

ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ім. Б.І. ВЕРКІНА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора
ФТІНТ ім.Б.І.Веркіна НАН України



« 16 » 09 2020 р.

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Нанофізика та мезоскопіка

(назва навчальної дисципліни)

з галузі знань «10 Природничі науки»
за спеціальністю «104 Фізика та астрономія».

<i>Рівень вищої освіти</i>	<u>третій (освітньо-науковий)</u>
<i>Освітня програма</i>	<u>доктор філософії</u>
<i>Форма навчання</i>	<u>денна</u>
<i>Загальний обсяг у кредитах</i>	
<i>Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи:</i>	<u>4 кредити ЄКТС</u>

Харків - 2020

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

Фізико–технічним інститутом низьких температур ім. Б. І. Веркіна
Національної академії наук України
(повне найменування вищого навчального закладу)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Долбин Олександр Вітольдович - доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Шевченко Сергій Миколайович - доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу надпровідних та мезоскопічних структур Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Програма затверджена Вченою радою Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, «___» _____ 2020 р., протокол № ___.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузі знань: - «10 Природничі науки»	Обов'язковий
Загальна кількість годин – 120 (36 аудиторних)	Спеціальність: - «104 Фізика та астрономія»	
Тижневих годин для денної форми навчання аудиторних – 2 самостійної роботи здобувача – 8	Освітньо-науковий рівень: доктор філософії	<i>Лекції, годин</i>
		30
		<i>Семінари, годин</i>
		6
		<i>Самостійна робота, годин</i>
		84
		<i>Вид контролю</i>
		іспит

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: ознайомити аспірантів з сучасним станом фізики мезо- та наноскопічних систем і наноструктур, надати інформацію про сучасні методи їх отримання і експериментального дослідження, а також сформулювати уявлення про проблеми і перспективи розвитку фізики наноструктур і нанотехнологій.

Завдання:

- надати аспірантам інформацію про основні фізико-хімічні, механічні та інші властивості наноструктур, сформулювати уявлення про процеси у наносистемах та наноструктурованих і функціональних матеріалах, що дозволить розуміти і обчислювати основні параметри наносистем;
- дати інформацію про напрямки досліджень і розробок в області нанофізики та нанотехнологій;
- навчити аспірантів застосовувати базові знання в галузі нанофізики і нанотехнологій до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності;
- познайомитися з актуальними проблемами та об'єктами сучасної мезоскопічної фізики, такими як надпровідникові кубіти, низькорозмірні провідники, електричні та наномеханічні резонатори;
- розглянути на реальних прикладах, як прості моделі можуть бути використані для вирішення фундаментальних та прикладних задач сучасної фізики на нано- та мезо-масштабах.

У результаті вивчення курсу аспірант повинен

знати:

- термінологію в галузі фізико-хімії наноструктур та наноматеріалів;

- особливості фізичних явищ та взаємодій на наноскопічному масштабі;
- основні положення квантової теорії і статистичної фізики наноскопічних і мезоскопічних систем;
- основні методи створення наносистем та дослідження їх властивостей;
- фізичні основи роботи сучасної апаратури для отримання і дослідження наноструктур;
- термінологію в галузі квантових обчислень та квантової інженерії;
- розуміти квантову інформатику;
- особливості фізичних явищ мезоскопічних систем;
- як описати такі системи як надпровідникові кубіти та квантові точки.

вміти:

- обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з нанотехнологій і наноматеріалів;
- використовувати довідкову і навчальну літературу в галузі фізики наноструктур і нанотехнологій, знаходити інші необхідні джерела інформації і працювати з ними.
- пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі;
- описувати квантові логічні операції та алгоритми;
- вирішувати стаціонарне та нестаціонарне рівняння Шредінгера для дворівневої системи, тобто описувати динамічне поведіння кубіта;
- описати надпровідникові квантові контури з контактами Джозефсона, зокрема в квантовому режимі.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі **програмні результати навчання** (згідно з освітньо-науковою програмою «ФІЗИКА»):

знання:

- 1) здобуття поглиблених знань і розумінь в фізиці та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів та/або теоретичних наукових досліджень (ПРН-1.1);
- 2) здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації (ПРН-1.2);
- 3) здатність ясно та ефективно описувати результати наукової роботи (ПРН-1.3);
- 4) здатність вести спеціалізовані наукові семінари та публікувати наукові статті в вітчизняних та закордонних наукових журналах (ПРН-1.4);
- 5) здатність робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, он-лайн ресурси (ПРН-1.5);
- 6) здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі індивідуальних досліджень (ПРН-1.6);
- 7) досягнення відповідних знань, розумінь та здатностей використання методів аналізу даних та статистики на найбільш сучасному рівні (ПРН-1.7).

уміння:

- 1) здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел (ПРН-2.1);
- 2) самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати (ПРН-2.2);
- 3) обирати методи і моделювати явища та процеси різної складності при вирішенні фізичних задач з урахуванням спеціалізації в конкретних галузях фізики конденсованого стану (ПРН-2.3);
- 4) поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів (ПРН-2.4);
- 5) застосовувати знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації (ПРН-2.5);
- 6) ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди (ПРН-2.6);
- 7) застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання науково-дослідних завдань з обраної спеціалізації та проведення досліджень (ПРН-2.7);
- 8) аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення (ПРН-2.8);

9) підготувати запит на отримання фінансування, звітну документацію (ПРН-2.9).

10) формулювати науково і технічно значиму проблематику, володіти різними формами її публічної презентації (он-лайн презентації, публічні лекції, науково-популярні тексти тощо) (ПРН-2.10).

Здобути комунікативні навички та набути навичок працювати автономно і відповідально:

- 1) ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях, включаючи усну та письмову комунікацію іноземною мовою (ПРН-3.1);
- 2) кваліфіковано представляти та обговорювати отримані результати та здійснювати трансфер набутих знань (ПРН-3.2).
- 3) здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення (ПРН-4.1);
- 4) здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань (ПРН-4.2);
- 5) здатність відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики (ПРН-4.3);
- 6) здатність самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень (ПРН-4.4);
- 7) здатність демонструвати розуміння засад охорони праці, електробезпеки та їх застосування (ПРН-4.5).

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у аспірантів загальних та фахових **компетентностей**:

ЗК-1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК-2 Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;

ЗК-5 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації;

ЗК-8 Здатність бути критичним і самокритичним;

ЗК-9 Здатність до практичного застосовування знань;

ЗК-10 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

ЗК-11 Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК-12 Здатність до наукового мислення, зокрема володіння загальнонауковими (філософськими) компетентностями, спрямованими на формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.

ЗК-13 Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, а також академічної доброчесності, характерних для учасників академічного середовища.

ФК-1 Концептуальні та методологічні знання щодо історії розвитку та сучасного стану наукових досліджень з основних напрямів фізики.

ФК-2 Поглибленні спеціалізовані знання з того напрямку сучасної фізики, який був обраний для проведення власного наукового дослідження, та розуміння сучасних фізичних теорій і методів, спроможність до їхнього аналізу та ефективного застосування в практиці наукової та науково-педагогічної діяльності і проведенні досліджень.

ФК-4 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у фізиці і дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики та суміжних галузей.

ФК-6 Здатність самовдосконалюватися, презентувати результати досліджень фахівцям і нефхівцям.

ФК-7 Здатність до формулювання наукових задач та планування стратегій їхнього розв'язання з можливістю інтеграції знань з різних наукових сфер та застосуванням системного підходу в практичній діяльності.

ФК-10 Здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі узагальнення власних експериментальних або теоретичних досліджень з фізики.

ФК-11 Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати комплексні аспекти при розв'язанні проблемних завдань та проведенні наукових досліджень.

ФК-12 Знати та вміти застосовувати фундаментальні знання з фізики конденсованого стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах і рідинах, знати основні закономірності утворення структури твердих тіл та взаємозв'язок структури з фізичними властивостями твердих тіл,

вміти використовувати основні принципи сучасної фізики конденсованого стану до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

ФК-16 Знати основні ефекти і закони як класичної низькотемпературної, так і високотемпературної надпровідності, методи дослідження надпровідників і надпровідних структур та вміти застосовувати їх практично у науці, техніці і промисловості.

ФК-19 Знати сучасний стан фізики мезо- та наноскопічних систем і наноструктур, сучасні методи їх отримання і експериментального дослідження, а також проблеми і перспективи розвитку фізики наноструктур і нанотехнологій, вміти обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи міждисциплінарні знання з нанотехнологій і наноматеріалів

ФК-20 Знати молекулярну будову речовини та природу фізичних процесів на молекулярному рівні, зокрема, на рівні окремих молекул, сучасні актуальні напрями фундаментальних досліджень в області молекулярної фізики, молекулярної біофізики, нанофізики та нанобіофізики. Знати та вміти використовувати сучасні методи дослідження структури, маси, енергії та інших характеристик ізольованих молекул і їх міжмолекулярних взаємодій при самостійному виконанні конкретних науково-дослідницьких робіт.

Пререквізити

Вивчення дисципліни передбачає володіння базовими знаннями та навиками з курсів загальної фізики, термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики неупорядкованих систем, фізики кластерів та наносистем, а також статистичної фізики та кристалографії, отриманих під час здобуття ступеня магістра.

Постреквізити

Основні положення навчальної дисципліни повинні допомогти аспірантам поєднати сучасні теоретичні, експериментальні методики та концепції, побачити перспективи подальших наукових досліджень у галузі фізики наноструктур та фізики конденсованого стану.

3. Анотація навчальної дисципліни

Курс «Нанофізика та мезоскопіка» є курсом зі спеціалізації, який узагальнює та систематизує знання аспірантів, отримані у інших курсах, а також знайомить з новими мезоскопічними системами і наноструктурами, фізичними методами їх створення, дослідження властивостей та контрольованої модифікації.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ З НАНОСИСТЕМ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Історія виникнення нанотехнологій і наук про наносистеми. Міждисциплінарність і мультидисциплінарність. Приклади нанооб'єктів і наносистем, їхні особливості й технологічні застосування. Об'єкти й методи нанотехнологій. Принципи й перспективи розвитку нанотехнологій.

Тема 2. ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНИХ ВЗАЄМОДІЙ У НАНОМАСШТАБІ

Роль об'єму й поверхні у фізичних властивостях нановимірних об'єктів. Механіка нанооб'єктів. Механічні коливання й резонанси в нановимірних системах. Сила тертя. Кулоновська взаємодія. Оптика нанооб'єктів. Співвідношення довжини хвилі світла й розмірів наночасток. Відмінності в поширенні світла в однорідному і наноструктурованому середовищах. Магнетизм нанооб'єктів.

Тема 3. КВАНТОВА МЕХАНІКА НАНОСИСТЕМ

Квантововимірні ефекти в нанооб'єктах. Квазічастки у твердому тілі та у наноструктурованих матеріалах. Квантові точки. Ниткоподібні кристали, волокна, нанотрубки, тонкі плівки та гетероструктури. Квантові ефекти в наноструктурах у магнітному полі. Принцип суперпозиції в квантовій механіці. Когерентність багаточастинкових систем. Електропровідність нанооб'єктів. Електрон-фононна взаємодія. Поняття балістичної провідності. Одноелектронне тунелювання і кулонівська блокада. Оптичні властивості квантових точок. Спінотроніка нанооб'єктів.

Тема 4. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ДІАГНОСТИКИ НАНООБ'ЄКТІВ І НАНОСИСТЕМ

Електронна растрова і просвітлююча мікроскопія. Електронна томографія. Електронна спектроскопія. Дифракційні методи дослідження. Оптичні й нелінійно-оптичні методи діагностики. Особливості конфокальної мікроскопії. Скануюча зондова мікроскопія. Силова мікроскопія.

Тема 5. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ НАНОЧАСТОК ТА НАНОСТРУКТУР

Технології «top-down» та «bottom-up». Піроліз, механо-, електро та кріодиспергування. Методи хімічної гомогенізації та золь-гель метод. Нанолітографічні методи. Процеси зародишоутворення в газових і конденсованих середовищах.

Тема 6. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА НАНОСИСТЕМ.

Особливості фазових переходів у малих системах. Типи внутрішньо- і міжмолекулярних взаємодій. Гідрофобність і гідрофільність. Міцелоутворення. Моношари, що самозбираються. Супрамолекулярна організація молекул. Молекулярне розпізнавання. Полімерні макромолекули, методи їх отримання.

Тема 7. КВАНТОВА ІНЖЕНЕРІЯ

Квантовий комп'ютер. Кубіти та суперпозиція станів. Фізичні реалізації кубітів. Спін та фотон. Парадокси Шредингера та Ейнштейна-Подольського-Розена.

Тема 8. КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ

Квантові логічні операції: одно-кубітні операції та операція контролюване «ні». Квантові схеми. Вимірювання та операція перевертання. Теорема о неможливості клонування. Нерівності Белла.

Тема 9. КВАНТОВА МЕХАНІКА ДВОРІВНЕВИХ СИСТЕМ

Енергетичні рівні кубіта - дворівневої системи. Осциляції Рабі. Наближення обертової хвилі. Спектроскопія. Формалізм матриці щільності та рівняння Блоха. Багатофотонні збудження. Адіабатичне наближення. Переходи Ландау-Зінера. Осциляції Штюкельберга.

Тема 10. НАДПРОВІДНИКОВІ КУБІТИ

Квантування магнітного потоку в двосвязних надпровідниках. Нелінійна джозефсонівська індуктивність. Квантування надпровідникових контурів. Контакт з током – фазовий кубіт. Надпровідний острівцець – зарядовий кубіт. Кільце з трьома контактами – потоковий кубіт.

Тема 11. НАПІВПРОВІДНИКОВІ КВАНТОВІ КОНТУРИ

Двомірний електронний газ. Низькорозмірні структури. Квантування провідності, формула Ландауера. Ефект Ааронова-Бома, осциляції провідності та персистентний струм. Квантові точки, кулонівська блокада.

Тема 12. ГІБРИДНІ СИСТЕМИ.

Наномеханічний резонатор. Резонатор на основі лінії передач. Класичні та квантові резонатори. Квантова електродинаміка контурів. Реалістичні мезоскопічні системи та їхній зв'язок з мікроскопічними квантовими системами, резонаторами та дисипативним оточенням.

Загальна структура навчальної дисципліни

№	Назва теми	у тому числі			
		Усього	Лекцій, годин	Семинар, годин.	Самостійна робота, годин
1.	Основні поняття й визначення термінів з наносистем і нанотехнологій	9	2	-	7
2.	Особливості фізичних взаємодій у наномасштабі	11	2	2	7
3.	Квантова механіка наносистем	9	2	-	7
4.	Методи дослідження і діагностики нанооб'єктів і наносистем	9	2	-	7
5.	Методи створення наночасток та наноструктур	13	4	2	7
6.	Статистична фізика наносистем	9	2	-	7
7.	Квантова інженерія	10	2	-	7
8.	Квантові обчислення	10	3	-	7
9.	Квантова механіка дворівневих систем	10	3	-	7
10.	Надпровідникові кубіти	10	3	2	7
11.	Напівпровідникові квантові контури	10	3	-	7
12.	Гібридні системи	10	2	-	7
	Усього, годин	120	30	6	84

Теми лекційних занять

№	Назва лекції	Кількість годин
1.	Основні поняття й визначення термінів з наносистем і нанотехнологій	2
2.	Особливості фізичних взаємодій у наномасштабі	2
3.	Квантова механіка наносистем	2
4.	Методи дослідження і діагностики нанооб'єктів і наносистем	2
5.	Методи створення наночасток та наноструктур	4
6.	Статистична фізика наносистем	2
7.	Квантова інженерія	2
8.	Квантові обчислення	3
9.	Квантова механіка дворівневих систем	3

10.	Надпровідникові кубіти	3
11.	Напівпровідникові квантові контури	3
12.	Гібридні системи	2
	Разом	30

Теми семінарських занять

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Низьковимірні системи і наноструктури, інверсійні шари. Гетероструктури. Масштабування. Мезоскопіка. Алотропні форми вуглецю. Методи отримання фулеренів, нанотрубок, графена. Фізичні властивості вуглецевих наноструктур	2
2.	Виробництво наноструктур: Методи «bottom-up»: хімічний синтез, самосборка, позиційна зборка. Методи «top-down»: прецизійна механіка, літографія, нанодрук. Маніпулювання окремими атомами («оптичний пінцет»). Роль моделювання в процесі створення і проектування нових наноматеріалів і приладів.	2
3.	Кубіти та квантовий комп'ютер. Суперпозиція та заплутаність станів. Елементи квантової інформатики (кубіти, логічні операції з ними, проблема декогерентності).	2
	Разом	6

Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Історія розвитку нанотехнологій. Основні об'єкти та поняття фізики низькорозмірних систем і наноструктур. Перехід до нанотехнологій. Масштабування. Мезоскопіка.	10
2.	Наноматеріали: типи та різновиди структури. Двовимірні матеріали (плівки). Одномірні матеріали: органічні і неорганічні нанотрубки і нанодоти, полімери.	10
3.	Хвильові властивості частинок. Принцип невизначеності. Оператори, середні значення і власні стани. Рівняння Шредінгера. Прямокутна потенційна яма і потенційний бар'єр. Тунельний ефект. Квантовий осцилятор. Дворівнева система.	10
4.	Основи квантової теорії кристалічних твердих тіл. Електрони в періодичному потенціалі. Енергетичні зони. Метали і діелектрики. Наближення майже вільних електронів. Наближення сильного зв'язку. Зона Брілюена. Поверхня Фермі. Експериментальні методи дослідження поверхні Фермі. Квазічастинки в кристалах, ефективна маса.	10
5.	Квантові логічні операції. Емуляція квантового комп'ютингу.	10
6.	Нанокластери. Напівпровідникові наноточки. Нанокompatитні матеріали і їх властивості.	10
7.	Носії заряду і домішкові стани в напівпровідниках. p-n перехід і біполярні транзистори. Структури метал-діелектрик-напівпровідник.	10
8.	Парамагнетизм и діамагнетизм. Феромагнетизм. Магнетизм атомів і молекул. Принцип Паулі і правило Хунда. Основні види взаємодій в	10

	магнітних матеріалах. Обмінна взаємодія. Моделі Гейзенберга і Стонера. Магнітостатична взаємодія. Магнітна анізотропія. Вимірність магнітних систем.	
9.	Фазові перетворення та їх застосування для створення наноструктур. Класифікація фазових перетворень. Термодинамічні потенціали. Умови рівноваги фаз. Фазові діаграми. Фазові перетворення другого роду і критичні явища. Вплив зовнішнього поля на фазове перетворення. Квантова критична поведінка.	10
10.	Поглинання вільними носіями. Фундаментальне поглинання. Діелектрична проникність. Сегнетоелектрики. Низькочастотні оптичні фонони. М'які моди в сегнетоелектричних кристалах та низьковимірних системах.	10
		84

5. Методи навчання

МН1 – Лекції. Лекційний матеріал охоплює центральні та найбільш складні проблеми сучасної фізики наноструктур. Простіші питання, що добре висвітлені в літературі, виносяться на самостійне вивчення.

МН2 – Семінарські заняття. Семінарські заняття передбачають самостійне вивчення аспірантами за завданням викладача окремих питань і тем лекційного курсу з наочним оформленням матеріалу у вигляді реферату, доповіді, повідомлення тощо. Семінарські заняття дають змогу викладачам ближче познайомитися з аспірантами, донести до них необхідну інформацію, а відтак перевірити, як вони засвоїли її, як користуються нею в навчальній і науковій роботі. Викладач має змогу враховувати теоретичну і практичну підготовку аспіранта, його індивідуальні особливості і здібності, що зумовлює підвищення рівня підготовки кожного аспіранта.

МН4 – Самостійна робота. Робота здобувачів носить в основному самостійний характер. Вони самостійно роблять пошук наукової літератури і опрацьовують її, консультуючись з викладачем. Таким чином вони удосконалюють набуті раніше навички роботи з літературою за фахом. Основна увага приділяється формуванню та засвоєнню базових знань в галузі нанофізики і нанотехнологій та вмінню застосовувати їх до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

МН3, МН5 – демонстрація презентацій, використання засобів мультимедіа, дистанційні заняття з використанням комп'ютерних засобів.

6 Методи діагностики знань

ФОРМИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ (ФО)

ФО1 – відвідування лекцій та творчий підхід в процесі наукового пошуку (20 балів);

ФО2 – самостійна робота, опрацювання літератури та електронних джерел за темою дослідження (20 балів);

ФО4 – відповідь на семінарі та використання сучасних інформаційних технологій при підготовці відповіді (20 балів);

ФО5 – робота в команді при виконанні завдань самостійної роботи та на семінарі (5 балів);

ФО6, ФО8, ФО9, ФО10 – підготовка та оформлення реферату та презентації, використання у доповіді прикладів реальних фізичних об'єктів, що пов'язані з дисертаційним дослідженням (20 балів).

Екзамен (15 балів)

Всього: 100 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
80-89	добре	
70-79		
60-69	задовільно	
50-59		
1-49	незадовільно	не зараховано

7 Критерії оцінювання результатів навчання

Кількість балів	Критерії оцінювання
90-100	У відповіді повністю розкрито зміст питання. Матеріал викладено логічно, аргументовано, мова є грамотною, науковий стиль викладення матеріалу, вільне володіння термінологічним апаратом дисципліни. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що входить до навчальної програми, та продемонстровано високі практичні навички.
75-89	Відповідь досить повно розкриває зміст питання або розкриває основні (найважливіші) аспекти у запитанні, слухач володіє термінологічним апаратом дисципліни. У викладеному матеріалі слухач має помилки із аргументацією відповіді, недостатня логічність та послідовність викладення матеріалу. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, та середній рівень володіння практичним матеріалом.
60-74	Відповідь на контрольне питання є неповною, розкриває тільки деякі аспекти навчального матеріалу. Слухач припускається помилок у використанні термінології навчальної дисципліни. Рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, додатковим та практичним матеріалом є середнім.
35-59	У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.
1-34	Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією

8. Навчально-методичне забезпечення

На початку семестру здобувачі отримують:

1. Робочу програму, що містить перелік тем, список рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів, критерії та шкалу оцінювання; контрольні запитання до іспиту;
2. Пакет літератури, що містить основні підручники, навчальні та методичні посібники в електронній формі (формати .pdf та .djvu),

9. Питання до заліку/екзамену

1. Основні поняття й визначення наносистем і нанотехнологій.
2. Історія виникнення нанотехнологій і наук про наносистеми. Міждисциплінарність і мультидисциплінарність.
3. Нанооб'єкти і наносистеми, їхні особливості й технологічні застосування.
4. Об'єкти й методи нанотехнологій. Принципи й перспективи розвитку нанотехнологій.
5. Особливості фізичних взаємодій у наномасштабі. Роль об'єму й поверхні у фізичних властивостях нановимірних об'єктів.
6. Механічні коливання й резонанси в нановимірних системах. Сила тертя. Кулонівська взаємодія.

7. Оптика нанооб'єктів. Співвідношення довжини хвилі світла й розмірів наночасток. Відмінності в поширенні світла в однорідному і наноструктурованому середовищах.
8. Магнетизм нанооб'єктів. Квантові ефекти в наноструктурах у магнітному полі. Магнітні наноприспособлення для запису й зберігання інформації.
9. Квантова механіка наносистем. Квантововимірні ефекти в нанооб'єктах. Квазічастки у твердому тілі та у наноструктурованих матеріалах.
10. Електропровідність нанооб'єктів. Поняття балістичної провідності. Одноелектронне тунелювання й кулонівська блокада.
11. Оптичні властивості квантових точок. Спинтроніка нанооб'єктів.
12. Основні принципи формування наносистем. Фізичні й хімічні методи. Процеси одержання нанооб'єктів «зверху — вниз» і «знизу — нагору».
13. Піроліз, механо-, електро та кріодиспергування. Методи хімічної гомогенізації та золь-гель метод. Нанолітографічні методи. Процеси зародкоутворення в газових і конденсованих середовищах.
14. Статистична фізика наносистем. Особливості фазових переходів у малих системах. Типи серединно- і міжмолекулярних взаємодій. Гідрофобність і гідрофільність.
15. Міцелоутворення. Моношари, що самозбираються. Супрамолекулярна організація молекул. Молекулярне розпізнавання. Полімерні макромолекули, методи їх отримання.
16. Методи дослідження і діагностика нанооб'єктів і наносистем. Електронна растрова і просвітчаста мікроскопія. Електронна томографія. Електронна спектроскопія.
17. Дифракційні методи дослідження. Оптичні й нелінійно-оптичні методи діагностики. Особливості конфокальної мікроскопії. Скануюча зондова мікроскопія. Силова мікроскопія.
18. Фізичні принципи роботи основних елементів мікро- і наноелектроніки. Закон Мура. Одноелектронні прилади. Одноелектронний транзистор. Одноелектронні елементи цифрових схем.
19. Описати дію основних одно-кубітних операцій
20. Отримати матрицю для операції контрольоване «ні»
21. Доказати теорему про неможливість клонування
22. Описати алгоритм для станів Белла
23. Навести алгоритм для квантової телепортації
24. Отримати власні стани та енергії кубіту
25. Описати осциляції Рабі для резонансного збудження
26. Розрахувати квантові биття
27. Описати адіабатичну еволюцію дворівневої системи
28. Отримати формулу Ландау-Зінера
29. На основі дворівневої моделі описати стаціонарний та нестаціонарний ефекти Джозефсона
30. Навести формулу для контакту Джозефсона зі струмом
31. Розглянути надпровідний острівцець і записати його гамільтоніан
32. Знайти власні стани та енергії частинки в трьохвимірному ящику
33. Розглянути гамільтоніан електронів в одновимірному балістичному кільці
34. Для електронів в квантовій точці описати кулонівську блокаду та режим одноелектронного транзистору
35. Вивести телеграфні рівняння для лінії передач
36. Проквантувати гамільтоніан резонатора на лінії передач
37. Розглянути систему кубіт-резонатор та отримати гамільтоніан Джейнса-Каммінгса

10. Рекомендована література

1. Яблонь Л.С., Бойчук В.М. Фізичні основи нанотехнологій. Курс лекцій. – Івано-Франківськ, 2015. – 103 с.
2. Азаренков Н.А., Веревкин А.А., Ковтун Г.П., Основи нанотехнологій и наноматеріалів. Навчальний посібник. – Харків, ХНУ ім. Каразіна, 2009, - 69 с.
3. Назаров О.М., Нищенко М.М., Наноструктури та нанотехнології. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. – 256 с.
4. Федоров А.В., Баранов А.В., Маслов В.Г., Орлова А.О., Ушакова Е.В., Леонов М.Ю., Голубев В.Г. Физика наноструктур. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 130 с. Рис. 62. Библ. 135.
5. Оуэнс Ф., Пул-мл. Ч. Нанотехнологии. Изд.: Техносфера. 2010. 336 с.
6. Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация. Под ред. М.В. Ковальчука, П.А. Тодуа Изд.: Техносфера. 2009. 136 с.
7. М.М. Алфимова. Занимательные нанотехнологии. Издательство Бином. Лаборатория знаний. Москва. 2011.
8. Э. Родунер. Размерные эффекты в наноматериалах. Изд.: Техносфера. 2010. 352 с.
9. Волков Г.М. Объемные наноматериалы Издательство: КноРус Учебное пособие. 2011 168 с.
10. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям Под ред. Бхушана Б. Издательство: Техносфера, Вид издания: Справочное, 2010 – 832 с.
11. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века.-М.: Техносфера, 2003.-336 с.
12. Дмитриев А.С., Михайлова И.А. Введение в наноэнергетику. – М.: Издателский дом МЭИ, 2011.
13. Азоев Г.Л. Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011
14. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику, М, Наука, 1988, 328 с.
15. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике, Квантовая механика, ч.8-9, М, Мир, 1978, 526 с.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, ч.1, М, Наука, 1995, 608 с.
17. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах, М, Мир, 1971, 470 с.
18. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978, 792 с.
19. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А., Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2007 г., 632 с.
20. Нокс Р., Голд А., Симметрия в твердом теле, М.: Наука, 1970 г., 424 с.
21. Salerno M. Designing foresight studies for Nanoscience and Nanotechnology (NST) future developments / M. Salerno // Technological Forecasting and Social Change. 2008. No 75. P. 1202-1223.
22. Матюшенко І.Ю. Проблема визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в рамках пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / І.Ю. Матюшенко // Проблеми економіки. – 2011. – No 2. – С. 14-25.
23. Омельянчук А. Н., Ильичев Е. В., Шевченко С. Н. Квантовые когерентные явления в джозефсоновских кубитах, Київ: Наукова думка, 2013. — 168 с.
24. Shevchenko S. N. Mesoscopic Physics meets Quantum Engineering, Singapore, World Scientific, 2019 — 176 p.

Інтернет-ресурси

<http://www.nanoforum.org> — Європейський нанотехнологічний портал

<http://www.nanovip.com> — Міжнародний каталог, який присвячений бізнесу в сфері нанотехнологій

<http://www.nsti.org> — Інститут нано науки і технологій NSTI
<http://www.nanowerk.com> — Інформаційний портал Nanowerk
<http://www.nsf.gov> — National Science Foundation (NSF) — національний науковий фонд США
http://www1.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/10_4546_03.aspx – видавництво «Світ» МОН і НАН України.