

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА  
ім. І.М. ФРАНЦЕВИЧА

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Директор  
чл.-кор. НАН України



Геннадій БАГЛЮК

**ПРОГРАМА**  
**вступного іспиту до аспірантури**  
**зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали**

**Рівень вищої освіти:** третій (освітньо-науковий)

**Галузь знань:** Е Природничі науки, математика та статистика

**Освітньо-наукова програма:** Прикладна фізика та наноматеріали

**СХВАЛЕНО:**

Вченою радою Інституту  
протокол № 5 від 01.04.2025 р.

## **ЗМІСТ**

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....                              | 3  |
| 2. ПИТАННЯ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ВСТУПНЕ ВИПРОБУВАННЯ ..... | 5  |
| 3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....                        | 8  |
| 4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ.....                   | 9  |
| 5. ПРИКЛАД ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО БІЛЕТУ.....                  | 11 |

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Організація вступного іспиту до аспірантури здійснюється відповідно до Правил прийому до аспірантури для здобуття ступеня доктора філософії в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Ця Програма призначена для вступників на навчання для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю Е6 Прикладна фізика та наноматеріали (освітньо-наукова програма «Прикладна фізика та наноматеріали»).

Метою Програми є надання вступникам інформації щодо змісту навчального матеріалу, перевірка знань з якого відбувається під час вступного іспиту для вступу на навчання для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю Е6 Прикладна фізика та наноматеріали (освітньо-наукова програма «Прикладна фізика та наноматеріали»). Вступник повинен продемонструвати фундаментальні і професійно-орієнтовані уміння та знання щодо узагальненого об'єкта праці і здатність вирішувати типові професійні завдання, передбачені для відповідного рівня.

Вступний іспит для вступу на навчання для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю Е6 Прикладна фізика та наноматеріали (освітньо-наукова програма «Прикладна фізика та наноматеріали») складається з двох частин: письмової відповіді на три питання та співбесіди для уточнення змісту письмової відповіді. Екзаменаційний білет містить 3 питання.

Вступникам, які вступають до аспірантури з іншої галузі знань або спеціальності, ніж та, яка зазначена в їх дипломі магістра (спеціаліста), за рішенням приймальної комісії Інституту може бути призначене додаткове вступне випробування.

Додаткове вступне випробування передує вступним іспитам зі спеціальності. Оцінювання додаткового вступного випробування відбувається за двобальною шкалою: «зараховано» або «не зараховано». У тому випадку, коли за додаткове вступне випробування вступник отримав оцінку «не зараховано», він не допускається до наступного вступного іспиту і позбавляється права брати участь у конкурсі.

Зміст навчального матеріалу, перевірка знань з якого відбувається під час фахового вступного випробування, наведений у розділі 2 «Питання, що виносяться на вступне випробування» цієї Програми. Для підготовки до випробування рекомендовано використовувати літературу, наведену у розділі 3 «Рекомендована література».

Тривалість випробування – 90 хвилин (для відповіді на кожне з 3 питань надається по 30 хвилин). Інформація щодо методики оцінювання наведена у розділі «Рейтингова система оцінювання». Приклад білету наведено у розділі 5 «Приклад екзаменаційного білету».

Виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали (освітньо-наукова програма «Прикладна фізика та наноматеріали») передбачає необхідність неухильного дотримання норм та правил академічної доброчесності відповідно до Положення про академічну доброчесність в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук

України. За порушення зазначених норм та правил вступники в аспірантуру притягаються до відповідальності згідно з вимогами чинного законодавства.

## **2. ПИТАННЯ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ВСТУПНЕ ВИПРОБУВАННЯ**

### **2.1. СТРУКТУРА ТВЕРДИХ ТІЛ**

Ідеальний кристал. Кристалічна ґратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка, комірка Вігнера-Зейтца.

Операції симетрії кристалічних структур. Трансляція, точкові операції симетрії, точкова група симетрії.

Класифікація ґраток Браве та кристалічних структур. Сингонії.

Індекси Міллера. Положення та позначення площин, напрямків та вузлів елементарної ґратки в кристалі.

Відбиття рентгенівських променів від атомних площин. Закон Брегга.

Обернена ґратка. Об'єм елементарної комірки. Перша зона Бріллюена.

Методи дослідження кристалічних структур. Використання електронів, нейтронів, рентгенівських променів для дослідження кристалів. Метод Лауе, метод обертання кристала, метод коливань, метод порошку.

### **2.2. ДИНАМІКА КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ**

Типи зв'язку в кристалах. Метали, іонні кристали, ковалентні кристали, молекулярні кристали. Класична теорія гармонічних коливань. Теплоємність класичного кристала. Закон Дюлонга–Пті. Пружні властивості кристалів.

Фонони та коливання ґратки. Спектр фононів. Теплоємність кристалів при різних температурах. Моделі Ейнштейна та Дебая. Температура Дебая. Фактор Дебая-Уоллера.

Фонони в металах. Закон дисперсії фононів. Експериментальне визначення закону дисперсії.

Ангармонічні ефекти. Стала Грюнайзена. Теплопровідність ґратки.

Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель. Наближення сильного та слабого зв'язку. Зонна модель та типи хімічного зв'язку у твердих тілах. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність. Поверхня Фермі, її приклади у різних кристалічних структурах. Методи дослідження.

Електронний спектр та густина станів електронів у квантуючому магнітному полі. Ефект де Гааза-ван Альфена.

### **2.3. ДЕЯКІ ПИТАННЯ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ**

Основні питання квантової механіки. Хвильова функція вільної частинки. Принцип невизначеності Гейзенберга. Рівняння Шредінгера і його фізичне розуміння. Розв'язок рівняння Шредінгера в найпростіших випадках – прямокутна потенціальна яма, гармонічний осцилятор і проходження частинки через потенціальний бар'єр. Спін електрона. Принцип Паулі.

### **2.4. ЕЛЕКТРОННА ТЕОРІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ**

Класична електронна теорія. Закон Відемана–Франца. Статистика Максвелла-Больцмана і Фермі–Дірака. Енергія, теплоємність і магнетизм електронного газу.

Кінетичне рівняння Больцмана. Електро- і теплопровідність газу вільних електронів. Час релаксації і довжина вільного пробігу електронів.

Рух електрона в періодичному полі. Опис енергетичного стану кристалу за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Теорема Блоха. Густина станів. Ефективна маса електронів. Електрони і дірки. Зони Бріллюена. Щільність електронних станів. Поверхня Фермі і експериментальні методи визначення її форми. Діелектрики, напівпровідники, метали.

Надпровідність. Основні властивості надпровідників. Надпровідники I та II роду. Ефект Мейснера. Вихрові структури. Куперівські пари. Тунельний ефект та ефект Джозефсона.

Основні експериментальні методи дослідження електронної структури твердих тіл. Гальваноманітні явища. Термоелектричні та термомагнітні ефекти. Рентгенівська та електронна спектроскопія. Електронний парамагнітний резонанс.

## **2.5. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ ТВЕРДИХ ТІЛ**

Точкові дефекти – атоми заміщення, атоми проникнення, вакансії. Вплив точкових дефектів на фізичні властивості твердих тіл. Відпал дефектів.

Дислокації, двійникові границі, дефекти пакування. Вектор Бюргерса. Пружні властивості дислокацій. Утворення і розмноження дислокацій. Рух дислокацій в кристалах.

Експериментальні методи вивчення недосконалої кристалічної будови. Метод ямок травлення та оптична мікроскопія. Рентгенівська дифракційна топографія. Внутрішнє тертя в металах.

## **2.6. ТЕРМОДИНАМІКА ТА ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ**

Термодинамічні величини. Температура. Тиск. Робота і кількість тепла.

Рівновага фаз. Правило фаз Гіббса. Діаграми рівноваг.

Тверді розчини (типи та структура). Проміжні фази.

Фазові перетворення. Кристалізація. Впорядкування. Розпад твердих розчинів. Термодинаміка та кінетика перетворення (основні характеристики). Механізми перетворення.

Методи термодинамічного дослідження.

## **2.7. МІЦНІСТЬ І ПЛАСТИЧНІСТЬ ТВЕРДИХ ТІЛ**

Дислокаційна теорія межі текучості і її температурної залежності. Напруга Пайерсла-Набарро. Дислокаційні уявлення про деформаційне зміцнення і знеміцнення під час відпалу. Явище полігонізації і рекристалізації.

Високотемпературна міцність металів і сплавів.

Холодноламкість металів.

Вплив структурних факторів на механічні властивості. Дисперсійне зміцнення. Надпластичність металів і сплавів.

Вплив легуючих і домішкових елементів на міцнісні і пластичні властивості металів. Теоретична міцність металів.

Методи механічних випробувань матеріалів. Твердість, мікротвердість та нанотвердість.

## **2.8. ДИФУЗІЯ В МЕТАЛАХ І СПЛАВАХ**

Основні закони дифузії. Кінетика і механізм дифузії атомів в твердих тілах. Температурна залежність коефіцієнта дифузії. Самодифузія. Дифузія по границях зерен. Термодифузія і електроперенесення іонів в твердих тілах. Фактори, які впливають на швидкість дифузії.

Експериментальні методи визначення параметрів дифузії.

## **2.9. ОСНОВИ НАНОМАТЕРІАЛІВ**

Наноматеріали: метали, напівпровідники, вуглецеві наноструктури (графен, фулерен, нанотрубки) та нанокомпозити. Методи отримання 3D виробів з нанокристалічною структурою. Наноматеріали деформаційного походження. Розмірний ефект. Особливості структури та властивостей. Нанотехнології. Потенційні застосування наноматеріалів.

### 3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла. [в 2-х томах] / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.- Київ: Політехніка, 2017. – 416 с.
2. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзєва, В.І. Ільченко, О.С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.:НТУУ «КПІ», 2011: Частина 1. Перспективні напрями матеріалознавства – 302 с.; Частина 2. Діелектрики – 392 с.; Частина 3. Провідники і магнетики -372 с.; Частина 4. Напівпровідники. –336 с.
3. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр; Київський університет, 2007. – Т. 1. – 338 с.
4. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 572 с.
5. Подопригора Н.В., Фізика твердого тіла: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів Н.В Подопригора., М.І. Садовий, О.М. Трифонова. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2013. –413 с.
6. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч.посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
7. Холявко В. В, Владимирський А. І. – Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів. Лабораторний практикум. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.
8. Скороход В.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах / В.В. Скороход, І.В. Уварова, А.В. Рагуля. – Академперіодика. – 2001. –150 с.
9. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко: Навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ».- 2012. – 300 с.
10. Волков С.В. Нанохімія, наносистеми, наноматеріали / С.В. Волков, Є.П. Ковальчук, В.М. Огієнко, О.В. Решетняк. – Київ: Наукова думка. –2008. – 424 с.
11. Ashby Michael, Shercliff Hugh, Cebon David *Materials Engineering, Science, Processing and Design*. Elsevier. Ltd., Third edition, London. 2014.



#### 4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

При вступі на третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти для здобуття наукового ступеня доктор філософії вступний іспит складається з двох частин: письмової відповіді на три питання та співбесіди для уточнення змісту письмової відповіді. Екзаменаційний білет містить три питання. Відповідь на перше та друге питання білета оцінюється за 30-бальною системою (табл. 1), а на третє питання оцінюється за 40-бальною шкалою (табл. 2). Оцінка, яку вступник отримує за відповідь на кожне питання, визначається за системою балів, поданою нижче. Критерії оцінювання наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Критерії оцінювання першого та другого питання білета

| Бали  | Характеристика відповіді                                                                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30    | Повна правильна відповідь на запитання з відповідними поясненнями.                          |
| 25–29 | Відповідь правильна, але не зовсім повна.                                                   |
| 19–24 | Відповідь в цілому правильна, але містить окремі неточності.                                |
| 12–18 | Відповідь в цілому правильна, але містить неточності або відповідь неповна.                 |
| 6–11  | Відповідь в цілому правильна, але містить суттєві неточності або відповідь суттєво неповна. |
| 1–5   | Відповідь містить суттєві помилки.                                                          |
| 0     | Відповідь на питання відсутня.                                                              |

Таблиця 2. Критерії оцінювання третього питання білета

| Бали  | Характеристика відповіді                                                                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 40    | Повна правильна відповідь на запитання з відповідними поясненнями.                          |
| 35–39 | Відповідь правильна, але не зовсім повна.                                                   |
| 28–34 | Відповідь правильна, але неповна (відсутня одна позиція відповіді).                         |
| 21–27 | Відповідь в цілому правильна, але містить окремі неточності.                                |
| 13–20 | Відповідь в цілому правильна, але містить неточності або відповідь неповна.                 |
| 6–12  | Відповідь в цілому правильна, але містить суттєві неточності або відповідь суттєво неповна. |
| 1–5   | Відповідь містить суттєві помилки.                                                          |
| 0     | Відповідь на питання відсутня.                                                              |

Початковий рейтинг абітурієнта за екзамен розраховується виходячи із 100-бальної шкали:  $30+30+40=100$  балів. При визначенні загального рейтингу вступника початковий рейтинг за екзамен перераховується у 200-бальну шкалу за табл. 3.

Таблиця 3. Таблиця відповідності оцінок рейтингової системи оцінювання (PCO) (60...100 балів) оцінкам 200-бальної шкали (100..200 балів)

| Шкала<br>PCO | Шкала<br>100...200 | Шкала<br>PCO | Шкала<br>100...200 | Шкала<br>PCO | Шкала<br>100...200 | Шкала<br>PCO | Шкала<br>100...200 |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| 60           | 100                | 70           | 140                | 80           | 160                | 90           | 180                |
| 61           | 105                | 71           | 142                | 81           | 162                | 91           | 182                |
| 62           | 110                | 72           | 144                | 82           | 164                | 92           | 184                |
| 63           | 115                | 73           | 146                | 83           | 166                | 93           | 186                |
| 64           | 120                | 74           | 148                | 84           | 168                | 94           | 188                |
| 65           | 125                | 75           | 150                | 85           | 170                | 95           | 190                |
| 66           | 128                | 76           | 152                | 86           | 172                | 96           | 192                |
| 67           | 131                | 77           | 154                | 87           | 174                | 97           | 194                |
| 68           | 134                | 78           | 156                | 88           | 176                | 98           | 196                |
| 69           | 137                | 79           | 158                | 89           | 178                | 99           | 198                |
|              |                    |              |                    |              |                    | 100          | 200                |

Вступне випробування проводять лише за затвердженим комплектом екзаменаційних білетів. Відмова вступника від написання вступного випробування за екзаменаційним білетом атестується як незадовільна відповідь.

Під час вступного випробування дозволяється користуватися ручкою та листами вступного випробування. При виявленні факту використання недозволених матеріалів екзаменаційна комісія має право припинити випробування і виставити незадовільну оцінку.

Перескладання фахового вступного випробування не дозволяється.

Вступник може подати апеляцію щодо результату фахового вступного випробування лише в день оголошення результатів цього випробування.

## 5. ПРИКЛАД ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО БІЛЕТУ

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ім. І. М. Францевича

Освітній ступінь: доктор філософії

Спеціальність: Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

Екзаменаційний білет № \_\_\_\_\_

1. Кристалічна ґратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка, комірка Вігнера-Зейтца.
2. Теплоємність кристалів при різних температурах. Моделі Ейнштейна та Дебая.
3. Дифузія по границях зерен. Термодифузія і електроперенесення іонів в твердих тілах. Фактори, які впливають на швидкість дифузії.

Затверджено:

Гарант освітньої програми

 Арсеній ЄВТУШЕНКО