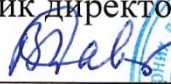


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора з наукової роботи

В.В. Давидовський
« 09 » жовтня 2024 р.



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ
ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Освітньо-кваліфікаційний рівень: доктор філософії

Галузь знань: 10 - Природничі науки

Спеціальність : 104 – Фізика та астрономія

Освітня програма: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.

Статус курсу: фаховий (вибірковий)

Київ 2024

Фізика твердого тіла: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2024. - 19 с.

Укладач: Фіщук І.І., доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 10 від “ 8 ” жовтня 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ
ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Освітньо-кваліфікаційний рівень: *доктор філософії*

Галузь знань: *10 - Природничі науки*

Спеціальність : *104 – Фізика та астрономія*

Освітня програма: *Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*

Статус курсу: *фаховий (вибірковий)*

I. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма з курсу «**Фізика твердого тіла**» відповідає навчальному плану підготовки аспірантів за спеціальністю **104 – Фізика та астрономія** (галузь знань: **10 - Природничі науки**), що здобувають освітньо-кваліфікаційний рівень доктора філософії на відповідній освітній програмі ІЯД НАН України.

Курс «**Фізика твердого тіла**» є необхідною складовою вибіркового навчальних дисциплін циклу професійної та практичної підготовки докторів філософії за спеціальністю **104 – Фізика та астрономія**, напрям підготовки: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.

Він дає можливість ознайомити аспірантів з понятійним апаратом фізики твердого тіла, властивостями кристалічних та неупорядкованих, в тому числі опромінених радіацією твердих тіл, теоретичними методами опису явищ в них та розрахунку вимірюваних величин.

Курс «**Фізика твердого тіла**» викладається на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі та розрахований на 12 навчальних тижнів (по 4 ауд. год. щотижня; перший тиждень занять – лекційний). Вивчення курсу передбачає аудиторну (лекції – 32 год.; практичні заняття – 16 год.; консультація – 2 год.) і самостійну роботу (90 год.). Загальна кількість годин, відведених на опанування дисципліни – 140 (4 кредити ЄКТС).

Мета дисципліни – ознайомлення аспірантів з основними положеннями фізики твердого тіла, методами теоретичного опису явищ в них, та засвоєння методів розрахунку вимірюваних фізичних величин, що характеризують процеси в твердому тілі.

Завдання – сформувати у аспірантів базові знання про характеристики та властивості твердого тіла, сформувати вміння теоретичного опису твердотільних систем, розрахунку вимірюваних величин, що їх характеризують.

Структура курсу

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

Знати: - основні поняття про структуру та енергетичний спектр кристалів, основні механічні, оптичні, електричні і магнітні властивості твердих тіл, експериментальні методи фізики твердого тіла.

Вміти: - розраховувати електронні кінетичні властивості твердих тіл, записувати рівняння для опису фазових переходів, записувати рівняння для опису надпровідності.

Місце дисципліни (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Вибіркова навчальна дисципліна «**Фізика твердого тіла**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «доктор філософії». Система знань, отримана при вивченні даного курсу, є необхідною для вільного ознайомлення з науковою літературою та при виконанні відповідних кваліфікаційних робіт.

Зв'язок з іншими дисциплінами. При вивченні дисципліни «**Фізика твердого тіла**» використовуються знання та вміння, набуті аспірантами під час вивчення курсів загальної фізики, електродинаміки, атомної фізики, статистичної фізики, квантової механіки, основ фізики плазми.

II. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індиві- дуальна робота	Консультації
	Тема 1. Поняття про фізику твердого тіла	5	2	2	3	-
	Тема 2. Основні типи дефектів в твердих тілах	8	2	-	6	-
	Тема 3. Типи взаємодій в твердому тілі	10	2	-	6	-
	Тема 4. Невпорядковані тверді тіла	10	2	2	6	-
	Тема 5. Квазічастинки в твердому тілі	10	2	2	6	-
	Тема 6. Оптичні та акустичні фонони	8	2	2	6	-
	Тема 7. Електронні стани в кристалах	10	2	2	6	-
	Тема 8. Кінетичні явища	10	2	6	6	-
	Тема 9. Напівпровідники	5	2	-	3	-
	Тема 10. Теплоємність	8	2	-	6	
	Тема 11. Механізми поглинання фотонів	10	2	-	6	
	Тема 12. Ефективне поле	10	2	-	6	
	Тема 13. Рівновага фаз	10	2	-	6	
	Тема 14. Переходи метал-діелектрик в системі електронів	10	2	-	6	
	Тема 15. Основні властивості надпровідників	8	2	-	6	
	Тема 16. Рентгенографія - методи досліджень ідеальної та реальної структури	8	2	-	6	
	Іспит	-	-	-	-	2
	Всього	140	32	16	90	2

ЗМІСТ КУРСУ

ТЕМА 1. Поняття про фізику твердого тіла.

Кристалічні та аморфні тіла. Будова кристалів. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індеси Мілера. Точкові і просторові групи. Особливості поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа-Брега. Обернена ґратка. Зони Бріллюена.

ТЕМА 2. Основні типи дефектів в твердих тілах.

Дефекти в кристалах. Точкові дефекти їх утворення та дифузія. Вакансії. Комбінації атомних дефектів. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та сковзання. Механізми утворення дислокацій в кристалах. Вплив радіаційних, механічних та термічних дій на реальну структуру твердих тіл.

ТЕМА 3. Типи взаємодій в твердому тілі .

Типи хімічного зв'язку в кристалах. Міжатомна взаємодія та сили зв'язку у твердому тілі. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних та молекулярних кристалів. Щільнозапаковані структури.

ТЕМА 4. Невпорядковані тверді тіла.

Аморфні тіла - методи отримання та дифракційного дослідження структури. Рідинні кристали. Близький та далекий порядок. Напівпровідникове скло.

ТЕМА 5. Квазічастинки в твердому тілі.

Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, маґнони, ексітони, плазмони та ін. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Граничні умови. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.

ТЕМА 6. Оптичні та акустичні фонони.

Коливання кристалічної решітки - фонони. Акустична та оптична вітки коливань. Теплоємність решітки, Дебаївська частота. Фактор Дебая-Валлера в розсіюванні рентгенівських променів. Анггармонізм та теплове розширення.

ТЕМА 7. Електронні стани в кристалах.

Одноелектронна модель, Наближення слабо і сильно зв'язаних електронів. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Тензор ефективних мас. Електрони та дірки. Циклотронна маса. Положення Фермі-рівня в невивроджених напівпровідниках.

ТЕМА 8. Кінетичні явища.

Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах. Електрон-фононні зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекиду. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла.

ТЕМА 9. Напівпровідники.

Електронна структура типових напівпровідників. Германій та кремній. Домішкові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв. Гарячі носії. Ефект Гана.

ТЕМА 10. Теплоємність.

Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.

ТЕМА 11. Механізми поглинання фотонів..

Поглинання вільними носіями. Решітчасте поглинання. Багатофононні процеси. Комбінаційне розсіювання світла в кристалах. Поглинання зв'язаними носіями. Правила відбору. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери.

ТЕМА 12. Ефективне поле.

Електрострикція і п'єзоелектрика. Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис. Аномалії фізичних властивостей сегнетоелектриків в області фазових переходів.

ТЕМА 13. Рівновага фаз.

Рушійна сила фазових переходів. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах. Вплив викривлення поверхні на фазову рівновагу. Формула Томсона. Правило фаз. Фазові

переходи I і II роду. Дифузійні та без-дифузійні претворення у двокомпонентних системах. Мартенситні перетворення. Види термічної обробки. Метастабільний стан. Розпад пересичених твердих розчинів.

ТЕМА 14. Переходи метал-діелектрик в системі електронів.

Перехід Андерсона. Край рухливості в електронному спектрі. Перехід Мотта. Флуктуації, Тверді розчини та проміжні фази.

ТЕМА 15. Основні властивості надпровідників.

Ефект Мейснера. Надпровідники I і II роду. Основи мікроскопічної та термодинамічної теорій. Куперовські пари. Енергетична щілина і квазічастинки в надпровіднику. Тунельний ефект. Ефект Джозефсона. Високотемпературна надпровідність.

ТЕМА 16. Рентгенографія - методи досліджень ідеальної та реальної структури.

Електронографія та електронна мікроскопія. Нейтронографія, пружне та непружне когерентне розсіювання, дослідження магнітних структур і фононних спектрів. Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок у напівпровідниках. Оптичні методи досліджень, використання лазерних джерел світла.

ЛІТЕРАТУРА

- А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. Современная кристаллография. М.: Наука, 1980.
- Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
- В.Л. Бонч-Бруевич. С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М.; Наука, 1967.
- Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М.; Наука, 1979
- Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
- Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. Статистическая физика. М.; Наука, 1976.
- Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. Механика сплошных сред. М.: Наука, 1976.
- У. Узрт, Р. Томсон, Физика твердого тела. М.; Мир, 1969.
- Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т.1,2
- А. Роуз-Инс, Е. Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.; Мир, 1972.
- Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Злисс. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир. 1967.
- Н. Мотт, З. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.; Мир, 1982. т.1, 2

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітньо- кваліфікаційний рівень	Організаційно-методична характеристика навчальної дисципліни	
	Академічна характеристика	Структура
10 – Природничі науки 104 – Фізика та астрономія	Рік навчання: 2 або 3 Семестр: 1 або 2 * Кількість годин на тиждень: 4	Кількість годин: Загальна: 140 Лекції: 32 Практичні заняття: 16

Освітня програма – Фізика (Теоретична фізика) Доктор філософії	Статус курсу: <i>фаховий (вибірковий)</i> Кількість ECTS кредитів: 4 * дисципліна може викладатися на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі	Консультація 2 Самостійна робота: 90 Вид підсумкового контролю: іспит
---	---	--

Робоча програма складена для докторів філософії – *Освітня програма Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*

Укладач: Фіщук І. І., доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник

ІІІ. ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

МЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЛЕКЦІЙ

Проведення лекційних занять націлено на донесення загальних знань та побудову теоретичних методів по дисципліні, на сприяння розвитку у аспірантів розумової діяльності і розширення світогляду.

ЗАНЯТТЯ 1. ТЕМА 1. Поняття про фізику твердого тіла.

План.

1. Кристалічні та аморфні тіла.
2. Будова кристалів. Трансляційна симетрія.
3. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індeksi Мілера.
4. Точкові і просторові групи.
5. Особливості поширення хвиль в періодичних структурах.
Закон Вульфа-Брега.
6. Обернена ґратка. Зони Бріллюена.

ЗАНЯТТЯ 2. ТЕМА 2. Основні типи дефектів в твердих тілах.

План.

1. Дефекти в кристалах. Точкові дефекти їх утворення та дифузія. Вакансії. Комбінації атомних дефектів.
2. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та сковзання. Механізми утворення дислокацій в кристалах.
3. Вплив радіаційних, механічних та термічних дій на реальну структуру твердих тіл.

ЗАНЯТТЯ 3. ТЕМА 3. Типи взаємодій в твердому тілі .

План.

1. Типи хімічного зв'язку в кристалах. Міжатомна взаємодія та сили зв'язку у твердому тілі.
2. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних та молекулярних кристалів.
3. Щільнозапаковані структури.

ЗАНЯТТЯ 4. ТЕМА 4. Невпорядковані тверді тіла.

План.

1. Аморфні тіла - методи отримування та дифракційного дослідження структури.
2. Рідинні кристали.
3. Близький та далекий порядок. Напівпровідникове скло.

ЗАНЯТТЯ 5. ТЕМА 5. Квазічастинки в твердому тілі.

План.

1. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, ексітони, плазмони та інші.
2. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Граничні умови. Густина станів.
3. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.

ЗАНЯТТЯ 6. ТЕМА 6. Оптичні та акустичні фонони.

План.

1. Коливання кристалічної решітки - фонони. Акустична та оптична вітки коливань.
2. Теплоємність решітки, Дебаївська частота. Фактор Дебая-Валлера в розсіюванні рентгенівських променів.
3. Ангармонізм та теплове розширення.

ЗАНЯТТЯ 7. ТЕМА 7. Електронні стани в кристалах.

План.

1. Одноелектронна модель, Наближення слабо і сильно зв'язаних електронів.
2. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі.
3. Тензор ефективних мас. Електрони та дірки. Циклотронна маса.
4. Положення Фермі-рівня в невироджених напівпровідниках.

ЗАНЯТТЯ 8. ТЕМА 8. Кінетичні явища.

План.

1. Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання

на домішках і дефектах. Електрон-фононні зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекиду.

2. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність.

3. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла.

ЗАНЯТТЯ 9. ТЕМА 9. Напівпровідники.

План.

1. Електронна структура типових напівпровідників. Германій та кремній.

2. Домішкові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв.

3. Гарячі носії. Ефект Гана.

ЗАНЯТТЯ 10. ТЕМА 10. Теплоємність.

План.

1. Температурна залежність теплоємності.

2. Моделі Ейнштейна та Дебая.

ЗАНЯТТЯ 11. ТЕМА 11. Механізми поглинання фотонів.

План.

1. Поглинання вільними носіями. Решітчаті поглинання. Багатофононні процеси. Комбінаційне розсіювання світла в кристалах. Поглинання зв'язаними носіями. Правила відбору.

2. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках.

3. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери.

ЗАНЯТТЯ 12. ТЕМА 12. Ефективне поле.

План.

1. Електрострикція і п'єзоелектрика. Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис.

2. Аномалії фізичних властивостей сегнетоелектриків в області фазових переходів.

ЗАНЯТТЯ 13. ТЕМА 13. Рівновага фаз.

План.

1. Рушійна сила фазових переходів. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах. Вплив викривлення поверхні на фазову рівновагу. Формула Томсона.
2. Правило фаз. Фазові переходи I і II роду. Дифузійні та бездифузійні перетворення у двокомпонентних системах. Мартенситні перетворення.
3. Види термічної обробки. Метастабільний стан. Розпад пересичених твердих розчинів.

ЗАНЯТТЯ 14. ТЕМА 14. Переходи метал-діелектрик в системі електронів.

План.

1. Перехід Андерсона. Край рухливості в електронному спектрі.
2. Перехід Мотта. Флуктуації, Тверді розчини та проміжні фази.

ЗАНЯТТЯ 15. ТЕМА 15. Основні властивості надпровідників.

План.

1. Ефект Мейснера. Надпровідники I і II роду. Основи мікроскопічної та термодинамічної теорій. Куперовські пари.
2. Енергетична щілина і квазічастинки в надпровіднику. Тунельний ефект.
3. Ефект Джозефсона. Високотемпературна надпровідність.

ЗАНЯТТЯ 16. ТЕМА 16. Рентгенографія - методи досліджень ідеальної та реальної структури.

План.

1. Електроннографія та електронна мікроскопія. Нейтронографія, пружне та непружне когерентне розсіювання, дослідження магнітних структур і фононних спектрів.
2. Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок у напівпровідниках.
3. Оптичні методи досліджень, використання лазерних джерел світла.

IV. ПЛАН ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

МЕТА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичні заняття є сполучною ланкою між лекційними заняттями та самостійною роботою і мають на меті поглиблене засвоєння теоретичних понять, термінів і моделей з дисципліни та набуття практичних навиків розв'язання задач.

В процесі практичних занять з'ясовується ступінь засвоєння понятійно-термінологічного апарату та основних положень предмету, вміння розкривати конкретну тему, аналізувати і узагальнювати ключові питання курсу, робити числові оцінки, розв'язувати задачі.

ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Передбачаються такі види аудиторної роботи:

- розгляд і обговорення теоретичного матеріалу по відповідних темах лекційних занять та питань для самостійного опрацювання;
- розв'язання задач аналітичного характеру;
- розв'язання задач обчислювального характеру;
- проведення консультацій з дисципліни;

Практичне заняття 1. Тема 1. Поняття про фізику твердого тіла

Розв'язування задач в рамках кристалічної та оберненої решітки.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2. ТЕМА 4. Невпорядковані тверді тіла.

Задачі зі знаходженням ефективних кінетичних характеристик цих тіл

Практичне заняття 3. Тема 5. Квазічастинки в твердому тілі.

Розв'язування задач по коливанням кристалічної решітки

Практичне заняття 4. Тема 6. Оптичні та акустичні фоони.

Розв'язання задач із врахування фоонів

Практичне заняття 5. Тема 7. Електронні стани в кристалах.

Розв'язування задач стану електронів в періодичному потенціалі

Практичне заняття 6. Тема 8. Кінетичні явища.

1. Розв'язування задач по транспортних характеристиках газу невзаємодіючих електронів
2. Врахування взаємодії електронів. Екранування
3. Розв'язування задач для часинки в магнітному полі

V. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

МЕТА І ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Головна мета проведення самостійної роботи полягає у необхідності більш широкого огляду тематики курсу з використанням матеріалів підручників, періодичних видань, наукових праць, монографій з окремих питань дисципліни.

Важливою складовою самостійної роботи студентів є виконання індивідуальних робіт.

Виконання індивідуальних робіт має на меті:

- закріплення знань теоретичного курсу;
- набуття навичок опрацювання наукової літератури (монографій, наукових статей);
- напрацювання вмінь та навичок розв'язування фізичних задач;
- навчання ефективному використанню фізико-математичних довідників, енциклопедій (включно з on-line інформацією) і т. ін.

ОБСЯГ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Підготовка до поточних практичних занять	20
2.	Виконання поточних практичних завдань	20
3.	Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	40
4.	Індивідуальні консультації з викладачем	10
	ВСЬОГО	90

VI. ФОРМИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

МЕТА І ФОРМИ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Підсумковий контроль знань здійснюється наприкінці семестру шляхом складання іспиту.

До іспиту допускаються аспіранти, які мають необхідний рівень поточних знань.

Іспит проводиться в змішаній формі, по завданнях які складені на основі програми курсу та мають однаковий рівень складності. На підготовку відводиться 2 академічні години. Під час проведення іспиту дозволяється користуватися конспектом.

КРИТЕРІЇ СКЛАДАННЯ ІСПИТУ (ЗАЛІКУ)

Кожне завдання для проведення іспиту (заліку) має бути однакової складності. Зміст питань та завдань має бути розрахований на письмову підготовку аспіранта протягом двох академічних годин.

Максимальна кількість балів на проведення підсумкового контролю – 40. Критерії оцінки підсумкових знань при складанні іспиту наведені в таблиці .

Критерії складання іспиту (заліку)

<i>Характеристика відповіді по варіанту</i>	<i>Максимальна кількість балів</i>
<i>Зміст 2-х теоретичних питань розкрито повністю і в розгорнутому вигляді</i>	<i>30</i>
<i>Вірні відповіді на тести /додаткові питання чи розв'язок задачі</i>	<i>10</i>
<i>ВСЬОГО</i>	<i>40 балів</i>

За результатами складання іспиту (заліку) якість підсумкових знань аспіранта оцінюється за рейтинговою системою та трансформується в національну шкалу та шкалу ECTS

Таблиця

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної університетської шкали оцінювання в національну 4-бальну шкалу та шкалу ECTS.

За шкалою університету	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 – 100	5 (відмінно)	Зараховано	A (відмінно)
81 – 90	4 (добре)		B (дуже добре)
71 – 80			C (добре)

66 – 70	3 (задовільно)		D (задовільно)
60 – 65			E (достатньо)
30 – 59	2 (незадовільно)	Не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 – 29			F (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)