

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

ЗАТВЕРДЖУЮ


Ректор

  
Сергій ОКОВИТИЙ

« 16 » 04 2024 р.

ПОГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи


  
Олег МАРЕНКОВ

« 16 » 04 2024 р.

ПРОГРАМА  
ВСТУПНОГО ІСПИТУ ДО АСПРАНТУРИ  
для здобуття ступеня доктора філософії  
на основі освітнього ступеня магістра (освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліста)  
за спеціальністю 104. Фізика та астрономія  
освітньо-наукова програма 104. Фізика та астрономія



Розглянуто на засіданні вченої ради  
факультету ФФЕКС  
від «16» квітня 2024 р.; протокол № 62

Голова вченої ради  (Олександр КОВАЛЕНКО)  
Дніпро-2024

### Критерії оцінки відповідей

Кожна відповідь на питання оцінюється за 100-бальною шкалою:

**60-63 бали** виставляються вступнику в аспірантуру, який володіє програмним матеріалом на рівні фрагментарного, практичні навички з застосування теоретичних знань з біології слабо сформовані, частина відповідей на поставлені запитання відсутня.

**64-74 бали** виставляється вступнику в аспірантуру, який демонструє знання в обмеженому обсязі, не знає значної частини програмного матеріалу, основних понять з фізики, допускає істотні помилки з визначенням теоретичних положень, не спроможний пояснити основні фізичні закономірності.

**75-81 бали** виставляється вступнику в аспірантуру, який знає лише основний матеріал, але не засвоїв його деталей, допускає недоліки. Нездатний до аналізу та узагальнення фізичних явищ, користується в відповідях лише матеріалами конспекту лекцій.

**82-89 бали** виставляється вступнику в аспірантуру, який твердо знає програмний матеріал, грамотно і по суті викладає його, не допускає істотних недоліків у відповіді на запитання, впевнено аналізує фізичні процеси та робить власні висновки. У відповідях користується лише основною літературою, підручниками, посібниками.

**90-100 балів** виставляється вступнику в аспірантуру, який глибоко та міцно засвоїв програмний матеріал, вичерпано, послідовно, грамотно й логічно його викладає, у відповіді якого тісно пов'язується теорія з практикою. При цьому студент не зазнає труднощів з відповіддю на завдання з сучасних проблем фізики і астрономії. Демонструє обізнаність з монографічною літературою, різними інформаційними джерелами, оглядами.

При остаточній оцінці результатів виконання завдання враховується здатність фахівця:

- застосувати правила, закони, методи, принципи фізики;
- аналізувати і оцінювати факти, події у різних галузях фізики;
- викладати матеріали логічно, послідовно з демонстрацією фізичного світогляду та мислення.



### 3. ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

#### 1. Класична механіка

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. – Издание 4-е, исправленное. – М.: Наука, 1988. – 215 с. – («Теоретическая физика», том I). – ISBN 5-02- 013850-9.
2. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. 4-е изд. – СПб.: Лань, 2009. – 576 с.
3. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Механіка. Вища школа, 1971. – 272 с.
4. Федорченко А. М. Класична механіка і електродинаміка // Теоретична фізика. – К.: Вища школа, 1992. – Т. 1. – 535 с.
5. Айзерман М.А. Классическая механика. 2-е изд. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
6. Павловський М.А. Теоретична механіка. – Київ: Техніка, 2002. – 510 с.
7. Мултановский В.В. Курс теоретической физики. Т. 1. Классическая механика. СТО. – М.: Просвещение, 1988. – 304 с.
8. Савельев И. В. Основы теоретической физики: Учеб. руководство: для вузов. В 2 т. – Т. 1: Механика и электродинамика. 2-е изд., испр. – Москва: Наука, 1991. — 496 с.
9. Д. тер Хаар. Основы гамильтоновой механики. М.: – Наука, 1975. – 223 с.
10. Глауберман А. Ю., Сеньків М. Т. Теоретична механіка. – Львів, 1960. – 220 с.
11. Павленко Ю. Г. Лекции по теоретической механике. – М.: Изд. МГУ, 1991. – 336 с.

#### 2. Електродинаміка

1. Бредов М. М., Румянцев В. В., Топтыгин И. Н. Классическая электродинамика. – Москва: Наука, 1985. – 400 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. – Т. II: Теория поля. – 7-е изд., испр. – Москва: Наука, 1988. – 512 с.
3. Скалозуб В.В. Класична електродинаміка / В.В. Скалозуб, О.В. Гулов. – К.: Вища освіта, 2011. – 208 с. (гриф МОН України – лист №14/18-Г-2828 від 24.12.2008).
4. Савельев И. В. Основы теоретической физики: Учеб. руководство : для вузов. В 2 т. – Т. 1: Механика и электродинамика. 2-е изд., испр. – Москва: Наука, 1991. — 496 с.
5. Терлецкий Я. П., Рыбаков Ю. П. Электродинамика: Учеб. пособие для студентов физ. спец. университетов. – 2-у изд., перераб. – Москва: Высш. шк., 1990. – 352 с.
6. Федорченко А. М. Теоретична фізика : Підручник : У 2 т. – Т. 1: Класична механіка і електродинаміка. – Київ: Вища шк., 1992. – 535 с.
7. Джексон Дж. Классическая электродинамика. – М.: Мир, 1965. – 703 с.
8. Новожилов Ю.В., Яппа Ю.А. Электродинамика. М.: Наука, 1978. – 352 с.
9. Сугаков В. Й. Електродинаміка. – К.: Вища школа, 1974. – 271 с.

#### 3. Квантова механіка

1. Вакарчук І. О. Квантова механіка. – 4-е видання, доповнене. – Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 872 с.
2. Висоцький В. І. Квантова механіка та її використання в прикладній фізиці. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 367 с.
3. Давидов О. С. Квантова механіка. – К.: Академперіодика, 2012. – 706 с.
4. Ткачук В. М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. – Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. – 144 с.
5. Федорченко А. М. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика // Теоретична фізика. – К.: Вища школа, 1993. – Т. 2. — 415 с.
6. Юхновський І. Р. Основы квантовой механики. – К.: Либідь, 2002. – 392 с.
7. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. – М., 1976. – 664 с.
8. Глауберман А. Ю. Квантова механіка. – Львів, 1962. – 506 с.

9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория («Теоретическая физика», Т. 3). – М., 1989. – 768 с.
10. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. – М., 1960. – 440 с.
11. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – 528 с.

#### **4. Термодинаміка і статистична фізика**

1. Базаров И. П. Термодинамика. – Москва, Высшая школа, 1991. – 376 с.
2. Базаров И. П., Геворкян Э. П., Николаев П. Н. Термодинамика и статистическая физика. Москва, МГУ, 1986. – 310 с.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. – Т. 5, Ч. 1. Москва, Наука, 1995. – 606 с.
4. Терлецкий Я. П. Статистическая физика. – Москва, Высшая школа, 1973. – 280 с.
5. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем: Термодинамика. – Москва, Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.
6. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2: Теория равновесных систем: Статистическая физика. – Москва, Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.
7. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3: Теория неравновесных систем. – Москва, Едиториал УРСС, 2003. – 448 с.
8. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. – Москва, Наука, 1973. – 423 с.
9. Румер Ю. Б., Рывкин М. С. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – Москва, Наука, 1977. – 552 с.
10. Єрмолаєв О. М., Рашба Г. І. Вступ до статистичної фізики та термодинаміки. – Х.: ХНУ, 2004. – 516 с.

#### **5. Структура твердих тіл**

1. Панченко Т.В., Крузіна Т.В., Трубіцин М.П., Попов С.О., Бочкова Т.М. Функціонально активні та інтелектуальні матеріали, Підручник. Дніпро: ТОВ «Акцент ПП». – 2017, 128 с.
2. Панченко Т.В., Трубіцин М.П., Бочкова Т.М., Крузіна Т.В. Посібник до вивчення дисципліни «Функціонально активні матеріали», Навчальне видання. Дніпропетровськ: РВВ, ДНУ. – 2015, 84 с.
3. О.І. Кушнар'єв. Навчальний посібник до вивчення курсу «Кристалографія» // – Дніпропетровськ. РВВ ДНУ. – 2012, – 80 с.
4. Г. П. Кукта. Уведення в кристалографію // Вища школа: Львів – 1976.
5. Якименко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 1. Основні напрямки матеріалознавства/ Ю.І. Якименко Ю.М., С. А. Воронов, Ю.М. Поплавко, – К. Політехнік, 2011. – 300 с.
6. Поплавко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 4. Напівпровідники. / Ю.М. Поплавко, В.І. Ільченко, С. А. Воронов, Ю.І. Якименко. – К. Політехнік, 2010. – 381 с.

#### **6. Енергетичний спектр кристалів**

1. Сетов Є.А., Трубіцин М.П. Спектроскопічні методи у фізиці твердого тіла, Навчальний посібник. Дніпро: ТОВ «Акцент ПП». – 2018, 46 с.
2. Фізика твердого тіла. Енциклопедичний словник. Т.1. Під ред. акад. Бар'яхтара В.Г. Київ: Наукова думка. 1998, 652 с.
3. Фізика твердого тіла. Енциклопедичний словник. Т.2. Під ред. акад. Бар'яхтара В.Г. Київ: Наукова думка. 1998, 644 с.

#### **7. Електронні кінетичні властивості твердих тіл**

1. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. пос. – Київ, НТУУ «КПІ», 2012, с. 299.



2. Фізика твердого тіла. Енциклопедичний словник. Т.1. Під ред. акад. Бар'яхтара В.Г. Київ: Наукова думка. 1998, 652 с.
3. Ю. М. Поплавко, Ю. І. Якименко. П'єзоелектрики. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2013.- 325 с.
4. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, В.І. Ільченко, Ю.І. Якименко Мікроелектроніка і наноелектроніка, Київ, НТУУ «КПІ», 2010.

#### **8. Оптичні та магнітні явища твердих тіл**

1. Глинчук М.Д., Рагуля А.Н. Наноферроіки. Київ: Наукова думка, 2010.
2. Фізика твердого тіла. Енциклопедичний словник. Т.2. Під ред. акад. Бар'яхтара В.Г. Київ: Наукова думка. 1998, 644 с
3. Поплавко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 3. Провідники та магнетики. / Ю.М. Поплавко, С. А. Воронов, Ю.І. Якименко. – К. Політехнік, 2011. – 381 с.

#### **9. Діелектрики**

1. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник, – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 572
2. Поплавко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 2. Діелектрики. / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, А. С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К. Політехнік, 2007. – 390 с.
3. Поплавко Ю. М., Переверзева Л.П., Раевский И.П. Физика активных диэлектриков. – Ростов н/Дон, 2009, 480 с.
4. Ю.М. Поплавко. Фізика діелектриків. – К.: Вища школа, 1980.– 398с
5. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 572 с

#### **10. Термодинаміка і фазові переходи**

1. Якименко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 1. Основні напрямки матеріалознавства/ Ю.І. Якименко Ю.М., А. С. Воронов, Ю.М. Поплавко. – К. Політехнік, 2011. – 300 с.
2. Ю. М. Поплавко. Електрофізика твердих тіл. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 756 с.

#### **11. Надпровідність**

Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. пос. - Київ, НТУУ «КПІ», 2012, с. 299.

#### **12. Експериментальні методи фізики твердого тіла**

Б.Я. Пінес. Лекції по структурному аналізу // Вища школа: Львів – 1967

### **4. ДОПОМІЖНА ЛІТЕРАТУРА**

#### **1. Класична механіка**

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. – Издание 7-е, исправленное. – М.: Наука, 1988. – 512 с. – («Теоретическая физика», том II). – ISBN 5-02- 014420-7.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. – Издание 4-е, стереотипное. – М.: Наука, 1988. – Т. VI. Гидродинамика. – 736 с.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. – М.: Наука, 1987. – Т. VII. Теория упругости. – 248 с.
4. Голдстейн Г. Классическая механика. М.: – Наука, 1975, 415 с.
5. Арнольд В. И. Математические методы классической механики. М.: —Наука, 1979, 432 с.

#### **2. Електродинаміка**

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. – Т. VIII: Электродинамика сплошных сред. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука, 1982. – 621 с.

2. Скалозуб В.В. Класична макроскопічна електродинаміка / В.В. Скалозуб, О.В. Гулов. – Д.: Видавництво ДНУ, 2010. – 168 с. (гриф МОНмолодьспорту України – лист № 1/11-7518 від 10.08.2011).
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. В 10 т. — Т. 6 : Электродинамика. — Москва : Мир, 1966. — 344 с.

### **3. Квантова механіка**

1. Фок В. А. Начала квантовой механики. – М., 1976. – 376 с.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 8. Квантовая механика, часть 1. – М.: Мир, 1966. – 271 с.; Т. 9. Квантовая механика, часть 2. – М.: Мир, 1967. – 259 с.
3. Мессиа А. Квантовая механика. Т.1. – М.: Наука, 1978. – 478 с.
4. Мессиа А. Квантовая механика. Т.2. – М.: Наука, 1979. – 583 с.
5. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. – М.: Мир, 1968. – 382 с.

### **4. Термодинаміка і статистична фізика**

1. Базаров И. П. . Геворкян Э. П, Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. – Москва, МГУ, 1989. – 220 с.
2. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. – М.:Наука, 1977. – 336 с. – 452 с.
3. Кубо Р. Термодинамика. – М.:Мир, 1970. – 304 с.
4. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. – Москва, Наука, 1983. – 416 с.
5. Самойлович А.Г. Термодинамика и статическая физика. – Москва, ГИТТЛ, 1955. – 368 с.
6. Фейнман Р. Статистическая механика. – Москва, Мир, 1975. – 407 с.
7. Солдатова Є. Д., Галдіна О. М. Теорія термодинамічної стійкості та критичний стан. – Д.: РВВ ДНУ, 2012. – 88 с.

### **5. Структура твердих тіл**

1. А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. Современная кристаллография. М.: Наука, 1980.
2. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т. 1, 2.
3. Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979.
4. М. П. Шаскольская. Кристаллография // Вища школа: Москва – 1986.
5. И.И. Новиков, К.М. Розин. Кристаллография и металлургия: дефекты кристаллической структуры металлов // Металлургия: Москва – 1990.
6. И.И. Новиков. Дефекты кристаллографического строения металлов // Металлургия: Москва –1984.

### **6. Енергетичний спектр кристалів**

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т. 1, 2.
2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

### **7. Електронні кінетичні властивості твердих тіл**

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т.1,2
2. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. Механика сплошных сред. М.: Наука, 1976.
4. Н. Мотт, З. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.; Мир, 1982. т. 1, 2.

### **8. Оптичні та магнітні явища твердих тіл**

1. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
2. У. Уэрт, Р. Томсон, Физика твердого тела. М.; Мир, 1969.



## 1. ЗМІСТ РОЗДІЛІВ ТА ТЕМ ДИСЦИПЛІН

### 1. Класична механіка

Рівняння руху. Основні принципи і закони класичної механіки Ньютона. Узагальнені координати. Принцип найменшої дії. Функція Лагранжа вільної матеріальної точки та частинки в потенціальному полі. Функція Лагранжа системи матеріальних точок.

Канонічні рівняння. Рівняння Гамільтона. Канонічні перетворення. Змінні дія–кут. Функція Рауса. Теорема Ліувілля. Дужки Пуассона. Дія як функція координат. Рівняння Гамільтона – Якобі. Розділення змінних. Адіабатичні інваріанти.

Зіткнення частинок. Розсіяння частинок. Переріз розсіяння. Розпад частинок. Пружні зіткнення частинок. Формула Резерфорда.

Рух твердого тіла. Кутова швидкість. Тензор інерції. Момент імпульсу твердого тіла. Рівняння руху твердого тіла. Ейлерові кути. Рівняння Ейлера. Симетрична та антисиметрична дзига. Рух відносно неінерціальної системи відліку.

Основні рівняння гідродинаміки. Опис руху рідини. Рівняння неперервності. Ідеальна рідина. Рівняння Ейлера. Потік енергії і імпульсу. Гідростатика. Інтеграл Бернуллі. Потенціальна течія. Нестислива рідина. Тензор напружень. Рівняння руху в'язкої рідини. Закони подібності. Формула Стокса.

Теорія пружності. Опис деформації твердого тіла. Тензор натягів та закони зміни імпульсу та моменту імпульсу. Закон Гука. Тензор пружності. Рівняння руху ідеально пружного тіла. Однорідні деформації.

### 2. Електродинаміка

Рівняння електромагнітного поля. Перша пара рівнянь Максвелла. Дія для електромагнітного поля. Чотири-вектор струму. Рівняння неперервності. Друга пара рівнянь Максвелла. Густина та потік енергії.

Постійне електромагнітне поле. Закон Кулона. Електростатична енергія зарядів. Поле заряду, що рухається рівномірно. Рух у кулоновому полі. Дипольний момент. Мультипольні моменти. Система зарядів у зовнішньому полі. Магнітний момент. Теорема Лармора.

Електромагнітні хвилі. Хвильове рівняння. Плоскі хвилі. Монохроматична плоска хвиля. Спектральне розвинення. Частково поляризоване світло. Параметри Стокса.

Випромінювання електромагнітних хвиль. Загаїні потенціали. Потенціали Лієнара – Віхерта. Поле системи зарядів на далеких відстанях. Дипольне випромінювання. Квадрупольне та магнітно-дипольне випромінювання. Випромінювання заряду, що швидко рухається. Гальмування випромінюванням. Розсіяння електромагнітних хвиль вільними зарядами.

Рівняння електромагнітного поля у середовищах. Комплексна діелектрична проникність, співвідношення Крамерса – Кроніга.

Електромагнітні хвилі у середовищах. Електромагнітні властивості надпровідників, сегнетоелектриків, феромагнетиків, плазми.

### 3. Квантова механіка

Основні положення квантової механіки. Хвильова функція та її статистична інтерпретація. Оператори фізичних величин. Фізична інтерпретація їх власних функцій та власних значень. Випадки дискретного та неперервного спектру. Принцип суперпозиції. Вимірювання фізичних величин. Фізичні величини, що мають в одному стані визначені значення. Координати та імпульси. Оператори фізичних величин як функції операторів координат та імпульсів. Співвідношення невизначеностей.

Одновимірний рух. Відбиття та проходження хвиль. Зв'язані стани. Явище резонансу. Тунельний ефект. Квазістаціонарні стани. Загальні властивості одновимірного рівняння Шрьодінгера. Гармонійний осцилятор. Оператори  $a$ ,  $a^\dagger$ .



Основи теорії представлень. Абстрактне формулювання квантової механіки в термінах гільбертова простору (простір станів), його векторів (вектори стану), і операторів в ньому (оператори фізичних величин). Спряжений простір. Позначення Дірака. Бра- та кет-вектори. Скалярний та операторний добутки векторів. Умова повноти системи векторів оператора фізичної величини. Система власних векторів як узагальнений базис.  $A$ -представлення векторів стану (хвильова функція в  $A$ -представленні) і операторів ( $A$  – фізична величина). Координатне, імпульсне та енергетичне представлення.

Картини руху системи. Оператор еволюції. Картина Шрьодінгера. Картина Гайзенберга. Картина Дірака.

Тотожні частинки. Простір станів системи. Прямий добуток векторів. Структура простору станів системи тотожних частинок. Бозони, ферміони. Числа заповнення. Принцип Паулі. Представлення чисел заповнення. Структура операторів одно- та двочастинкових фізичних величин.

Варіаційний метод. Варіаційний принцип для стаціонарних станів. Варіаційний метод Рітца. Основний стан атомів водню та гелію. Методи Хартрі та Хартрі – Фока – Дірака в теорії системи тотожних ферміонів.

Метод вторинного квантування. Ізоморфізм гільбертових просторів та квантова механіка. Простір станів системи однакових частинок в представленні вторинного квантування (ПВК). Простір стану системи зі змінним складом. Пряма сума векторів. Простір Фока. Оператори народження та знищення частинок. Зв'язок ПВК, що відповідають різним представленням одночастинкових станів. Запис операторів одно- та двочастинкових величин у ПВК. Системи декількох сортів бозонів та ферміонів. ПВК, що відповідає спіно-координатному представленню одночастинкових станів. Польовий оператор. Оператор Гамільтона системи заряджених частинок зі спіном у зовнішньому електромагнітному полі у ПВК. Оператори адитивних інтегралів руху, їх густини та густини їх потоків. ПВК, що відповідає спіно імпульсному представленню.

#### **4. Термодинаміка і статистична фізика**

Термодинаміка рівноважних процесів. Параметри, що описують стан рівноваги. I закон термодинаміки. II закон термодинаміки. Ентропія, абсолютна температура. Основне термодинамічне співвідношення та його наслідки. Термодинамічні потенціали. Залежність термодинамічних величин від об'єму та кількості частинок. III закон термодинаміки.

Основи рівноважної статистичної механіки. Функція розподілу системи. Рівняння Ліувілля. Мікроканонічний розподіл Гіббса як рівноважна функція розподілу ізольованої системи. Термодинамічна границя. Канонічний та великий канонічний розподіли Гіббса для рівноважної системи в термостаті. Еквівалентність розподілів Гіббса у термодинамічній границі. Теореми про рівний розподіл енергії по ступенях свободи та віріал.

Фазові переходи та критичні явища. Класифікація фазових переходів. Фазові переходи I роду. Фазові переходи II роду та критичні явища. Теорія Ландау та межі її застосування.

#### **5. Структура твердих тіл**

Наноматеріали і нанотехнології. Перспективні порошкові і тонкоплівкові матеріали. Нові класи матеріалів. Методи отримання нерівноважних матеріалів. Види термообробки, термомеханічної обробки матеріалів, розчинність елементів, фазовий склад, класифікація чорних і кольорових сплавів, стабільний і метастабільний стан сплавів, фізико-механічні властивості матеріалів, методи отримання нерівноважних і наднерівноважних станів у матеріалах.

#### **6. Енергетичний спектр кристалів**

Опис енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, ексітони, плазмони та ін. Електрони в металі як



квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Коливання кристалічної решітки. Акустична та оптична вітки коливань. Теплоємність решітки. Дебаївська частота. Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель. Наближення слабо і сильнозв'язаних електронів. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Ефективна маса. Електрони та дірки. Положення Фермі-рівня в невироджених напівпровідниках. Явища в контактах. Потенціальні бар'єри. Контактна різниця потенціалів. Бар'єр Шотки.

#### **7. Електронні кінетичні властивості твердих тіл**

Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла. Напівпровідники. Електронна структура. Домішкові рівні. Донори та акцептори, p-n-переходи. Ефект Гана. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв заряду. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.

#### **8. Оптичні та магнітні явища твердих тіл**

Основні властивості магнетиків. 2. Атомний магнетизм та магнітні властивості слабо магнітних речовин. Діамагнетизм системи слабо взаємодіючих атомів і молекул. Діамагнетизм та парамагнетизм твердих тіл. Природа феромагнетизму. Домени. Магнітний гістерезис. Антиферомагнетизм і ферімагнетизм. Комбінаційне розсіювання світла. Поглинання зв'язаними носіями. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери. Типи ОКГ.

#### **9. Діелектрики**

Фізичні явища та процеси у діелектриках, що дозволяють використовувати їх в якості функціональних матеріалів у пристроях сучасної електроніки. Основи опису структури кристалів, а також її впливу на властивості діелектриків. Сучасні уявлення про процеси електричної поляризації та електропровідності у діелектричних середовищах. Основи опису електрофізичних явищ в діелектриках. Властивості активних діелектриків – сегнетоелектриків, піроелектриків, пьезоелектриків, електретів. Основи теорії й сучасні експериментальні дані та характеристики діелектричних матеріалів, необхідні для їх застосування. Сучасні дослідження нанофізики діелектричних сполук.

#### **10. Термодинаміка і фазові переходи**

Основи термодинаміки і кінетики фазових перетворень у подвійних сплавах. Термодинамічний підхід до аналізу діаграм стану та з'ясування характеру взаємодії компонентів і будови фаз. Теорія утворення фаз, кристалізації з металевих розплавів, дифузійних та бездифузійних механізмів фазових перетворень у твердому та рідкому станах. Основні принципи застосування геометричних і термодинамічних методів аналізу потрійних систем. Типи потрійних діаграм стану, методи графічного зображення процесів кристалізації. Діаграми стану з обмеженими твердими розчинами й хімічними сполуками.

#### **11. Надпровідність**

Основні властивості надпровідників. Надпровідники I і II роду. Високотемпературна надпровідність.

#### **12. Експериментальні методи фізики твердого тіла**

Рентгенографія. Методи досліджень ідеальної та реальної структури. Електроннографія. Електронна мікроскопія. Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок. Оптичні методи досліджень кристалів.

## 2. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ, ЗАПРОПОНОВАНИХ ДЛЯ ІСПИТУ

Вступні випробування проводяться за рішенням екзаменаційної комісії за білетами. Для підготовки відповіді використовують екзаменаційні листки, що зберігаються в особовій справі вступника.

З програмами вступних випробувань, переліком питань, порядком проведення вступних випробувань за спеціальністю 104 Фізика та астрономія вступники мають змогу ознайомитися на офіційному сайті ДНУ.

Рівень знань вступників оцінюється екзаменаційною комісією за стобальною системою. Результати проведення вступного випробування оформляються протоколом, в якому фіксуються екзаменаційні питання. На кожного вступника ведеться окремий протокол.

Протоколи прийому вступних випробувань після затвердження зберігаються в особовій справі вступника.

### Питання, запроповані для вступників в аспірантуру за спеціальністю 104 Фізика та астрономія ОНП «Фізика та астрономія» в 2020 р.

#### 1. Класична механіка

Опис механічного руху в різних системах координат (закон руху, траєкторія, система відліку, радіус-вектор, прискорення).

Закони зміни і збереження імпульсу і моменту імпульсу в механіці Ньютона.

Робота і потужність сили. Різні типи сил. Закон зміни і збереження енергії в механіці Ньютона.

В'язі. Сила реакції в'язі. Рівняння руху при наявності в'язів – рівняння Лагранжа першого роду.

Принцип найменшої дії. Рівняння Лагранжа. Функція Лагранжа.

Функція Гамільтона. Канонічні рівняння Гамільтона.

Дужки Пуассона. Дужки Пуассона і інтеграли руху у гамільтоновій механіці.

Рівняння Гамільтона-Якобі. Відокремлення змінних в рівнянні Гамільтона-Якобі.

Задача двох тіл.

Рух у центральному полі. Задача Кеплера.

Розсіяння частинок у центральному полі.

Малі одновимірні коливання.

Вимушені коливання. Резонанс.

Згасаючі коливання.

Тензор інерції твердого тіла.

#### 2. Електродинаміка

Закон збереження енергії в електродинаміці.

Закон збереження імпульсу в електродинаміці.

Потенціали електромагнітного поля. Калібрувальна інваріантність.

Граничні умови до рівнянь Максвелла.

Магнітний дипольний момент.

Плоскі монохроматичні електромагнітні хвилі.

Поляризація електромагнітних хвиль. Частково поляризовані хвилі.

Загаїні потенціали.

Дипольне випромінювання.

Принцип найменшої дії для заряду в електродинаміці.

Принцип відносності Ейнштейна. Перетворення Лоренца та їхні наслідки.



Основні положення релятивістської механіки.  
Рівняння Максвелла в коваріантній формі.  
Перетворення Лоренца для електромагнітного поля.  
Рух заряду в сталих однорідних електромагнітних полях.

### **3. Квантова механіка**

Імовірнісна інтерпретація хвильової функції. Причинність у квантовій механіці. Принцип суперпозиції.  
Властивості власних функцій та власних значень операторів (дискретний і неперервний спектри).  
Співвідношення невизначеностей.  
Рівняння Шрödінгера.  
Стационарні стани, їхні властивості. Рівняння Шрödінгера для стационарних станів.  
Квантовий гармонічний осцилятор в координатному представленні.  
Мікрочастинка у прямокутній потенціальній ямі.  
Рух мікрочастинки в центральному полі.  
Мікрочастинка в кулонівському полі. Атом водню.  
Зміна фізичних величин з часом. Рівняння Гайзенберга. Інтеграли руху.  
Теорія збурень при відсутності виродження.  
Теорія збурень при наявності виродження. Вікове рівняння.  
Варіаційний метод.  
Оператор спіну. Рівняння Паулі. Властивості матриць Паулі.  
Квантові системи тотожних частинок. Принцип Паулі. Бозони і ферміони.

### **4. Термодинаміка і статистична фізика**

II начало термодинаміки для рівноважних процесів.  
III начало термодинаміки. Властивості термодинамічних систем при низьких температурах.  
Залежність термодинамічних величин від числа частинок та об'єму і її використання в термодинамічних обчисленнях.  
Метод термодинамічних потенціалів. Обчислення внутрішньої енергії та ентропії системи.  
Умови рівноваги в гетерогенній системі. Правило фаз Гіббса. Діаграми рівноваги.  
II закон термодинаміки для нерівноважних процесів. Ентропійне рівняння.  
Класифікація фазових переходів. Фазові переходи I і II роду.  
Умови стійкості стану однорідної системи. Термодинамічні нерівності.  
Функція розподілу системи. Рівняння Ліувілля. Особливості системи однакових частинок.  
Канонічний розподіл Гіббса і умови його застосування.  
Великий канонічний розподіл Гіббса і умови його застосування.  
Одночастинкова функція розподілу. Розподіли Максвелла, Больцманна Максвелла – Больцмана.  
Розподіли Гіббса у квантовому випадку. Термодинамічні величини квантового ідеального газу.  
Розподіли Бозе – Ейнштейна та Фермі – Дірака. Основний стан ідеальних бозе- та фермі-газів.  
Фермі-газ при низьких температурах.

### **5. Структура твердих тіл**

Будова кристалів. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індеси Міллера.  
Поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа – Брега.  
Дефекти в кристалах. Точкові дефекти та їх утворення.  
Типи хімічного зв'язку в кристалах. Сили зв'язку у твердому тілі.

## **6. Енергетичний спектр кристалів**

Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, ексітони, плазмони та ін.  
Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Густина станів. Статистика газу квазічастинок.  
Коливання кристалічної решітки. Акустична та оптична вітки коливань.  
Теплоємність решітки. Дебаївська частота.  
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. Ефективна маса. Електрони та дірки. Положення Фермі-рівня в невироджених напівпровідниках.  
Явища в контактах. Потенціальні бар'єри. Контактна різниця потенціалів. Бар'єр Шотки.

## **7. Електронні кінетичні властивості твердих тіл**

Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування.  
Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах.  
Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність.  
Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла.  
Напівпровідники. Електронна структура. Домішкові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Ефект Гана.  
Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв заряду.  
Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.

## **8. Оптичні та магнітні явища твердих тіл**

Класифікація та основні властивості магнетиків.  
Атомний магнетизм та магнітні властивості слабкомагнітних речовин.  
Діамагнетизм системи слабо взаємодіючих атомів і молекул. Діамагнетизм та парамагнетизм твердих тіл.  
Природа феромагнетизму. Домени. Магнітний гістерезис. Антиферомагнетизм і феримагнетизм.  
Комбінаційне розсіювання світла. Поглинання зв'язаними носіями.  
Міжзонні прямі та непрямі переходи.  
Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках.  
Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери. Різні типи ОКГ.

## **9. Діелектрики**

Поляризація та ефективне поле у діелектриках.  
Електрострикція і п'єзоелектрика.  
Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис.  
Фізичні властивості сегнетоелектриків в області фазових переходів.

## **10. Термодинаміка і фазові переходи**

Термодинамічна рівновага фаз. Рушійна сила фазових переходів. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах.  
Фазові переходи I і II роду.  
Діаграми рівноваги. Аналіз діаграм стану з евтектичним, перитектичним, монотектичним, синтектичним та метатектичним перетвореннями.  
Кінетика фазових перетворень. Кристалізація. Гомогенне та гетерогенне утворення центрів кристалізації. Механізми росту кристалів.



### **11. Надпровідність**

Основні властивості надпровідників. Надпровідники I і II роду. Високотемпературна надпровідність.

### **12. Експериментальні методи фізики твердого тіла**

Рентгенографія – методи досліджень ідеальної та реальної структури.

Електроннографія та електронна мікроскопія.

Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок.

Оптичні методи досліджень кристалів.

3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т. 1, 2.
4. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир, 1967.
5. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М.; Наука, 1967.
6. Физика сегнетоэлектриков. Современный взгляд. Под ред. К.М. Рабе, Ч.Г. Анна, Ж.-М. Трискона. Пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 440 с.

#### **9. Диелектрики**

1. У. Уэрт, Р. Томсон, Физика твердого тела. М.; Мир, 1969.
2. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. – М.: Мир. – 1967.

#### **10. Термодинаміка і фазові переходи**

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т. 1, 2.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. Статистическая физика. М.; Наука, 1976.

#### **11. Надпровідність**

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т. 1, 2.
2. А. Роуз-Инс, Е. Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.; Мир, 1972.

#### **12. Експериментальні методи фізики твердого тіла**

- Я.С. Уманский та інші. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия // Металлургия: Москва – 1982.