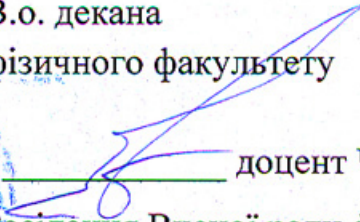


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. декана
фізичного факультету




доцент Чорнодольський Я.М.
Засідання Вченої ради фізичного факультету
від 18.09.2023 р., протокол №7

ПРОГРАМА
АТЕСТАЦІЙНОГО ЕКЗАМЕНУ
з прикладної фізики та наноматеріалів
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали
ОПШ «Комп'ютерні технології в прикладній фізиці»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

У сучасній прикладній фізиці важливо вміти поєднувати теоретичні підходи з експериментальними дослідженнями. Використання комп'ютерних технологій дозволяє оптимізувати та підвищувати ефективність експериментів, а також проводити моделювання перед реальними експериментами. Стрімкий розвиток фізики та комп'ютерних технологій ставить високі вимоги до випускників спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» і вимагає врахування того, що комп'ютерні технології в сучасній науці та техніці стають все більш важливим інструментом для розв'язання складних завдань. Тому врахування у даній освітньо-професійній програмі сучасних тенденцій ринку праці дозволить випускникам одночасно добре орієнтуватися як у фізиці так і в комп'ютерних технологіях, включаючи програмування та автоматизоване вимірювання фізичних величин.

На фізичному факультеті проводиться атестаційний екзамен з прикладної фізики та наноматеріалів. Мета проведення іспиту – визначити рівень підготовки випускника. Вимоги атестаційного екзамену щодо обсягу знань і умінь студентів із навчальних дисциплін передбачає оцінювання результатів навчання, визначених стандартом вищої освіти для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» та освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології у прикладній фізиці». Програмні питання мають важливе значення для визначення рівня теоретичної і практичної підготовки майбутнього спеціаліста.

Програма атестаційного екзамену передбачає узагальнення й систематизацію одержаних випускниками знань. Питання програми сформульовані так, що сприяють глибокому осмисленню наукового і практичного значення основних тем з фізики та комп'ютерних технологій для успішної майбутньої професійної діяльності випускника.

У результаті вивчення дисциплін з фізики, математики, комп'ютерних технологій та проходження практик випускники повинні знати:

- теоретичні і практичні основи фізики;
 - сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики;
 - засади програмування та комп'ютерного моделювання;
- та вміти:
- застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики;
 - застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій;
 - класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики;
 - розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.

Складання атестаційного екзамену сприяє формуванню

Загальних компетентностей (ЗК):

ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 9. Здатність працювати автономно.

Спеціальних (фахових) компетентностей (СК):

СК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

СК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

СК 11. Здатність моделювати фізичні системи та процеси.

Успішне складання атестаційного екзамену сприятиме досягненню бакалаврами

програмних результатів навчання (ПРН):

ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

ПРН 02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.

ПРН 04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

ПРН 08. Вільно спілкуватися з професійних питань державною та англійською мовами усно та письмово.

ПРН 09. Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію.

ПРН 12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.

Екзаменаційні білети складаються з трьох питань:

- (1) перше питання передбачає розкриття змісту питань загальної та теоретичної фізики;
- (2) друге питання присвячено ключовим аспектам прикладної фізики;
- (3) третє питання передбачає виявлення знань, вмінь і навичок студентів застосовувати набуті знання і вміння в процесі застосування комп'ютерних технологій у прикладній фізиці, застосовуючи відповідні методи, способи та прийоми.

Такий підхід у формуванні білетів дозволить випускникам поєднати теоретичний матеріал загальної і прикладної фізики з комп'ютерними технологіями.

Наприклад:

Екзаменаційний білет № __.

1. Умови виникнення коливальних. Гармонічний осцилятор. Загасаючі коливання осцилятора. Вимушені коливання осцилятора.
2. Симетрія кристалів. Кристалографічні системи. Кристалічна ґратка. Реальні кристали.
3. Усереднення результатів фізичного експерименту, які отримані з похибками. Апроксимування експериментальних результатів методом найменших квадратів.

Екзаменаційний білет № __.

1. Явище Джоуля-Томсона. Фізичний зміст явища. Диференціальний та інтегральний ефект Джоуля-Томсона.
2. Оптрони. Переваги оптрона як елемента зв'язку. Коефіцієнт передачі за струмом. Оптопарі. Використання оптронів.
3. Методи та принципи моделювання атомних систем різних масштабів. Особливості моделювання низькорозмірних і наносистем.

КРИТЕРІЇ ТА НОРМИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

Оцінювання відповідей студентів здійснюється з врахуванням фундаментальності та індивідуальності підходів до висвітлених питань.

Відповідь має бути чіткою, логічною і правильно побудованою. Виклад теоретичного матеріалу студент повинен підкріпити відповідними прикладами, які б свідчили про глибоке засвоєння і розуміння ним матеріалу.

Оцінка **«відмінно»** (90-100 балів) – високий рівень компетентності – виставляється за відповідь студента, який виявив всебічні, ґрунтовні і глибокі знання навчального матеріалу, вміння формулювати висновки, проявив здібності у розумінні і використанні навчального матеріалу в практичному застосуванні.

Оцінка **«дуже добре»** (81-89 балів) – достатній рівень компетентності – ставиться, якщо студент виявив ґрунтовні знання навчального матеріалу, але показує неповну самостійність в аргументації викладених ним теоретичних положень, наявне незначне порушення послідовності викладу.

Оцінка **«добре»** (71-80 балів) – достатній рівень компетентності – ставиться, якщо студент демонструє достатні знання навчального матеріалу, загалом аргументовані відповіді містять певні неточності; у відповіді помітний репродуктивний характер, неточне використання наукових термінів.

Оцінка **«задовільно»** (61-70 балів) – середній рівень компетентності – виставляється за відповідь студента, який виявив знання основного навчального матеріалу в обсязі, необхідному для майбутньої професійної діяльності, разом з тим допускає теоретичні помилки, недостатньо розкриває суть понять, проявляє труднощі у наведенні прикладів, наявне порушення послідовності викладу.

Оцінка **«задовільно»** (51-60 балів) – рівень компетентності відповідає мінімальним критеріям – виставляється за відповідь студента, який демонструє посередні знання навчального матеріалу, не розрізняє основну та другорядну інформацію; відповідь недостатньо аргументована, присутня непослідовність викладу, пропуск фрагментів, важливих для розуміння думки, поверховість у розкритті теми.

Оцінка **«незадовільно»** (менше 51 балу) виставляється за відповідь студента, який виявив серйозні прогалини у знаннях навчального матеріалу, засвоїв менше половини теоретичного матеріалу, демонструє відсутність висновків, нерозуміння термінології.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою
			Екзаменаційна оцінка
90 – 100	A	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>
71-80	C	<i>Добре</i>	
61-70	D	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>
51-60	E	<i>Достатньо</i>	

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ
АТЕСТАЦІЙНОГО ЕКЗАМЕНУ
СПЕЦІАЛЬНОСТІ 105 ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ**

1. ЗАГАЛЬНА І ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА

1. Системи відліку. Кінематичний опис руху матеріальної точки. Тангенціальне і нормальне прискорення. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.
2. Сили в механіці. Закони Ньютона. Визначення кількості збережуваних величин (фазовий простір). Закон збереження енергії. Рух тіла змінної маси. Ракети.
3. Умови виникнення коливань. Гармонічний осцилятор. Загасаючі коливання осцилятора. Вимушені коливання осцилятора. Математичний маятник.
4. Обертання матеріальної точки навколо осі. Момент сили та момент імпульсу. Закон збереження моменту імпульсу. Два еквівалентні способи опису обертового руху матеріальної точки.
5. Рух матеріальної точки у полі гравітуючої маси. Закони Кеплера. Космічні швидкості. Сфера впливу Землі. Рух променя у гравітаційному полі зорі. Принцип відносності Галілея. Неінерційні системи відліку. Земля як неінерційна система відліку. Маятник Фуко.
6. Прискорення вільного падіння. Постулати спеціальної теорії відносності. Перетворення Лоренца. Кінематичні ефекти спеціальної теорії відносності. Перетворення швидкостей і прискорень. Релятивістське рівняння руху.
7. Обертання твердого тіла навколо нерухомої осі. Моменти інерції твердих тіл простої форми. Теорема Гюйгенса-Штейнера. Обертання твердого тіла навколо центра мас. Фізичний маятник. Гіроскопи.
8. Основна задача динаміки невільної точки. В'язі та їх класифікація. Принцип д'Аламбера. Рівняння Лагранжа I-го роду.
9. Узагальнені координати. Рівняння Лагранжа II-го роду. Рівняння Лагранжа для узагальнених потенціальних сил. Закон збереження для узагальненої енергії.
10. Принцип найменшої дії. Рівняння Лагранжа-Ейлера. Рівняння Гамільтона та канонічні перетворення.
11. Рух твердого тіла. Кінетична енергія твердого тіла, тензор інерції. Кути Ейлера.
12. Модель ідеального газу. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Рівняння стану ідеального газу. Закони ідеального газу.
13. Внутрішня енергія. Перше начало термодинаміки. Термодинамічні параметри стану системи. Класифікація термодинамічних параметрів.
14. Теплоємність. Теплоємність за сталого об'єму. Теплоємність за сталого тиску для ідеального газу. Політропний процес. Рівняння політропи. Робота при політропному процесі. Адіабатичний процес. Рівняння Пуассона.
15. Друге начало термодинаміки. Формулювання Томсона другого начала термодинаміки. Формулювання Клаузіуса. Формулювання другого начала термодинаміки з допомогою ентропії. Фізичний зміст ентропії.
16. Теплова машина. Холодильна машина. Колові процеси (цикли). Робота циклу. Цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно. Теорема Карно.
17. Нерівність Клаузіуса. Визначення ентропії ідеального газу. Обчислення зміни ентропії в процесах ідеального газу. Ентропія і термодинамічна імовірність. Формула Больцмана. Статистичний характер другого начала термодинаміки.
18. Третє начало термодинаміки. Теплова теорема Нернста. Постулат Планка. Формулювання третього начала термодинаміки.
19. Опис стану системи багатьох частинок в класичній і квантовій механіці, поняття мікростану системи багатьох частинок.
20. Статистичні ансамблі. Мікροканонічний ансамбль, термодинамічні функції мікροканонічного ансамблю. Канонічний ансамбль, термодинамічні функції канонічного ансамблю. Великий канонічний ансамбль, термодинамічні функції великого канонічного ансамблю.

ансамблю.

21. Розподіл молекул ідеального газу за швидкостями. (розподіл Максвелла). Експериментальна перевірка розподілу Максвелла. Розподіл Больцмана. Експериментальна перевірка розподілу Больцмана. Розподіл Максвелла-Больцмана.
22. Процеси перенесення в газах. Зв'язок між коефіцієнтами процесів перенесення в газах. Дифузія в газі. Коефіцієнт самодифузії. Закон Фіка. Теплопровідність в газі. Коефіцієнт теплопровідності. В'язкість газів. Коефіцієнт динамічної в'язкості.
23. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Область двофазних станів. Критичний стан речовини. Критична опалесценція. Зведене рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми реального газу. Експериментальні ізотерми. Внутрішня енергія реального газу.
24. Явище Джоуля-Томсона. Фізичний зміст явища. Диференціальний та інтегральний ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії.
25. Рідини. Молекулярно-кінетична характеристика рідкого стану. Близький порядок в рідинах. В'язкість рідин. Поверхневий натяг рідин. Вільна поверхнева енергія. Формула Лапласа. Капілярні явища.
26. Осмотичний тиск. Механізм його виникнення. Закономірності осмотичного тиску. Закон Вант-Гоффа. Закон Рауля. Закон Генрі.
27. Теплоємність твердих тіл. Правило Дюлонга і Пті. Квантові теорії теплоємності твердих тіл.
28. Взаємодія електричних зарядів. Закон Кулона. Фізичний зміст відносної діелектричної проникності. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції. Потік вектору напруженості електричного поля. Теорема Гауса. Рівняння Пуассона.
29. Робота в електричному полі. Різниця потенціалів. Градієнт потенціалу і його зв'язок з напруженістю. Рівняння Лапласа. Умови рівноваги зарядів провідника. Провідники в електричному полі. Електростатична індукція.
30. Електрична ємність. Конденсатори, ємність конденсатора. Енергія електростатичного поля.
31. Основні характеристики електричного струму. Сила та густина струму. Закон Ома для ділянки кола. Рівняння неперервності. Електричний опір провідників. Питомий опір, його температурна залежність. Електрорушійна сила джерела струму. Закон Ома в диференціальній формі. Закон Ома для повного кола. Струм та напруга у випадках короткого замикання та розімкнутого кола. Перше правило Кірхгофа. Друге правило Кірхгофа. Робота і потужність електричного струму. ККД електричного кола.
32. Провідність металів. Недоліки класичної теорії провідності металів. Утворення зонної структури матеріалів. Класифікація твердих тіл на основі зонної теорії. Робота виходу електрона з металу.
33. Магнітне поле. Сила Ампера. Біологічна дія магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямого струму. Циркуляція вектора напруженості магнітного поля. Взаємодія провідників зі струмом. Сила Лоренца. Ефект Холла. Магнітні властивості речовин. Діа- та парамагнетики. Ферромагнетизм.
34. Явище електромагнітної індукції. Само- та взаємоіндукція. Закон електромагнітної індукції. Енергія та густина енергії магнітного поля. Отримання та основні характеристики змінного струму. Закон Ома для змінного струму. Робота і потужність змінного струму.
35. Коливальний контур. Власні електромагнітні коливання. Диференціальне рівняння власних електромагнітних коливань. Згасальні електромагнітні коливання. Основні параметри згасальних електромагнітних коливань. Вимушені електромагнітні коливання.
36. Струм зміщення. Рівняння Максвелла, їх фізичний зміст. Поширення електромагнітних хвиль. Рівняння та основні параметри електромагнітних хвиль. Знаходження рівнянь Максвелла з варіаційного принципу.
37. Поле рухомого точкового заряду. Випромінювання точкового заряду. Сила радіаційного гальмування. Променисте тертя.
38. Заряджена частинка в електромагнітному полі: функції Лагранжа і Гамільтона, рівняння руху.
39. Загальні поняття поляризації діелектриків. Поняття електричного диполя. Поле Лорентца та формула Клаузіуса-Моссотті. Комплексна діелектрична проникність, дисперсійні співвідношення.

40. Система векторів електромагнітної хвилі. Втрата фази при відбиванні від діелектрика. Фізичний зміст показника заломлення (Гюйгенса, Ньютона). Зв'язок показника заломлення з характеристиками речовини.
41. Когерентні джерела світла. Часова і просторова когерентність. Таутохронізм. Хід променів у схемах біпризми, білінзи, дзеркалі Ллойда. Характеристики інтерференційних схем.
42. Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зони Френеля. Зонні пластинки. Дифракція на щілині. Дифракційна решітка. Характеристики решітки: дисперсія, роздільна здатність, область дисперсії. Дифракція на багатомірних структурах. Умови Лауе, формула Вульфа-Брегга.
43. Геометрична оптика – умови її застосування. Принцип Ферма. Нуль-інваріант Аббе. Інваріант Лагранжа-Гельмгольца. Формула лінзи. Товста лінза. Оптичні системи. Аберації оптичних систем.
44. Поляризація світла при відбиванні та заломленні. Нормальна та аномальна дисперсія світла. Електронна теорія дисперсії світла. Рефракція, її застосування. Методи вимірювання показника заломлення. Показник поглинання. Дисперсія призми.
45. Електрооптичний ефект, опис, застосування. Ефект Фарадея. Групова і фазова швидкість світла. Формула Релея. Ефект Доплера.
46. Закони зовнішнього фотоефекту. Формула Айнштейна для фотоефекту. Властивості фотона. Застосування фотоефекту. Світловий тиск.
47. Модель абсолютно чорного тіла. Основні закономірності його випромінювання. Формула Планка. Спонтанне та вимушене випромінювання. Розсіювання світла.
48. Модель атома Томсона (дискретність, частота випромінювання, розміри атома). Визначення частоти випромінювання атомів у моделі Томсона. Модель атома Резерфорда. Експериментальні результати по вивченню розсіювання α -частинок на атомах. Визначення розмірів ядра атома. Рух α -частинки в кулонівському полі атома. Формула Резерфорда.
49. Спектри випромінювання твердих тіл, молекул, атомів. Закономірності в спектрах випромінювання атома водню. Спектральні серії Лаймана, Бальмера, Пашена. Узагальнена формула Бальмера. Енергетичні терми. Досліди Франка і Герца. Дискретність енергетичних рівнів атомів.
50. Постулати Бора (стаціонарні орбіти, енергія випромінювання, умова квантування орбіт). Атом водню в теорії Бора. Формули для визначення радіусів орбіт та енергій електронних станів атома водню. Формула для визначення енергії переходів в атомі водню (водневі серії). Стала Рідберга.
51. Узагальнюючі координати та імпульси. Умови квантування Зомерфельда для колових та еліптичних орбіт. Магнітне квантове число. Магнітний та механічний моменти електрона, магнетон Бора. Досліди Штерна-Герлаха. Атом в однорідному та неоднорідному магнітних полях. Спін електрона. Магнітне спінове число. Експериментальне підтвердження просторового квантування електронних орбіт.
52. Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки. Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Власні функції і власні значення операторів.
53. Гіпотеза де Бройля, рівняння де Бройля. Експериментальна перевірка гіпотези де Бройля. Дифракція електронів. Досліди Девісона і Джермера, Томсона та Тартаковського. Представлення електрона в моделі пакету хвиль. Виведення співвідношення невизначеності Гейзенберга. Хвильова функція електрона. Статистична інтерпретація хвильової функції. Хвильове рівняння. Стаціонарне рівняння Шредінгера. Рівняння Шредінгера залежне від часу. Енергетичні рівні та хвильові функції електрона в ящику з безмежно високими стінками.
54. Ефект тунелювання і його прояви у фізичних явищах. Тунелювання частинки через прямокутний потенціальний бар'єр. Коефіцієнт прозорості бар'єру. Імовірність проходження частинки через бар'єр складної форми.
55. Енергетичні рівні та характер хвильових функцій квантового осцилятора. Поняття нульових коливань квантових осциляторів та електромагнітного вакууму.

56. Електронні орбіталі. Радіальна функція та розміри електронних орбіталей. Залежність форми та просторової орієнтації електронних орбіталей від орбітального та магнітного квантових чисел. Форма s-, p- та d-електронних орбіталей.
57. Поняття електронного шару та оболонки. Принципи забудови електронних шарів. Принцип мінімуму енергії та принцип Паулі. Кількість електронів в шарах та оболонках. Залежність енергії електронів від основного та орбітального квантових чисел. Забудова електронних шарів першої, другої та третьої груп періодичної системи елементів. Особливості забудови електронних шарів хімічних елементів за участю d-електронів. Періодична система елементів. Особливості розташування в періодичній системі елементів з 4f- та 5f-електронами. Природа спин-орбітальної взаємодії. Повний момент електрона. Квантове число – j. Зсув Лемба. Поняття електромагнітного вакууму.
58. Розщеплення енергетичних рівнів атомів у магнітному полі. Взаємодія між магнітним моментом електрона та зовнішнім магнітним полем. Поперечний та повздовжній ефект Зеемана. Поляризація випромінювання у випадку аномального ефекту Зеемана. Ефект Пашена-Бека.
59. Ефект Комптона. Співвідношення між величинами електронної, коливної та обертової енергії молекул. Особливості спектрів молекул. Коливні енергетичні рівні молекул. Обертові енергетичні рівні молекул. Розщеплення енергетичних рівнів у магнітному полі.
60. Ядерна модель атома. Визначення розміру та заряду ядра. Протонно-нейтронний склад ядра. Енергія зв'язку ядер, ядерні сили. Формула Вайцеккера.
61. Проходження електронів через поглинаючі середовища. Пружне розсіювання електронів ядрами. Ефект Черенкова.
62. Джерела нуклонів. Взаємодія нуклонів з речовиною. Спіни і магнітні моменти нуклонів. Структура нуклонів, досліди Хофштадтера. Дейтрон, потенціали взаємодії. Обмінні сили. Мезонна теорія ядерних сил. Потенціал Юкава.
63. Гамма-випромінювання ядер. Внутрішня конверсія електронів. Ефект Месбауера. Магнітний момент ядра, метод Рабі. Спін і магнітний момент ядра. Ядерна ізомерія.
64. Модель рідкої каплі. Альфа-частинкова модель. Модель Фермі-газу. Модель ядерних оболонок. Узагальнена модель ядра. Оптична модель ядра.
65. Електростатичний прискорювач. Циклотрон. Бетатрон. Фазотрон, синхротрон. Синхрофазотрон. Джерела променів та коефіцієнт послаблення. Утворення електрон-позитронних пар. Фотонно-електронні зливи. Повний коефіцієнт послаблення.
66. Закон радіоактивного розпаду. Вікова радіоактивна рівновага. Природні радіоактивні ядра. Радіоактивні ряди. Штучні радіоактивні ядра. Альфа-розпад. Бета-перетворення. Досліди з виявлення нейтрино. Втрата парності при бета-розпаді. Досліди Ву. Методи реєстрації заряджених частинок і гамма-квантів.
67. Ендотермічні та екзотермічні реакції. Переріз ядерної реакції. Ядерні реакції під дією нейтронів. Поділ важких ядер. Ланцюгові ядерні реакції. Використання енергії поділу. Надважкі ядра. Фотоядерні реакції. Реакції термоядерного синтезу. Протонно-протонний і вуглецево-азотний цикл.
68. Критерій елементарності. Основні характеристики елементарних частинок. Закони збереження. Лептони, закон збереження лептонного заряду. Баріони, закон збереження баріонного заряду. Ізотопічний спин. Ізотопічна інваріантність. Дивні частинки. Взаємодія елементарних частинок. Види взаємодії. Резонансні частинки. Модель кварків.

2. ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ.

1. Деформації твердого тіла. Рівняння перенесення. Дифузія як явище перенесення. Теплопровідність як явище перенесення. В'язкість як явище перенесення. Явища перенесення та стани речовини.
2. Рівняння неперервності. Рівняння Бернуллі і його застосування. Рівняння Ейлера. Рівняння збереження енергії у динаміці неперервних середовищ. Рівняння Нав'є-Стокса.
3. Симетрія кристалів. Кристалографічні системи. Кристалічна ґратка. Реальні кристали. Дефекти в кристалах. Дислокації.

4. Коливання ґраток складних тривимірних кристалів. Акустичні та оптичні гілки коливань.
5. Фазові переходи. Типи фазових переходів. Фазові переходи I і II роду. Кількісний опис фазових переходів I роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Фазові діаграми.
6. Голографія: властивості зображення, отримання голограми, відтворення зображення, застосування. Голографія Денисюка.
7. Інтерференція поляризованих променів. Пропускання поляризаційно-оптичної системи. Лінійне двопроменезаломлення. Застосування поляризованого світла. Поляризатори і компенсатори. Циркулярне двопроменезаломлення. Повертання площини поляризації.
8. Поняття поляризованості діелектриків. Поляризація електронного зміщення діелектриків. Поляризація іонного зміщення діелектриків. Теплова орієнтаційна поляризація діелектриків. Об'ємозарядна та високовольтна поляризації діелектриків. Зовнішня вимушена поляризація. Пьезоелектрична поляризація. Піроелектричний ефект.
9. Властивості сегнетоелектриків. Петля гістерезису. Спонтанна поляризація, коерцитивне поле та діелектричні втрати для сегнетоелектриків.
10. Провідність напівпровідників. Напівпровідники, їх будова та провідність. Домішкова провідність напівпровідників. Контактні явища в напівпровідниках. Напівпровідникові діод і транзистор.
11. Функція розподілу Фермі-Дірака та концентрація носіїв заряду у зоні провідності й дірок у валентній зоні напівпровідника. Механізми розсіяння у напівпровідниках та їх часи релаксації.
12. Рівняння електронейтральності для власних та легованих напівпровідників. Модель температурної залежності провідності рівня Фермі у власних напівпровідниках. Модель температурної залежності провідності рівня Фермі у власних напівпровідниках з домішками.
13. Провідність діелектриків. Провідність рідин. Закони Фарадея. Електричний струм у газах. Види газових розрядів.
14. Контактна різниця потенціалів. Ефект Зеебека. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Термопара, будова та принцип дії.
15. Застосування інтерференції – фільтри, просвітлена оптика, діелектричні дзеркала.
16. Анізотропія кристалів. Вектори електромагнітної хвилі у кристалах. Оптична індикатриса. Оптичні осі. Складання перпендикулярних коливань, аналіз поляризованого світла.
17. Оптичні квантові генератори – енергетична будова активного середовища. Будова оптичного квантового генератора.
18. Природа та типи рентгенівського випромінювання. Рентгенівські спектри. Закон Мозелі. Тонка структура спектрів рентгенівського випромінювання.
19. Дозиметричні одиниці. Біологічна дія іонізаційного випромінювання. Дозиметрія і захист від випромінювання.
20. Квантовомеханічне обґрунтування поняття міжатомного потенціалу. Парні потенціали. Потенціал Ленарда-Джонса.
21. Основи теорії функціоналу густини багатоелектронних систем. Міжатомні потенціали, які ґрунтуються на теорії функціоналу густини. Метод втіленого атома. Міжатомні потенціали для сплавів. Потенціали для ковалентних кристалів.
22. Функція радіального розподілу. Загальний вигляд для речовини в кристалічному, аморфному і рідкому станах.
23. Спрощення при розгляді n-електронної системи для розв'язання рівняння Шредінгера. Властивості електронних хвильових функцій. Наближення Борна-Оппенгеймера. Оператор Гамільтона для n-електронної системи. Розрахунок енергії n-електронної системи за методом Гартрі. Наближення Гартрі-Фока. Застосування методу Гартрі-Фока.
24. Електроніка та її складові частини. Радіохвилі та їхнє генерування, діапазони радіохвиль, напруженість електричного поля передавача з ізотропною антеною.
25. Швидкість передачі інформації. Формула Шеннона.
26. Елементна база радіоелектроніки. Активні та пасивні елементи. Ідеальні і реальні джерела струму та напруги. Теореми Тевенена та Норттона.

27. Сигнали в електроніці. Їхня класифікація. Ряди Фур'є. Спектри періодичних сигналів. Приклади найпростіших спектрів. Неперіодичні сигнали. Пряме і обернене перетворення Фур'є. Спектр прямокутного імпульсу та його ширина. Кореляція та згортка сигналів.
28. Лінійні стаціонарні кола (системи). Імпульсна та перехідна характеристики електричного кола. Інтеграл суперпозиції (згортка). Частотна характеристика. Комплексні амплітуди струмів та напруг. Фазор. Імпеданс.
29. Закон Ома і правила Кірхгофа в комплексній формі. Комплексна потужність.
30. Чотиріполюсники. Визначення та властивості. Параметри чотиріполюсників. Фізичний зміст параметрів чотиріполюсників. Схеми заміщення чотиріполюсників. Режим узгодженого навантаження.
31. Електричні фільтри, їхня класифікація. Амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики фільтрів. RC-фільтри високих і низьких частот. LC- та LR-фільтри. Резонансні та багатоелементні фільтри. Диференціюючі та інтегруючі ланки.
32. Цифрова обробка сигналів. Застосування, переваги та недоліки. Блок-схема цифрової обробки сигналів (ЦОС). Дискретизація та квантування аналогових сигналів. Теорема Шеннона-Найквіста-Уїттакера (Котельникова). Частота Найквіста. Ряд Котельникова. Дискретна згортка та дискретна кореляція.
33. Проходження сигналів у часовій і частотній ділянках. Цифрові фільтри: ковзаючого середнього, sinc-фільтр низьких частот. Модуляція сигналу. Види модуляції. Амплітудна модуляція (АМ). Частотна модуляція (ЧМ). Фазова модуляція (ФМ). Порівняння ЧМ і ФМ. Імпульсна та цифрова модуляція.
34. Напівпровідники. Розподіл Фермі-Дірака. Концентрація вільних електронів. Генерація та рекомбінація носіїв. Власна провідність напівпровідників. Рухливість носіїв. Домішкова провідність напівпровідників. Дрейфовий і дифузійний струми. Вольт-амперна характеристика p-n-переходу. Рівняння Шоклі. Зворотній струм.
35. Бар'єрна ємність. Варіапи. Напівпровідникові діоди. Схеми однопівперіодного та двопівперіодного випрямлення змінного струму. Параметричний стабілізатор напруги.
36. Біполярні транзистори (БТ). Взаємодія двох p-n-переходів. p-n-p та n-p-n-транзистори. Струми у БТ. Коефіцієнти передачі струму БТ. Схеми вмикання БТ. Вхідна та вихідні статичні та динамічні характеристики транзисторів, включених по схемі зі спільним емітером. Підсилювач на БТ. Стабілізація робочої точки транзистора. Схема заміщення підсилювача на БТ для змінного струму. Повторювач на БТ. Транзистор Дарлінгтона.
37. Польові транзистори (ПТ). Класифікація ПТ. Будова ПТ з керуючим p-n-переходом та з ізольованим затвором. Вхідні характеристики ПТ. Вихідні характеристики ПТ. Основні схеми на ПТ. Джерело струму. Підсилювач. Витоківий повторювач. Змінний резистор. Аналогові ключі.
38. Операційні підсилювачі (ОП). Еквівалентна схема. Диференціальний і синфазний сигнали. Ідеальний ОП. Параметри реальних ОП: коефіцієнт підсилення, напруга зміщення, вхідний струм, коефіцієнт послаблення синфазного сигналу. Інвертуючий підсилювач на ОП. Інвертуючий підсилювач на ОП з T-подібною схемою зворотного зв'язку. Неінвертуючий підсилювач. Повторювач сигналу на ОП. Застосування ОП.
39. Генератори електричних коливань. Умови збудження генератора. Баланс фаз, баланс амплітуд. Генератори з коливальним контуром: на ПТ, на тунельному діоді. RC-генератори. Міст Віна. Генератори на ОП. Генератори релаксаційних коливань: генератори пилкоподібної напруги, мультивібратор, тригер Шмітта.
40. Оптоелектроніка та її місце в сучасній науці і техніці. Інжекційна люмінесценція. Випромінювальна рекомбінація. Світлодіоди (СД) з матеріалів АПБВ. Довжина хвилі випромінювання СД. Ширина спектру. Вольт-амперна характеристика СД. Внутрішня і зовнішня квантова ефективність. Використання гетероструктур. Конструкції СД. Застосування СД.
41. Фотодетектори. Внутрішній і зовнішній фотоефекти. Поглинання світла. Квантова ефективність. Фотодіоди (ФД). Принцип дії, фотодіодний та фотогальванічний режими роботи, схеми вмикання. Основні характеристики та параметри ФД.

42. Оптрони. Переваги оптрона як елемента зв'язку. Коефіцієнт передачі за струмом. Оптопарі. Використання оптронів.
43. Оптичні системи зв'язку. Пропускна здатність оптичної системи зв'язку. Структурна схема оптичної системи зв'язку. Типи оптичних систем зв'язку. Оптичні волокна та їх основні параметри. Коефіцієнт загасання оптичного волокна. Багатомодові та одномодові волокна. Міжмодова та хроматична дисперсія в оптичних волокнах.
44. Завади та шуми в електроніці. Спектральна густина потужності шуму. Білий шум. Тепловий шум. Формула Найквіста. Низькочастотний шум. Сумарна потужність низькочастотного шуму. Дробовий шум. Шуми квантування. Генераційно-рекомбінаційний шум. Шумові параметри: відношення сигнал/шум, коефіцієнт шуму, шумова температура, шумова смуга частот. Методи виділення сигналу на тлі шумів: усереднення, спектральна фільтрація, оптимальний фільтр.
45. Стабілізатори напруги. Означення стабілізаторів класифікація. Основні параметри стабілізаторів. Параметричний стабілізатор напруги. Коефіцієнт стабілізації. Стабілізатор із стабілітроном і емітерним повторювачем. Компенсаційний стабілізатор. 3-контактні стабілізатори в інтегральному виконанні.

3. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРИКЛАДНІЙ ФІЗИЦІ.

1. Інтерполювання даних фізичного експерименту. Локальне та глобальне інтерполювання. Інтерполювання сплайнами. Формула кубічного сплайну.
2. Усереднення результатів фізичного експерименту, які отримані з похибками. Апроксимування експериментальних результатів методом найменших квадратів (МНК).
3. Основні ідеї об'єктно-орієнтованої технології програмування.
4. Методи розв'язування звичайних диференціальних рівнянь. Алгоритм явного методу Ейлера. Методи Рунге-Кутта (РК). Неявна схема Ейлера.
5. Жорсткі системи ЗДР. Алгоритми розв'язування жорстких ЗДР.
6. Постановка крайових задач. Алгоритм пристрілки. Різницеві схеми розрахунків.
7. Методи вирішення задач на власні значення та власні вектори.
8. Алгоритм прогонки. Клас обернених задач. Некоректні задачі
9. Регуляризація. Задачі деконволюції. Регуляризація Тихонова.
10. Підтримка узагальненого програмування в C++. Шаблони. Шаблони класів, функцій, методів.
11. Склад та можливості стандартної бібліотеки шаблонів STL. Послідовні контейнери STL. Асоціативні контейнери STL.
12. Основи об'єктно-орієнтованого проектування програмного забезпечення мовою UML.
13. Платформа Arduino. Структура та характеристики плати Arduino UNO.
14. Схема та внутрішня будова мікроконтролера ATmega328. Архітектури мікроконтролерів. CISC та RISC набори інструкцій. Організація пам'яті мікроконтролера ATmega328.
15. Принстонська та Гарвардська архітектура мікроконтролера. Структура і регістри керування портами вводу/виводу.
16. Вивід даних з допомогою семисегментних індикаторів. Статичний та динамічний режим виводу інформації. Цифровий ввід. Підключення та робота з кнопкою. Обробка сигналів кнопки. Обробка інформації з зовнішніх сенсорів. Брязкіт контактів. Апаратний та програмний методи боротьби з брязкотом контактів.
17. Побітові (низькорівневі) операції. Встановлення логічних «0», «1» та зміна на протилежний сигнал на довільній ніжці портів вводу/виводу мікроконтролера. Бінарна та шістнадцяткова системи числення та переведення між ними.
18. Обмін даними мікроконтролер-ПК. Інтерфейси мікроконтролерів AVR. UART, USART, протоколи. Псевдоклас Serial.
19. Відладка роботи мікроконтролера. SPI інтерфейс передачі даних. Структура протоколу та основні схеми підключення пристроїв. I2C інтерфейс передачі даних. Структура протоколу I2C. Підключення периферійних пристроїв по шинах SPI й I2C.

20. Таймери-лічильники. Переповнення лічильника. Переривання по лічильнику. Регістри таймерів Arduino. Зовнішнє (апаратне) переривання. Зовнішні сигнали від таймера, генерування імпульсів. Робота таймера від зовнішніх сигналів. Використання таймерів/лічильників для реєстрації зовнішніх сигналів. Частотомір на таймері.
21. Робота з аналоговими сигналами. Аналого-цифровий перетворювач. Широтно-імпульсна модуляція. Види ШІМ сигналу. Реалізація цифро-аналогового перетворювача на основі ШІМ. Аналоговий компаратор. Сторожовий таймер. EEPROM пам'ять. Керування кроковим двигуном.
22. Об'єктно-орієнтоване програмування мікроконтролерів.
23. Переваги та недоліки мови програмування Python. Типи даних, що використовуються в Python та їх синтаксис.
24. Етапи обчислювального експерименту. Порівняння з фізичним експериментом.
25. Методи для побудови 2-D та 3-D графіків у Python. Методи форматування графіків. Побудова кількох графіків в одному вікні. Реалізація класів у Python. Змінна self. Бібліотека Tkinter у Python. Об'єкт Canvas. Синтаксис і застосування.
26. Перколяція. Поріг перколяції на квадратній гратці. З'єднувальний кластер. Характеристики кластерів у теорії протікання для квадратної ґратки. Область застосування теорії протікання.
27. Ренорм-групи. Реалізація методу ренорм-групи за запропонований Рейнольдсом.
28. Математична модель руху частинки в електричних та магнітних полях. Магнітні лінзи.
29. Система комп'ютерної математики SAGE. Програмні інтерфейси. Функціональні можливості.
30. Основні логічні елементи та їх позначення. ТТЛ та КМОН-логіка. Карти Карно.
31. Принципи побудови, властивості, сфера застосування мультиплексорів, демультимплексорів, шифраторів, дешифраторів. Умовні позначення. Схеми порозрядного додавання. Півсуматори, суматори, їх класифікація. Таблиці умовних переходів.
32. Тригери. Будова та фізичні принципи функціонування RS-, D-, JK- та T- тригерів. Статичні та динамічні властивості тригерів, таблиці істинності, булеві функції. Регістри. Поняття про розрядність регістрів. Паралельні та послідовні регістри, регістри зсуву.
33. Поняття про інтерфейс. Основні режими обміну даними по інтерфейсах. Класифікація інтерфейсів комп'ютера. Порівняльна характеристика основних інтерфейсів.
34. ЦАП. Способи перетворення: паралельне, порозрядне зрівноваження, метод ліку. Сумування зважених струмів. Перекидні ключі. ЦАП на основі резисторної матриці R-2R. ЦАП на джерелах сталого струму. Генератори функцій. Параметри ЦАП.
35. АЦП. Параметри АЦП: розрядність, роздільна здатність, частота дискретизації, час перетворення. Типи АЦП. Паралельні, послідовного наближення, дельта-сигма.
36. Архітектура мікроконтролерів (МК). Типи МК. Системи команд. Програмування МК асемблері або С. Взаємодія МК із сенсорами.
37. Програмування платформи Arduino на мовах програмування C/C++. Системи Arduino Nano, Uno, Mega, плати розширення. Застосування платформи для розробки вимірювальних систем.
38. Відеокамери (ВК) в фізичному експерименті. Відеомікроскопи. Формати приладів з зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Порівняння кольорових і чорно-білих ВК. Інтегральна і спектральна чутливість. Розділення. Стандарти сигналів. Точність вимірювання з допомогою ПЗЗ.
39. Запис, обробка і редагування зображень в ЕОМ. Системи технічного зору. Дослідження оптичних властивостей середовищ. Спектральна апаратура. Швидкісні монохроматори. Компактні спектрофотометри спряжені з шиною USB.
40. Способи опису кристалічної структури для створення комп'ютерних моделей. Опис структури неупорядкованих систем для комп'ютерного моделювання. Метод мінімізації енергії.
41. Фізичні основи методу молекулярної динаміки (МД). Огляд основних завдань, що вирішуються за допомогою МД. Обмеження класичної МД. Ініціалізація систем для моделювання в МД. Періодичні граничні умови.

42. Алгоритми чисельного інтегрування рівнянь руху. Алгоритм Верле. Розрахунок потенціальної та кінетичної енергій методом МД. Алгоритм предиктор-коректор. Алгоритм-схема пробігу молекулярної динаміки.
43. Розрахунок температури методом МД. Калорична крива. Визначення температури плавлення твердих тіл методом МД.
44. Розрахунок тиску в молекулярній динаміці. Розрахунок атомних напружень в молекулярній динаміці.
45. Класифікація видів ансамблів і методів їх моделювання. Молекулярна динаміка при постійній температурі. Молекулярна динаміка при постійному тиску.
46. Методи та принципи моделювання атомних систем різних масштабів. Особливості моделювання низькорозмірних і наносистем.
47. Метод Монте-Карло. Метод скінченних елементів.
48. Методи найкрутішого спуску та спряжених градієнтів. Процес врівноваження в процедурі молекулярної динаміки. Термодинамічні ансамблі у молекулярній динаміці.
49. Електронна густина. Теореми Хоенберга–Кона. Самоузгоджена процедура знаходження електронної густини. Оптимізація багатоелектронної системи. Розрахунок зонно-енергетичної структури методом *ab initio*.
50. Розрахунок коливних та оптичних спектрів методом *ab initio*. Моделювання збуджених електронних станів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф.. Курс фізики. К.: Либідь, 2001.
2. Гаральд Іро. Класична механіка. Пер. з нім. – Львів, 1999.
3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Луцик П.П. Загальний курс фізики. Том 1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Київ: Техніка, 1999.
4. Якібчук П.М. Молекулярна фізика. Підручник. / П.Якібчук, М.Клим – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2015. –584 с.
5. Клим М.М. Молекулярна фізика. Підручник. / М.Клим, П.Якібчук – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2003, -546с.
6. Дутчак Я.Й. Молекулярна фізика./ Я.Дутчак, П.М.Якібчук. – Київ: НМК ВО, 1991, -340с.
7. Воловик П.М. Фізика для університетів: повний курс в одному томі : підручник. / П.М. Воловик. – К.; Ірпінь: Перун, 2005. – 864 с. – ISBN 966-569-172-4.
8. Дідух Л.Д. Електрика та магнетизм : підручник / Л.Д. Дідух. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2020. – 464 с. – ISBN 978-966-07-3614-6.
9. Курс фізики. У книзі 1. Електрика і магнетизм: навч. посіб. / Г.В. Бушок, Г.В. Півень, В.В. Левандовський; за заг. ред. І.М. Кучерука. – К.: Техніка, 2001. – 446 с. – ISBN 966-575-183-2.
10. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О. Романюк, А.С. Крочук, І.П. Пашук; за ред. проф. М.О. Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
11. Кучерук І.Н. Горбачук І.Г. Загальний курс фізики. Т.3. – К.: Техніка. 1999.
12. Бушок Г.Ф. Венгер Є.Ф. Курс фізики: В 3 кн. Оптика. Фізика атома та атомного ядра: Навч. Посіб. –К.: Вища шк., 2003. – 311 с.
13. Білий М.У., Охрименко Б.А. Атомна фізика. – К.: Знання, 2009. – 559 с.
14. Білий М.У. Атомна фізика. – Київ, 1973. – 396 с.
15. Находкін М.Г. Атомна фізика. – К.: КНУ, 1999. – 553 с.
16. Ситенко О.Г., Тартаковський В.К. Теорія ядра: Навч. посібник.- Київ.: Либідь, 2000.- 608 с.
17. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса.: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с.
18. Вакарчук І. О. Квантова механіка (видання четверте, доповнене). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 872 с.

19. Федорченко, А. М. Теоретична фізика : Підручник: У 2 т. Т.1 : Класична механіка і електродинаміка / А. М. Федорченко. – К. : Вища шк., 1992. – 535 с.
20. Федорченко, А. М. Теоретична фізика : Підручник: У 2т. Т.2 : Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика / А. М. Федорченко. – К. : Вища шк., 1993. – 415 с.
21. Левитський С.М. Основи радіоелектроніки : підручник / С.М. Левитський. – КНУТШ. – К : Київський університет, 2007. – 456 с.
22. Сисоєв В.М. Основи радіоелектроніки : підручник / В.М. Сисоєв. – К. : Техніка, 2001. – 224 с.
23. Борисов О.В. Основи твердотільної електроніки : навч. посіб. / О.В. Борисов; за ред. Ю.І. Якименка. – К. : Освіта України, 2011. – 462 с.
24. Корчак Ю. Оптоелектронна інформатика. Том 1. Основні принципи та прилади: навчальний посібник / Ю. Корчак, Ю. Фургала, С. Рихлюк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 312 с.
25. Бочаров С. Ю. Мікропроцесорна техніка : навч. посіб. / С.Ю. Бочаров. – Рівне : 2006. – 163 с.
26. Якименко Ю.І., Терещенко Т.О., Сокол Є.І., Жуйков В.Я., Петергеря Ю.С. Мікропроцесорна техніка. 2-ге вид., переробл. та доповн. – К.: Політехніка, Кондор, 2004. – 440 с.
27. Хвищун І.О. Програмування і математичне моделювання: Підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 544 с.
28. Волонтир Л.О. Чисельні методи: Навчальний посібник. / Волонтир Л.О., Зелінська О.В., Потапова Н.А., Чіков І.А. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 322 с.
29. Кравець П.О. Об'єктно-орієнтоване програмування: навч. посібник / П.О.Кравець. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 624 с.
30. В.А. Андруник, В.А. Висоцька, В.В. Пасічник, Л.Б. Чирун, Л.В. Чирун: Чисельні методи в комп'ютерних науках. Навч. посібник. – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 470 с.
31. Крєневич А.П. Python у прикладах і задачах. Навчальний посібник: Частина 1. Структурне програмування. К.: ВПЦ "Київський Університет", 2017. – 206 с.
32. Крєневич А.П. Python у прикладах і задачах. Навчальний посібник: Частина 2. Об'єктно-орієнтоване програмування – К.: ВПЦ "Київський Університет", 2020. – 152 с.
33. Васильєв А. Програмування мовою Python. – Навчальний посібник. – Богдан. – 2018. – 504 с.
34. Гомілко І.В. Застосування мікроконтролерів : навчальний посібник / І.В. Гомілко, О.С. Тонкошкур, О.В. Коваленко. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2013. – 428 с.
35. Левитський С.М. Основи радіоелектроніки : підручник / С.М. Левитський ; КНУТШ. – К : Київський ун-т, 2007. – 456 с.
36. Lee J.G. Computational Materials Science: An Introduction, Second Edition (2nd ed.). – CRC Press, 2016. – 376 p.
37. Li X.; Wang En-Ge. Computer simulations of molecules and condensed matter from electronic structures to molecular dynamics: World Scientific Publishing Company, 2018. – 280 p.
38. Сігова В.І., Алексєєв О.М. Основи комп'ютерного матеріалознавства: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 207 с.