

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. Директора
ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна
НАН України



М. І. Глушук
« 7 » липня 2020 р.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни
Нанофізика та мезоскопіка
(назва навчальної дисципліни)

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

РОЗРОБНИК/-И:

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Долбин Олександр Вітольдович

підпис

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу надпровідних і мезоскопічних структур ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Шевченко Сергій Миколайович

підпис

Погоджено Науковою радою з проблеми «Електронні властивості провідних та надпровідних систем»
ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України 18.06 2020 р., протокол № 6

Голова Ради

О. А. Колесніченко /

Вчений секретар Ради

В. В. Андрієвський /

Затверджено Вченою радою Фізико-технічного інституту низьких температур
ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, 07.07. 2020 р., протокол № 5.

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

СИЛЛАБУС
навчальної дисципліни
НАНОФІЗИКА ТА МЕЗОСКОПКА
2020-2021 навчальний рік

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
Назва	НАНОФІЗИКА ТА МЕЗОСКОПКА
Адреса викладання	м. Харків, пр. Науки, 47
Рівень вищої освіти	Третій освітньо-науковий рівень
Галузі знань	10 «Природничі науки»;
Шифр та назва спеціальності	104 Фізика та астрономія,
Викладач /-чі/	д.ф.-м.н., проф. Долбин О.В., д.ф.-м.н.,с.н.с. Шевченко С.М.
Контактна інформація викладача (-ів)	dolbin@ilt.kharkov.ua @ilt.kharkov.ua
Графік занять	За розкладом
Консультації по курсу відбуваються	П'ятниця 16.00-17.00. пр. Науки, 47, лаб.корпус, к. 222; он-лайн консультації через Skype або Wiber (для узгодження часу писати на електронну пошту dolbin@ilt.kharkov.ua , @ilt.kharkov.ua)
Сторінка курсу	https://

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
Інформація про навчальну дисципліну	Дисципліна «Нанофізика та мезоскопіка» є нормативною навчальною дисципліною, яка входить до циклу загальної підготовки за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» на третьому /освітньо-науковому/ рівні підготовки доктора філософії з фізики. Дана дисципліна викладається у 3-4 семестрах підготовки в обсязі 4 кредитів за Європейською кредитно-трансферною системою /ECTS/.
Анотація	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.
Мета та цілі	Метою вивчення дисципліни “ Нанофізика та мезоскопіка ” є формування у майбутнього науковця поняття про властивості наноструктур, що ґрунтуються на особливостях взаємодій в наномасштабі, ознайомити аспірантів з сучасним станом фізики мезо- та наноскопічних систем і наноструктур, надати інформацію про сучасні методи їх отримання і експериментального дослідження, а також сформувані уявлення про проблеми і перспективи розвитку фізики наноструктур і нанотехнологій. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у аспірантів самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо оптимального методу дослідження властивостей конкретного об'єкта заданої природи у процесі виконання дисертаційних робіт. В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен знати основні поняття предмету, викладені у програмі курсу; пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи досліджень у самостійній науковій роботі.
Загальний обсяг у кредитах Європейської кредитно-трансферної системи /ECTS/	4 кредити
Загальна кількість годин	120 годин
Структура	36 години аудиторних: з них 30 годин лекцій, 6 годин семінарських занять, 84 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	У результаті вивчення курсу аспірант повинен знати: <ul style="list-style-type: none"> - 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;

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Інтегральний результат навчання полягає у тому, що аспірант повинен</p> <ul style="list-style-type: none"> - Вміти застосовувати фундаментальні знання з фізики наноструктур для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах та рідинах; - обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з фізики наноструктур; - Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та діяти відповідно норм академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень та у науково-педагогічній діяльності. - Працювати над власним розвитком та вдосконалюванням, виявляти прагнення до підвищення професійної кваліфікації та критично оцінювати власні здобутки, бачити обмеження та вміти визначати перспективи подальшого професійного вдосконалення.
Ключові слова	Наноструктури, квантововимірні ефекти, квантові точки, технології «top-down» та «bottom-up», кубіти, квантові алгоритми, квантова динаміка.
Програма навчальної дисципліни	<p>Тема 1. Основні поняття й визначення термінів з наносистем і нанотехнологій.</p> <p>Тема 2. Особливості фізичних взаємодій у наномасштабі</p> <p>Тема 3. Релаксація та реконструкція поверхонь твердих тіл.</p> <p>Тема 4. Квантова механіка наносистем.</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>Тема 5. Методи дослідження і діагностики нанооб'єктів і наносистем. Тема 6. Статистична фізика наносистем. Тема 7. Квантова інженерія. Тема 8. Квантові обчислення. Тема 9. Квантова механіка дворівневих систем. Тема 10. Надпровідникові кубіти. Тема 11. Напівпровідникові квантові контури. Тема 12. Гібридні системи.</p>
<p>Короткий опис змісту тем</p>	<p>Тема 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ З НАНОСИСТЕМ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ</p> <p>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.</p> <p>Тема 2. ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНИХ ВЗАЄМОДІЙ У НАНОМАСШТАБІ</p> <p>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.</p> <p>Тема 3. КВАНТОВА МЕХАНІКА НАНОСИСТЕМ</p> <p>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.</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>Тема 4. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ДІАГНОСТИКИ НАНООБ'ЄКТІВ І НАНОСИСТЕМ</p> <p>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.</p> <p>Тема 5. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ НАНОЧАСТОК ТА НАНОСТРУКТУР</p> <p>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.</p> <p>Тема 6. СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА НАНОСИСТЕМ.</p> <p>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.</p> <p>Тема 7. КВАНТОВА ІНЖЕНЕРІЯ</p> <p>Квантовий комп'ютер. Кубіти та суперпозиція станів. Фізичні реалізації кубітів. Спін та фотон. Парадокси Шредінгера та Ейнштейна-Подольського-Розена.</p> <p>Тема 8. КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ</p> <p>Квантові логічні операції: одно-кубітні операції та операція контрольоване «ні». Квантові схеми. Вимірювання та операція перевертання. Теорема о неможливості клонування. Нерівності Белла.</p> <p>Тема 9. КВАНТОВА МЕХАНІКА ДВОРІВНЕВИХ СИСТЕМ</p> <p>Енергетичні рівні кубіта - дворівневої системи. Осциляції Рабі. Наближення обертової хвилі. Спектроскопія. Формалізм матриці щільності та рівняння Блоха. Багатофотонні збудження. Адіабатичне</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>наближення. Переходи Ландау-Зінера. Осциляції Штюкельберга.</p> <p>Тема 10. НАДПРОВІДНИКОВІ КУБІТИ</p> <p>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.</p> <p>Тема 11. НАПІВПРОВІДНИКОВІ КВАНТОВІ КОНТУРИ</p> <p>Двомірний електронний газ. Низькорозмірні структури. Квантування провідності, формула Ландауера. Ефект Ааронова-Бома, осциляції провідності та персистентний струм. Квантові точки, кулонівська блокада.</p> <p>Тема 12. ГІБРИДНІ СИСТЕМИ.</p> <p>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.</p>
Теми лекційних занять	<ul style="list-style-type: none"> - Основні поняття й визначення термінів з наносистем і нанотехнологій - Особливості фізичних взаємодій у наномасштабі - Квантова механіка наносистем - Методи дослідження і діагностики нанооб'єктів і наносистем - Методи створення наночасток та наноструктур - Статистична фізика наносистем - Квантова інженерія - Квантові обчислення - Квантова механіка дворівневих систем - Надпровідникові кубіти - Напівпровідникові квантові контури - Гібридні системи
Теми семінарських занять	<ul style="list-style-type: none"> - Низьковимірні системи і наноструктури, інверсійні шари. Гетероструктури. Масштабування. Мезоскопіка. Алотропні форми вуглецю. Методи отримання фулеренів, нанотрубок, графена. Фізичні

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>властивості вуглецевих наноструктур</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. - Кубіти та квантовий комп'ютер. Суперпозиція та заплутаність станів. Елементи квантової інформатики (кубіти, логічні операції з ними, проблема декогерентності).
Теми для самостійної роботи	<ul style="list-style-type: none"> - Історія розвитку нанотехнологій. Основні об'єкти та поняття фізики низькорозмірних систем і наноструктур. Перехід до нанотехнологій. Масштабування. Мезоскопіка. - Наноматеріали: типи та різновиди структури. Двовимірні матеріали (плівки). Одномірні матеріали: органічні і неорганічні нанотрубки і нанодроти, полімери. - 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. - 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. - Квантові логічні операції. Емуляція квантового комп'ютингу. - Нанокластери. Напівпровідникові наноточки. Нанокompatитні матеріали і їх властивості. - Носії заряду і домішкові стани в напівпровідниках. p-n перехід і біполярні транзистори. Структури метал-діелектрик-напівпровідник. - Парамагнетизм и діамагнетизм. Феромагнетизм. Магнетизм атомів і молекул. Принцип Паулі і правило Хунда. Основні види взаємодій в магнітних матеріалах. Обмінна взаємодія. Моделі Гейзенберга і Стонера. Магнітостатична взаємодія. Магнітна анізотропія. Вимірність магнітних систем. - 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. - Поглинання вільними носіями. Фундаментальне поглинання. Діелектрична проникність. Сегнетоелектрики. Низькочастотні оптичні фонони. М'які моди в сегнетоелектричних кристалах та низьковимірних системах.

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>																										
Підсумковий контроль, форма	Залік																										
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 та експериментальні методики та концепції, побачити перспективи подальших наукових досліджень у галузі фізики наноструктур та фізики конденсованого стану.																										
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	В процесі навчання використовуються лекції, презентації, методичні матеріали та спеціальна література.																										
Необхідне обладнання	Технічні засоби, необхідні для демонстрації презентацій, загально вживані програми і операційні системи.																										
Шкала оцінювання	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">СУМА БАЛІВ</th> <th rowspan="2">ОЦІНКА ЄКТС</th> <th colspan="2">ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ</th> </tr> <tr> <th>екзамен</th> <th>залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>90-100</td> <td>A</td> <td>відмінно</td> <td rowspan="4">зараховано</td> </tr> <tr> <td>82-89</td> <td>B</td> <td rowspan="2">добре</td> </tr> <tr> <td>75-81</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>64-74</td> <td>D</td> <td rowspan="2">задовільно</td> </tr> <tr> <td>60-63</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>35-59</td> <td>FX</td> <td rowspan="2">незадовільно</td> <td rowspan="2">не зараховано</td> </tr> <tr> <td>1-34</td> <td>F</td> </tr> </tbody> </table>	СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ		екзамен	залік	90-100	A	відмінно	зараховано	82-89	B	добре	75-81	C	64-74	D	задовільно	60-63	E	35-59	FX	незадовільно	не зараховано	1-34	F
СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС			ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ																							
		екзамен	залік																								
90-100	A	відмінно	зараховано																								
82-89	B	добре																									
75-81	C																										
64-74	D	задовільно																									
60-63	E																										
35-59	FX	незадовільно	не зараховано																								
1-34	F																										
Критерії оцінювання	<table border="1"> <tr> <td>Кількість балів</td> <td>Критерії оцінювання</td> </tr> </table>	Кількість балів	Критерії оцінювання																								
Кількість балів	Критерії оцінювання																										

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 матеріалом є середнім.</p> <p>35-59 У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.</p> <p>1-34 Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією</p>
Питання до іспиту/заліку	<ol style="list-style-type: none"> 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 нанопристрої 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.

<i>Назва n/n</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>12. Основні принципи формування наносистем. Фізичні й хімічні методи. Процеси одержання нанооб'єктів «зверху — униз» і «знизу — нагору».</p> <p>13. Піроліз, механо-, електро та кріодиспергування. Методи хімічної гомогенізації та золь-гель метод. Нанолітографічні методи. Процеси зародишоутворення в газових і конденсованих середовищах.</p> <p>14. Статистична фізика наносистем. Особливості фазових переходів у малих системах. Типи серединно- і міжмолекулярних взаємодій. Гідрофобність і гідрофільність.</p> <p>15. Міцелоутворення. Моношари, що самозбираються. Супрамолекулярна організація молекул. Молекулярне розпізнавання. Полімерні макромолекули, методи їх отримання.</p> <p>16. Методи дослідження і діагностика нанооб'єктів і наносистем. Електронна растрова і просвітчаста мікроскопія. Електронна томографія. Електронна спектроскопія.</p> <p>17. Дифракційні методи дослідження. Оптичні й нелінійно-оптичні методи діагностики. Особливості конфокальної мікроскопії. Скануюча зондова мікроскопія. Силова мікроскопія.</p> <p>18. Фізичні принципи роботи основних елементів мікро- і наноелектроніки. Закон Мура. Одноелектронні прилади. Одноелектронний транзистор. Одноелектронні елементи цифрових схем.</p> <p>19. Описати дію основних одно-кубітних операцій</p> <p>20. Отримати матрицю для операції контрольоване «ні»</p> <p>21. Доказати теорему про неможливість клонування</p> <p>22. Описати алгоритм для станів Бела</p> <p>23. Навести алгоритм для квантової телепортації</p> <p>24. Отримати власні стани та енергії кубіту</p> <p>25. Описати осциляції Рабі для резонансного збудження</p> <p>26. Розрахувати квантові биття</p> <p>27. Описати адіабатичну еволюцію дворівневої системи</p> <p>28. Отримати формулу Ландау-Зінера</p> <p>29. На основі дворівневої моделі описати стаціонарний та нестаціонарний ефекти Джозефсона</p> <p>30. Навести формулу для контакту Джозефсона зі струмом</p> <p>31. Розглянути надпровідний острівець і записати його гамільтоніан</p> <p>32. Знайти власні стани та енергії частинки в трьохвимірному ящику</p> <p>33. Розглянути гамільтоніан електронів в одновимірному балістичному кільці</p> <p>34. Для електронів в квантовій точці описати кулонівську блокаду та режим одно-електронного транзистору</p> <p>35. Вивести телеграфні рівняння для лінії передач</p> <p>36. Проквантувати гамільтоніан резонатора на лінії передач</p> <p>37. Розглянути систему кубіт-резонатор та отримати гамільтоніан Джейнса-Каммінгса</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
Література для вивчення дисципліни:	<ol style="list-style-type: none"> 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

<i>Назва п/п</i>	<i>Короткі інформація</i>
	<p>пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / І.Ю. Матюшенко // Проблеми економіки. – 2011. – No 2. – С. 14-25.</p> <p>23. Омелянчук А. Н., Ильичев Е. В., Шевченко С. Н. Квантовые когерентные явления в джозефсоновских кубитах, Київ: Наукова думка, 2013. — 168 с.</p> <p>24. Shevchenko S. N. Mesoscopic Physics meets Quantum Engineering, Singapore, World Scientific, 2019 — 176 p.</p>
Додаткова література	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.nanoforum.org — Європейський нанотехнологічний портал 2. http://www.nanovip.com — Міжнародний каталог, який присвячений бізнесу в сфері нанотехнологій 3. http://www.nsti.org — Інститут нано науки і технологій NSTI 4. http://www.nanowerk.com — Інформаційний портал Nanowerk 5. http://www.nsf.gov — National Science Foundation (NSF) — національний науковий фонд США 6. http://www1.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/10_4546_03.aspx – видавництво «Світ» МОН і НАН України.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.