

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ПРОГРАМА

**вступного іспиту при прийомі на навчання
для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності
104 Фізика та астрономія**

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ця програма складена відповідно до програми підготовки за напрямом 104 «Фізика та астрономія» освітньо-наукові програми: «Фізика», та призначена для проведення вступного випробування (екзамену) під час прийому на навчання для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» освітньо-наукові програми: «Фізика».

Фахове вступне випробування здійснюється шляхом оцінки рівня професійних знань, умінь та навичок вступників та включає зміст навчальних дисциплін професійно-практичної та підготовки з фізики:

- 1) елементи теоретичної фізики;
- 2) фізика конденсованого стану;
- 3) основи фізичної електроніки;
- 4) наноматеріали і нанотехнології;
- 5) іонно-променеві методи дослідження та оброблення матеріалів.

Екзамен проводиться у вигляді письмового тестування. На проведення екзамену відводиться 2 академічні години (80 хвилин).

2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН

1 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ

1.2 Квантова механіка

1. Предмет і методи квантової механіки. Огляд експериментальних і теоретичних передумов виникнення квантової механіки. Необхідність ймовірнісно-статистичної інтерпретації хвиль де Бройля. Хвильова функція. Густина ймовірності. Умова нормування хвильової функції. Стандартні умови, яким повинна задовольняти хвильова функція.
2. Елементарна теорія лінійних операторів. Визначення оператора. Операції над операторами. Комутатор, антикомутатор. Ядро оператора. Власні функції і власні значення оператора. Виродження. Лінійні, комплексно спряжені, обернені, транспоновані, ермітово спряжені та самоспряжені (ермітові) оператори. Властивості операторів.
3. Оператори фізичних величин. Повне рівняння Шредінгера. Оператори фізичних величин у квантовій механіці. Повне (часове) рівняння Шредінгера. Самосполучність оператора Гамільтона. Середні значення фізичних величин у квантовій механіці. Диференціювання оператора за часом. Інтеграли руху в квантовій механіці.
4. Властивості простору і часу та закони збереження. Принцип відповідності. Зв'язок законів збереження з інваріантністю оператора Гамільтона відносно перетворень симетрії. Зв'язок законів збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії з властивостями простору та часу. Парність. Закон збереження парності. Рівняння руху в квантовій механіці.
5. Хвильовий пакет. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Спроба моделювання частинки за допомогою хвильового пакету. Виведення співвідношень невизначеностей Гейзенберга за допомогою хвильового пакету. Виведення співвідношень невизначеностей Гейзенберга за допомогою операторного методу. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга та експеримент.
6. Розв'язання найпростіших одновимірних задач квантової механіки. Стаціонарні стани. Умова стаціонарності. Рівняння Шредінгера для стаціонарного стану. Розв'язання рівняння Шредінгера для вільної частинки. Нормування хвильових функцій неперервного спектру. Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками. Густина потоку ймовірності. Тунельний ефект.

1.2 Статистична фізика

7. Фазовий простір. Функція розподілу. Поняття фазового простору. Визначення середніх значень фізичних величин. Функція розподілу системи за мікростанами. Середні за часом та ансамблем. Ергодична гіпотеза. Теорема Ліувілля. Вид функції розподілу.

8. Розподіли Гіббса для квантових та класичних систем. Визначення, властивості дельта-функції Дірака та її застосування до опису стану систем частинок. Мікроканонічний розподіл Гіббса. Канонічний розподіл Гіббса. Статистична сума та статистичний інтеграл. Макроканонічний розподіл Гіббса. Зв'язок між статистичною сумою та статистичним інтегралом.
9. Розподіли Максвелла та Больцмана. Узагальнений розподіл Максвелла-Больцмана. Розподіл Больцмана для частинок у потенціальному полі. Розподіл Максвелла за абсолютним значенням швидкостей молекул.
10. Статистичне обґрунтування законів термодинаміки. Феноменологічна та статистична термодинаміка. Внутрішня енергія макроскопічної системи. Зовнішні параметри. Зміна внутрішньої енергії системи для довільного квазістатичного процесу. Робота і кількість теплоти з погляду статистичної фізики. Перший закон термодинаміки. Ентропія з погляду статистичної фізики. Статистичний зміст ентропії. Ентропія нерівноважних систем. Теорема Гіббса. Закон зростання ентропії. Другий та третій закони термодинаміки.
11. Термодинамічні потенціали. Фазовий перехід рідина-пар. Метод термодинамічних потенціалів. Термодинамічні потенціали (внутрішня енергія, вільна енергія, хімічний потенціал). Обчислення фізичних параметрів системи (тиску, об'єму, температури, ентропії) за допомогою термодинамічних потенціалів.
12. Теорія флуктуацій. Флуктуації. Середній квадрат флуктуації. Зв'язок між флуктуаціями підсистеми і флуктуаціями системи. Розподіл Гауса для флуктуацій. Флуктуації об'єму, числа частинок у фіксованому об'ємі, густини. Флуктуації внутрішньої енергії, температури.

1.3 Теорія пружності

13. Основні рівняння теорії пружності. Тензор деформації. Тензор напружень. Термодинаміка деформування.
14. Закон Гука. Однорідні деформації. Деформації зі зміною температури. Рівняння рівноваги ізотропних тіл.
15. Пружні хвилі. Пружні хвилі в ізотропному середовищі. Пружні хвилі в кристалах. Ангармонічні коливання.
16. Дислокації. Пружні деформації при наявності дислокацій. Дія поля напружень на дислокацію.
17. Теплопровідність і в'язкість твердих тіл. Рівняння теплопровідності у твердих тілах. Теплопровідність кристалів. В'язкість твердих тіл. Поглинання звуку у твердих тілах. Дуже в'язкі рідини.

2 ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ

2.1 Структура конденсованих систем

18. Предмет, основні теоретичні методи і проблеми фізики конденсованого стану. Класифікація конденсованих середовищ: кристалічні та аморфні тіла, рідини, довгоперіодичні структури, квазікристали, рідкі кристали, полімери. Особливості дифракції проникаючого випромінювання через кристал.
19. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Типи кристалічних сингоній та решітки Браве. Індеси Міллера.
20. Закон Бреггів. Обернена решітка. Зони Бріллюена.
21. Дефекти в кристалах. Точкові дефекти їх утворення та дифузія. Вакансії. Комбінації атомних дефектів.
22. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та сковзання.
23. Типи хімічного зв'язку в кристалах. Міжатомна взаємодія та сили зв'язку у твердому тілі.
24. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних та молекулярних кристалів.

2.2 Енергетичний спектр кристалів

25. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, ексітони, плазмони та ін.
26. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Зонна теорія кристалів.
27. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі.
28. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.
29. Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель.
30. Коливання кристалічної решітки - фонони. Акустична та оптична гілки коливань.
31. Теплоємність решітки. Експериментальна температурна залежність теплоємності кристалів. Моделі Ейнштейна та Дебая для теплоємності кристалів.

2.3 Магнітні явища в твердих тілах

32. Атомний магнетизм. Класифікація та основні властивості магнетиків. Діамагнетизм та парамагнетизм твердих тіл. Спінове скло.
33. Природа феромагнетизму. Домени.
34. Антиферомагнетизм і феромагнетизм.
35. Закон Кюрі. Феромагнетизм. Молекулярне поле Вейса. Обмінна взаємодія. Феромагнітні домени.
36. Енергія анізотропії. Доменні стінки. Антиферомагнетики.

2.4 Термодинаміка і фазові переходи

- 37.Рівновага фаз. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах. Формула Томсона. Правило фаз. Фазові переходи I і II родів.
- 38.Діаграми рівноваги. Аналіз діаграм стану з евтектичним, перитектичним, монотектичним, синтектичним та метатектичним перетвореннями, а також діаграм типу "Сигара".
- 39.Діаграми стану з евтектоїдним, перитектоїдним та монотектоїдним перетвореннями.
- 40.Дифузія в металах та сплавах. Атомна теорія дифузії.

2.5 Фізика напівпровідників

- 41.Загальна характеристика і класифікація напівпровідникових матеріалів електронної техніки. Власна електронна та діркова електропровідність. Рухливість носіїв заряду.
- 42.Потенціальні бар'єри. Квазідвовірні системи в напівпровідниках: гетероструктури, МОН-структури (метал-окисел-напівпровідник), МДН-структури (метал-діелектрик-напівпровідник).
- 43.Електро- та теплопровідність. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах.
- 44.Електрон-фононні зіткнення. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність.
- 45.Класичний і квантовий ефект Холла в напівпровідниках.
- 46.Механізми поглинання фотонів. Поглинання вільними носіями та кристалічною решіткою. Багатофононні процеси.
- 47.Люмінесценція кристалів. Комбінаційне розсіювання світла в кристалах.

3 ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

- 48.Електричне поле та його характеристики. Електричне поле у вакуумі та діелектриках. Провідники в електричному полі.
- 49.Магнітне поле та його характеристики. Магнітне поле у вакуумі та речовинах.
- 50.Рух заряджених частинок в однорідному електричному полі, в однорідному магнітному полі. Обмін енергією між окремою частинкою та полем.
- 51.Система фундаментальних рівнянь Максвелла в інтегральній і диференціальній формі як узагальнення експериментальних фактів та їх фізичний зміст. Матеріальні рівняння.
- 52.Електромагнітні хвилі у вакуумі та середовищі як наслідок рівнянь Максвелла.
- 53.Закон ступеня $3/2$ для струму вакуумного діода, в якому враховано просторовий заряд. Улаштування вакуумного діода, розподіл потенціалу, вольтамперна характеристика. Закон ступеня $3/2$ для анодного струму в вакуумному тріоді. Принцип підсилення та вольтамперні характеристики тріода.

54. Природа потенціального бар'єру на межі метал— вакуум, робота виходу та засоби її зменшення. Контактна різниця потенціалів.
55. Термоелектронна емісія. Густина термоемісійного струму. Автоелектронна емісія. Вторинна електронна емісія. Фотоелектронна емісія.
56. Магнітні лінзи. Типи лінз. Механізм фокусування в довгій та короткій магнітних лінзах.
57. Електростатичні лінзи. Типи лінз. Механізм фокусування в електростатичній лінзі.
58. Клістрон. Групування електронів. Типи клістронів та їх характеристики.
59. Лампа біжучої та зворотної хвилі. Групування електронів. Принципи роботи та їх характеристики.
60. Магнетрон. Принципи роботи та його характеристики.
61. Генератори дифракційного випромінювання. Принципи роботи та їх характеристики.
62. Положення, на яких базується квантова електроніка. Спонтанне та вимушене випромінювання. Коефіцієнти Ейнштейна. Інверсійне заселення енергетичних рівнів невідроджених та відроджених систем. Коефіцієнт підсилення, закон Бугера-Ламберта-Берра.
63. Принципи роботи оптичних квантових генераторів. Принцип роботи рубінового, неодимового та гелій-неонового лазерів.
64. Лазери на вільних електронах. Принципи роботи. Типи лазерів на вільних електронах та їх характеристики.

4 НАНОМАТЕРІАЛИ І НАНОТЕХНОЛОГІЇ

4.1 Методи отримання і дослідження нанорозмірних структур

65. Порошкова металургія отримання наноматеріалів.
66. Тонкоплівкові технології: методи фізичного та хімічного осадження з парової фази.
67. Пучки заряджених частинок низьких і середніх енергій в нанотехнологіях.
68. Метод скануючої електронної мікроскопії.
69. Метод просвічувальної електронної мікроскопії.
70. Методи структурного і хімічного аналізу нанооб'єктів.

4.2 Фулерени, нанотрубки і нанодропи

71. Фулерени і матеріали на їх основі, методи їх отримання.
72. Кристалічна структура та властивості фулериту C₆₀.
73. Загальна характеристика вуглецевих нанотрубок та методи їх синтезу.
74. Уявлення про фотонні кристали, наномембрани і нанодропи.

4.3 Алмазоподібні та споріднені їм наноматеріали

75. Алмазоподібні матеріали на основі карбону.
76. Методи отримання алмазоподібних плівок.
77. Хімічний склад і кристалічна структура матеріалів, споріднених алмазоподібним.

4.4 Застосування наноматеріалів

- 78.Застосування наноматеріалів в електроніці та приладобудуванні.
- 79.Використання наноматеріалів в інформатиці.
- 80.Наноматеріали в машинобудуванні та автомобільній промисловості.
- 81.Застосування наноматеріалів у медицині.
- 82.Наноплівки і двовимірні нанокристали.

5 ІОННО-ПРОМЕНЕВІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Спектрометричні вимірювання

- 83.Спектрометрія заряджених частинок. Магнітні спектрометри.
- 84.Фізичні основи гама-спектрометрії (ефект Мессбауера). Принцип роботи гама-спектрометра.
- 85.Фізичні основи мас-спектрометрії. Мас-спектрометри, роздільна здатність, мас-спектри, мас-аналізатори.
- 86.Статичні та динамічні мас-спектрометри. Час-перелітний та радіочастотний мас-спектрометри.
- 87.Використання мас-спектрометрії для аналізу газів.

5.2 Основи якісного і кількісного мікроаналізу

- 88.Фізичні основи мас-спектрометрії вторинних іонів. Застосування методу вторинно-іонної мас-спектрометрії для аналізу елементного складу плівок та покриттів.
- 89.Основи якісного та кількісного рентгенівського мікроаналізу. Особливості мікроаналізу вільних плівок (фольг) та плівок (покриттів) на підкладці.
- 90. Фізичні основи оже-електронної спектроскопії.

5.3 Електронно-променеві і дифракційні методи

- 91.Формування зображення в просвічуючому електронному мікроскопі. Типи мікроскопічних контрастів (тіньовий, дифракційний, амплітудно-фазовий).
- 92.Принцип та режими роботи растрового електронного мікроскопа. Типи мікроскопічних контрастів.
- 93.Надвисоковольтний просвічуючий електронний мікроскоп.
- 94.Тунельний електронний мікроскоп.
- 95.Принцип роботи електроннографа. Уявлення про дифракцію швидких та повільних електронів.
- 96.Основи рентгенографічного аналізу.

3. СТРУКТУРА ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ

Екзаменаційні завдання вступного іспиту при прийомі на навчання для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» компонується з п'яти блоків тестових питань: елементи теоретичної фізики, фізика конденсованого стану, основи фізичної електроніки, наноматеріали і нанотехнології, іонно-променеві методи дослідження та оброблення матеріалів.

Екзаменаційне завдання містить 50 тестових питань. Кожне із тестових питань має чотири варіанта відповідей, серед яких лише один вірний. Варіанти відповідей визначаються латинськими літерами А, В, С та D.

Зразок частини екзаменаційного завдання вступного іспиту при прийомі на навчання для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» наведено у Додатку А, аркуш відповідей наведено у Додатку Б.

4. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДІ

Загальні вимоги.

Комісія оцінює письмові відповіді вступника на тестові завдання за 200 бальною шкалою. Оцінка за тестове питання – 4 бали. Вступники, які набрали менше 100 балів, отримують оцінку «незадовільно» і до подальшої участі у конкурсному відборі не допускаються. Вступники, які набрали 100 і більше балів, допускаються до участі у конкурсному відборі.

Для отримання позитивної оцінки із вступного випробування вступнику потрібно пройти мінімально-допустимий тестовий поріг на рівні 0,5 або 50% від загальної кількості тестових балів.

За кожну правильну відповідь на завдання нараховуються тестові бали, за невірну відповідь нараховується 0 балів. Одержані тестові бали за вступне випробування розраховуються за 200 бальною шкалою (з округленням до цілого, за правилами математичного округлення) за наступним алгоритмом:

$$O = O_{\min} + k \times (N - r \times T), \text{ де}$$

- O – оцінка із вступного випробування за шкалою 200 балів;
- O_{\min} – мінімальна оцінка із вступного випробування за шкалою 200 балів, при якій вступник допускається до участі у конкурсному відборі, **приймається $O_{\min} = 100$** ;
- k – коефіцієнт переведення тестових балів в шкалу 100-200 балів, при цьому:

$$k = 100 / (T \times (1 - r));$$

- r – мінімально-допустимий тестовий поріг з точністю до 0,01, який встановлюється в межах від 0 до 1, але не менше 0,10, **приймається $r = 0,5$** ;

- T – загальна кількість тестових балів, яку вступник може отримати під час вступного випробування, **максимальне T = 200**;
- N – кількість тестових балів, яку вступник отримав під час вступного випробування.

За умови якщо кількість тестових балів, яку вступник отримав під час вступного випробування (N) становить «0», то вступник отримує оцінку «незадовільно» і до подальшої участі у конкурсному відборі не допускається.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вакарчук І.О.. Квантова механіка: Підручник. – 2-ге вид., доп. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2004. – 784 с.
2. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Т2. Квантова механіка. Термодинаміка і статистична фізика. – К. Вища школа, 1993. – 415 с.
3. Курс фізики [Текст] : навч. посіб. / І.Р. Зачек, І.М. Кравчук, Б.М. Романишин та ін.; За ред. І.С.Лопатинського. — Львів : Бескид Біт, 2002. — 376 с.
4. Курс фізики [Текст] : навч. посіб. У 2-х кн. Кн.1 : Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм / Г. Ф. Бушок, В. В. Левандовський, Г. Ф. Півень. — 2-ге вид. — К. : Либідь, 2001. — 448 с.
5. Кармазін, В.В. Курс загальної фізики [Текст] : навч. посіб. / В. В. Кармазін, В. В. Семенець. — К. : Кондор, 2009.
6. Лега, Ю.Г. Курс фізики. Механіка [Текст] : навч. посіб. / Ю. Г. Лега, А. І. Садовий. — К. : Наук. думка, 2010. — 352 с.
7. Кучерук, І.М. Загальний курс фізики [Текст] : навч. посіб. У 3-х т. Т.1 : Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик ; Ред. І.М. Кучерук. — 2-е вид., випр. — К. : Техніка, 2006. — 532 с.
8. Кучерук, І.М. Загальний курс фізики [Текст] : навч. посіб. У 3-х т. Т.2 : Електрика і магнетизм / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик ; Ред. І.М. Кучерук. — 2-е вид., випр. — К. : Техніка, 2006. — 452 с.
9. Кучерук, І.М. Загальний курс фізики [Текст] : навч. посіб. У 3-х т. Т.3 : Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. — 2-е вид., випр. — К. : Техніка, 2006. — 518 с.
10. Проценко І.Ю., Чорноус А.М., Проценко С.І. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів: навч. посіб. з грифом МОНУ. – Суми: СумДУ, 2007.– 198 с.
11. Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Береснев В.М., Воеводін В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболь О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О. Наноматеріали і нанотехнології: навч. посібник. – Харків: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2014. – 316 с.

12.Проценко І.Ю., Шумакова Н.І. Основи матеріалознавства наноелектроніки: навч. посібник. – Суми: СумДУ, 2004. – 108 с.

13.О. В. Хоменко, О. А. Гончаров, Моделювання нелінійних процесів та систем: навч. посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2023. – 197 с.

РОЗРОБЛЕНО:

Схвалено на засіданні приймальної комісії.

Протокол № 14 від 04.04.23р.

Відповідальний секретар
приймальної комісії



І.О. Рой

Голова фахової
атестаційної комісії



О.О. Дрозденко

Додаток Б

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ШИФР _____

АРКУШ ВІДПОВІДІ

вступного іспиту при прийомі на навчання
для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності
104 Фізика та астрономія

Варіант №

№ питання	A	B	C	D	№ питання	A	B	C	D	№ питання	A	B	C	D
1.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

№ питання	A	B	C	№ питання	A	B	C	№ питання	A	B	C
X.X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

УВАГА!!! Завдання мають кілька варіантів відповідей, серед яких лише один правильний. Виберіть правильний, на Вашу думку, варіант та позначте його, як показано на зразку. Кількість виправлень впливає на загальну оцінку роботи!

A	B	C	D
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Кількість правильних відповідей – _____;

Кількість балів за них – _____;

Кількість виправлень – _____;

Знято балів за виправлення – _____;

Всього балів

з врахуванням знятих

_____ (число прописом)

Голова комісії

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

Члени комісії

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова приймальної комісії

_____ 2023 р.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНЕ ЗАВДАННЯ

вступного іспиту при прийомі на навчання
для здобуття ступеня «доктора філософії» зі спеціальності
104 Фізика та астрономія

Варіант №

(Завдання мають лише 1 правильну відповідь)		
1	Оператори \hat{A} та \hat{B} називають комутативними, коли виконується співвідношення:	А) $\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = 1$; В) $\hat{A}\hat{A} - \hat{B}\hat{B} = 1$; С) $\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = 0$; D) $\hat{A}\hat{A} - \hat{B}\hat{B} = 0$.
...
10	Функцією розподілу Максвелла є:	А) $\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$; В) $\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) \cdot 4\pi v^2$; С) $\exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$; D) вірна відповідь відсутня.
...
50

Голова предметної комісії



О.О. Дрозденко