

**Дидактичні матеріали для підготовки до складання атестаційного  
екзамену з фізики для студентів 4 курсу фізичного факультету, які  
навчаються за ОПП «Фізика».**

Екзаменаційний білет містить 2 завдання із загальної фізики, одне завдання із теоретичної фізики та одну фізичну задачу. Білети укладені у відповідності до Програми атестаційного екзамену.

**1. Програма атестаційного екзамену з фізики**

**1.1. Навчальна дисципліна «Загальна фізика»**

***МЕХАНІКА***

1. Відносність механічного руху. Тіло відліку. Система відліку. Переміщення матеріальної точки. Шлях. Середня і миттєва швидкості матеріальної точки.
2. Нормальне, тангенціальне і повне прискорення матеріальної точки при криволінійному русі.
3. Кутове переміщення матеріальної точки. Кутова швидкість і кутове прискорення матеріальної точки. Зв'язок між лінійними і кутовими кінематичними характеристиками обертального руху матеріальної точки.
4. Маса тіла. Сила. Перший, другий і третій закони Ньютона. Інерціальні системи відліку. Імпульс тіла. Імпульс сили.
5. Принцип відносності Галілея. Перетворення координат Галілея. Правило додавання швидкостей в класичній механіці.
6. Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна стала. Напруженість і потенціал гравітаційного поля. Вага тіла. Невагомість.
7. Механічна робота. Потужність. Кінетична енергія.
8. Консервативні та неконсервативні сили. Потенціальна енергія. Зв'язок між консервативною силою і потенціальною енергією. Закон збереження механічної енергії системи.
9. Момент сили і момент імпульсу матеріальної точки відносно нерухомої точки (осі).
10. Система матеріальних точок. Центр мас системи матеріальних точок і закон його руху. Закон зміни імпульсу системи матеріальних точок. Закон збереження імпульсу системи матеріальних точок.
11. Зіткнення тіл. Абсолютно пружний і абсолютно непружний удари.
12. Рух тіла, маса якого змінюється. Рівняння Мещерського. Формули Цюлковського.
13. Неінерціальні системи відліку. Сила інерції, яка виникає в неінерціальних системах відліку, що рухаються прямолінійно зі сталим прискоренням.
14. Відцентрова сила інерції. Сила Коріоліса.
15. Обертальний рух твердого тіла. Момент інерції твердого тіла. Теорема Гюйгенса-Штейнера.

16. Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла. Закон збереження моменту імпульсу твердого тіла.
17. Робота сил і потужність при обертальному русі твердого тіла. Кінетична енергія обертального руху твердого тіла.
18. Поступальний і плоский рухи твердого тіла. Миттєва вісь обертання. Кінетична енергія плоского руху твердого тіла.
19. Механічні гармонічні коливання і їх кінематичні характеристики: амплітуда коливань, колова (циклічна) частота, фаза, початкова фаза, період, частота коливань.
20. Гармонічний осцилятор. Рівняння гармонічного осцилятора. Енергія гармонічного осцилятора.
21. Період коливань пружинного маятника.
22. Період коливань математичного маятника.
23. Період коливань фізичного маятника.
24. Вільні згасаючі механічні коливання. Декремент згасання, логарифмічний декремент згасання, добротність коливальної системи.
25. Вимушені механічні коливання. Механічний резонанс.
26. Поширення механічних коливань у пружному середовищі. Поздовжні і поперечні хвилі. Основні характеристики пружної гармонічної хвилі: довжина хвилі, хвильовий фронт, хвильова поверхня.
27. Біжучі плоскі і сферичні пружні хвилі. Рівняння плоскої біжучої хвилі.
28. Хвильове рівняння, яке описує поширення пружних хвиль у однорідному ізотропному середовищі.
29. Інтерференція і дифракція пружних хвиль. Стоячі хвилі.
30. Поняття про ідеальну рідину. Стаціонарна течія ідеальної рідини. Лінії і трубки течії. Рівняння нерозривності стискуваної та нестискуваної рідини.
31. Рівняння Бернуллі. Фізичний зміст статичного, динамічного і гідростатичного тисків. Формула Торічеллі.
32. В'язкість (внутрішнє тертя) рідин і газів. Сила внутрішнього тертя. Ламінарна і турбулентна течії. Число Рейнольдса.
33. Рух тіл у рідинах і в газах. Закон Стокса. Підймальна сила.
34. Границі застосування законів класичної механіки. Постулати Ейнштейна.
35. Перетворення Лоренца. Наслідки з перетворень Лоренца. Власний час рухомих тіл. Сповільнення часу і скорочення довжини. Релятивістський закон додавання швидкостей.
36. Релятивістська маса. Основне рівняння релятивістської динаміки.

### ***МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ***

1. Ідеальний газ як модель найбільш простої статистичної системи. Закони ідеальних газів, одержані з експериментів. Закон Клапейрона-Менделєєва.
2. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії. Статистичне тлумачення тиску і температури. Барометрична формула.
3. Закон Максвелла про розподіл молекул ідеального газу за швидкостями.

4. Середня квадратична, середня арифметична і найбільш ймовірна швидкості молекул ідеального газу.
5. Розподіл Больцмана.
6. Внутрішня енергія, кількість теплоти і робота термодинамічної системи.
7. Розподіл енергії за ступенями вільності.
8. Фізичний зміст першого закону термодинаміки і його різні формулювання.
9. Питома і молярна теплоємності. Рівняння Майєра.
10. Елементарна класична теорія теплоємності ідеального газу.
11. Адіабатичний процес. Рівняння Пуассона.
12. Політропний процес.
13. Робота і теплоємність ідеального газу при ізотермічному, ізобаричному, ізохоричному, адіабатному і політропному процесах.
14. Оборотний і необоротний процеси. Коловий процес (цикл). Цикл Карно і його коефіцієнт корисної дії.
15. Другий закон термодинаміки і його різні формулювання.
16. Ентропія. Її фізичний зміст і властивості.
17. Статистичне тлумачення другого закону термодинаміки. Закон зростання ентропії.
18. Теорема Нернста.
19. Рівняння стану реальних газів Ван-дер-Ваальса. Ізотерми Ван-дер-Ваальса та їх аналіз. Критична точка.
20. Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля-Томсона.
21. Зіткнення молекул газу. Ефективний діаметр молекул. Середня довжина вільного пробігу молекул газу.
22. Дифузія в газах.
23. Внутрішнє тертя в газах.
24. Теплопровідність газів.
25. Співвідношення між коефіцієнтами переносу для ідеальних газів. Їх залежність від тиску і температури.
26. Поверхневий натяг рідини. Кривизна поверхні рідини і додатковий тиск. Формула Лапласа.
27. Взаємодія рідини з поверхнею твердого тіла. Змочування. Капілярні явища.
28. Поняття про фазу. Умова рівноваги фаз Гіббса. Фазові переходи I і II родів. Їхні характерні особливості та приклади.
29. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
30. Випаровування і кипіння рідин. Плавлення і кристалізація твердих тіл.
31. Діаграма стану однокомпонентної трьохфазної системи. Потрійна точка.

### ***ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ***

1. Електричний заряд. Закон збереження електричного заряду, інваріантність заряду. Закон Кулона.

2. Електричне поле, вектор напруженості електричного поля, принцип суперпозиції.
3. Напруженість електричного поля нерухомого точкового заряду.
4. Теорема Гаусса.
5. Потенціальність електростатичного поля. Теорема про циркуляцію вектора напруженості електричного поля. Потенціал. Зв'язок між напруженістю електричного поля та потенціалом. Адитивність потенціалу.
6. Потенціал електричного поля нерухомого точкового заряду.
7. Рівняння Пуассона і Лапласа.
8. Поле системи нерухомих зарядів на далеких відстанях, дипольний момент.
9. Провідники в електростатичному полі, поле поблизу поверхні зарядженого провідника.
10. Електрична ємність відокремленого провідника та різних конденсаторів.
11. Енергія взаємодії точкових зарядів. Енергія зарядженого конденсатора. Енергія електричного поля і її густина.
12. Дія електричного поля на диполь. Енергія диполя у зовнішньому полі.
13. Поляризація різних типів діелектриків, вектор поляризації. Вектор електричної індукції. Теорема Гаусса для вектора електричної індукції. Діелектрична сприйнятливість. Діелектрична проникність.
14. Сегнетоелектрики. П'єзоелектрики. Приклади їх застосування в науці й техніці.
15. Електрорушійна сила. Інтегральна та диференціальна форми законів Ома і Джоуля-Ленца для ділянки кола.
16. Закон Ома для замкненого кола. Правила Кірхгофа.
17. Вектор індукції магнітного поля, закон Біо-Савара-Лапласа, принцип суперпозиції магнітних полів.
18. Дія магнітного поля на заряд, що рухається. Сила Лоренца. Закон Ампера.
19. Дія магнітного поля на контур зі струмом. Поняття магнітного моменту. Енергія контуру зі струмом у зовнішньому магнітному полі.
20. Теорема Гаусса для вектора індукції магнітного поля. Теорема про циркуляцію вектора індукції магнітного поля в магнітостатиці.
21. Намагнічування різних магнетиків. Вектор намагніченості. Вектор напруженості магнітного поля. Теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля в магнітостатиці. Магнітна сприйнятливість. Магнітна проникність.
22. Гіромагнітне відношення. Досліди Ейнштейна-де Гааза та Барнета.
23. Діамагнетизм, парамагнетизм. Ферромагнетизм, закон Кюрі-Вейсса, домени.
24. Умови на границі середовищ для векторів напруженості електричного поля та електричної індукції, векторів індукції магнітного поля і напруженості магнітного поля.
25. Основні положення класичної електронної теорії металів. Закони Ома, Джоуля-Ленца з погляду класичної електронної теорії.

26. Залежність електроопору металів від температури. Явище надпровідності.
27. Електричний струм у рідинах, рухливість іонів, закон Ома для електролітів. Закони електролізу (закони Фарадея).
28. Електричний струм у газах, іонізація молекул газу, рекомбінація іонів. Несамостійний і самостійний розряди.
29. Плазма, плазмові коливання, їхня частота.
30. Напівпровідники. Власна та домішкова провідність напівпровідників, донори та акцептори. Залежність провідності напівпровідників від температури.
31. Термоелектрорушійна сила. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона.
32. Явище електромагнітної індукції, закон Фарадея. Правило Ленца. Струми Фуко. Явище самоіндукції.
33. Енергія котушки індуктивності зі струмом. Енергія магнітного поля і її об'ємна густина.
34. Рівняння Максвелла в диференціальній та в інтегральній формах.
35. Енергія електромагнітного поля. Рівняння неперервності для потоку енергії електромагнітного поля. Вектор Пойнтінга.
36. Хвильове рівняння в електродинаміці. Фазова швидкість електромагнітних хвиль.
37. Плоскі, сферичні і циліндричні монохроматичні електромагнітні хвилі. Стоячі електромагнітні хвилі.

### **ОПТИКА**

1. Світло та його природа. Тиск світла та історія його відкриття. Інтенсивність світла.
2. Закони геометричної оптики.
3. Принцип Ферма у випадку неперервності показника заломлення середовища. Принцип Ферма в узагальненій формі.
4. Сферичні дзеркала, їхня формула. Побудова зображень в сферичних дзеркалах.
5. Тонкі лінзи. Формула тонкої лінзи. Побудова зображень у тонких лінзах.
6. Центрована оптична система та її кардинальні елементи.
7. Телескоп, мікроскоп, лупа. Аберації оптичних систем.
8. Явище інтерференції світла. Класичні інтерференційні досліди.
9. Просторова та часова когерентність.
10. Оптична різниця ходу. Умови спостереження інтерференційних максимумів і мінімумів. Ширина інтерференційної смуги.
11. Інтерференція світла в тонких плівках. Лінії рівного нахилу. Лінії рівної товщини.
12. Просвітлення оптики.
13. Кільця Ньютона.
14. Багатопроренева інтерференція. Еталон Фабрі-Перо.
15. Явище дифракції світла. Принцип Гюйгенса-Френеля.

16. Область дифракції Френеля. Зони Френеля. Спіраль Корню. Приклади дифракції Френеля.
17. Зонна пластинка.
18. Область дифракції Фраунгофера. Приклади дифракції Фраунгофера.
19. Дифракційна ґратка. Кутовий розподіл інтенсивності світла, дифрагованого на дифракційній ґратці. Кутова та лінійна дисперсії, роздільна сила дифракційної ґратки.
20. Фізичні основи запису голографічних зображень. Одержання кольорових об'ємних зображень.
21. Природне світло. Поляризоване світло: лінійна, кругова, еліптична поляризації. Поняття ступеня поляризації світла. Закон Малюса.
22. Формули Френеля.
23. Подвійне променезаломлення. Оптична вісь. Двовісні та одновісні кристали. Звичайний і незвичайний промені.
24. Явище дихроїзму. Поляріди. Поляризаційні призми.
25. Повертання площини поляризації світла в кристалічних та аморфних тілах і його елементарна теорія. Повертання площини поляризації в магнітному полі. Штучна анізотропія (якісний опис).
26. Нормальна та аномальна дисперсії. Класична теорія дисперсії.
27. Групова швидкість світла.
28. Поглинання світла. Закон Бугера.
29. Розсіювання світла: розсіювання Релея, Мі, Мандельштама, Бриллюєна, комбінаційне розсіювання.
30. Основні відомості про лазери та їхнє випромінювання. Приклади застосування лазерів.
31. Природа нелінійності оптичних середовищ. Генерація подвоєної частоти в нелінійному оптичному середовищі. Умова просторового синхронізму для другої гармоніки.
32. Самовплив світла в нелінійному середовищі: самофокусування та дефокусування променів.
33. Ефект Допплера в оптиці. Аберация світла. Червоний зсув у спектрах галактик.

### ***ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНИХ ЯВИЩ***

1. Теплове випромінювання. Характеристики стану випромінювання. Закон Кірхгофа. Абсолютно чорне тіло.
2. Закон Стефана-Больцмана.
3. Теорема і закон зміщення Віна.
4. Спектральна густина станів. Формула Релея-Джинса.
5. Формула Планка. Стала Планка.
6. Спонтанне та індуковане випромінювання. Формула Планка за Ейнштейном.
7. Флуктуації випромінювання. Корпускулярні й хвильові властивості випромінювання.

8. Фотон. Енергія та імпульс фотона. Фотоефект. Рівняння Ейнштейна.
9. Ефект Комптона. Комптонівська довжина хвилі.
10. Розсіювання  $\alpha$  - частинок атомами. Формула Резерфорда. Планетарна модель атома.
11. Спектральні серії атома водню. Спектральні терми.
12. Постулати Бора. Експерименти Франка і Герца.
13. Водородоподібний атом. Діаграми рівнів енергії атомів водню і гелію.
14. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Хвиля де Бройля (фазова і групова швидкості, правило квантування орбіт).
15. Експериментальні підтвердження хвильових властивостей частинок (досліди Девісона і Джермера, методики Лауе і Дебая-Шерера).
16. Статистична інтерпретація хвиль де Бройля. Фізичні вимірювання і співвідношення невизначеностей.
17. Хвильова функція і рівняння Шредінгера. Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів.
18. Квантово-механічний осцилятор.
19. Частинка в нескінченно глибокій потенціальній ямі.
20. Відбиття і проходження частинки через потенціальний бар'єр. Потенціальний бар'єр скінченної ширини.
21. Рішення радіального рівняння Шредінгера для атома водню.
22. Рішення азимутального рівняння Шредінгера для атома водню.
23. Рівняння Шредінгера для атома водню. Узагальнений аналіз поведінки хвильової функції.
24. Спіновий момент імпульсу. Повний момент імпульсу. Експерименти Штерна і Герлаха.
25. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Принцип тотожності однакових частинок. Принцип Паулі.
26. Фазовий простір. Статистики Бозе-Ейнштейна та Фермі-Дірака системи тотожних частинок.
27. Багатоелектронні атоми (будова і заповнення електронних оболонок). Правило Хунда. Періодична система елементів Менделєєва.
28. Багатоелектронні атоми. Векторна модель атома. Множник Ланде.
29. Багатоелектронні атоми. Додавання орбітальних і спінових моментів у випадку LS і JJ зв'язку. Позначення енергетичних станів.
30. Спектральні серії лужних металів (на прикладі літію).
31. Рентгенівські характеристичні спектри. Закон Мозлі.
32. Простий і складний ефекти Зеемана.
33. Ефект Пашена-Бака (сильне магнітне поле).
34. Ефект Штарка.
35. Типи хімічних зв'язків атомів у молекулі.
36. Утворення ковалентного зв'язку. Іон водню.
37. Ковалентний зв'язок атомів у молекулі водню.
38. Багатоатомні молекули: валентні зв'язки і молекулярні орбіталі. Молекула води.
39. Обертально-коливальні та електронні спектри молекули.

## **ФІЗИКА ЯДРА ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК**

1. Протонно-нейтронний склад атомних ядер. Розмір ядра, енергія зв'язку та формула Вайцеккера.
2. Тонка і надтонка структура оптичних спектрів, Визначення спіну та магнітного моменту ядер.
3. Ізотопи. Знаходження ізотопів у експериментах Томсона та Астона.
4. Ізмери та їх пояснення Вайцеккером, ізобари.
5. Ядерні сили та їх властивості. Мезонна теорія ядерних сил.
6. Дейтрон та його теорія згідно Бете-Пайєрлса.
7. Краплинна та оболонкова моделі ядер. Магічні числа.
8. Пояснення магічних чисел згідно Геперт-Майєр та Єнсена.
9. Радіоактивний розпад. Час життя та період напіврозпаду, розподіл Пуассона.
10.  $\alpha$ -розпад і теорія Гамова та Герні-Кондона.
11.  $\beta$ -розпад і теорія Фермі,  $\gamma$ -випромінювання ядер.
12. Ефект Мессбауєра.
13. Ядерні реакції. Ефективний перетин. Поділ ядер.
14. Будова ядерного реактора. Термоядерні реакції.
15. Типи взаємодій та класи елементарних частинок.
16. Рівняння Дірака. Частинки та античастинки, електронно-позитронний вакуум.
17. Сильна взаємодія. Ізотопічний спін, баріонне число. Приклади баріонів та їх розпадів.
18. Дивні частинки. Збереження дивності у сильних взаємодіях.
19. Кваркова структура баріонів та мезонів. Зачарований кварк, інші важкі кварки.
20. Слабка взаємодія. Лептони. Типи нейтрино. Приклади розпадів мезонів і баріонів, обумовлені слабкою взаємодією.
21. Незбереження парності у слабких взаємодіях. Досліди Ву.
22. Відкриття переносників слабкої взаємодії  $Z^0$ ,  $W^+$ ,  $W^-$  - бозонів.
23. Еволюція Всесвіту. Відкриття реліктового випромінювання.
24. Чорнобильська катастрофа. Її причини та наслідки.

### **1.2. Навчальна дисципліна «Теоретична фізика»**

#### **КЛАСИЧНА МЕХАНІКА**

1. Принцип найменшої дії. Методи Лагранжа і Гамільтона в механіці.
2. Функція Лагранжа вільної частинки, осцилятора, частинки в центральному полі.
3. Частинка в кулонівському полі. Закони Кеплера.
4. Зв'язок законів збереження імпульсу, моменту імпульсу і енергії системи з однорідністю, ізотропією простору та однорідністю часу.
5. Простір-час. Інтервали.



6. Функція Гамільтона частинок, що взаємодіють у зовнішньому полі.
7. Канонічні перетворення.
8. Дія та функція Лагранжа вільної частинки. Релятивістські енергія та імпульс частинки. 4-імпульс.
9. Перетворення енергії та імпульсу при переході від однієї інерціальної системи відліку до іншої. Закон взаємозв'язку маси та енергії.
10. Метод Гамільтона-Якобі.

### ***СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА***

1. Розподіл Фермі-Дірака. Теплоємність виродженого електронного газу.
2. Розподіл Бозе-Ейнштейна. Конденсація бозонів.
3. Розподіл Гіббса.
4. Ентропія ідеального газу.
5. Умови рівноваги системи в зовнішньому полі.
6. Частинні функції розподілу. Віріальне розкладання термодинамічних величин.
7. Термодинамічні потенціали. Термодинамічні нерівності.
8. Флуктуації термодинамічних величин.
9. Критична точка при фазових переходах першого роду.
10. Теорія фазових переходів другого роду Ландау.
11. Кореляційні функції. Броунівський рух.

### ***ЕЛЕКТРОДИНАМІКА***

1. Перетворення Лоренца для 4-потенціалу і векторів напруженості електромагнітного поля.
2. Тензор електромагнітного поля. Перетворення Лоренца для електромагнітного поля. Інваріанти поля.
3. Дія для електромагнітного поля.
4. Рівняння Максвелла у 4-формі.
5. Постійне електромагнітне поле. Рух релятивістського заряду в постійному однорідному електричному полі. Рух релятивістського заряду в постійному однорідному магнітному полі.
6. Поле зарядів, що рухаються. Потенціали Лієнара-Віхерта.
7. Дипольне випромінювання електромагнітних хвиль.
8. Розсіювання електромагнітних хвиль вільними зарядами, формула Томсона.
9. Усереднення мікроскопічних рівнянь електродинаміки. Діелектрична проникність і її властивості. Співвідношення Крамерса-Кроніга.
10. Квазістаціонарне електромагнітне поле, скін-ефект, поверхневий імпеданс металів.
11. Явище надпровідності. Термодинаміка надпровідників. Ефект Мейснера. Надпровідники другого роду.

## **КВАНТОВА МЕХАНІКА**

1. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.
2. Густина потоку ймовірності.
3. Диференціювання операторів за часом. Інтеграли руху. Повний набір фізичних величин.
4. Правила квантування Бора-Зоммерфельда.
5. Стаціонарна теорія збурень.
6. Теорія нестаціонарних збурень, квантові переходи.
7. Рух частинки в кулонівському полі. Випадкове виродження.
8. Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.
9. Хвильові функції систем бозонів та ферміонів.
10. Хвильова функція двохчастинкової системи. Обмінна взаємодія.
11. Електрон у магнітному полі. Рівні Ландау.
12. Вторинне квантування систем бозонів і ферміонів.
13. Ширина спектральних ліній і час життя збуджених станів. Спонтанне та вимушене випромінювання.
14. Квантування поля випромінювання. Взаємодія випромінювання з електроном.

### **2. Орієнтовні приклади задач із загальної фізики**

#### **МЕХАНІКА**

1. Залежність радіус-вектора частинки від часу має такий вигляд  $\vec{r} = kt\vec{i} - bt^3\vec{j}$ , де  $\vec{i}$  і  $\vec{j}$  – одиничні орти координатних осей  $Ox$  і  $Oy$ , а  $k$  і  $b$  – додатні сталі. Визначити: а) рівняння траєкторії; б) швидкість  $\vec{v}$  і прискорення  $\vec{a}$ ; в) модулі швидкості  $\vec{v}$  і прискорення  $\vec{a}$ .

2. Модуль швидкості матеріальної точки змінюється з часом за законом  $v = kt + b$ , де  $k$  і  $b$  – додатні сталі. Модуль повного прискорення дорівнює  $a = 3k$ . Визначити значення тангенціального і нормального прискорень, а також залежність радіуса кривизни траєкторії від часу  $R(t)$ .

3. Тіло масою  $m = 2$  кг рухається прямолінійно за законом  $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$  ( $C = 2$  м/с<sup>2</sup>,  $D = 0,4$  м/с<sup>2</sup>). Визначити силу, що діє на тіло в кінці першої секунди руху.

4. Тіло масою  $m$  рухається в площині  $XOY$  за законом  $x = A\cos\omega t$ ,  $y = B\sin\omega t$ . Визначити модуль сили, що діє на це тіло.

5. Колесо радіусом  $R = 30$  см і масою  $m = 5$  кг скочується без тертя по похилій площині довжиною  $l = 51$  см, яка складає з горизонтом кут  $\alpha = 30^\circ$ . Скориставшись законом збереження енергії, визначити момент інерції колеса, якщо його швидкість  $v$  у кінці руху складала 5 м/с.

6. Ракета рухається за відсутності зовнішніх сил, випускаючи неперервну струмину газу зі швидкістю  $\vec{u}$ , яка є постійною відносно ракети. Визначити швидкість ракети  $\vec{v}$  у той момент часу, коли її маса дорівнює  $m$ , якщо у

початковий момент часу вона мала масу  $m_0$ , а її швидкість дорівнювала нулю.

7. На однорідний суцільний циліндричний вал радіусом  $R = 50$  см намотана легка нерозтяжна нитка, до кінця якої прикріплено вантаж масою 5 кг. Вантаж, розмотуючи нитку, опускається з прискоренням  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>. Визначити момент інерції валу та його масу.

8. Визначити момент інерції стрижня маси  $m$  і довжини  $l$  відносно осі, що проходить через його кінець та відносно осі, яка проходить через його центр симетрії.

9. Циліндр радіусом  $R = 10$  см і масою  $m = 5$  кг обертається навколо осі симетрії так, що залежність кута повороту циліндра від часу задається рівнянням  $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$  ( $A = 2$  рад,  $B = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = -0,5$  рад/с<sup>3</sup>). Визначити модуль моменту сил  $M$  для моменту часу  $t = 2$  с.

10. Радіус-вектор матеріальної точки змінюється з часом за законом  $\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt\vec{j}$ , де  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  – одиничні орти координатних осей  $Ox$  і  $Oy$ . Визначити рівняння траєкторії: а) у параметричній формі  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ; б) у вигляді залежності  $y = f(x)$ ; миттєву швидкість, миттєве прискорення, а також модулі миттєвої швидкості і миттєвого прискорення точки.

11. Колесо радіуса  $R$  і маси  $m$  скочується без проковзування з похилої площини, яка утворює кут  $\alpha$  з горизонтом. Визначити модуль прискорення  $a$ , з яким рухається центр мас колеса.

12. Залежність координат матеріальної точки від часу задається рівнянням  $x = A\cos\omega t$  і  $y = A\sin\omega t$ , де  $A$ ,  $\omega$  – додатні сталі. Визначити радіус-вектор  $\vec{r}$ , миттєву швидкість  $\vec{v}$  і миттєве прискорення  $\vec{a}$  матеріальної точки, а також модулі цих величин.

13. Радіус-вектор матеріальної точки змінюється з часом за законом  $\vec{r} = (At^3 + Bt)\vec{i} + (Ct^2 + D)\vec{j} + Et\vec{k}$ , де  $A=0,3$  м/с<sup>3</sup>,  $B = E = 1$  м/с,  $C=2$  м/с<sup>2</sup>, а  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орти координатних осей  $x, y, z$ . Визначити вирази для векторів миттєвої швидкості і миттєвого прискорення точки, а також розрахувати значення модулів цих кінематичних величин у момент часу  $t = 1$  с.

14. Суцільна однорідна куля радіуса  $R$  і маси  $m$  скочується без проковзування з похилої площини, яка утворює кут  $\alpha$  з горизонтом. Визначити модуль прискорення  $a$ , з яким рухається центр мас кулі.

15. Визначити момент інерції суцільної однорідної кулі радіусом  $R$  і масою  $m$  відносно осі: а) яка проходить через центр мас кулі; б) відносно осі, яка лежить на відстані  $a = R/3$  і паралельна осі, яка проходить через центр мас кулі.

16. Радіус-вектор матеріальної точки відносно початку координат змінюється за законом  $\vec{r} = \alpha t\vec{i} + \beta t^2\vec{j}$ , де  $\alpha$  і  $\beta$  сталі,  $\vec{i}$  та  $\vec{j}$  одиничні орти осей  $Ox$  та  $Oy$ . Визначити: а) рівняння траєкторії точки  $y = f(x)$ ; б) залежність від часу векторів миттєвої швидкості і миттєвого прискорення та їхніх модулів.

17. Визначити момент інерції суцільної однорідної кулі масою  $m = 400$  г і радіусом  $R = 7$  см відносно: а) осі обертання що проходить через центр мас кулі; б) осі обертання, яка є паралельною осі, що проходить через центр мас кулі і дотичною до її поверхні.

18. Залежність радіуса-вектора матеріальної точки від часу визначається за законом  $\vec{r} = Ct\vec{i} - Bt^2\vec{j}$ , де  $C$  і  $B$  додатні сталі, а  $\vec{i}$  та  $\vec{j}$  одиничні орти осей  $Ox$  та  $Oy$ . Визначити: 1) рівняння траєкторії: а) у параметричній формі  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ; б) у вигляді залежності  $y = f(x)$ ; 2) залежність від часу векторів миттєвої швидкості і миттєвого прискорення та їхніх модулів.

19. Визначити момент інерції суцільного однорідного циліндра масою  $m = 500$  г і радіусом  $R = 10$  см відносно: а) осі обертання, яка проходить через центр мас циліндра; б) осі обертання, паралельної висоті циліндра, яка є дотичною до його поверхні.

20. Диск радіусом  $R = 10$  см обертається так, що залежність кута повороту радіуса диска від часу задається рівнянням  $\varphi = A + Bt^3$  ( $A = 2$  рад,  $B = 4$  рад/с<sup>3</sup>). Визначити для точок на ободі колеса кутову швидкість, кутове прискорення, модулі нормального та тангенціального прискорень для моменту часу  $t = 2$  с.

21. Рух матеріальної точки в площині  $xOy$  описується законом  $x = At$ ,  $y = A(1 + Bt)$ , де  $A = \text{const}$ ,  $B = \text{const}$ . Визначити рівняння траєкторії у вигляді залежності  $y = f(x)$ , радіус-вектор точки  $\vec{r}$ , вектори миттєвої швидкості і миттєвого прискорення та їх модулі.

22. Диск радіуса  $R$  і маси  $m$  скочується без проковзування з похилої площини, яка утворює кут  $\alpha$  з горизонтом. Визначити модуль прискорення  $a$ , з яким рухається центр мас диска.

23. Радіус-вектор матеріальної точки змінюється з часом за законом  $\vec{r} = t^3\vec{i} + 3t^2\vec{j}$ , де  $\vec{i}$  та  $\vec{j}$  орти осей  $Ox$  і  $Oy$ . Визначити для моменту часу  $t = 1$  с вектори швидкості та прискорення точки, а також модулі цих величин.

24. Визначити момент інерції однорідного стрижня маси  $m$  довжиною  $l$  відносно осі, яка проходить через центр його мас.

25. Суцільний однорідний циліндр радіуса  $R$  і маси  $m$  скочується без проковзування з похилої площини, яка утворює кут  $\alpha$  з горизонтом. Визначити модуль прискорення  $a$ , з яким рухається центр мас циліндра.

26. Матеріальна точка обертається навколо осі так, що залежність її кута повороту від часу задається законом  $\varphi = ct - bt^2$ , де  $c$  і  $b$  – додатні сталі. Визначити кутову швидкість і кутове прискорення точки.

27. Однорідне кільце радіусом  $R = 10$  см і масою  $m = 5$  кг обертається навколо осі симетрії (осі обертання, що проходить через центр кільця) так, що залежність кута повороту кільця від часу задається рівнянням  $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$  ( $A = 2$  рад,  $B = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = -0,5$  рад/с<sup>3</sup>). Визначити кутову швидкість, кутове прискорення та модуль моменту сили  $M$  для моменту часу  $t = 2$  с.

28. Через блок, закріплений на стелі кімнати, перекинута нитка, на кінцях якої підвішені тіла масами  $m_1$  і  $m_2$ . Маси блока і ниток дуже малі і ними

можна знехтувати. Тертя відсутнє. Визначити прискорення центра мас цієї системи.

29. Дві гирі з масами  $m_1 = 2$  кг і  $m_2 = 1$  кг з'єднані ниткою і перекинуті через нерухомий невагомий блок. Визначити модуль прискорення, з яким рухаються гирі, і модуль сили натягу нитки. Тертям у блоці знехтувати.

30. Дерев'яний брусок масою  $m_1 = 350$  г, який знаходиться на горизонтальній площині, прив'язаний до нитки, яка перекинута через блок. Другим кінцем нитка прикріплена до гирі масою  $m_2 = 265$  г. Коефіцієнт тертя між бруском і площиною  $k = 0,45$ . Визначити модуль прискорення, з яким рухається система тіл, і модуль сили натягу нитки. Тертя у блоці не враховувати.

31. Тіло ковзає по похилій площині, кут нахилу якої  $\alpha = 30^\circ$ . Визначити модуль прискорення тіла, якщо коефіцієнт тертя між тілом і поверхнею площини  $k = 0,2$ .

32. Два вантажі  $m_1 = 500$  г і  $m_2 = 700$  г, які зв'язані невагомою ниткою, лежать на гладенькій горизонтальній поверхні. До вантажу маси  $m_1$  прикладена горизонтально спрямована сила  $F = 6$  Н. Нехтуючи тертям визначити модуль прискорення вантажів і модуль сили натягу нитки.

33. З башти висотою  $h = 25$  м горизонтально кинута камінь зі швидкістю  $v_x = 15$  м/с. Який час  $t$  камінь буде у русі? На якій відстані  $L$  від основи башти він впаде? З якою швидкістю він впаде? Опором повітря знехтувати.

34. Куля масою  $m = 15$  г, яка летить з горизонтальною швидкістю  $v = 0,5$  км/с, влучає у балістичний маятник і застрягає у ньому. Визначити висоту  $h$ , на яку підніметься маятник, відхилившись після удару. Маса балістичного маятника  $M = 6$  кг.

35. Матеріальна точка масою  $m$  рухається під дією сили  $\vec{F} = \vec{F}_0 \cos \omega t$ , де  $F_0$  та  $\omega$  – деякі сталі. Визначити положення частинки, тобто виразити її радіус-вектор  $\vec{r}$  як функцію часу  $\vec{r} = \vec{r}(t)$ , якщо у початковий момент часу  $t = 0$ ,  $\vec{r}(0) = 0$ ,  $\vec{v}(0) = 0$ .

36. Чому дорівнює відношення кінетичних енергій обертального і поступального рухів суцільного однорідного циліндра, який скочується без проковзування з похилої площини. Маса циліндра  $m$ , радіус його основи  $R$ . Швидкість руху циліндра  $v$ .

37. Потенціальна енергія матеріальної точки має такий вигляд  $U = ax^3 + by^2 + cz$ , де  $a, b, c$  – постійні величини. Визначити вектор сили  $\vec{F}$ , що діє на матеріальну точку.

38. Куля і суцільний циліндр, які виготовлені з однакового матеріалу, і мають однакові маси  $m$  і радіуси  $R$ , котяться без проковзування з однаковою швидкістю  $v$ . Визначити, у скільки разів відрізняються їх кінетичні енергії.

39. Через блок, закріплений на кінці столу, перекинута нерозтяжна нитка, до кінців якої прикріплені вантажі, один з яких ( $m_1 = 400$  г) рухається по поверхні столу, а другий ( $m_2 = 600$  г) – вздовж вертикалі вниз. Коефіцієнт тертя вантажу об стіл  $k$  дорівнює 0,1. Вважаючи нитку і блок невагомими, визначте прискорення, з яким рухаються вантажі та силу натягу нитки  $T$ .

40. Визначити момент інерції однорідного суцільного конуса відносно його осі симетрії, якщо маса конуса  $m$ , а радіус його основи  $R$ .

41. Точка рухається у площині  $xOy$  за законом  $x = A \sin \omega t$ ,  $y = A (1 - \cos \omega t)$ , де  $A$ ,  $\omega$  – додатні сталі величини. Визначити шлях  $S$ , який точка проходить за час  $\tau$ .

42. Точка рухається у площині  $xOy$  за законом  $x = A \sin \omega t$ ,  $y = A (1 - \cos \omega t)$ , де  $A$ ,  $\omega$  – додатні сталі величини. Визначити кут між векторами швидкості й прискорення точки.

43. Точка рухається, сповільнюючись, по прямій з прискоренням, модуль якого  $a$  залежить від її швидкості  $v$  за формулою  $a = \alpha \sqrt{v}$ , де  $\alpha$  – додатна стала величина. У початковій момент швидкість точки дорівнює  $v_0$ . Через який час вона зупиниться?

44. Повітряна куля починає підніматися з поверхні Землі. Швидкість її підйому є сталою і дорівнює  $v_0$ . Завдяки вітру куля набуває горизонтальну компоненту швидкості  $v_x = \alpha y$ , де  $\alpha$  – стала величина,  $y$  – висота підйому. Визначити залежність зміщення кулі  $x(y)$  від висоти підйому.

45. Горизонтальний диск обертають зі сталою кутовою швидкістю  $\omega$  навколо вертикальної осі, що проходить через його центр. По одному з діаметрів диска рухається невеличке тіло маси  $m$  зі сталою відносно диска швидкістю  $V_{\text{відн}}$ . Визначити силу, з якою диск діє на це тіло у той момент, коли воно знаходиться на відстані  $r$  від осі обертання.

### **МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ**

1. Знайти  $\langle 1/v \rangle$  – середнє значення оберненої швидкості молекул ідеального газу при температурі  $T$ , якщо маса кожної молекули дорівнює  $m$ . Порівняти одержану величину з оберненою величиною середньої швидкості.

2. Горизонтально розташовану трубку, закриту з обох боків, обертають з постійною кутовою швидкістю  $\omega$  навколо вертикальної осі, що проходить через один її торців. У трубці знаходиться вуглекислий газ при температурі  $T = 300 \text{ K}$ . Довжина трубки  $l = 100 \text{ см}$ . Знайти  $\omega$ , при якій відношення концентрацій молекул біля протилежних торців трубки  $\eta = 2,0$ .

3. Знайти масу моля газу, якщо при нагріванні  $m = 0,50 \text{ кг}$  цього газу на  $\Delta T = 10 \text{ K}$  при ізобаричному процесі потрібно на  $\Delta Q = 1,48 \text{ кДж}$  тепла більше, ніж при ізохоричному нагріванні.

4. Одному *молю* деякого ідеального газу при ізобаричному нагріванні на  $\Delta T = 72 \text{ K}$  передано кількість тепла  $Q = 1,60 \text{ кДж}$ . Знайти прирощення його внутрішньої енергії  $\Delta U$  і величину  $\gamma = C_p / C_v$ .

5. Один *моль* аргону розширили по політропі з показником  $n = 1,50$ . При цьому температура газу змінилась на  $\Delta T = -26 \text{ K}$ . Знайти: а) кількість одержаного газом тепла; б) роботу, яку виконав газ.

6. Знайти показник політропи  $n$  процесу, який здійснює ідеальний газ, якщо залишається незмінним: а) коефіцієнт дифузії; б) коефіцієнт в'язкості; в) коефіцієнт теплопровідності.

7. Яку частину об'єму посудини має займати рідкий ефір при кімнатній температурі, щоб при критичній температурі він знаходився в критичному стані? Для ефіру  $T_{кр} = 467 \text{ K}$ ,  $P_{кр} = 35,5 \text{ атм}$ ,  $M = 74 \text{ г/моль}$ ,  $\rho_{рід} = 0,72 \text{ г/см}^3$ .

8. Лід з початковою температурою  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  внаслідок нагрівання перетворили спочатку у воду, а потім у пару при температурі  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Знайти прирощення питомої ентропії системи. Питома теплота плавлення льоду  $q_{пл} = 3,33 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ , питома теплота пароутворення води  $q_{пар} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ , питома теплоємність води  $C = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ .

9. На дні ставка утворилася бульбашка газу діаметром  $d = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . При піднятті цієї бульбашки до поверхні води її діаметр збільшився в  $n = 1,1$  раз. Знайти глибину ставка в цьому місці. Атмосферний тиск нормальний. Процес розширення газу вважати ізотермічним. Поверхневий натяг води  $\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

10. Яку кількість тепла треба передати  $\nu = 3,0$  молям вуглекислого газу, щоб при розширенні у вакуум від об'єму  $V_1 = 5,0 \text{ л}$  до об'єму  $V_2 = 10,0 \text{ л}$  його температура не змінилася? Газ вважати ван-дер-ваальсівським.

11. При спостереженні у мікроскоп завислих частинок гумігуту виявлено, що їх середнє число в шарах, відстань між якими  $h = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ , відрізняється одне від одного в  $\eta = 2,0$  рази. Температура середовища  $T = 290 \text{ K}$ . Діаметр частинок  $d = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  і їх густина на  $\Delta\rho = 0,2 \frac{\tilde{a}}{\tilde{m}^3}$  більше густини оточуючої рідини. Знайти за цими даними значення числа Авогадро.

12. Ідеальний газ, що складається із жорстких двохатомних молекул, здійснює адіабатичний процес. Як залежить середня довжина вільного пробігу від: а) об'єму  $V$ ; б) тиску  $p$ ; в) температури  $T$ ?

13. Ідеальний газ із показником адіабати  $\gamma$  здійснює прямий цикл, що складається із адіабати, ізобари і ізохори. Знайти к.к.д. циклу, якщо при адіабатичному процесі об'єм ідеального газу збільшується в  $n$  раз.

14. Один моль ідеального газу з відомим значенням теплоємності  $C_V$  здійснює процес, при якому його ентропія  $S$  залежить від температури  $T$  як  $S = \alpha/T$ , де  $\alpha$  – константа. Температура газу змінилася від  $T_1$  до  $T_2$ . Знайти: а) молярну теплоємність газу як функцію  $T$ ; б) кількість теплоти, переданої газу; в) роботу, яку виконав газ.

15. Два теплоізовані балони з'єднані між собою трубкою з краном. В одному балоні об'ємом  $V_1 = 10 \text{ л}$  знаходяться  $\nu = 2,5$  моль вуглекислого газу. Другий балон об'ємом  $V_2 = 100 \text{ л}$  відкачано до високого вакууму. Кран відкрили і газ розширився. Вважаючи газ ван-дер-ваальсівським, знайти прирощення його температури.

16. Ідеальний газ із молярною масою  $M$  знаходиться у високій вертикальній циліндричній посудині, площа основи якої  $S$  і висота  $h$ . Температура газу  $T$ , його тиск на нижню основу дорівнює  $p_0$ . Вважаючи, що

температура і прискорення вільного падіння  $g$  не залежать від висоти, знайти масу газу в посудині.

17. Один моль кисню розширили від об'єму  $V_1 = 1,0$  л до  $V_2 = 5,0$  л при незмінній температурі  $T = 280$  К. Обчислити кількість поглинутого газом тепла. Газ вважати ван-дер-ваальсівським.

18. Висока циліндрична посудина з азотом знаходиться в однорідному полі тяжіння, прискорення вільного падіння в якому дорівнює  $g$ . Температура азоту змінюється з висотою так, що його густина всюди однакова. Знайти градієнт температури  $dT/dh$ .

19. Два моля ідеального газу спочатку ізохорично охолодили, а потім ізобарично розширили так, що температура газу стала рівною початковій. Знайти прирощення ентропії газу, якщо його тиск у даному процесі змінився в  $n = 3,3$  рази.

20. Яка частина одноатомних молекул газу, що знаходиться в тепловій рівновазі, має кінетичну енергію, яка відрізняється від її середнього значення не більше, ніж на  $\delta_\eta = 1,0\%$ ?

21. Ідеальний газ із показником адіабати  $\gamma$  здійснює прямий цикл, що складається із адіабати, ізобари і ізохори. Знайти к.к.д. циклу, якщо при адіабатичному процесі об'єм ідеального газу зменшується в  $n$  разів.

22. У скільки разів зміниться число ударів жорстких двохатомних молекул газу об поверхню стінки в одиницю часу, якщо газ адіабатично розширити в  $\eta$  разів?

23. Ідеальний газ, показник адіабати якого  $\gamma$ , розширили за законом  $p = \alpha V$ , де  $\alpha$  – константа. Початковий об'єм газу  $V_0$ . Внаслідок розширення об'єм збільшився у  $\eta$  разів. Знайти: а) прирощення внутрішньої енергії газу; б) роботу, яку виконав газ; в) молярну теплоємність газу в цьому процесі.

24. У посудині знаходиться суміш  $m_1 = 7,0$  г азоту і  $m_2 = 11$  г вуглекислого газу при температурі  $T = 290$  К і тиску  $p_0 = 1,0$  атм. Знайти густину цієї суміші, вважаючи гази ідеальними.

25. Три моля ідеального газу, що знаходився при температурі  $T_0 = 273$  К, ізотермічно розширили в  $n = 5,0$  разів і потім ізохорично нагріли так, що його тиск став рівним початковому. За весь процес газу передали кількість тепла  $Q = 80$  кДж. Знайти  $\gamma$  для цього газу.

26. Водень здійснює цикл Карно. Знайти к.к.д. циклу, якщо при адіабатичному розширенні тиск зменшується в  $n = 2,0$  рази.

27. У скільки разів треба збільшити ізотермічно об'єм ідеального газу в кількості  $\nu = 4,0$  моля, щоб прирощення його ентропії становило  $\Delta S = 23$  Дж/К?

28. Вода масою  $m = 1,00$  кг, яка кипить при нормальному атмосферному тиску, цілком перетворилася у насичену пару. Знайти прирощення ентропії і внутрішньої енергії цієї системи, вважаючи насичену пару ідеальним газом.

29. Знайти: а) найбільший об'єм, який може займати вода маси  $m = 1,00$  кг у рідкому стані; б) найбільший тиск насиченої водяної пари. Водяну пару вважати ван-дер-ваальсівським газом.



30. Якому тиску треба піддати вуглекислий газ при температурі  $T = 300 \text{ K}$ , щоб його густина стала рівною  $\rho = 500 \text{ г/л}$ ? Розрахунок провести як для ідеального газу, так і для ван-дер-ваальсівського.

31. Визначити тиск насиченої водяної пари при температурі  $101,1^\circ\text{C}$ , вважаючи її ідеальним газом.

32. У  $500 \text{ см}^3$  води розчинено  $15 \text{ г}$  цукру ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ). Який тиск пари над розчином, якщо температура розчину становить  $100^\circ\text{C}$ ? Густину розчину вважати рівною  $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

33. Простір у циліндрі під поршнем, який має об'єм  $V_0 = 5,0 \text{ л}$ , займає лише насичена водяна пара, температура якої  $t = 100^\circ\text{C}$ . Знайти масу рідкої фази, що утворилася внаслідок ізотермічного зменшення об'єму під поршнем до  $V = 1,6 \text{ л}$ . Насичену пару вважати ідеальним газом.

34. Знайти розподіл температури у просторі між двома коаксіальними циліндрами з радіусами  $R_1$  і  $R_2$ , який заповнений однорідною речовиною, що пропускає тепло, якщо температури циліндрів дорівнюють  $T_1$  і  $T_2$ .

35. Посудина з газом розділена на дві рівні половини  $1$  і  $2$  тонкою перегородкою з двома отворами, що не пропускає тепла. Діаметр одного із отворів малий, а другого дуже великий (обидва в порівнянні із середньою довжиною вільного пробігу молекул). У половині  $2$  газ підтримується при температурі в  $\eta$  разів більшій, ніж у половині  $1$ . Як і у скільки разів зміниться концентрація молекул у половині  $2$ , якщо закрити тільки великий отвір?

36. Визначити максимально можливу температуру ідеального газу в процесі  $p = p_0 - \alpha V^2$ , де  $p_0, \alpha$  – додатні сталі,  $V$  – об'єм моля газу.

37. Два скляні диски з радіусом  $R = 5,0 \text{ см}$  змочили водою і склали так, що товщина шару води між дисками  $h = 1,9 \text{ мкм}$ . Вважаючи змочування повним, визначити силу, яку треба прикласти перпендикулярно до площин дисків для того, щоб відірвати їх один від одного.

38. Вважаючи, що температура, молярна маса і прискорення вільного падіння не залежать від висоти, знайти різницю висот, на якій густина повітря при температурі  $0^\circ\text{C}$  зміниться в  $e$  раз.

39. У певному процесі температура речовини залежить від його ентропії за законом  $T \sim S^n$ , де  $n$  – стала. Визначити залежність теплоємності  $C$  від ентропії  $S$ .

40. Ідеальний газ з показником адіабати  $\gamma = 1,40$  знаходиться під тиском  $p = 100 \text{ кПа}$ . Визначити концентрацію молекул газу, якщо середня енергія молекули газу  $\langle \varepsilon \rangle = 2,5 \times 10^{-20} \text{ Дж}$ .

41. Визначити число ступенів вільності молекул ідеального газу, молярна теплоємність якого

а) при постійному тиску  $C_p = 29 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ ;

б) у процесі  $pT = \text{const}$  дорівнює  $C = 29 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ .

## **ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ**

1. П'ять однакових точкових зарядів  $q$  утворюють у вакуумі правильну піраміду висотою  $h$ . Її основою є квадрат зі стороною  $A$ . Знайти електричну силу, яка діє на заряд, що розташований у вершині піраміди.

2. Заряд  $q$  розподілений нерівномірно по непровідному кільцю радіуса  $R$ . Знайти проекцію вектора напруженості електричного поля на вісь кільця у довільній її точці. Кільце знаходиться у вакуумі.

3. Тонке непровідне кільце радіуса  $R$  заряджене з лінійною густиною  $\lambda = \lambda_0 \cos \varphi$ , де  $\lambda_0$  – стала,  $\varphi$  – азимутальний кут. Знайти вектор напруженості електричного поля на осі кільця в залежності від відстані  $x$  до його центра.

4. Тонке непровідне кільце радіуса  $R$  заряджене з лінійною густиною  $\lambda = \lambda_0 \cos^3 \varphi$ , де  $\lambda_0$  – стала,  $\varphi$  – азимутальний кут. Знайти вектор напруженості електричного поля в центрі кільця.

5. Сферичний шар, у якого внутрішній та зовнішній радіуси дорівнюють  $R_1$  і  $R_2$ , рівномірно заряджений по об'єму з густиною  $\rho$ . За допомогою теореми Гаусса знайти напруженість електричного поля у довільній точці. Вважати, що заряди розподілені в вакуумі.

6. Куля заряджена по об'єму з густиною заряду  $\rho = \alpha \cdot r$ . Тут  $r$  – відстань точки кулі до його центра. Знайти вектор напруженості електричного поля в довільній точці кулі. Діелектрична проникність кулі дорівнює одиниці. Тут  $\alpha$  – відома постійна величина.

7. Нескінченно довгий циліндр круглого перерізу заряджений по об'єму з густиною заряду  $\rho = \alpha \cdot r$ . Тут  $r$  – відстань точки циліндра до його осі,  $\alpha$  – відома постійна величина. Знайти вектор напруженості електричного поля у довільній точці циліндра. Діелектрична проникність циліндра дорівнює одиниці.

8. Нескінченно довгий однорідний циліндр радіуса  $R$  заряджений по об'єму з густиною заряду  $\rho = \alpha/r$ . Тут  $r$  – відстань точки циліндра до його осі,  $\alpha$  – відома постійна величина. Знайти вектор напруженості електричного поля зовні циліндра у довільній точці. Циліндр знаходиться у вакуумі.

9. Куля радіуса  $R$  заряджена по об'єму з густиною заряду  $\rho = \alpha \cdot r$ . Тут  $r$  – відстань точки кулі до його центра,  $\alpha$  – відома постійна величина. Знайти потенціал електричного поля у центрі кулі. Діелектрична проникність кулі дорівнює одиниці.

10. Заряд  $q$  рівномірно розподілений по тонкому диску радіуса  $R$ . Знайти потенціал електричного поля в довільній точці осі диска. Диск знаходиться у вакуумі.

11. Сторонні заряди рівномірно розподілені з об'ємною густиною  $\rho$  по кулі радіуса  $R$  з однорідного ізотропного діелектрика з проникністю  $\epsilon$ . Знайти об'ємну та поверхневу густину зв'язаних зарядів.

12. Провідник довільної форми, який має заряд  $q$ , оточений однорідним діелектриком з проникністю  $\epsilon$ . Знайти сумарний зв'язаний заряд, що розподілений на внутрішній поверхні діелектрика.

13. Знайти взаємну ємність системи з двох однакових кульок радіуса  $a$ , відстань між якими набагато більша за  $a$ . Система знаходиться в однорідному діелектрику з проникністю  $\epsilon$ .

14. Простір між обкладками плоского конденсатора заповнений трьома діелектричними шарами з товщиною  $d_1, d_2, d_3$  і з діелектричною проникністю  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ . Площа кожної обкладки  $S$ . Знайти ємність конденсатора.

15. Провідник є кулею радіуса  $R_1$ . Він оточений концентричним шаром однорідного діелектрика, що торкається до нього, з проникністю  $\epsilon$  і зовнішнім радіусом  $R_2$ . Знайти ємність провідника.

16. Дві однакові частинки масою  $m$  з'єднані ниткою довжиною  $L$ . Нитку підпалюють. Знайти швидкість частинок в момент, коли між ними буде відстань  $2L$ . Заряд частинок однаковий і дорівнює  $q$ .

17. Три однакові кульки, які розташовані в вершинах рівнобічного трикутника зі стороною  $a$ , з'єднані одна з одною нитками. Заряд і маса кожної кульки дорівнюють  $q$  і  $m$ . Одну з ниток підпалили. Знайти максимальну швидкість середньої кульки. Силою тяжіння знехтувати.

18. Знайти індукцію магнітного поля в центрі контуру, який є прямокутником, якщо його діагональ дорівнює  $d$ , кут між його діагоналями  $\varphi$  і струм в контурі  $I$ .

19. Струм  $I$  тече по тонкому провіднику, який є правильним  $n$  – кутником, вписаним у коло радіуса  $R$ . Знайти магнітну індукцію в центрі контуру.

20. Непровідний диск радіуса  $R$ , який рівномірно заряджений з одного боку з поверхневою густиною  $\sigma$ , обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю  $\omega$ . Знайти індукцію магнітного поля в центрі диска.

21. Визначити індукцію магнітного поля струму, рівномірно розподіленого по площині з лінійною густиною  $\vec{l}$ .

22. Однорідний струм з густиною  $j$  тече всередині необмеженої пластини товщиною  $2d$  паралельно її поверхні. Знайти індукцію магнітного поля як функцію відстані  $x$  від середньої площини пластини. Магнітна проникність пластини  $\mu = 1$ .

23. Непровідна сфера радіуса  $R$ , яка заряджена рівномірно з поверхневою густиною  $\sigma$ , обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  навколо осі, що проходить через її центр. Знайти магнітний момент сфери.

24. Постійний струм  $I$  тече вздовж довгого однорідного циліндричного проводу круглого перерізу. Провід зроблений з парамагнетика з магнітною сприйнятливістю  $\chi$ . Знайти величини поверхневих та об'ємних молекулярних струмів.

25. Металева куля радіуса  $a$  оточена концентричною металевою оболонкою радіуса  $b$ . Простір між ними заповнений слабо провідним середовищем з питомим опором  $\rho$ . Знайти опір міжелектродного проміжку.

26. Акумулятор з ЕРС  $E$ , конденсатор  $C$ , деякий електроопір і ключ з'єднані послідовно. В певний момент часу ключ замикають. Знайти кількість тепла, що виділилося на електроопорі. Внутрішнім опором акумулятора, опором підвідних дротів та електромагнітним випромінюванням знехтувати.

27. На довгий соленоїд, який має діаметр  $d$  та  $n$  витків на одиницю довжини, щільно надітий круговий виток з мідного проводу перерізом  $S$ . Знайти струм у витку, якщо струм в обмотці соленоїду збільшують з постійною швидкістю  $A$ .

28. В однорідному магнітному полі з індукцією  $B$  обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  контур площею  $S$ . Його опір дорівнює  $R$ . У початковий момент часу площина контуру перпендикулярна силовим лініям магнітного поля. Знайти залежність сили струму в контурі від часу. Самоіндукцією знехтувати.

29. В однорідному магнітному полі з індукцією  $\vec{B}$  з постійною швидкістю  $\vec{V}$  рухається металева кулька радіуса  $r$ . Між якими точками кульки різниця потенціалів буде максимальною? Чому вона дорівнює? Вектор  $\vec{B}$  і силові лінії магнітного поля непаралельні.

30. Посередині довгого соленоїда знаходиться коаксіальне кільце прямокутного перерізу з матеріалу, питомий опір якого  $\rho$ . Товщина кільця  $h$ , його внутрішній і зовнішній радіуси  $a$  і  $b$ . Знайти індукційний струм у кільці, якщо індукція магнітного поля соленоїда змінюється за законом  $B = \beta t$ , де  $\beta$  – постійна величина.

31. Магнітний потік через нерухомий контур з опором  $R$  змінюється за час  $t$  за законом  $\Phi = at(t-\tau)$ , де  $a$  – відома постійна величина,  $t$  – момент часу. Знайти кількість тепла, що виділиться у контурі за цей час. Індуктивністю контуру знехтувати.

32. Котушка індуктивності, конденсатор, джерело струму с ЕРС  $E$  і ключ з'єднані послідовно. В деякий момент часу ключ замикають. Знайти максимальну напругу на конденсаторі. Електричним опором котушки, джерела струму і підвідних дротів знехтувати. Вважати, що електромагнітне випромінювання відсутнє.

33. Нерелятивістські протони, що прискорені різницею потенціалів  $U$ , утворюють пучок круглого перерізу зі струмом  $I$ . Знайти модуль та напрям вектора Пойнтінга зовні пучка на відстані  $r$  від його осі.

34. Плоский конденсатор утворений двома дисками, між якими знаходиться однорідне слабке провідне середовище. Конденсатор зарядили та відключили від джерела напруги. Нехтуючи крайовими ефектами, показати, що магнітне поле усередині конденсатора відсутнє.

35. Котушка індуктивності  $L$ , електроопір  $R$ , джерело струму с ЕРС  $E$  і ключ з'єднані послідовно. В момент часу  $t = 0$  ключ замикають. Знайти залежність сили струму в колі від часу. Електричним опором джерела струму, підвідних дротів, електромагнітним випромінюванням знехтувати.

36. Сфера радіуса  $R$  заряджена по поверхні рівномірно з густиною  $\sigma$ . Визначити потенціал електричного поля всередині сфери у довільній точці.

37. Електричні заряди  $q$ ,  $2q$ ,  $3q$  утворюють у вакуумі рівнобічний трикутник зі стороною  $a$ . Знайти електричну силу, яка діє на заряд  $q$ .

38. Вісім однакових зарядів  $q$  утворюють у вакуумі куб, ребро якого дорівнює  $a$ . Визначити загальну енергію електричної взаємодії цих зарядів.

39. У скільки разів зміниться енергія плоского конденсатора, якщо його заряд збільшити у  $n$  разів, а відстань між обкладинками зменшити у  $\eta$  разів.

40. В околі деякої точки  $A$ , наприклад, парамагнетика вектор густини струму провідності вважати відомим. Визначити в цій точці вектор густини молекулярних струмів. Магнітна проникність речовини дорівнює  $\mu$ .

41. Котушка індуктивності  $L$  і конденсатор ємності  $C$  утворюють ідеальний коливальний контур. У деякий момент часу заряд конденсатора дорівнює  $q$ . Визначити силу струму  $I$  в контурі в цей момент, якщо максимальна величина заряду конденсатора дорівнює  $q_{max}$ .

## ОПТИКА

1. На дні водойми глибиною  $h$  знаходиться світна точка. Показник заломлення води дорівнює  $n$ . На поверхню води поклали тонкий непрозорий диск. Після чого світну точку побачити з повітря стало неможливо. При якому мінімальному радіусі диска таке можливо?

2. Предмет знаходиться на головній оптичній осі збираючої лінзи з фокусною відстанню  $f = 20\text{см}$ . Коефіцієнт лінійного поперечного збільшення  $\beta = 2$ . Знайдіть відстань предмета до лінзи, а також побудуйте його зображення.

3. Знайти межі, в яких може змінюватися кут відхилення променя при проходженні скляної призми з кутом заломлення  $\theta = 60^\circ$ . Показник заломлення скла  $n = 1,5$ .

4. Промінь світла падає на плоскопаралельну пластинку товщиною  $d$ . Кут падіння  $\theta$ . Знайти величину зміщення променя, що пройшов через цю пластину. Показник заломлення скла  $n$ .

5. Промінь світла під малим кутом падає на призму з кутом заломлення  $\theta \ll 1$ . Знайти кут відхилення променя в наслідок його заломлення в призмі. Показник заломлення скла  $n$ .

6. На березі водойми стоїть людина і спостерігає за камінцем, що лежить на дні. Глибина водойми  $h$ . На якій відстані від поверхні води видно зображення камінця, якщо промінь зору перпендикулярний поверхні води.

7. Світлова хвиля з частотою  $\nu$  переходить з вакууму в немагнітне середовище з діелектричною проникністю  $\varepsilon$ . Знайти приріст її довжини хвилі.

8. Плоска світлова хвиля падає нормально на поверхню плоскопаралельного шару товщиною  $d$  з немагнітної речовини, діелектрична проникність якої експоненціально зменшується від значення  $\varepsilon_1$  на передній поверхні до  $\varepsilon_2$  на задній. Знайти час поширення даної фази хвилі через цей шар.

9. У вакуумі вздовж осі  $x$  встановилася стояча світлова хвиля, електрична складова якої  $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos kx \cdot \cos \omega t$ , де  $\vec{E}_0$  – амплітуда хвилі,  $k$  – хвильове число,  $\omega$  – циклічна частота. Знайти амплітуду магнітної складової світлової хвилі  $\vec{B}(x, t)$ .

10. У вакуумі вздовж осі  $Ox$  встановилася стояча світлова хвиля, електрична складова якої  $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos kx \cdot \cos \omega t$ , де  $\vec{E}_0$  – амплітуда хвилі,  $k$  – хвильове число,  $\omega$  – циклічна частота. Знайти  $x$  – проекцію вектора Пойнтінга  $S_x(x, t)$  та її середнє значення за період коливань.

11. Плоска монохроматична світлова хвиля падає нормально на діафрагму з двома вузькими щілинами, які знаходяться одна від одної на відстані  $d = 2,5 \text{ мм}$ . На екрані, розташованого за діафрагмою на  $L = 100 \text{ см}$ , утворюється система інтерференційних смуг. На яку відстань і в яку сторону змістяться смуги, якщо одну з щілин перекрити скляною пластиною товщиною  $h = 10 \text{ мкм}$ ? Показник заломлення скла  $n = 1,5$ .

12. Плоска світлова хвиля падає на бідзеркала Френеля, кут між якими  $\alpha = 2,0'$ . Визначити довжину хвилі світла, якщо ширина інтерференційної смуги на екрані  $\Delta x = 0,55 \text{ мм}$ .

13. У досліді Ллойда відстань джерела монохроматичного світла до екрана дорівнює  $L$ . При цьому інтерференційна картина, яка спостерігається на екрані, має ширину інтерференційної смуги  $\Delta x$ . Відстань джерела світла до площини дзеркала збільшують на  $h$ . Ширина інтерференційної смуги зменшується у  $\eta$  разів. Знайти початкову відстань джерела світла до площини дзеркала та довжину хвилі світла.

14. Світло з довжиною хвилі  $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$  від віддаленого точкового джерела падає нормально на поверхню скляного клина. У відбитому світлі спостерігають систему інтерференційних смуг. Відстань між сусідніми максимумами на поверхні клина  $\Delta x = 0,21 \text{ мм}$ . Знайти кут між гранями клина. Показник заломлення скла  $n = 1,5$ .

15. Плоско-опукла скляна лінза з радіусом кривини сферичної поверхні  $R$  притиснута до скляної пластинки. Діаметри десятого та п'ятнадцятого темних кілець Ньютона у відбитому світлі дорівнюють  $d_1$  і  $d_2$ . Визначити довжину хвилі світла.

16. Дві однакові плоско-опуклі тонкі скляні лінзи торкаються своїми сферичними поверхнями так, що їх головні оптичні вісі співпадають. Знайти радіуси опуклих поверхонь лінз, якщо у відбитому світлі з  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$  діаметр п'ятого світлого кільця  $d = 1,50 \text{ мм}$ .

17. У двопроменевому інтерферометрі використовується оранжева лінія ртуті, яка складається з двох компонент  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ . Величини  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  є дуже близькими. При якому найменшому порядку інтерференції чіткість інтерференційної картини буде найгіршою?

18. Плоска монохроматична хвиля інтенсивності  $I_0$  падає на отвір круглої форми, який з точки спостереження  $P \in 1,3$  (по площі) зони Френеля. Знайти інтенсивність світла у точці  $P$ .

19. Плоска монохроматична хвиля інтенсивності  $I_0$  падає на отвір круглої форми, який з точки спостереження  $P \in 1,5$  (по площі) зони Френеля. Отвір закривають по діаметру наполовину. Знайти інтенсивність світла у точці  $P$ .

20. Плоска монохроматична хвиля інтенсивності  $I_0$  падає на отвір круглої форми, який з точки спостереження  $P \in 0,5$  (по площі) зони Френеля. Отвір

закривають по діаметру наполовину тонкою скляною пластинкою. Знайти товщину пластинки, при якій інтенсивність світла у точці  $P$  буде мінімальною. Показник заломлення скла  $n$ .

21. Світло з довжиною хвилі  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$  падає нормально на поверхню скляного диска, який перекриває півтори зони Френеля для точки спостереження  $P$ . При якій товщині диска інтенсивність світла в точці  $P$  буде мінімальною? Показник заломлення скла  $n = 1,5$ .

22. Світло з довжиною хвилі  $\lambda$  падає на щілину шириною  $b$  під кутом  $\theta_0$ . Знайти кутове положення перших мінімумів, які розташовані з обох боків центрального фраунгоферового максимуму.

23. При нормальному падінні світла на дифракційні ґрати кут дифракції для лінії  $\lambda_1$  у другому порядку дорівнює  $\theta_2$ . Знайти кут дифракції для лінії  $\lambda_2$  у третьому порядку.

24. Світло з довжиною хвилі  $535 \text{ нм}$  падає нормально на дифракційні ґрати. Знайти її період, якщо одному з фраунгоферових максимумів відповідає кут дифракції  $35^\circ$  і найбільший порядок спектра дорівнює п'яти.

25. При падінні природного світла на деякий поляризатор проходить  $\eta_1$  частина світлового потоку, а через два таких поляризатори –  $\eta_2$ . Знайти кут  $\varphi$  між площинами пропускання цих поляризаторів.

26. Ступінь поляризації частково поляризованого світла дорівнює  $P$ . Знайти відношення інтенсивності поляризованої складової цього світла до інтенсивності природної складової.

27. З повітря на скло падає нормально світло інтенсивності  $I_0$ . Знайти інтенсивність відбитого світла. Показник заломлення скла  $n$ .

28. Природне світло падає під кутом Брюстера на поверхню скла. Визначити за допомогою формул Френеля коефіцієнт відбиття. Показник заломлення скла  $n$ .

29. Природне світло падає під кутом Брюстера на поверхню скла. Визначити за допомогою формул Френеля ступінь поляризації заломленого світла. Показник заломлення скла  $n$ .

30. Плоскополяризоване світло інтенсивності  $I_0$  падає з повітря на скло під кутом Брюстера. Знайти інтенсивність відбитого світла, якщо його площина коливань утворює кут  $\theta$  з площиною падіння. Показник заломлення скла  $n$ .

31. Який характер поляризації має плоска світлова хвиля, проекції вектора  $\vec{E}$  якої на осі  $Ox$  та  $Oy$ , перпендикулярні до напрямку її розповсюдження (вісь  $Oz$ ), визначаються такими рівняннями:  $E_x = E \cos(\omega t - kz)$ ,  $E_y = E \sin(\omega t - kz)$ . Тут  $E$  - постійна величина.

32. Для досить жорстких рентгенівських променів електрони речовини можна вважати вільними. Знайти показник заломлення графіту для рентгенівських променів з довжиною хвилі у вакуумі  $\lambda$ .

33. З деякої речовини виготовили дві пластинки з товщиною  $d_1$  і  $d_2$ . Вводячи по черзі ці пластинки в пучок монохроматичного світла, виявили, що перша пластинка пропускає  $\eta_1$  частину світлового потоку, друга –  $\eta_2$ .

Знайти лінійний показник поглинання світла цієї речовини. Світло падає нормально. Вторинним відбиттям знехтувати.

34. Точкове монохроматичне джерело світла, що випромінює по усім напрямкам за кожну секунду енергію  $\Phi$ , знаходиться у центрі сферичного шару речовини, внутрішній радіус якого  $A$ , зовнішній  $B$ . Лінійний показник поглинання світла речовиною  $\chi$ , коефіцієнт відбиття поверхнями  $\rho$ . Знайти інтенсивність світла на виході з цієї речовини. Вторинним відбиттям знехтувати.

35. Знайти залежність між груповою  $u$  і фазовою  $v$  швидкостями у випадку, коли  $v \propto 1/\omega^2$ .

36. Плоска електромагнітна хвиля частотою  $\omega_0$  падає нормально на поверхню дзеркала, яке рухається назустріч з релятивістською швидкістю  $V$ . Знайти частоту відбитої хвилі.

37. Промінь світла падає під кутом  $\alpha$  з води на поверхню скла. Знайти величину  $\alpha$ , якщо відбитий та заломлений промені перпендикулярні один одному. Показники заломлення води і скла дорівнюють  $n_1$  та  $n_2$  відповідно.

38. На плоске дзеркало падає промінь світла. Напрямку його розповсюдження відповідає одиничний вектор  $\vec{e}$ . Нормаллю до дзеркала є одиничний вектор  $\vec{n}$ . Він спрямований у той бік, куди відбивається світло. Визначити одиничний вектор  $\vec{e}_1$ , що вказує напрямок відбитого променя світла.

39. Пучок паралельних променів падає під кутом  $\alpha$  з повітря на поверхню води. Його ширина у площині падіння  $h$ . Якою вона буде у пучка заломлених променів? Показник заломлення води  $n$ .

40. У вакуумі розповсюджується монохроматична плоска світлова хвиля. Вектор напруженості її електричного поля  $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \vec{r})$ . Тут  $\omega$  - циклічна частота світла,  $\vec{k}$  - хвильовий вектор,  $\vec{E}_0$  - амплітуда хвилі. Вважаючи вектори  $\vec{k}$  і  $\vec{E}_0$  відомими, визначити індукцію магнітного поля світлової хвилі  $\vec{B}(\vec{r}, t)$ .

41. Знайти залежність між груповою  $u$  і фазовою  $v$  швидкостями у випадку, коли  $v \propto k$ . Тут  $k$  - хвильове число.

42. Знайти концентрацію вільних електронів іоносфери, якщо для радіохвиль з частотою  $\nu = 100 \text{ МГц}$  її показник заломлення  $n = 0,9$ .

### **ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНИХ ЯВИЩ**

1. Показати за допомогою формули Віна, що: а) найбільш ймовірна частота випромінювання  $\omega_{\text{ймов}}$  пропорційна  $T$ ; б) максимальна спектральна густина теплового випромінювання  $(U_\omega)_{\text{макс}}$  пропорційна  $T^3$ ; в) енергетична світність  $M_e$  пропорційна  $T^4$ .



2. Дано два абсолютно чорних джерела теплового випромінювання. Температура одного з них дорівнює  $T_1 = 2500 \text{ K}$ . Знайти температуру другого джерела, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму його випромінювальної здатності, на  $\Delta\lambda = 0,50 \text{ мкм}$  більше довжини хвилі, яка відповідає максимуму випромінювальної здатності першого тіла.

3. Температура поверхні Сонця дорівнює  $T_0 = 5500 \text{ K}$ . Поглинальна здатність Сонця і Землі дорівнює одиниці. Оцінити температуру поверхні Землі, якщо вважати, що вона знаходиться у стані теплової рівноваги.

4. Мідна кулька діаметром  $d = 1,2 \text{ см}$  знаходиться у порожнині, температура стінок якої близька до абсолютного нуля. У порожнині вакуум. Знайти час, за який температура кульки зменшиться у  $\eta = 2$  рази. Вважати поверхню кульки абсолютно чорною. Густина міді дорівнює  $8,9 \text{ г/см}^3$ , а її питома теплоємність  $0,39 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{K}}$ .

5. Спектральний розподіл енергії теплового випромінювання визначається формулою Віна:  $U(\omega, T) = A\omega^3 e^{-a\omega/T}$ , де  $a = 7,64 \text{ пс} \cdot \text{K}$ . Знайти для температури  $T = 2000 \text{ K}$  найбільш ймовірну: а) частоту випромінювання; б) довжину хвилі випромінювання.

6. За допомогою формули Планка одержати приблизний вираз для об'ємної спектральної густини випромінювання  $U_\omega$ : а) в області, де  $\hbar\omega$  значно менше  $kT$  (формула Релея-Джинса); б) в області, де  $\hbar\omega$  значно більше  $kT$  (формула Віна).

7. При збільшенні напруги на рентгенівській трубці у  $\eta = 1,5$  рази довжина хвилі короткохвильової границі суцільного рентгенівського спектра змінилася на  $\Delta\lambda = 26 \text{ нм}$ . Знайти початкову напругу на трубці.

8. Розподіл енергії у спектрі гальмівного рентгенівського випромінювання відбувається згідно закону  $I_\lambda = A \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_k} - 1\right) / \lambda^3$ , де  $\lambda_k$  – короткохвильова межа спектру,  $A$  – постійна. Знайти напругу на рентгенівській трубці, якщо максимуму функції  $I_\lambda$  відповідає довжина хвилі  $\lambda_m = 53 \text{ нм}$ .

9. Знайти червону межу фотоефекту для цинку та максимальну швидкість фотоелектронів, якщо метал опромінюється електромагнітним випромінюванням довжиною хвилі  $250 \text{ нм}$ . Робота виходу для цинку дорівнює  $3,74 \text{ еВ}$ .

10. Фотон із довжиною хвилі  $\lambda = 6,0 \text{ нм}$  розсіявся під прямим кутом на вільному електроні. Знайти: а) частоту розсіяного фотона; б) кінетичну енергію електрона відбивання.

11. Фотон з енергією  $250 \text{ кеВ}$  розсіявся на вільному електроні. Знайти енергію розсіяного фотона.

12. Знайти довжину хвилі рентгенівського випромінювання, якщо максимальна кінетична енергія комптонівських електронів  $T_{\text{макс}} = 0,10 \text{ МеВ}$ .

13. На яку відстань наблизиться  $\alpha$  – частинка з кінетичною енергією  $T = 0,40 \text{ МеВ}$  (при лобовому зіткненні): а) до нерухомого важкого ядра атома

свинцю; б) до легкого вільного ядра  ${}^7\text{Li}$ , що спочатку знаходилось у стані спокою.

14. Знайти для воднеподібного іона радіус  $n$  – ї борівської орбіти та швидкість електрона на ній. Обчислити ці величини для першої борівської орбіти атома водню та іона  $\text{He}^+$ .

15. Визначити для атома водню та іона  $\text{He}^+$ : а) енергію зв'язку електрона у основному стані; б) потенціал іонізації; в) перший потенціал збудження; г) довжину хвилі головної лінії серії Лаймана.

16. Визначити квантове число  $n$ , яке відповідає збудженому стану іона  $\text{He}^+$ , якщо при переході в основний стан цей іон послідовно випромінив два фотони з довжинами хвиль 108,5 нм та 30,4 нм.

17. Енергія зв'язку електрона у основному стані атома He дорівнює  $E_0 = 24,6$  еВ. Визначити енергію, яка потрібна для того, щоб обидва електрони залишили атом.

18. Нерухомий іон  $\text{He}^+$  випромінив фотон, який відповідає головній лінії серії Лаймана. Цей фотон вибив фотоелектрон з нерухомого атома водню, який знаходився у основному стані. Визначити швидкість фотоелектрона.

19. Яку додаткову енергію треба надати електрону для того, щоб його довжина хвилі де Бройля зменшилась від 100 до 50 нм?

20. Одержати вираз для обчислення довжини хвилі де Бройля релятивістської частинки, яка рухається з кінетичною енергією  $T$ .

21. Частинка масою  $m$  знаходиться в одновимірній прямокутній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками та шириною  $d$ . Визначити можливі значення енергії частинки, якщо реалізуються лише такі стани її руху, для яких довжина ями дорівнює цілому числу напівхвиль де Бройля.

22. Частинки з масою  $m$  і енергією  $E$  рухаються зліва на потенціальний бар'єр прямокутної форми висотою  $U_0$  ( $E > U_0$ ;). Визначити: а) коефіцієнт відбиття  $R$  цього бар'єра при  $E > U_0$ ; б) ефективну глибину проникнення частинок у область  $x > 0$  при  $E < U_0$ , тобто відстань від границі бар'єра до точки, де густина ймовірності зменшується у  $e$  разів.

23. Частинка масою  $m$  знаходиться в основному стані в одновимірній потенціальній ямі шириною  $l$  з абсолютно непрозорими стінками ( $0 < \delta < l$ ).

Визначити ймовірність знаходження частинки у області  $\frac{l}{3} < x < \frac{2l}{3}$ .

24. Частинка масою  $m$  рухається в одновимірному потенціальному полі  $U = \frac{kx^2}{2}$  (гармонічний осцилятор). Оцінити за допомогою співвідношення невизначеності мінімально можливу енергію частинки у такому полі.

25. Виписати спектральні позначення термів атома водню, електрон якого знаходиться у стані з головним квантовим числом  $n = 3$ .

26. Визначити максимально можливий повний механічний момент атома та відповідний спектральній терм атома: а) натрію, валентний електрон якого має головне квантове число  $n = 4$ ; б) із електронною конфігурацією  $1s^2 2p3d$ .

27. Визначити енергію зв'язку валентного електрона, який знаходиться в основному стані, атома літію, якщо відомо, що довжина хвилі головної лінії різкої серії  $\lambda_1 = 813$  нм, а довжина короткохвильової границі цієї серії  $\lambda_2 = 350$  нм.

28. Визначити за допомогою правил Хунда магнітний момент основного стану атома, у якого незамкнута підоболонка заповнена рівно наполовину п'ятьма електронами.

29. Визначити за допомогою закону Мозлі: а) довжину хвилі  $\hat{E}_\alpha$  – лінії алюмінію та кобальту; б) різницю енергій зв'язку K – та L – електронів ванадію.

30. Який ефект Зеємана (простий або аномальний) буде спостерігатися у слабкому магнітному полі на спектральній лінії, яка відповідає переходам:

$$\text{а) } ^1P \rightarrow ^1S; \text{ б) } ^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}.$$

31. Визначити величину максимальної коливальної енергії двоатомної молекули, власна частота якої  $\omega$  і коефіцієнт ангармонічності  $x$ .

32. Одержати формулу, яка визначає відстань між площинами  $d$  простої кубічної кристалічної ґратки для системи площин  $(hkl)$ . Стала кристалічної ґратки –  $a$ .

33. Визначити момент кількості руху молекули кисню, оберտальна енергія якої дорівнює  $2,16 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$ .

34. Визначити кутову швидкість молекули  $S_2$ , яка знаходиться на першому збудженому оберտальному рівні.

35. Визначити кут, під яким пучок рентгенівських променів із довжиною хвилі  $\lambda = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ см}$  відбивається у максимальному порядку від системи кристалічних площин, відстань між якими  $d = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

36. Визначити спектральний символ синглетного терму атома, якщо повна ширина розщеплення цього терму в слабкому магнітному полі з індукцією  $B = 3,0 \text{ кГс}$  складає  $\Delta E = 104 \text{ мкеВ}$ .

37. Спектральну лінію у випадку аномального ефекту Зеємана спостерігають у напрямку вздовж та поперек поля. Скільки компонент можна спостерігати в обох напрямках, якщо спектральна лінія обумовлена переходом  $^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$ ?

38. Який ефект Зеємана (простий або аномальний) спостерігається у слабкому магнітному полі, якщо спектральна лінія обумовлена переходом  $^5I_5 \rightarrow ^5H_4$ ?

39. Визначити напругу на рентгенівській трубці, яка має антикатод із нікелю ( $_{28}Ni$ ), якщо різниця довжин хвиль  $K_\alpha$ -лінії та короткохвильової границі суцільного рентгенівського спектру дорівнює 84 пм. Поправка  $\sigma$  для нікелю дорівнює одиниці.

40. У якого легкого елемента у спектрі поглинання різниця частот  $K$ - та  $L$ -країв поглинання складає  $\Delta\omega = 6,85 \cdot 10^{18} \text{ c}^{-1}$ ? Поправка  $\sigma$  дорівнює одиниці.

41. Обчислити за допомогою закону Мозлі: а) довжину хвилі  $K_\alpha$ -лінії алюмінію ( $_{13}\text{Al}$ ) та кобальту ( $_{27}\text{Co}$ ); різницю енергій зв'язку  $K$  - та  $L$  - електронів ванадію ( $_{23}\text{V}$ ). Поправка  $\sigma$  дорівнює одиниці.

### ФІЗИКА ЯДРА ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

1.  $^{234}\text{U}$  є продуктом розпаду основного ізотопу урану  $^{238}\text{U}$ . Визначити період напіврозпаду  $^{234}\text{U}$ , якщо його вміст у природному урані тепер складає 0,0055%. Період напіврозпаду  $^{238}\text{U}$  складає  $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$  років. Вважати, що спочатку «напрацьованого»  $^{234}\text{U}$  не було.

2. Оцінити константи у законі Гейгера–Неттолла, якщо ядро  $^{232}_{90}\text{Th}$  має період напіврозпаду  $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$  років та випускає  $\alpha$ -частинки з енергією 4 МеВ, а для ядра  $^{212}_{84}\text{Po}$  період напіврозпаду складає  $T_{1/2} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ c}$ , а енергія  $\alpha$ -частинок є 8,8 МеВ.

3. Вільне атомне ядро маси  $M$ , яке знаходиться у спокої, переходить зі збудженого стану в основний, випускаючи  $\gamma$ -квант. Знайти енергію  $\gamma$ -кванта та енергію відбою  $R$ , якщо енергія збудження дорівнювала  $E_{12}$ . Числову відповідь отримати для  $^{191}_{77}\text{Ir}$ , якщо  $E_{12} = 129 \text{ кеВ}$ .

4. Вільне атомне ядро маси  $M$ , яке знаходиться у спокої, переходить у збуджений стан із енергією збудження  $E_{12}$ . Визначити енергію  $\gamma$ -кванта та енергію відбою ядра  $R$ .

5. Яку кінетичну енергію необхідно надати протону, що налітає на нерухомий протон, щоб кінетична енергія їх відносного руху була такою ж, як при зіткненні двох протонів, які рухаються назустріч один одному з кінетичними енергіями  $T = 30 \text{ ГеВ}$ ?

6. При створенні керованої термоядерної реакції передбачається, що дейтерій буде використовуватися як ядерне паливо. Особливо велике значення мають наступні первинні ядерні реакції, які йдуть приблизно з однаковою ймовірністю: а)  $\text{D} + \text{D} = \text{H}^3 + \text{p} + \text{Q}_a$ ; б)  $\text{D} + \text{D} = \text{He}^3 + \text{n} + \text{Q}_b$ . Обчислити енергії  $\text{Q}_a$  та  $\text{Q}_b$  цих реакцій.

7. У термоядерному реакторі із дейтерієвим пальним можуть відбуватися вторинні термоядерні реакції: а)  $\text{He}^3 + \text{D} = \text{He}^4 + \text{p} + \text{Q}_a$ ; б)  $\text{H}^3 + \text{D} = \text{He}^4 + \text{n} + \text{Q}_b$ . Обчислити енергії  $\text{Q}_a$  та  $\text{Q}_b$  цих реакцій.

8. Визначити енергію, яка вивільнюється при утворенні двох альфа-частинок у результаті синтезу ядер  $\text{H}^2$  та  $\text{Li}^6$ , якщо відомо, що енергії зв'язку на один нуклон у ядрах  $\text{H}^2$ ,  $\text{He}^4$  та  $\text{Li}^6$  дорівнюють відповідно 1,11; 7,8 та 5,33 МеВ.

9. Обчислити за допомогою напівемпіричної формули Вайцеккера енергію зв'язку ядра  $\text{Ca}^{40}$ .

10. Обчислити за допомогою напівемпіричної формули Вайцеккера енергію зв'язку ядра  $^{107}\text{Ag}$ .

11. Зразок йоду  $I^{127}$  опромінюється нейтронним потоком такої інтенсивності, що в 1 сек утворюється  $10^7$  атомів радіоактивного  $I^{128}$ , період напіврозпаду якого складає 25 хв. Знайти число атомів  $I^{128}$  та активність препарату через 1, 10, 25, 50 хв після початку опромінення. Які максимальні числа атомів  $I^{128}$  та активність препарату після довгого опромінення (тобто при опроміненні до насичення).

12. Визначити порядковий номер та атомну масу іонію, який утворюється з урану в результаті двох альфа-перетворень та двох бета-перетворень. Ізотопом якого елементу є іоній?

13. Період напіврозпаду радіо фосфору  $P^{32}$  складає 15 днів. Знайти активність препарату  $P^{32}$  через 10, 30, 90 днів після його виготовлення, якщо початкова активність складала 100 мКюрі.

14. Відносно повільні протони з енергією у кілька сотень і навіть десятків кеВ можуть викликати розщеплення ядра літію  $Li^7 + H^1 = 2He^4$ . Яку енергію мають обидві альфа-частинки?

15. Релятивістська частинка із масою  $m$  та кінетичною енергією  $T$  налітає на частинку з такою ж масою, яка знаходиться у спокої. Знайти кінетичну енергію їх відносного руху.

### *Список літератури*

1. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Вища школа, 1993. – 431 с.
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.1 Механіка і молекулярна фізика. – К.: Техніка, 1999. – 556 с.
3. Якібчук П.М., Клим М.М. Молекулярна фізика. Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2013. – 584 с.
4. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальна фізика. Електрика та магнетизм : навчальний посібник . – Київ: Вища школа, 1990. – 367 с.
5. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Курс загальної фізики. Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 2001. – 452 с.
6. Дідух Л. Електрика та магнетизм. Підручник. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2020. – 464 с.
7. Гуменюк А.Ф. Електрика та магнетизм. Навчальний посібник. – К.: Четверта хвиля, 2008. – 506 с.
8. Кучерук І. М., Горбачук І.Т. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. – К.: Вища школа, 1999. – 517 с.
9. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Т. Загальний курс фізики. Оптика. Квантова фізика. Т. 3. – К.: Видавництво «Техніка», 1991. – 463 с.
10. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – К.: Либідь, 2001. – 448 с.
11. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн. 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Либідь, 2001. – 424 с.
12. Курс фізики. Підручник. / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, І.М Кравчук та інші. – Львів: Афіша, 2003. – 376 с.

13. Каденко І. М., Плюйко В. А. Фізика атомного ядра та частинок: підручник. – К. ВПЦ "Київський університет", 2019. – 467 с.
14. Находкін М. Г., Харченко Н. П. Атомна фізика: підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 551 с.
15. Кобушкін О. П. Атомна фізика. – К.: НТУ У «КПІ», 2028. – 269 с.
16. Нічук Ю. А. Ядерна фізика. – ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2008. – 168 с.
17. Федорченко А. М. Теоретична фізика. У 2-х томах. Том 1. Класична механіка і електродинаміка. – К.: Вища школа, 1992. – 535 с.
18. Федорченко А. М. Теоретична фізика. У 2-х томах. Том 2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика. – К.: Вища школа, 1993. – 451 с.
19. Єжов С. М., Макарець М. В., Романенко О. В. Класична механіка: Підручник для студентів фізичних спеціальностей університетів. – К.: фізичний факультет, 2007. – 399 с.
20. Сугаков В. Й. Теоретична фізика. Електродинаміка. – К.: Вища школа, 1974. – 272 с.
21. Вакарчук І. О. Квантова механіка: Підручник. – 2-ге вид., доп. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 784 с.
22. Єрмолаєв О. М., Рашба Г. І. Вступ до статистичної фізики та термодинаміки. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2004. – 516 с.
23. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Mechanics, Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1976. – 160 p.
24. Goldstein H. Classical mechanics / H. Goldstein, Poole C., Safko J. Addison Wesley, 2002. – 638 p.
25. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. The classical Theory of Field. Course of Theoretical Physics. V. 2. Butterworth Heinemann, 1994. – 428 p.
26. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. Electrodynamics of Continuous Media. Course of Theoretical Physics. V. 8. Pergamon press, 1960. – 417 p.
27. Landau L. D. Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory. Course of Theoretical Physics. V. 3 / L. D. Landau, E. M. Lifshitz. Pergamon Press, 1991. – 674 p.
28. J.-L. Basdevant, J. Dalibard. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
29. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Course of Theoretical Physics, Vol. 5, Statistical Physics, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1975. – 484 p.
29. R. Kubo, Statistical Mechanics. – North-Holland, Amsterdam, 1965. – 434 p.