

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної фізики



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

Петро ШПАТАР
серпня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАНОХІМІЇ ТА ХІМІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ
обов'язкова

Освітньо-професійна програма «Хімія»

Спеціальність Е3 Хімія

Галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів

Мова навчання українська

Робоча програма навчальної дисципліни «ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАНОХІМІЇ ТА ХІМІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ» складена відповідно до освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти «Хімія»

Розробник: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук.

Викладач: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук.

Погоджено з гарантом ОП  Олег КОПАЧ

Погоджено методичною радою навчально-наукового інституту біології, хімії та біоресурсів

Протокол № 1 від “29” серпня 2025 року

Голова методичної ради ННІБХБ  Галина МОСКАЛИК

Затверджено на засіданні кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики

Протокол № 1 від “25” серпня 2025 року

Завідувачка кафедри ІТКФ  Мар'яна БОРЧА

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1 від “27” серпня 2025 року

Голова методичної ради ННІФТКН  Іван КОЗЯРСЬКИЙ

Пояснювальна записка

Метою навчальної дисципліни "Фізичні основи нанохімії та хімії напівпровідників" є ознайомлення студентів з фізичними законами, основними положеннями, ідеями та методами, які використовуються для вивчення властивостей спектрів квазічастинок у конденсованій речовині (напівпровідникових сполуках та наноструктурах на їх основі), а також формування та розвиток у студентів структурно-аналітичного мислення.

Завданням вивчення навчальної дисципліни "Фізичні основи нанохімії та хімії напівпровідників" є оволодіння майбутніми фахівцями навичками аналізу фізичних властивостей оптичних спектрів різних квазічастинок у об'ємних (3d) і низьковимірних (0d, 1d, 2d) напівпровідникових структурах.

Пререквізити: курси вищої математики, загальної та теоретичної фізики, зокрема "Квантова механіка".

Постреквізити: "Методи дослідження наноматеріалів", "Хімія напівпровідників", спеціалізовані курси вибіркової компоненти .

Результати навчання:

знати: основні ідеї, поняття, принципи, методи і підходи у теорії спектрів квазічастинок у конденсованій речовині; властивості спектрів квазічастинок у напівпровідникових об'ємних і наногетероструктурах (сферичних квантових точках, циліндричних квантових дротах та квантових плівках) Студенти повинні мати чіткі уявлення про фізичну природу явищ, що підкоряються квантовим закономірностям у низьковимірних структурах.

вміти: будувати математичні та фізичні моделі об'ємних і низьковимірних структур для дослідження спектрів квазічастинок; вибирати методи теоретичного дослідження спектрів квазічастинок з урахуванням квантово-механічних підходів; інтерпретувати та пояснювати явища і процеси у конденсованих системах, зумовлених їх спектральними властивостями; встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами; шукати та вивчати фахову наукову літературу.

Програмні результати навчання:

ПРН1. Знати та розуміти наукові концепції та сучасні теорії хімії, а також фундаментальні основи суміжних наук.

ПРН2. Глибоко розуміти основні факти, концепції, принципи і теорії, що стосуються хімії наночастинок та хімії твердого тіла, використовувати їх для розв'язання складних задач і проблем, а також проведення досліджень з відповідного напрямку хімії.

ПРН3. Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії.

ПРН6. Знати методологію та організацію наукового дослідження.

ПРН8. Вміти ясно і однозначно донести результати власного дослідження до фахової аудиторії та/або нефаківців.

ПРН13. Інтерпретувати експериментально отримані дані та співвідносити їх з відповідними теоріями в хімії.

Загальні та фахові компетентності.

ІК Здатність розв'язувати складні задачі та практичні проблеми у галузі хімії або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК7 Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК12. Здатність працювати автономно.

ЗК14. Здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел.

ФК1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК4. Здатність інтерпретувати, об'єктивно оцінювати і презентувати результати свого дослідження.

ФК6. Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними.

ФК8. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси.

ФК13. Готовність використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами у професійній діяльності.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни Загальна інформація

Фізичні основи нанохімії та хімії напівпровідників													
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю	
			кредитів	годин	змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання		
Денна	1	1	4	120	2	14	16				88	2	залік

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	сем.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1.						
Тема 1. Вступ. Основні квантово-механічні поняття для вивчення властивостей квазічастинок у напівпровідникових кристалах та наноструктурах.	10	2				8
Тема 2. Електрон у періодичному полі кристала, у полі потенціалу типу гребінця Дірака та потенціалу Кроніга-Пенні.	8	2				6
Тема 3. Екситони Ван'є-Мотта та Шинада-Сугано.	6	1				5
Тема 4. Ефект розмірного квантування енергії.	5	1				4
Тема 5. Модель ефективної маси у теорії масивних кристалів та низькорозмірних структур. Класифікація наноструктур.	8	2				6
Тема 6. Типи гетеропереходів у наноструктурах.	7	2				5
Разом за ЗМ1	44	10				34

Змістовий модуль 2.						
Тема 7. Стани електрона у симетричній квантовій ямі скінченної глибини.	8		2			6
Тема 8. Стани електрона у несиметричній квантовій ямі.	8		2			6
Тема 9. Зв'язані квантові ями та надгратки. Тунелювання електрона крізь потенціальний бар'єр. Надбар'єрне відбивання.	7	1				6
Тема 10. Стани електрона у циліндричному квантовому дроті.	8		2			6
Тема 11. Стани електрона у сферичній квантовій точці.	8		2			6
Тема 12. Квантування станів дірок у квантових ямах.	9	1	2			6
Тема 13. Стани електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі.	8		2			6
Тема 14. Вплив поперечного електричного поля на спектр квантових ям.	8		2			6
Тема 15. Квантово-каскадні лазери та детектори. Модель ККД вюрцитного типу.	12	2	2		2	6
Разом за ЗМ 2	76	4	16			54
Усього годин	120	14	16		2	88

Тематика лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Основні квантово-механічні положення для вивчення властивостей квазічастинок у напівпровідникових кристалах та наноструктурах.(хвильова функція та її властивості, рівняння Шредингера, енергетичний спектр) Кристалічні ґратки (пряма і обернена). Адіабатичне наближення (одноелектронне наближення).	2
2	Електрон у періодичному полі кристала, у полі потенціалу типу гребінця Дірака та потенціалу Кроніґа-Пенні.	2
3	Екситони Ван'є-Мотта та Шінада-Сугано.	1
4	Ефект розмірного квантування енергії. Його вплив на властивості квазічастинок у просторово-обмежених наноструктурах.	1
5	Модель ефективної маси у теорії масивних кристалів та низьковимірних структур. Класифікація наноструктур (квантові точки, дроти, надгратки).	2
6	Типи гетеропереходів у наноструктурах.	2
7	Зв'язані квантові ями та надгратки. Тунелювання електрона крізь потенціальний бар'єр. Надбар'єрне відбивання	1
8	Квантування станів дірок у квантових ямах.	1
9	Квантово-каскадні лазери та детектори. Модель ККД вюрцитного типу.	2

Тематика практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок хвильових функцій та енергетичного спектра електрона у симетричній квантовій ямі.	2
2	Розрахунок хвильових функцій та енергетичного спектра електрона у несиметричній квантовій ямі. Розрахунок трансфер матриці.	2
3	Розрахунок хвильових функцій та енергетичного спектра стаціонарних станів електрона у циліндричному квантовому дроті.	2
4	Розрахунок хвильових функцій та енергетичного спектра стаціонарних станів електрона у сферичній квантовій точці.	2
5	Квантування станів легкої та важкої дірок у квантових ямах. Розрахунок енергії електрон-діркової взаємодії екситона у сферичній квантовій точці у першому порядку теорії збурень.	2
6	Розрахунок хвильових функцій стаціонарних станів електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі.	2
7	Розрахунок енергетичного спектра стаціонарних станів електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі, аналіз властивостей.	2
8	Аналіз енергій електронних станів та ймовірностей його знаходження у окремому каскаді ККД вюрцитного типу.	2

Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ) виконується студентом за вільним вибором напрямку дослідження за темою “Резонансно-тунельні структури. Квантово-каскадні лазери та детектори” (2 год.)

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми та завдання для самостійної роботи	
1	<i>Основи квантової механіки.</i> Хвильова функція електрона. Рівняння Шредингера. Адіабатичне наближення. Одноелектронне наближення. Прямі та обернені кристалічні ґратки.	8
2	<i>Електрон у періодичному полі кристала.</i> Електрон у полі потенціалу типу гребінця Дірака: Потенціал періодичного поля кристала у наближенні типу гребінця Дірака. Рівняння Шредингера. Граничні умови у системі з δ -подібними потенціалами. Дисперсійне рівняння. Закон дисперсії електрона в полі потенціалу типу гребінця Дірака. Електрон у полі потенціалу Кроніґа-Пенні: Потенціал періодичного поля кристала у наближенні Кроніґа-Пенні. Рівняння Шредингера. Хвильова функція електрона. Дисперсійне рівняння. Закон дисперсії електрона в полі потенціалу Кроніґа-Пенні. Наближення сильного та слабого зв'язку.	6
3	<i>Екситон Ван'є-Мотта:</i> Модель екситона Ван'є-Мотта. Рівняння Шредингера для екситона Ван'є-Мотта. Хвильова функція та спектр екситона Ван'є-Мотта. <i>Екситон Шінада-Сугано:</i> Модель екситона Шінада-Сугано. Рівняння Шредингера. Зв'язані стани. Енергетичний спектр. Хвильова функція.	5
4	<i>Ефект розмірного квантування енергії.</i> Умови виникнення квантово-розмірних ефектів.	4
5	<i>Метод ефективної маси:</i> модель ефективної маси у масивних кристалах. Гамільтоніан електрона у моделі ефективної маси. Модель ефективної маси у теорії низькорозмірних структур. <i>Класифікація наноструктур:</i> квантові плівки, квантові дроти, квантові точки,	6

	надгратки. Оператор кінетичної енергії частинки у багат шаровій структурі. Закриті, відкриті та змішані наноструктури.	
6	<i>Типи гетеропереходів у наноструктурах:</i> Гетеропереходи першого, другого та третього типу. Формування енергетичного профілю гетеропереходу.	5
7	<i>Стани електрона у симетричній квантовій ямі скінченної глибини:</i> Рівняння Шредінгера для електрона у симетричній плоскій квантовій ямі. Граничні умови. Умова нормування. Дисперсійне рівняння. Хвильові функції та енергетичний спектр електрона у симетричній плоскій квантовій ямі.	6
8	<i>Стани електрона у несиметричній квантовій ямі:</i> Рівняння Шредінгера для електрона у несиметричній квантовій ямі. Дискретний енергетичний спектр. Неперервний енергетичний спектр. Метод трансфер матриці. Відбивання і проходження квантової частинки над потенціальною ямою. Квазістаціонарні стани.	6
9	Аналіз впливу фізичних та геометричних параметрів одноямної наноструктури на енергії та хвильові функції електрона. Властивості спектрів електрона у: двох однакових зв'язаних потенціальних ямах, двох зв'язаних потенціальних ямах з різними параметрами, надгратках.	6
10	<i>Стани електрона у циліндричному квантовому дроті:</i> Рівняння Шредінгера для електрона у циліндричному квантовому дроті. Дискретний енергетичний спектр. Неперервний енергетичний спектр. S-матриця розсіювання.	6
11	<i>Стани електрона у сферичній квантовій точці:</i> Рівняння Шредінгера для електрона у сферичній квантовій точці. Дискретний енергетичний спектр. Неперервний енергетичний спектр. S-матриця розсіювання.	6
12	<i>Важкі та легкі дірки.</i> Міжзонні оптичні переходи у квантових ямах. Дискретні стани екситона у сферичній квантовій точці: Рівняння Шредінгера для екситона у сферичній квантовій точці. Хвильова функція екситона. Енергія електрон-діркової взаємодії у першому порядку ТЗ.	6
13	<i>Стани електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі:</i> Рівняння Шредінгера для електрона в квантовій ямі в електричному полі. Дисперсійне рівняння. Хвильові функції.	6
14	<i>Вплив поперечного електричного поля на спектр квантових ям:</i> Квантово-розмірний ефект Штарка.	6
15	<i>Квантово-каскадні лазери та детектори.</i> Наноприлади з резонансним тунелюванням електронів в електричному полі.	6

Примітка: контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках поточного модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

Методи та освітні технології навчання

1. Лекції: пояснювально-ілюстративний, репродуктивний метод та метод проблемного викладення.
2. Практичні заняття: розв'язуванням завдань, дослідницький, репродуктивний метод.
3. Самостійна робота: самонавчання, дослідницький метод.

Контроль та оцінювання навчальних досягнень студентів у процесі вивчення дисципліни

Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є:

- усне опитування ;
- перевірка розв'язаних завдань під час практичних занять;

Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю: усні відповіді на контрольні запитання, самостійно виконані практичні завдання; презентації;

Форма підсумкового контролю: залік.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення студентом мінімальних балів передбаченим результатами навчання коли студент в основному опанував теоретичні знання навчальної дисципліни, уміє виконувати завдання, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відповідно до вимог навчальної програми.

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний та модульний контроль					
Змістовий модуль 1					
T1	T2	T3	T4	T5	T6
4	4	4	4	4	4

Поточний та модульний контроль									Підсумковий контроль (залік)	Сума
Змістовий модуль 2									40	100
T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15		
4	4	4	4	4	4	4	4	4		

T1, T2 ... – теми змістових модулів.

Залежно від характеру відповіді студента зазначена кількість балів може бути скоригована за наступними критеріями:

К-ть балів	Критерії оцінки
max	студент дає вичерпну відповідь на поставлене запитання; правильно розв'язує задачі
0,8 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді; допускає незначні помилки при розв'язуванні задач
0,6 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився помилок, які виправляє за допомогою викладача; в середньому може дати правильні відповіді на 50% питань теми (задач);
0,4 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився суттєвих помилок, які все ж таки виправляє за допомогою викладача; дає правильні відповіді на 30% питань теми (задач);
0,2 · max	отримує студент, який за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання;
0	якщо характер відповідей дає підставу стверджувати, що студент неправильно

зрозумів суть питання чи не знав правильної відповіді, а тому відповідав, припускаючись грубих помилок.

Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни "Фізичні основи нанохімії та хімії напівпровідників"

Здобувач освіти має відповісти на чотири питання у відповідному білеті. За відповідь на кожне питання здобувач освіти може максимально отримати 10 балів. Результати заліка оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому кожна відповідь оцінюється наступним чином:

0–2 балів. Здобувач освіти виявляє слабке уявлення про основні поняття, що викладаються у курсі.

3-4 балів. Здобувач освіти має фрагментарні уявлення про основні поняття, що викладаються у курсі.

5-6 балів. Здобувач освіти знає окремі факти, що стосуються питання, але не може впевнено сформулювати цілісну картину. Здобувач освіти за допомогою викладача відтворює окремі частини начального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

7-8 балів. Здобувач освіти самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки. Може пояснити основні квантово-механічні явища у конденсованих структурах.

9-10 балів. Здобувач освіти самостійно відтворює фактичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть явищ та квантових процесів. Здобувач освіти вільно володіє засвоєними знаннями.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) здобувача освіти заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (залік; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання

Перелік питань для самоконтролю й контролю навчальних досягнень здобувачів освіти з навчальної дисципліни

1. Пояснити фізичний зміст адіабатичного наближення для вивчення спектрів квазічастинок масивних у низькорозмірних структурах.
2. Пояснити фізичний зміст одноелектронного наближення для вивчення спектрів квазічастинок масивних і низькорозмірних структурах.
3. Описати як розв'язується рівняння Шредингера для електрона у періодичному полі кристала.

4. Описати постановку задачі Шредингера для електрона у полі потенціалу типу гребінця Дірака.
5. Описати потенціал періодичного поля кристала у наближенні типу гребінця Дірака.
6. Проаналізувати рівняння Шредингера для електрона у полі потенціалу типу гребінця Дірака.
7. Пояснити граничні умови у системі з δ -подібними потенціалами для електрона.
8. Описати хвильову функція електрона у системі з δ -подібними потенціалами.
9. Проаналізувати дисперсійне рівняння для електрона у системі з δ -подібними потенціалами.
10. Проаналізувати закон дисперсії електрона в полі потенціалу типу гребінця Дірака.
11. Описати постановку задачі Шредингера для електрона у полі потенціалу Кроніга-Пенні.
12. Проаналізувати потенціал періодичного поля кристала у наближенні Кроніга-Пенні.
13. Проаналізувати рівняння Шредингера для електрона у полі потенціалу Кроніга-Пенні.
14. Проаналізувати граничні умови для хвильової функції електрона у полі потенціалу Кроніга-Пенні.
15. Проаналізувати закон дисперсії електрона в полі потенціалу Кроніга-Пенні.
16. Проаналізувати наближення сильного та слабкого зв'язку у моделі Кроніга-Пенні.
17. Описати зміст метода ефективної маси для визначення спектра квазічастинок.
18. Проаналізувати гамільтоніан електрона у моделі ефективної маси.
19. Описати модель екситона Ван'є-Мотта.
20. Проаналізувати рівняння Шредингера для екситона Ван'є-Мотта.
21. Хвильова функція та спектр екситона Ван'є-Мотта.
22. Описати модель екситона Шинада-Сугано.
23. Проаналізувати рівняння Шредингера для екситона Шинада-Сугано.
24. Проаналізувати зв'язані стани екситона Шинада-Сугано.
25. Проаналізувати енергетичний спектр екситона Шинада-Сугано.
26. Проаналізувати хвильову функцію екситона Шинада-Сугано.
27. Пояснити, що таке ефект розмірного квантування.
28. Пояснити, що таке квантові плівки, квантові дроти, квантові точки, надгратки.
29. Дати коротку характеристику спектрів квазічастинок у 3D та низькорозмірних структурах (2D, 1D, 0D).
30. Пояснити умови виникнення квантово-розмірних ефектів.
31. Пояснити модель ефективної маси у теорії низькорозмірних структур.
32. Пояснити класифікацію наноструктур.
33. Пояснити особливості запису оператора кінетичної енергії частинки у багаточаровій наноструктурі.
34. Пояснити принцип поділу наноструктур на закриті, відкриті та змішані (за потенціалом).
35. Дати визначення типів гетеропереходів у наноструктурах.
36. Проаналізувати гетеропереходи першого типу та їх особливості.
37. Проаналізувати гетеропереходи другого типу та їх особливості.
38. Проаналізувати гетеропереходи третього типу та їх особливості.
39. Пояснити принцип формування енергетичного профілю гетеропереходу.
40. Проаналізувати енергетичні стани електрона у симетричній квантовій ямі скінченної глибини.
41. Проаналізувати спосіб розв'язування рівняння Шредингера для електрона у симетричній плоскій квантовій ямі.
42. Проаналізувати граничні умови та дисперсійне рівняння для електрона у симетричній плоскій квантовій ямі.
43. Проаналізувати хвильові функції електрона у симетричній плоскій квантовій ямі.

44. Проаналізувати дискретні енергетичні стани електрона у несиметричній квантовій ямі скінченної глибини.
45. Проаналізувати спосіб розв'язування рівняння Шредінгера для електрона у несиметричній плоскій квантовій ямі.
46. Проаналізувати граничні умови та дисперсійне рівняння для електрона у несиметричній плоскій квантовій ямі.
47. Проаналізувати хвильові функції електрона у несиметричній плоскій квантовій ямі.
48. Проаналізувати неперервний енергетичний спектр та хвильову функцію електрона.
49. Пояснити як визначається сила осцилятора квантового переходу та коефіцієнт прозорості.
50. Пояснити метод трансфер матриці. Відбивання і проходження квантової частинки над потенціальною ямою. Квазістаціонарні стани.
51. Провести аналіз властивостей станів електрона у квантовій ямі скінченної глибини.
52. Пояснити вплив фізичних та геометричних параметрів одноямної наногетероструктури на енергії та хвильові функції електрона.
53. Пояснити поняття зв'язані квантові ями та надгратки.
54. Проаналізувати властивості спектра електрона у двох однакових зв'язаних потенціальних ямах.
55. Проаналізувати властивості спектра електрона у двох зв'язаних потенціальних ямах з різними параметрами.
56. Проаналізувати властивості спектра електрона у надгратках.
57. Пояснити спосіб розв'язування рівняння Шредінгера для електрона у циліндричному квантовому дроті.
58. Пояснити властивості дискретного енергетичного спектра електрона у циліндричному квантовому дроті.
59. Пояснити властивості хвильової функції електрона у випадку дискретного спектра у циліндричному квантовому дроті.
60. Пояснити властивості неперервного енергетичного спектра електрона у циліндричному квантовому дроті.
61. Пояснити властивості хвильової функції електрона у випадку неперервного спектра у циліндричному квантовому дроті. S-матриця розсіювання.
62. Пояснити спосіб розв'язування рівняння Шредінгера для електрона у сферичній квантовій точці.
63. Пояснити властивості дискретного енергетичний спектра електрона у сферичній квантовій точці.
64. Пояснити властивості неперервного енергетичний спектра електрона у сферичній квантовій точці.
65. Пояснити властивості хвильової функції електрона у сферичній квантовій точці. S-матриця розсіювання.
66. Пояснити поняття важкої та легкої дірки.
67. Пояснити як відбувається квантування станів дірок у квантових ямах.
68. Пояснити, що таке міжзонні оптичні переходи у квантових ямах.
69. Пояснити спосіб розв'язування рівняння Шредінгера для електрона в квантовій ямі в електричному полі.
70. Проаналізувати енергетичні стани електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі.
71. Пояснити вигляд потенціальної енергія електрона в електричному полі. Рівняння Шредінгера.
72. Проаналізувати хвильову функцію електрона у квантовій ямі в поперечному електричному полі.
73. Проаналізувати вплив поперечного електричного поля на спектр квантових ям.
74. Пояснити, що таке квантово-розмірний ефект Штарка.

75. Пояснити явище резонансного тунелювання у наноприладах в електричному полі.
76. Проаналізувати дискретні стани екситона у сферичній квантовій точці.
77. Пояснити спосіб розв'язування рівняння Шредингера для екситона у сферичній квантовій точці.
78. Проаналізувати енергетичні стани екситона у сферичній квантовій точці.
79. Проаналізувати хвильову функцію екситона у сферичній квантовій точці.
80. Пояснити як отримується енергія електрон-діркової взаємодії у першому порядку теорії збурень.
81. Пояснити принцип функціонування резонансно-тунельної структури.
82. Описати модель каскаду квантово-каскадного детектора вюрцитного типу.
83. Проаналізувати енергетичний спектр електрона у окремому каскаді ККД.
84. Проаналізувати хвильові функції електрона у окремому каскаді ККД.

Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол №109 від 28 березня 2022 року) ([polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf](#)) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Рекомендована література (основна)

1. Ткач М.В., Сеті Ю.О., Войцехівська О.М. Квазічастинки у наносистемах. Квантові точки, дроти і плівки – Чернівці : «Книги –XXI». – 2015. - 386 с.
2. Сеті Ю.О., Войцехівська О.М., Ткач М.В., Електронні стани у найпростіших наноструктурах. Навчальний посібник – Чернівці : ЧНУ ім. Ю. Федьковича – 2024. - 87 с.
3. Ткач М.В. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти. Чернівці 2003.
4. Davies J.H. The physics of low-dimensional semiconductors. – Cambridge University Press 1998.
5. Harrison P., Valavanis A. Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures, 4th Edition - 2016.
6. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників. Т. 1. – Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007.

Інформаційні ресурси

1. Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3731>
2. Сторінка КІТКФ http://ptcsi.chnu.edu.ua/cafedra_page/загальна-інформація/
3. Сторінка наукової бібліотеки ЧНУ <http://www.library.chnu.edu.ua/index.php?page=ua>
4. Відкритий математичний ресурс Wolfram Research <https://mathworld.wolfram.com/>.
5. Сервіс хмарних обчислень Wolfram Research <https://www.wolframcloud.com/>.
6. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників. Т. 1, 2007. http://iht.univ.kiev.ua/library/books/Lozovski_OFP_TOC.pdf
7. Інші інформаційні ресурси інтернету.

Політика академічної доброчесності

Освітня діяльність (викладача і здобувача освіти) під час вивчення навчальної дисципліни ґрунтується на принципах співробітництва та академічної доброчесності. Очікується, що роботи студентів будуть оригінальним дослідженням чи міркуванням й об'єктивно оцінені викладачем.

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

«Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»
<https://www.chnu.edu.ua/media/jxpbs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>;

«Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університету імені Юрія Федьковича»
https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu_2024.pdf.