітаксія.</p> <p>Тема 5.3. Електронно-променеві та нановідбиткові методи. Методи епітаксії і напружень. Виготовлення квантових наноструктур з використанням епітаксії на структурованих підкладках. Виготовлення квантових наноструктур з використанням стимульованої напруження самоорганізацією (самозборка).</p> <p>Тема 5.4. Методи дослідження наносвіту. АСМ та СТМ мікроскопія, принципи, умови застосування, області практичних застосувань. Методи діагностики і аналізу наносистем. Мас-спектроскопія. Оже-електронна спектроскопія. Фотоелектронна спектроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Електронна мікроскопія. Еліпсометрія. Методи сканувальних мікроскопій.</p> <p>Тема 5.5. Наноелектроніка. Польові МОН транзистори (MOSFET). Модульовано-леговані польові транзистори (MODFET або НЕМТ). Резонансно-тунельні транзистори. Гетероструктурний транзистор на квантових точках. Нанотранзистори на основі вуглецевих нанотрубок. Лазерні наноструктури. Фотоприймачі на квантових точках.</p>	4	4	11
Разом годин - 90		18	18	54

Семестрове індивідуальне завдання є фінальним контрольним заходом, який охоплює всі програмні результати навчання. Термін виконання: визначення тематики – 5-ий тиждень, публічний захист – 18-ий тиждень.

Самостійна робота аспірантів має на меті розвиток творчих здібностей та активізація їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток орально-вольових зусиль. Завданням самостійної роботи аспірантів є навчити аспірантів 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, літературою, та особистим конспектом лекцій;
- підготовка реферату за узгодженою темою;
- підготовка до складання семестрового контролю.

● Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій та семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання практичних завдань та успішного написання МКР, а також виконання РР. В разі великої кількості пропусків аспірант може бути недопущений до заліку, якщо не встигне виконати навчальний план.

Пропущені контрольні заходи

Результат календарного (проміжного) контролю для аспіранта, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, аспірант має можливість пройти контрольний захід, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів.

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 аспірантів 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

Аспіранти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

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

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

Система оцінювання

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь на заліку	40	40	1	40
2.	Поточні тематичні завдання (реферат)	16	16	1	16
3.	Бліц-контроль на лекційних заняттях	14	2	7	14
4.	Індивідуальна практична робота	20	10	2	20
5.	Активність на заняттях	10	1	10	10

Результати робіт та тематичних завдань оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються оціночними листами, в яких студенти можуть побачити свою оцінку за певними критеріями, а також позначення основних помилок та коментарі до них.

Результати семестрового індивідуального завдання оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються позитивними коментарями та зауваженнями стосовно помилок.

Результати індивідуальної практичної роботи оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються позитивними коментарями та зауваженнями стосовно помилок.

Семестрова атестація аспірантів

Обов'язкова умова допуску до екзамену/ <u>заліку</u>		Критерій
1	Поточний загальний рейтинг	$RD \geq 60$
2	Індивідуальна практична робота (ч. 1, ч.2)	Ч. 1 та Ч. 2 написані на позитивну оцінку (6 з 10 кожна)
3	Поточні тематичні завдання (реферат)	Виконані всі роботи на позитивну оцінку (разом 10 з 16)
4	Активність на заняттях	Виконані всі завдання на позитивну оцінку (разом 6 з 10)
5	Бліц контроль на заняттях	Позитивна оцінка відповідей на запитання (разом 8.4 з 14)

Додаткові умови допуску до заліку:

1. Активність на практичних заняттях.
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.

Таблиця переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою

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	-

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 аспірантів 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

Аспіранти 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. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Теми на залік:

1. Що змінюється у фізичних процесах і функціонуванні приладів при переході до нанометрових розмірів?. Нанорозмірні матеріали і квантова механіка. Основні типи наноструктур.
2. Нанорозмірні матеріали і квантова механіка. Квантові точки, дроти, ями.
3. Прямокутна квантова яма.
4. Двовимірні системи. Одновимірні системи (квантові дроти). Нульвимірні системи (квантові точки).
5. Енергетичні рівні (напівпровідникової) квантової точки. Різноманіття квантових точок.
6. Оптичні властивості квантових точок. Можливості застосування
7. Електричні властивості квантових точок. Кулонівська блокада.
8. Одноелектронне тунелювання і його застосування
9. Нанодроти. Методи синтезу.
10. Характеризація і фізичні властивості нанодротів: структура, транспортні та оптичні властивості. Застосування
11. Молекулярна структура фулеренів. Характеристики молекул фулеренів
12. Властивості агрегатів фулеренів і фулеренових сполук. Отримання фулеренів. Потенційні застосування.
13. Вуглецеві нанотрубки. Синтез. Структура вуглецевих нанотрубок.
14. Механізм формування фулеренів. Фулерени у конденсованому стані.
15. Електронні та коливальні властивості вуглецевих нанотрубок. Застосування
16. Метаматеріали. Властивості мета матеріалів.
17. Теорія «лівих» речовин Веселаго. Обернений ефект Доплера. Обернений закон Снеліуса – від'ємний показник заломлення.
18. Лінза Веселаго. Суперрозділення.
19. Перспективні області застосувань метаматеріалів.
20. Фотонні кристали. Порівняння формалізму опису електродинаміки та квантової механіки...
21. Електромагнетизм змішаних діелектричних середовищ і задача власних значень. Загальні властивості гармонічних мод.
22. Фотонні кристали. Використання симетрій для класифікації електромагнітних мод. Неперервна та дискретна трансляційні симетрії.
23. Фотонні кристали. Обертальна симетрія і незвідна зона Брілюена. Часово-обернена інваріантність.
24. Одновимірний фотонний кристал. Фізична природа заборонених зон. Еванесцентні моди в заборонених зонах.
25. Локалізовані моди дефектів та поверхневі стани в одновимірному фотонному кристалі. Позаосьове розповсюдження.

26. Двовимірні блоховські стани. Квадратна решітка діелектричних колонок. Квадратна решітка діелектричних жил.
27. Двовимірні фотонні кристали. Повна заборонена зона для всіх поляризацій. Локалізація світла лінійними дефектами. Планарна локалізація: поверхневі стани.
28. Тривимірні фотонні кристали. Кристали з повними забороненими зонами.
29. Два класи тривимірних фотонних кристалів. Локалізація в точковому дефекті у тривимірному фотонному кристалі
30. Тривимірні фотонні кристали. Локалізація на лінійному дефекті. Локалізація на поверхні.
31. Конструювання фотонних кристалів для практичних застосувань. Відбиваючий діелектрик.
32. Конструювання фотонних кристалів для практичних застосувань. Резонансна порожнина та хвилевод.
33. Фізична і хімічна самоорганізація у виробництві наноструктур.
34. Методи дослідження наносвіту. СТМ мікроскопія. Фізичні принципи та області застосування.
35. АСМ мікроскопія, принципи, умови застосування і області її практичних застосувань.
36. Методи сканувальних мікроскопій. Нанолітографія з зануренням вістря.
37. Літографія. Нанесення тонких плівок та легування. Хімічне осадження з парової фази і епітаксія.
38. Технологія виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Фізичне осадження з парової фази (напилення та розпилення). Гальванопокриття.
39. Що є основою виготовлення мікро електромеханічних структур (МЕМС) на основі кремнію?. Приклади технологій формування МЕМС.
40. Технологія виготовлення мікро електромеханічних систем (МЕМС). Літографія. Нанесення тонких плівок та легування.
41. Технологія виготовлення мікро електромеханічних систем (МЕМС). Травлення та видалення підкладки. Мокре і сухе травлення та зв'язування з підкладкою.
42. Мікро електромеханічні системи (МЕМС) з високими показниками відношень розмірів елементів. Метод LIGA.
43. Електронно-променеві та нано-відбиткові методи в нанотехнологіях.
44. Методи епітаксії і напружень. Виготовлення квантових наноструктур з використанням епітаксії на структурованих підкладках.
45. Виготовлення квантових наноструктур з використанням стимульованої напруженням самоорганізації (самозбірка).
46. Методи сканувальних мікроскопій. Стимульоване сканувальним зондом окислення, експонування та літографія.
47. Самоорганізація і виробництво шаблонів (масок).
48. Об'ємні мікро(нано)машини. Виготовлення об'ємних мікро(нано)машин з використанням мокрого травлення та зв'язування підкладок.
49. Поверхневі мікро машини. Процеси виготовлення поверхневих мікро машин. 3-Дмікроструктури з використанням мікро машинних поверхневих процесів.
50. Технологія виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Мікромашини з високими показниками відношень вертикальних та латеральних розмірів елементів, методи HEXIL, HARPSS.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус): «Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій»

Складено

Професором кафедри прикладної фізики, д. ф.-м. н., ст. н. с. Стронським Олександром Володимировичем

Ухвалено кафедрою прикладної фізики

(протокол № 02/2020-2021 від 04 вересня 2020 року)

Погоджено Методичною комісією Фізико-технічного інституту

(протокол № 7/1 від 07 вересня 2020 року)