

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка

**Кафедра фізики металів**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор з науково-педагогічної роботи  
та інформатизації

\_\_\_\_\_ Кухарський В.М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА**

галузь знань **10** Природничі науки  
Спеціальність **-104** Фізика та астрономія  
Факультет **фізичний**  
Курс перший (бакалавр)

Кредитно-модульна система  
організації навчального процесу

**Львів – 2017**

**Молекулярна фізика.** Робоча програма навчальної дисципліни для студентів - галузь знань 10 Природничі науки, спеціальність -104 Фізика та астрономія, факультет фізичний. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. — 11с.

**Розробник:**

*Королишин А.В.*, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри фізики металів

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики металів

Протокол № \_\_\_ від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

Завідувач кафедри фізики металів, проф. \_\_\_\_\_ (Мудрий С.І.)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

Схвалено методичною комісією за спеціальністю -104 **Фізика та астрономія**

Протокол № \_\_\_ від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р. Голова \_\_\_\_\_ (Миколайчук О.Г.)

## 1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни

**“Молекулярна фізика”**)

| Найменування показників  | Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень              | Характеристика навчальної дисципліни        |
|--|---|---|
|  |   | <i>денна форма навчання</i>                 |
| Кількість кредитів — <b>12</b>   | Галузь знань<br><b>10 природничі науки</b><br><b>Фізико-математичні науки</b> | Нормативна                                  |
| Модулів — <b>1</b>   | Спеціальність<br><b>104 Фізика та астрономія</b>                              | <i>Рік підготовки:</i><br><b>1-й</b>        |
| Змістових модулів — <b>2</b>   |   | <i>Семестр</i><br><b>2-й</b>                |
| Загальна кількість годин —<br><b>360 год.</b>  |   | <i>Лекції</i><br><b>48 год.</b>             |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — <b>10</b> самостійної роботи студента | Освітньо-кваліфікаційний рівень:<br><b>бакалавр</b>                           | <i>Практичні</i><br><b>64 год.</b>          |
|  |   | <i>Лабораторні</i><br><b>48 год.</b>        |
|  |   | <i>Самостійна робота</i><br><b>200 год.</b> |
|  |   | <i>Вид контролю:</i><br><b>іспит, залік</b> |

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс загальної фізики є основою у профільюючій підготовці студентів фізичних і технічних спеціальностей. Без ґрунтовних знань з фізики неможлива майбутня повноцінна професійна діяльність в експериментальній та теоретичній фізиці, педагогічній, інженерній галузях тощо.

Предмет „Молекулярна фізики” займає важливе місце серед інших курсів загальної фізики. Закони та явища молекулярної фізики та термодинаміки є фундаментом для різних галузей науки і техніки. Їхнє вивчення під час лекційних, лабораторних і практичних занять дасть змогу опанувати багато інших важливих курсів на фізичному факультеті.

Лабораторний практикум з курсу „Молекулярна фізика” для студентів фізичного факультету є важливим фундаментом для набуття навиків роботи з апаратурою, дає відомості про методи дослідження речовини, закладає передумови для самостійної наукової роботи в лабораторії.

Підготовка висококваліфікованого фізика має опиратись на фундаментальні знання, які можна набути й під час практичних занять. Розв’язування задач сприяє глибшому розумінню фізичних явищ, встановленню взаємозв’язків між основними величинами.

**Метою** викладання даної дисципліни є одержання студентами знань з розділу “Молекулярна фізика” з загального курсу фізики, вивчення фізичних властивостей речовин (газів, рідин, твердих тіл) залежно від їхньої внутрішньої будови та зовнішніх впливів (тиску, температури), розглянути явища перенесення (дифузія, теплопровідність, внутрішнє тертя) у різних агрегатних станах речовин за їхньою молекулярною будовою та характером молекулярного руху, фазову рівновагу, процеси фазових переходів (кристалізація і плавлення, випаровування і конденсація), критичний стан речовини, поверхневі явища на межі розділу.

**Завдання:** навчити студентів самостійно виконувати розрахунки, необхідні для розв’язування задач молекулярної фізики та термодинаміки, забезпечити отриманні практичних навиків роботи з вимірювальною апаратурою, навчити інтерпретувати отримані експериментальні та теоретично розраховані результати.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

### **знати:**

1. основні ідеї, поняття та закони молекулярної фізики та термодинаміки, межі їхнього застосування,
2. закони ідеальних газів; перший і другий принцип термодинаміки; основи молекулярно-кінетичної теорії речовин; основні положення статистичної фізики; процеси переносу; реальні гази; основи фізики поверхневих явищ; фази і фазові перетворення; основи фізики розчинів; елементи симетрії і будова кристалів;
3. основні фізичні величини, які характеризують стан речовини, одиниці їхнього вимірювання; фундаментальні поняття;
4. головні технічні проблеми, пов’язані з використанням теплових явищ.

### **вміти:**

1. застосовувати вивчені закони і принципи для розв’язування задач з молекулярної фізики та термодинаміки;
2. застосовувати здобуті знання на практиці, зокрема під час фізичного експерименту;
3. пояснювати теплові процеси та явища, які використовуються у техніці та побуті;
4. визначати принципи дії та область застосування фізичних методів та приладів, робота яких ґрунтується на теплових явищах.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, основи векторного аналізу та теорії диференціальних рівнянь, механіка.

У програмі використовуються приклади з науки, техніки, побуту, які дають змогу показати визначальну роль фізики у становленні інформаційної та енергетичної інфраструктури сучасного світу. Розгляд законів та явищ молекулярної фізики ілюструється експериментальними результатами. Лекційний курс передбачає використання демонстраційного експерименту, технічних засобів навчання, комп’ютерних проекторів.

### 3. Програма навчальної дисципліни

## МОДУЛЬ 1

### Змістовий модуль 1. Ідеальний газ. Термодинаміка.

#### Тема 1. Предмет та методи молекулярної фізики.

Вступ. Предмет молекулярної фізики. Модель матеріального тіла. Маса атомів і молекул. Кількість речовини. Агрегатні стани речовини. Модель ідеального газу. Динамічний, статистичний і термодинамічний методи опису речовини.

#### Тема 2. Тиск і температура. Основне рівняння кінетичної теорії газів.

Тиск і температура. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Рівняння стану ідеальних газів. Закон Бойля-Маріотта. Закон Гей-Люссака. Закон Шарля. Закон Дальтона. Закон Авогадро. Вимірювання температури. Термометричне тіло і термометрична величина. Термометри. Емпіричні шкали температур. Абсолютна термодинамічна шкала температур. Середня кінетична енергія та температура.

#### Тема 3. Перший закон термодинаміки.

Задачі термодинаміки. Термодинамічна система. Термодинамічні параметри стану системи. Класифікація термодинамічних параметрів. Термічне рівняння стану. Число ступенів вільності. Теорема про розподіл енергії за ступенями вільності. Внутрішня енергія. Функції стану і повні диференціали. Робота. Тепло. Перший закон термодинаміки.

#### Тема 4. Теплоємність ідеального газу.

Теплоємність. Теплоємність при постійному об'ємі. Теплоємність при постійному тиску для ідеального газу. Якісне пояснення залежності теплоємності молекулярного водню від температури.

#### Тема 5. Політропний процес.

Політропний процес. Рівняння політропи. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона. Ізопроцеси в ідеальних газах. Робота при політропному процесі.

#### Тема 6. Другий закон термодинаміки.

Другий закон термодинаміки. Формулювання Томсона другого закону термодинаміки. Формулювання Клаузіуса. Еквівалентність формулювань Томсона і Клаузіуса. Теплова машина. Холодильна машина. Коефіцієнти корисної дії теплової і холодильної машини.

Циклічні процеси. Робота циклу. Коефіцієнт корисної дії. Цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно. Теорема Карно.

Абсолютна термодинамічна шкала температур.

#### Тема 7. Третій закон термодинаміки.

Нерівність Клаузіуса. Визначення ентропії ідеального газу. Обчислення зміни ентропії в процесах ідеального газу. Формулювання другого закону термодинаміки з допомогою ентропії. Фізичний зміст ентропії. Ентропія і термодинамічна імовірність. Формула Больцмана. Статистичний характер другого закону термодинаміки.

Третій закон термодинаміки. Теплова теорема Нернста. Постулат Планка. Формулювання третього закону термодинаміки. Властивості речовин при температурі 0К.

#### Тема 8. Розподіл Максвелла.

Розподіл Максвелла. Розподіл молекул за швидкостями. Середня кінетична енергія молекул. Виведення розподілу Максвелла. Характерні швидкості розподілу Максвелла. Дослід Штерна. Принцип детальної рівноваги. Експериментальна перевірка розподілу Максвелла.

Частота ударів молекул об стінку. Розподіл молекул за кінетичною енергією. Середнє число частинок в об'ємі. Флуктуації. Відносна величина флуктуації. Досліди Сведберга.

#### Тема 9. Розподіл Больцмана.

Розподіл Больцмана. Незалежність температури від зовнішнього потенціального поля. Виведення розподілу Больцмана. Експериментальна перевірка розподілу Больцмана. Зміна атмосферного тиску

з висотою. Барометрична формула. Атмосфера планет. Співвідношення між розподілами Максвелла і Больцмана. Розподіл Максвелла-Больцмана.

#### **Тема 10. Броунівський рух.**

Броунівський рух. Розрахунок руху броунівської частинки. Обертний броунівський рух. Експериментальне визначення сталої Больцмана. Досліди Перрена.

#### **Тема 11. Кінематичні характеристики молекулярного руху.**

Кінематичні характеристики молекулярного руху. Газокінетичний діаметр молекул. Поперечний переріз. Середня довжина вільного пробігу. Частота зіткнень. Експериментальне визначення поперечного перерізу зіткнень.

Вакуум. Методи отримання та вимірювання вакууму.

#### **Тема 12. Процеси переносу в газах.**

Процеси переносу в газах. Дифузія. Коефіцієнт самодифузії. Стационарна дифузія. Нестационарна дифузія. Закон Фіка. Взаємна дифузія в газовій суміші. Теплопровідність. Коефіцієнт теплопровідності. Стационарна і нестационарна теплопровідність. Час релаксації для температури. В'язкість газів. Коефіцієнт динамічної в'язкості. Зв'язок між коефіцієнтами процесів переносу в газах.

### **Змістовий модуль 2. Реальний газ. Рідкий та твердий стани речовини. Фазові переходи.**

**Тема 13. Реальні гази.** Відхилення властивостей газів від ідеальності. Ізотерми Амага. Температура Бойля. Сили міжмолекулярної взаємодії в реальних газах. Потенціал міжмолекулярної взаємодії. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Фізичний зміст сталих "а" і "в" в рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми реального газу. Метастабільні стани. Перехід з газоподібного стану в рідкий. Експериментальні ізотерми. Область двофазних станів. Насичена пара. Правило важеля. Критичний стан речовини. Критична опалесценція. Зведене рівняння Ван-дер-Ваальса. Внутрішня енергія реального газу. Теплоємності  $C_V$  і  $C_p$  реальних газів. Рівняння політропи реального газу.

**Тема 14. Явище Джоуля-Томсона.** Фізичний зміст явища. Диференціальний та інтегральний ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії.

Зрідження газів. Методи охолодження газів. Магнітний метод отримання низьких температур.

#### **Тема 15. Рідини.**

Ближній порядок в рідинах. Молекулярно-кінетична характеристика рідкого стану. В'язкість рідин. Температурна залежність коефіцієнту динамічної в'язкості рідин. Дифузія в рідинах.

Поверхневий натяг рідин. Вільна поверхнева енергія. Коефіцієнт поверхневого натягу. Умова рівноваги на межі двох рідин і на межі рідина-тверде тіло. Змочування і незмочування. Кривизна поверхні і додатковий тиск. Формула Лапласа. Капілярні явища. Випаровування та кипіння рідин. Теплота випаровування. Тиск насиченої пари поблизу викривленої поверхні рідини. Перегріта рідина. Бульбашкова камера. Переохолоджена пара. Камера Вільсона.

Рідкі розчини. Їх кількісні характеристики. Розчинність. Теплота розчинення. Ідеальні розчини. Закон Рауля. Закон Генрі. Осмотичний тиск. Механізм його виникнення. Закономірності осмотичного тиску. Закон Вант-Гоффа.

#### **Тема 16. Тверді тіла.**

Класифікація твердих тіл. Кристалічні та аморфні тіла. Симетрія кристалів. Елементи симетрії. Кристалографічні системи. Кристалічна ґратка. Індеси атомних площин і кристалографічних напрямків. Реальні кристали. Дефекти в кристалах. Дислокації.

Механічні властивості твердих тіл. Пружня деформація. Закон Гука. Види пружної деформації. Коефіцієнт Пуассона. Зв'язок між модулями пружності. Пластична деформація. Текучість. Механізм пластичної деформації. **Фазові переходи.** Типи фазових переходів. Фазові переходи I і II роду. Кількісний опис фазових переходів I роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Поліморфні перетворення. Фазові діаграми.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем   | Кількість годин |              |           |           |          |            |
|---|-----------------|--------------|-----------|-----------|----------|------------|
|   | Денна форма     |              |           |           |          |            |
|   | Усього          | у тому числі |           |           |          |            |
| л   |                 | п            | лаб       | інд       | ср       |            |
| 1   | 2               | 3            | 4         | 5         | 6        | 7          |
| <b>МОДУЛЬ 1</b>   |                 |              |           |           |          |            |
| <b>Змістовий модуль 1. Ідеальний газ. Термодинаміка.</b>                                    |                 |              |           |           |          |            |
| <b>Тема 1.</b> Предмет та методи молекулярної фізики.                                       |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 2.</b> Тиск і температура. Основне рівняння кінетичної теорії газів.                |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 3.</b> Перший закон термодинаміки.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 4.</b> Теплоємність ідеального газу.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 5.</b> Політропний процес.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 6.</b> Другий закон термодинаміки.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 7.</b> Третій закон термодинаміки.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 8.</b> Розподіл Максвелла.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 9.</b> Розподіл Больцмана.  |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 10.</b> Броунівський рух.   |                 | 3            | 4         | 3         |          | 10         |
| <b>Тема 11.</b> Кінематичні характеристики молекулярного руху.                              |                 | 3            | 4         | 3         |          | 18         |
| <b>Тема 12.</b> Процеси переносу в газах.   |                 | 3            | 4         | 3         |          | 18         |
| <b>Разом – зм. модуль 1</b>   |                 | <b>36</b>    | <b>48</b> | <b>36</b> |          | <b>136</b> |
| <b>Змістовий модуль 2. Реальний газ. Рідкий та твердий стани речовини. Фазові переходи.</b> |                 |              |           |           |          |            |
| <b>Тема 13.</b> Реальні гази.   |                 | 2            | 4         | 3         |          | 16         |
| <b>Тема 14.</b> Явище Джоуля-Томсона.   |                 | 4            | 4         | 3         |          | 16         |
| <b>Тема 15.</b> Рідини.   |                 | 2            | 4         | 3         |          | 16         |
| <b>Тема 16.</b> Тверді тіла. Фазові переходи.   |                 | 4            | 4         | 3         |          | 16         |
| <b>Разом – зм. модуль 2</b>   |                 | <b>12</b>    | <b>16</b> | <b>12</b> | <b>0</b> | <b>64</b>  |
| <b>Усього годин</b>   |                 | <b>48</b>    | <b>64</b> | <b>48</b> | <b>0</b> | <b>200</b> |

### **6. Темы практичних занять**

| № з/п | Назва теми   | К-сть годин |
|-------|--|-------------|
| 1     | Кількість речовини. Число Авогадро.  | 2           |
| 2     | Рівняння стану ідеальних газів.  | 6           |
| 3     | Перший закон термодинаміки.  | 6           |
| 4     | Теплоємність ідеального газу.  | 4           |
| 5     | Політропний процес. Рівняння політропи.  | 6           |
| 6     | Робота при політропному процесі.   | 4           |
| 7     | Другий закон термодинаміки.  | 4           |
| 8     | Циклічні процеси. Робота циклу. Коефіцієнт корисної дії.                         | 6           |
| 9     | Цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно.                                 | 2           |
| 10    | Розподіл молекул за швидкостями.   | 6           |
| 11    | Розподіл Больцмана.  | 2           |
| 12    | Кінематичні характеристики молекулярного руху. Середня довжина вільного пробігу. | 4           |
| 13    | Процеси переносу в газах.  | 4           |
| 14    | Реальні гази.  | 4           |
| 15    | Явище Джоуля-Томсона.  | 2           |
| 16    | Фазові переходи. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.                                  | 2           |
|       | <b>Разом</b>   | <b>64</b>   |

### **7. Темы лабораторних занять**

| № з/п | Назва теми  | К-сть годин |
|-------|---|-------------|
| 1     | Вступ. Ознайомлення з технікою безпеки. Освоєння методики вимірювання температури та тиску. | 3           |
| 2     | Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя методом Стокса.                                   | 3           |
| 3     | Визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості деяких рідин віскозиметром ВПЖ-2.             | 3           |
| 4     | Визначення динамічної і кінематичної в'язкості та граничного зсуву віскозиметром ВСН-3.     | 3           |
| 5     | Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідин методом відриву каплі.                     | 3           |
| 6     | Визначення коефіцієнта поверхневого натягу води методом відриву кільця.                     | 3           |
| 7     | Визначення питомих теплоємностей рідин.   | 3           |
| 8     | Визначення теплоємності твердих тіл методом охолодження.                                    | 3           |
| 9     | Визначення коефіцієнта термічного розширення твердих тіл.                                   | 3           |
| 10    | Визначення коефіцієнта об'ємного розширення рідин методом Дюлонга і Пті.                    | 3           |
| 11    | Визначення коефіцієнта взаємної дифузії повітря і водяної пари.                             | 3           |
| 12    | Вивчення кристалізації з розчину.   | 3           |
| 13    | Визначення відношення питомих теплоємностей газу методом Клемана-Дезорма.                   | 3           |
| 14    | Визначення постійної універсальної газової сталої методом відкачки.                         | 3           |



| № з/п | Назва теми   | К-сть годин |
|-------|--|-------------|
| 15    | Визначення середньої довжини вільного пробігу і ефективного діаметру молекул газу. | 3           |
| 16    | Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл відносним методом.             | 2           |
| 17    | Визначення критичної температури речовини.   | 2           |
|       | <b>Всього за семестр</b>   | <b>48</b>   |

### **8. Самостійна робота** *лекції, практичні*

| № з/п | Назва теми   | Кількість годин |
|-------|--|-----------------|
| 1     | Динамічний, статистичний і термодинамічний методи опису речовини.            |                 |
| 2     | Абсолютна термодинамічна шкала температур.                                   |                 |
| 3     | Функції стану і повні диференціали.  |                 |
| 4     | Ізопроцеси в ідеальних газах.  |                 |
| 5     | Абсолютна термодинамічна шкала температур.                                   |                 |
| 6     | Ентропія і термодинамічна імовірність.                                       |                 |
| 7     | Властивості речовин при температурі 0К.                                      |                 |
| 8     | Принцип детальної рівноваги. Експериментальна перевірка розподілу Максвелла. |                 |
| 9     | Досліди Сведберга.   |                 |
| 10    | Експериментальне визначення поперечного перерізу зіткнень.                   |                 |
| 11    | Вакуум. Методи отримання та вимірювання вакууму.                             |                 |
| 12    | Час релаксації для температури.  |                 |
| 13    | Перехід з газоподібного стану в рідкий. Експериментальні ізотерми.           |                 |
| 14    | Методи охолодження газів.  |                 |
| 15    | Закономірності осмотичного тиску.  |                 |
| 16    | Дефекти в кристалах. Дислокації.   |                 |
| 17    | Фазові діаграми.   |                 |
|       | <b>Всього за семестр</b>   | <b>200</b>      |

### **10. Методи контролю**

Контроль засвоєння матеріалу включає:

- 1) поточний контроль (колоквиуми за двома змістовими модулями,  $2 \times 10 = 20$  балів), оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях ( по 15 балів) - разом за семестр 50 балів.
- 2) іспит, на який виносяться 2 теоретичних запитання по 20 балів кожне і 1 задача -10 балів— разом 50 балів.

Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою;

- 3) контроль за виконанням лабораторних робіт здійснюється шляхом тестового допуску до лабораторної роботи та захист отриманих результатів (6 балів за 1 роботу).

## 11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти (для екзамену) теоретичний курс

| Поточне тестування та самостійна робота |            |                      |            | Підсумковий тест (екзамен) | Сума |
|---|------------|----------------------|------------|----------------------------|------|
| Змістовий модуль 1                      |            | Змістовий модуль 2   |            |                            |      |
| робота на практичних                    | Колоквіум1 | робота на практичних | Колоквіум2 |                            |      |
| 15                                      | 10         | 15                   | 10         | 50                         | 100  |

Розподіл балів, які отримують студенти (для заліку)

| Поточне тестування та самостійна робота            |   | Сума |
|--|---|------|
| Змістовий модуль 1                                 | Змістовий модуль 2                                |      |
| робота на лабораторних робіт по 6 балів = 48 балів | робота на лабораторних робіт по 6 балів = 54 бали | 102  |

### Шкала оцінювання: Університету, національна та ECTS

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

## 12. Методичне забезпечення

1. Збірник задач з молекулярної фізики. Навчальний посібник. П.М.Якібчук, А.В.Королишин. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, , 2009 – 130 с.

## 13. Рекомендована література

### Базова

1. Клим М.М. Молекулярна фізика./ М.М. Клим, П.М.Якібчук.- Львів., 2003, 536 с.
2. Дутчак Я.Й. Молекулярна фізика./, П.М.Якібчук. - К., 1991, 348 с.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика./ А.Н.Матвеев. - М. Высш.школа, 1987, 360 с.

4. Детлаф А.А. Курс физики : учеб. пособие для вузов / А.А.Детлаф, Б.М.Яворский. – М. : Высш. шк., 1989. – ISBN 5-06-001432-0.
5. Клим М. М. Збірник задач з молекулярної фізики. Навчальний посібник./ Клим М. М., Якібчук П. М. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, , 2009 – 242 с.
6. Иродов Игорь Евгеньевич. Задачи по общей физике: учеб. пособие / И.Е.Иродов. – М. : Наука, 1988. – 416 с. – ISBN 5-02-013849-5.
7. Загальний курс фізики. Збірник задач: навч. посіб./ І.П.Гаркуша, І.Т.Горбачук [та ін.]; за ред. І.П.Гаркуші. – К. : В-во "Техніка", 2003. – 560 с. – ISBN 966-575-130-1.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособ./ В.С.Волькенштейн – М. : Наука, 1985. – 464 с.
9. Якібчук П. М. Збірник задач з молекулярної фізики. Навчальний посібник./ Якібчук П. М., Королишин А.В. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, , 2009 – 130 с.

#### **Допоміжна**

1. Кикоин А.Н. Молекулярная физика./ А.Н.Кикоин, И.К.Кикоин - М., 1976, 480 с.
2. Воловик П.М. Курс фізики для університетів : навч. посіб. / П.М.Воловик – К. : Ірпінь, Перун, 2005. – 864 с. – ISBN 966-569-172-4.
3. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики. Электричество / Д.В. Сивухин. – М. : Наука, 1983. – 688 с.
4. Загальна фізика : лабораторний практикум : навч. посіб. / В. Барановський, П.Бережний, І.Горбачук, В.Дущенко, М.Шут; за заг. ред. І.Т.Горбачука. – К. : Вища шк., 1992. – 509 с. – ISBN 5-11-002569-X.

### ***14. Інформаційні ресурси***

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>