

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА

Збірник задач

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Комп'ютерні поліграфічні системи»
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Укладачі: Ю. Ф. Носачов, Д. В. Савченко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2024

УДК 531.1, 531.3, 535.4, 536.7, 537.2, 537.6, 539.183

B19

Укладачі: *Носачов Юрій Федорович*, канд. фіз.-мат. наук, доц.
Савченко Дарія Вікторівна, д-р фіз.-мат. наук

Рецензент *Якуніна, Н.О.*, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
зав. каф. загальної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Чурсанова М.В.*, канд. фіз.-мат. наук

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 09.05.2024 р.)
за поданням вченої ради фізико-математичного факультету
(протокол № 6 від 17.04.2024 р.)*

B19 **Загальна фізика:** збірник задач [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерні поліграфічні системи» спец. 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. Ф. Носачов, Д. В. Савченко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 120 с.

У посібнику викладено методичні вказівки і контрольні завдання з навчальних дисциплін «Фізика 1. Частина 1. Механіка і молекулярна фізика» та «Фізика. Частина 2. Електрика і магнетизм. Оптика. Атомна фізика». Посібник містить короткі теоретичні відомості до кожної самостійної та контрольної роботи. Особливістю посібника є типових та нестандартних задач, що надає можливість студентам більш досконало опанувати навчальні дисципліни. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування буде також корисним студентам інших технічних спеціальностей.

УДК 531.1, 531.3, 535.4, 536.7, 537.2, 537.6, 539.183

Реєстр. № НП 23/24-462. Обсяг 7,3 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1. КЛАСИЧНА МЕХАНІКА.....	8
1.1. Елементи кінематики.....	8
Задачі для самостійної роботи до теми «Прямолінійний рух».....	16
Задачі для самостійної роботи до теми «Криволінійний рух».....	18
Задачі для самостійної роботи до теми «Обертання навколо нерухомої осі».....	19
1.2. Динаміка матеріальної точки та поступального руху твердого тіла.....	22
1.3. Динаміка обертального руху твердого тіла.....	25
1.4. Механічна робота. Енергія.....	28
Домашня контрольна робота з розділу «Фізичні основи класичної механіки».....	30
РОЗДІЛ 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА.....	43
2.1 Рівняння стану речовини.....	43
2.2 Термодинамічні процеси.....	44
Домашня контрольна робота з розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка».....	48
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ.....	57
3.1 Електростатика.....	57
3.2 Сталий струм.....	64
3.3 Магнітне поле.....	66
Домашня контрольна робота з розділу «Електрика і магнетизм».....	69
РОЗДІЛ 4. ОПТИКА. АТОМНА ФІЗИКА.....	81
4.1 Інтерференція світла.....	81
4.2 Дифракція світла.....	82
4.3 Елементи квантової оптики.....	84
Домашня контрольна робота з розділу «Оптика. Атомна фізика».....	89
Література.....	100
ДОДАТОК А Фундаментальні фізичні константи.....	103

ДОДАТОК Б Рекомендовані позначення та одиниці вимірювання фізичних величин.....	104
ДОДАТОК В Властивості деяких твердих тіл.....	109
ДОДАТОК Г Пружні властивості деяких речовин.....	110
ДОДАТОК Д Теплопровідність деяких речовин (Вт/м·К).....	111
ДОДАТОК Е Властивості деяких рідин за 20 ⁰ С.....	112
ДОДАТОК Ж Параметри критичного стану деяких речовин.....	113
ДОДАТОК К Діаметри молекул деяких газів, м.....	114
ДОДАТОК Л Діелектрична проникність деяких речовин.....	115
ДОДАТОК М Електричні властивості матеріалів за 20 ⁰ С.....	116
ДОДАТОК Н Робота виходу <i>A</i> електронів з металу, еВ.....	117
ДОДАТОК П Абсолютні показники заломлення видимого світла.....	118
ДОДАТОК Р Атомні маси деяких атомних ядер, а.о.м.....	119
ДОДАТОК С Періоди піврозпаду деяких ізотопів.....	120

ВСТУП

Курс загальної фізики займає особливе місце в сучасній системі інженерної освіти, оскільки має яскраво виражений світоглядний зміст. В його основі є формування у свідомості майбутніх фахівців чітких уявлень про фізичну картину світу, аналіз різноманітних явищ з точки зору їх цілісної фундаментальної фізичної сутності, здатності поєднувати теорію і практику для розв'язування практичних завдань, знаходити потрібну інформацію у літературі, консультиватися і використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики.
- Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів.
- Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях.
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами.
- Здатність моделювати фізичні системи, явища і процеси.
- Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження у складі наукової групи.
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни студенти набудуть таких загальних програмних результатів навчання:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної фізики, зокрема, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач.
- Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.
- Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.
- Розуміти зв'язок фізики з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних досліджень.
- Аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

Даний методичний посібник адаптований до змісту робочих програм навчальної дисципліни «Фізика. Частина 1. Механіка і молекулярна фізика» та «Фізика. Частина 2. Електрика і магнетизм. Оптика. Атомна фізика» для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності «133 Галузеве машинобудування» освітньої програми «Комп'ютерні поліграфічні системи». За цими програмами в першому навчальному семестрі студенти

виконують домашні контрольні роботи з розділів «Фізичні основи класичної механіки» і «Молекулярна фізика і термодинаміка». В другому навчальному семестрі програмою передбачено виконання двох домашніх контрольних робіт з розділу «Електрика і магнетизм» і розділу «Оптика. Атомна фізика».

Посібник уміщує практичні завдання у вигляді задач за вищенаведеними розділами курсу загальної фізики, наводяться теоретичні відомості, студентам пропонується дати відповідь на контрольні запитання, вирішити якісні задачі та задачі різних рівнів складності. Поєднання тестових завдань, типових задач та нестандартних задач дасть можливість студентам більш досконало опанувати предмет курсу. Ряд задач підвищеної складності сприятиме поглибленню знань з даної дисципліни за допомогою творчого пошуку та вивчення запропонованих проблем. Наведений на початку методичних вказівок теоретичний матеріал має на меті сприяти більш успішному розв'язанню задач. Таким чином, дані методичні вказівки є корисними як в плані засвоєння теоретичного матеріалу, так і з точки зору можливості перевірки знань.

РОЗДІЛ 1. КЛАСИЧНА МЕХАНІКА

1.1 . Елементи кінематики

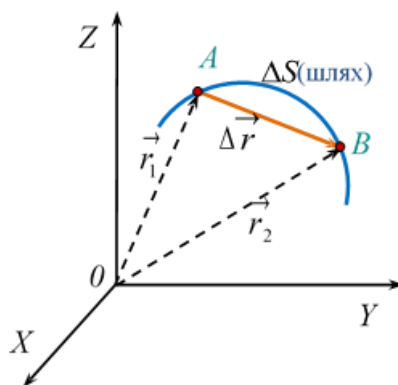
Положення матеріальної точки в заданій системі відліку визначається її радіус-вектором \vec{r} , залежність якого від часу називається законом її руху:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1)$$

Розрахунок цієї функціональної залежності дозволяє визначати положення матеріальної точки для будь-якого моменту часу і являє собою основну задачу кінематики.

Переміщення $\Delta\vec{r}_{12}$ за проміжок часу Δt , або приріст радіуса-вектору - вектору, проведеного від початкового положення точки до її кінцевого положення:

$$\Delta\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad (2)$$



Середня швидкість переміщення:

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (3)$$

Середня числова швидкість являє собою відношення шляху s_{12} (довжини траєкторії) до проміжку часу Δt , за який точкою пройдений цей шлях:

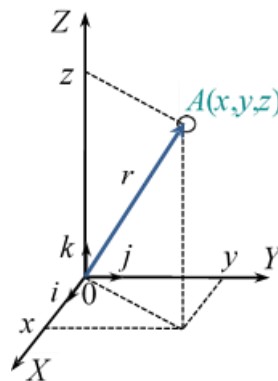
$$\langle v \rangle = \frac{s}{\Delta t} \quad (4)$$

Миттєва швидкість – є похідна від радіуса-вектору за часом:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (5)$$

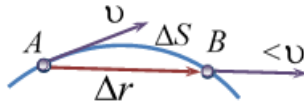
Цей вектор також може бути виражений через його проєкції на осі декартової системи координат і відповідні орти:

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} \quad (6)$$



Вектор миттєвої швидкості в кожній точці траєкторії направлений за дотичною, в напрямку руху, а його модуль є похідна від елементарного шляху ds за часом:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (7)$$



Миттєве прискорення – перша похідна від швидкості, або друга похідна від радіуса-вектору:

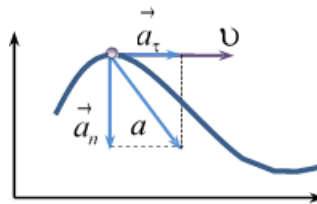
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (8)$$

Середнє за проміжок часу Δt прискорення:

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta\vec{v}_{12}}{\Delta t} \quad (9)$$

Прискорення характеризує швидкість зміни швидкості матеріальної точки. Швидкість, як вектор, може змінюватися або за напрямком, або за модулем, або і за першим і за другим. Для відображення кожної з цих змін, повне прискорення в загальному випадку має дві складові – *тангенціальне* (дотичне) прискорення \vec{a}_τ і *нормальне* (доцентрове) прискорення \vec{a}_n :

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \quad (10)$$



або в скалярній формі:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (11)$$

Тангенціальне прискорення характеризує зміну швидкості за модулем:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} \quad (12)$$

Цей вектор направлений вздовж дотичної. Якщо модуль швидкості зростає, напрямки тангенціального прискорення і швидкості збігаються. Якщо швидкість за модулем зменшується, вектор тангенціального прискорення направлений вздовж дотичної в протилежному напрямку.

Нормальне прискорення характеризує зміну швидкості за напрямком. Цей вектор в кожній точці направлений по радіусу до центру кривизни траєкторії R , а його модуль дорівнює:

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (13)$$

У відповідності до принципу незалежності руху кінематичні рівняння руху матеріальної точки можна задавати у вигляді залежності від часу координат цієї точки. В загальному випадку:

$$x=x(t), \quad y=y(t), \quad z=z(t) \quad (14)$$

Проекції вектору швидкості на координатні осі:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (15)$$

Повна миттєва швидкість:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (16)$$

Проекції вектору прискорення на координатні осі:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (17)$$

Повне прискорення:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (18)$$

Якщо матеріальна точка рухається в площині, достатньо вказати два рівняння:

$$x=x(t), \quad y=y(t).$$

В цьому випадку рівняння (15) – (18) набувають вигляду:

$$\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt} \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ a &= \sqrt{a_x^2 + a_y^2}. \end{aligned}$$

При прямолінійному русі вздовж осі ОХ:

$$x=x(t), \quad v_x = \frac{dx}{dt}, \quad a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; \quad (19)$$

Наприклад, для рівномірного руху:

$$x = x_0 + v_x t \quad (20)$$

Для рівнозмінного руху рівняння (19) мають вигляд:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2 \quad (21)$$

$$v = v_{0x} + a_x t \quad (22)$$

Якщо в формулах (21) і (22) виключити час, то отримаємо вираз:

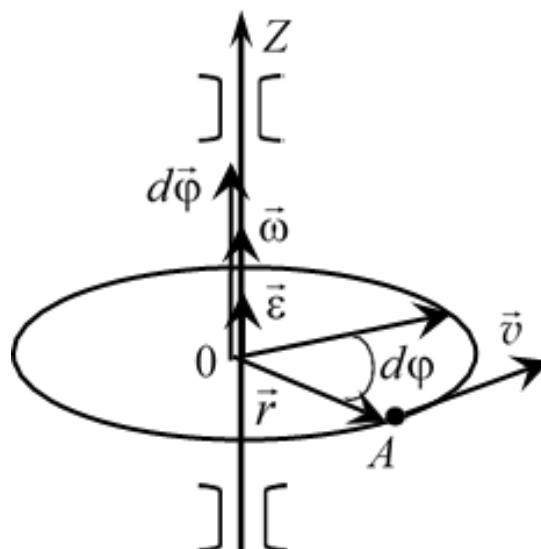
$$2ax = v^2 - v_0^2$$

При обертальному русі матеріальної точки навколо нерухомої осі
кінематичне рівняння має вигляд:

$$\vec{\varphi} = \vec{\varphi}(t)$$

де $\vec{\varphi}$ – кутове переміщення.

Якщо матеріальна точка обертається навколо нерухомої осі і за малий проміжок часу dt радіус – вектор цієї точки розвертається на кут $d\varphi$, елементарним кутовим переміщенням $\overrightarrow{d\varphi}$ називається вектор, направлений вздовж осі обертання, і якщо дивитися з кінця цього вектору, обертання точки відбувається проти годинникової стрілки, а модуль елементарного кутового переміщення дорівнює куту $d\varphi$.



Миттєва кутова швидкість:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (23)$$

Напрямок вектору кутової швидкості збігається з напрямком вектору кутового переміщення.

Миттєве кутове прискорення

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} \quad (24)$$

Напрямок вектору кутового прискорення збігається з напрямком вектору прирощення кутової швидкості $d\vec{\omega}$. Якщо кутова швидкість матеріальної точки зростає, напрямок вектору кутового прискорення збігається з напрямками векторів кутового переміщення і кутової швидкості. У випадку, коли кутова швидкість обертання точки зменшується, вектор кутового прискорення змінює напрямок на протилежний.

Для рівномірного обертального руху (в скалярній формі):

$$\varphi = \omega t, \quad \omega = \text{const.}, \quad \beta = 0.$$

У випадку рівнозмінного обертального руху (в скалярній формі):

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\beta t^2}{2}, \quad \omega = \omega_0 \pm \beta t$$

Зв'язок між кутовими і лінійними кінематичними параметрами.

Якщо матеріальна точка за проміжок часу dt здійснює кутове переміщення $d\vec{\varphi}$ і лінійне переміщення $d\vec{r}$, а її радіус вектор \vec{r} розвернувся на кут $d\varphi$, між кутовим і лінійним переміщеннями виконується співвідношення:

$$d\vec{r} = [d\vec{\varphi}, \vec{r}] \quad (25)$$

Якщо цей вираз розділити на проміжок часу dt , отримаємо зв'язок між кутовою і лінійною швидкостями:

$$\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{r}] \quad (26)$$

Зв'язок між модулями кутової і лінійної швидкостями:

$$v = \omega r \sin 90^\circ = \omega r \quad (27)$$

Якщо взяти похідну за часом від (26):

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \left[\frac{d\vec{\omega}}{dt}, \vec{r} \right] + [\vec{\omega}, \frac{d\vec{r}}{dt}] \quad (28)$$

$$\text{або: } \vec{a} = [\vec{\beta}\vec{r}] + [\vec{\omega}\vec{v}] \quad (29)$$

Тобто, повне прискорення \vec{a} дорівнює сумі двох його складових – тангенціального \vec{a}_τ і нормального \vec{a}_n прискорення:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\beta}\vec{r}] \quad (30)$$

$$a_\tau = \beta r \sin 90^\circ = \beta r \quad (31)$$

$$\vec{a}_n = [\vec{\omega}\vec{v}] \quad (32)$$

$$a_n = \omega v \sin 90^\circ = \omega v \quad (33)$$

Враховуючи (27), модуль нормального прискорення можна розрахувати також за однією з наступних формул:

$$a_n = \omega v = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} \quad (34)$$

Враховуючи зв'язок між кутовою швидкістю ω , періодом T і частотою обертання n :

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T} \quad (35)$$

$$a_n = 4\pi^2 n^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r \quad (36)$$

Задачі для самостійної роботи до теми «Прямолінійний рух»

1. Першу половину часу автомобіль рухався зі швидкістю $v_1 = 72$ км/год, а другу зі швидкістю $v_2 = 36$ км/год. Визначити середню швидкість його руху $\langle v \rangle$ на цьому відрізку шляху.
2. Ескалатор підіймає людину, що стоїть на ньому нерухомо, за $t_1 = 1$ хв. Якщо ескалатор нерухомий, а людина підіймається по ньому самостійно, то час підйому займає $t_2 = 3$ хв. За який час t_3 підніметься людина по рухомому ескалатору?
3. Літак рухається відносно повітря з швидкістю $v = 720$ км/год. Вітер дме з заходу на схід зі швидкістю $v = 15$ м/с. З якою швидкістю відносно Землі буде рухатися літак та під яким кутом до меридіана необхідно тримати його курс, щоб рух відбувався: а) на південь; б) північ; в) на захід; г) на схід?
4. Дві прямі дороги перехрещуються під кутом $\alpha = 60^\circ$. Від перехрестя по ним віддаляються дві машини: одна зі швидкістю $v_1 = 72$ км/год, друга зі швидкістю $v_2 = 54$ км/год. Знайти швидкість v , з якою одна машина віддаляється від другої, якщо перехрестя вони пройшли одночасно.
5. Матеріальна точка рухається прямолінійно згідно з рівнянням $x = 2t - 4t^2 + t^3$ м. Визначити її швидкість v у той момент, коли прискорення a дорівнює нулю. Накреслити графіки залежності координати, швидкості та прискорення від часу.

6. Залежність швидкості руху тіла від часу задається рівнянням $v = 1 + 2t + 3t^2$ м/с. Визначити час t , коли прискорення тіла дорівнюватиме 8 м/с². Який шлях подолає тіло за цей проміжок часу?
7. Тіло, що було кинуте вертикально вгору, знаходилося на висоті $h = 8,6$ м два рази з інтервалом 3 с. Знайти початкову швидкість тіла v_0 . Опором повітря знехтувати.
8. З якої висоти h падав камінь, якщо останній метр свого шляху він пролетів за $0,1$ с.
9. Тіло, яке було кинуте вертикально вгору, повернулося на землю через 3 с. Визначити початкову швидкість тіла v_0 та висоту h , на яку воно піднялося.
10. Тіло падає з висоти $h = 19,6$ м. За який час воно подолає перший та останній метри свого шляху, якщо початкова швидкість тіла дорівнювала нулю?
11. Тіло 1 кинуте вертикально вгору з початковою швидкістю v_0 , тіло 2 вільно падає з висоти h . Знайти залежність відстані між тілами від часу, якщо відомо, що тіла почали рухатися одночасно.
12. Поїзд рухається зі швидкістю $v = 36$ км/год. Якщо вимкнути струм, то поїзд буде рухатися рівносповільнено і зупиниться через $t = 20$ с. Визначити прискорення поїзда a і шлях s , який він подолає до зупинки.
13. Поїзд, що рухається рівносповільнено, протягом однієї хвилини зменшує свою швидкість від $v_1 = 36$ км/год до $v_2 = 24$ км/год. Знайти прискорення поїзда a і відстань s , яку він подолав за час гальмування.
14. На яку глибину h увійде куля в дерев'яний стовп, якщо при пробиванні дошки товщиною $s = 2$ см її швидкість зменшується на 30 %? Рух кулі вважати рівносповільненим.

Задачі для самостійної роботи до теми «Криволінійний рух»

1. Точка рухається по колу радіусом $R = 4$ м згідно з рівнянням $s = 10 - 2t + t^2$ м, де s - координата, що відліковується вздовж траєкторії руху. Знайти тангенціальне a_τ , нормальне a_n та повне прискорення a точки наприкінці другої секунди.
2. Літак, що летів на висоті $h = 3$ км з швидкістю $v = 360$ км/год, скинув вантаж. За який час t до проходження над ціллю і на якій відстані від неї s літак був повинен скинути вантаж, щоб влучити в ціль. Опором повітря знехтувати.
3. Камінь кинуто з башти висотою $h = 80$ м у горизонтальному напрямку із швидкістю $v_0 = 30$ м/с. Визначити швидкість v , тангенціальне a_τ та нормальне прискорення каменю a_n в кінці польоту. Знайти радіус кривизни траєкторії R в момент падіння каменю на землю.
4. Тіло кинуто під кутом α до горизонту. Знайти цей кут, якщо далекість польоту по горизонталі у чотири рази перевищує максимальну висоту підйому. Опором повітря знехтувати.
5. Тіло кинуто під кутом $\alpha_0 = 60^\circ$ до горизонту із швидкістю $v = 20$ м/с. Через який проміжок часу t від початку руху і на якій висоті h воно буде рухатися під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту? Опором повітря знехтувати.
6. Камінь кинуто горизонтально з гори, нахил якої дорівнює 30° . Визначити швидкість, з якою було його кинуто v_0 , якщо він упав на схил на відстані $l = 10$ м від точки кидання. Опором повітря знехтувати.
7. М'яч падає на похилу площину вертикально з висоти $h = 2$ м та пружно відбивається від неї. На якій відстані від місця падіння s він знову вдариться об ту ж саму площину? Кут нахилу площини до горизонту 30° . Опором повітря знехтувати.
8. Тіло кинуто з початковою швидкістю v_0 під кутом α до горизонту. Знайти рівняння траєкторії тіла. При якому куті кидання дальність польоту буде найбільшою? Опором повітря знехтувати.

Задачі для самостійної роботи до теми «Обертання навколо нерухомої осі»

1. Визначити радіус маховика R , якщо при обертанні швидкість точок на його ободі дорівнює $v_1 = 6$ м/с, а швидкість точок, що знаходяться на 15 см ближче до осі, $v_2 = 5,5$ м/с. З деякого моменту часу маховик починає рухатися рівносповільнено і через $t = 69$ с зупиняється. Скільки обертів N зробить маховик до зупинки?
2. Штучний супутник Землі за один оберт пролітає $s = 45600$ км. Обчислити середню лінійну v та кутову ω швидкості супутника, якщо період обертання T становить 106 хв.
3. Матеріальна точка обертається з частотою $n = 20$ об/с. З де-якого моменту часу вона починає рухатися рівносповільнено і до зупинки робить $N = 2100$ обертів. Знайти кутове прискорення ε і час t , за який вона зупиниться.
4. На горизонтальній осі обертаються з швидкістю $n = 3000$ об/хв два тонких диски, закріплених на відстані $l = 100$ см один від одного. Куля, що летіла паралельно осі, пробиває обидва диски, причому друга пробоїна виявилася зміщеною відносно першої на кут $\alpha = 45^\circ$. Знайти швидкість кулі v під час руху її між дисками, вважаючи її сталою.
5. Колесо радіусом $R = 0,1$ м обертається так, що залежність ку-та повороту радіуса задається рівнянням $j = 5 + t + 2t^2 + t^3$ рад. Для точок на ободі колеса визначити кутову швидкість ω , кутове прискорення ε , нормальне a_n , тангенціальне a_τ та повне прискорення a , яке вони набули до кінця другої секунди. Який кут α створює вектор повного прискорення з вектором лінійної швидкості?
6. Колесо радіусом $R = 0,2$ м обертається так, що залежність ку-та повороту радіуса задається рівнянням $\varphi = 1 + 4t + t^2 + 2t^3$ рад. Знайти повне прискорення точок на ободі колеса для моменту часу $t = 2$ с. Який кут між вектором повного прискорення та радіусом колеса у цей момент?

7. Диск радіусом $R = 0,4$ м обертається так, що залежність кутової швидкості від часу задається рівнянням $\omega = 3 + 4t + 3t^2$ рад/с. Знайти нормальне a_n , тангенціальне a_τ та повне прискорення a точок, що лежать на ободі диска для моменту часу $t = 2$ с. Який кут α при цьому між вектором повного прискорення та радіусом диска? Скільки обертів зробить диск за цей час?
8. Диск радіусом $R = 0,5$ м обертається так, що залежність кутового прискорення задається рівнянням $\varepsilon = 2 + 4t$ рад/с². Знайти нормальне a_n , тангенціальне a_τ та повне прискорення a на ободі диска в кінці третьої секунди. Скільки обертів N зробить диск за цей проміжок часу? Початкова швидкість диска дорівнювала нулю.
9. Колесо радіусом $R = 0,2$ м обертається так, що залежність кутового прискорення задається рівнянням $\varepsilon = 6 + 5t^2$ рад/с². Визначити повне прискорення a точок на ободі колеса через $t = 5$ с після початку руху та кількість обертів N , що зробить колесо за цей час. Початкова швидкість колеса дорівнювала нулю.
10. Матеріальна точка рухається по колу радіусом $R = 0,2$ м з постійним тангенціальним прискоренням $a_\tau = 0,04$ м/с². Визначити через який час t після початку руху нормальне прискорення точки a_n буде в три рази більше за тангенціальне. Чому при цьому буде дорівнювати повне прискорення точки?
11. Матеріальна точка починає рух по колу радіусом $R = 0,3$ м з постійним тангенціальним прискоренням $a_\tau = 0,02$ м/с². Через який проміжок часу кут між вектором повного прискорення та вектором швидкості буде дорівнювати 60° ?
12. Матеріальна точка починає обертатися з постійним кутовим прискоренням $\varepsilon = 0,02$ рад/с². Через який проміжок часу t після початку руху кут між вектором повного прискорення та вектором швидкості дорівнюватиме 45° ?

13. Матеріальна точка, яка почала рухатися рівноприскорено по колу радіусом $R = 1$ м, пройшла за $t_1 = 10$ с шлях $s = 50$ м. З яким доцентровим прискоренням a_n вона буде рухатися через $t_2 = 5$ с після початку руху? Яким при цьому буде її повне прискорення та кут між вектором повного прискорення і радіусом кола?
14. На диск радіусом $r = 4$ см, який має змогу обертатися навколо горизонтальної осі, намотана нитка, до кінця якої прив'язаний вантаж. Вантаж починає рухатися рівноприскорено і за $t = 5$ с спускається на $h = 3$ м. Визначити кутове прискорення диска ε , а також нормальне a_n та повне прискорення a точок, що лежать на ободі диска, наприкінці п'ятої секунди після початку руху.
15. Шків радіусом $r = 0,2$ м приводиться до обертального руху важком, який підвішений на нитці, що скручується з шківа. У початковий момент часу важок був нерухомим, а потім почав спускатися з прискоренням $a = 0,1$ м/с². Визначити кутову швидкість шківа ω у той момент, коли важок опуститься на відстань $h = 1$ м, а також повне прискорення точок шківа у цей момент. Який кут α між вектором повного прискорення і радіусом шківа?

1.2 . Динаміка матеріальної точки та поступального руху твердого тіла.

Імпульс частинки:

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad (1)$$

де m – маса матеріальної точки; \vec{v} - її швидкість.

Для системи матеріальних точок імпульс системи :

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i \quad (2)$$

де \vec{p}_i - імпульс i -ї точки; N – загальна кількість частинок в системі.

В загальному випадку рівняння руху матеріальної точки , або поступального руху системи матеріальних точок визначається другим законом Ньютона, вираженому через імпульс:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (3)$$

Цей закон може бути виражений через імпульс сили :

$$\vec{F} dt = d\vec{p} \quad (4)$$

В формулах (3) і (4) \vec{F} - рівнодіюча всіх сил, що діють на матеріальну точку:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

У випадку, коли на матеріальну точку діють декілька сил, виконується принцип незалежності дії, у відповідності з яким результат дії кожної прикладеної до точки сили не залежить від наявності інших сил.

Для системи матеріальних точок, сила в (3) і (4) – результуюча всіх зовнішніх сил, прикладених до точок системи (результуюча всіх внутрішніх сил системи у відповідності до третього закону Ньютона дорівнює нулю).

Якщо в процесі взаємодій маса зберігається сталою, рівняння (3) набуває вигляду:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m \vec{a} , \quad (5)$$

m – маса матеріальної точки; \vec{a} - її прискорення.

У проекціях на декартові осі координат рівняння (5) перетворюється на три скалярні рівняння:

$$\sum_{i=1}^N F_{ix} = m a_x , \quad \sum_{i=1}^N F_{iy} = m a_y , \quad \sum_{i=1}^N F_{iz} = m a_z \quad (6)$$

У проекціях на напрямки дотичної і нормалі траєкторії заданої точки рівняння (5) набувають вигляду:

$$\sum_{i=1}^N F_{i\tau} = m a_\tau = m \frac{dv}{dt} , \quad \sum_{i=1}^N F_{in} = m a_n = \frac{mv^2}{R} , \quad (7)$$

де a_τ - тангенціальне прискорення, a_n - доцентрове прискорення, R – радіус кривизни траєкторії в даній точці, $F_{i\tau}$, F_{in} - проекції вектора результуючої сили на орти \vec{n}_i .

Для системи матеріальних точок з масами m_1, m_2, \dots, m_N , положення яких в заданій системі відліку задається радіусами-векторами відповідно $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$, радіус-вектор центра мас (центра інерції) системи:

$$\vec{r}_c = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i, \quad (8)$$

де M – маса всієї системи.

Швидкість центру мас:

$$\vec{v}_c = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i, \quad (9)$$

де \vec{v}_i - швидкість i -ї точки системи. Закон руху центра мас:

$$m \frac{d\vec{v}_c}{dt} = m \frac{d^2\vec{r}_c}{dt^2} = \vec{F} \quad (10)$$

У системах матеріальних точок, для яких рівнодіюча всіх повніших сил дорівнює нулю, імпульс системи зберігається:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \text{const} \quad (10)$$

де \vec{p}_i - імпульс окремого елемента системи, а \vec{p} - імпульс системи.

В проекціях на осі координат:

$$p_x = \sum_{i=1}^N p_{ix} = \text{const}, p_y = \sum_{i=1}^N p_{iy} = \text{const}, p_z = \sum_{i=1}^N p_{iz} = \text{const}, \quad (11)$$

де p_x, p_y, p_z - алгебраїчні суми проекцій імпульсів усіх елементів системи на осі x, y, z .

Якщо рух тіла розглядається відносно неінерційної системи відліку другий закон Ньютона набуває вигляду:

$$\vec{F} + \vec{F}_{in} = m\vec{a} \quad (12)$$

де \vec{F} - це результуюча сил, які є мірою взаємодії даного тіла, а \vec{F}_{in} - сила інерції.

Для поступального руху неінерційної системи відліку:

$$\vec{F}_{in} = - m\vec{a}_0,$$

\vec{a}_0 - прискорення неінерційної системи відліку відносно інерційної, \vec{a} - прискорення тіла в неінерціальній системі відліку.

1.3 . Динаміка обертального руху твердого тіла

Момент інерції J матеріальної точки маси m відносно осі обертання:

$$J = mr^2, \quad (1)$$

де r – відстань від матеріальної точки до осі, відносно якої визначається момент інерції.

Момент інерції системи матеріальних точок :

$$J = \sum_i^n m_i r_i^2 \quad (2)$$

Момент інерції твердого тіла:

$$J = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV, \quad (3)$$

де r – відстань від осі, відносно якої визначається момент інерції, до елементарної маси dm , або елементарного об'єму dV , ρ – густина однорідного тіла.

Момент інерції тіла відносно довільної осі визначається з використанням теореми Штейнера:

$$J = J_0 + ma^2, \quad (4)$$

де J_0 – момент інерції цього тіла відносно осі, яка проходить через його центр мас паралельно обраній осі, a - відстань між осями, m - маса тіла.

Моменти інерції деяких тіл правильної геометричної форми

Тіло	Вісь, відносно якої визначається момент інерції	Формула моменту інерції
Однорідний тонкий стрижень масою m і довжиною L	Проходить через центр тяжіння стрижня, перпендикулярно стрижню	$\frac{mL^2}{12}$
	Проходить через кінець стрижня, перпендикулярно стрижню	$\frac{mL^2}{3}$
Тонке кільце, обруч, труба радіусу r і масою m , маховик радіусу r і масою m , розподіленою по ободу	Проходить через центр перпендикулярно площини основи	mr^2
Круглий однорідний диск (циліндр) радіусом r і масою m	Проходить через центр диску перпендикулярно площини основи	$\frac{mr^2}{2}$
Однорідний шар масою m і радіусом r	Проходить через центр шару	$\frac{2mr^2}{5}$

Момент сили відносно точки \vec{M} :

$$\vec{M} = [\vec{r} \vec{F}] \quad (5)$$

де \vec{r} - вектор, проведений від точки, відносно якої визначається даний момент, до точки прикладання сили \vec{F} .

Момент сили відносно будь-якої осі:

$$M = F r \sin\alpha = F l \quad (6)$$

де r – модуль радіуса-вектору, проведеного від осі обертання до точки прикладання сили, α – кут між напрямками сили і цього радіуса-вектору. Найкоротша відстань між віссю обертання і лінією дії сили називається плечем даної сили l :

$$l = r \sin \alpha \quad (7)$$

Момент імпульсу частинки маси m , яка рухається із швидкістю \vec{v} відносно точки:

$$\vec{L} = [\vec{r} \vec{p}] = m [\vec{r} \vec{v}] \quad (8)$$

де \vec{r} - вектор , проведений від точки, відносно якої визначається момент імпульсу , до частинки, \vec{p} - імпульс частинки.

Момент імпульсу твердого тіла відносно осі обертання:

$$\vec{L} = J \vec{\omega} \quad (9)$$

де J – момент інерції цього тіла відносно даної осі, $\vec{\omega}$ - кутова швидкість тіла.

Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла:

$$\vec{M} = J \vec{\beta} \quad (10)$$

де \vec{M} - результуючий момент зовнішніх сил, прикладених до цього тіла, J - момент інерції цього тіла відносно даної вісі, $\vec{\beta}$ - кутове прискорення цього тіла.

В більш загальному вигляді співвідношення (10) набуває вигляду:

$$\vec{M} dt = d(J \vec{\omega}) = d\vec{L} \quad (11)$$

де $\vec{M} dt$ – імпульс результуючого моменту сили за проміжок часу dt , $d\vec{L}$ - елементарний приріст моменту імпульсу тіла за даний проміжок часу.

Якщо результуючий момент зовнішніх сил, прикладених до тіла дорівнює нулю, виконується закон збереження моменту імпульсу:

$$\vec{M} = 0, \quad d\vec{L} = 0, \quad \vec{L} = J \vec{\omega} = \text{const.}$$

1.4 . Механічна робота. Енергія.

Якщо під дією сили \vec{F} матеріальна точка здійснює елементарне переміщення $d\vec{r}$, елементарна робота, яку виконала при цьому дана сила:

$$dA = \vec{F} d\vec{r} = F_s ds = F ds \cos \alpha \quad (1)$$

де F_s – проекція сили на напрямок елементарного переміщення, ds – елементарний шлях (модуль елементарного переміщення), α – кут між векторами сили і переміщення. Повна робота змінної сили:

$$A = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} d\vec{r} = \int_s F_s ds \quad (2)$$

де \vec{r}_1, \vec{r}_2 - радіуси-вектори початкового і кінцевого положень точки в заданій системі відліку. Робота сталої сили:

$$A = \vec{F} \Delta \vec{r}_{12} \quad (3)$$

де $\Delta \vec{r}_{12}$ - вектор переміщення, проведений від початкового до кінцевого положення точки (приріст радіуса-вектору точки за даний проміжок часу).

Робота сталої сили на шляху s при прямолінійному русі:

$$A = F s \cos \alpha = F_s s \quad (4)$$

Елементарна робота при обертальному русі навколо нерухомої осі:

$$dA = M d\varphi$$

Домашня контрольна робота з розділу «Фізичні основи класичної механіки».

Методичні вказівки до виконання та оформлення контрольних робіт

1. Виконання завдань ДКР ґрунтується на знаннях теоретичних положень, тому перед їх виконанням треба опрацювати лекційний матеріал, матеріал який був винесений на самостійну роботу, а також переглянути задачі, що розв'язувалися на практичних заняттях.
2. Номери задач, включених до кожної контрольної роботи, визначаються за таблицями варіантів, наведеними нижче.
3. Номер варіанту відповідає номеру прізвища студента в журналі групи.
4. Завдання ДКР оформлюється в окремих підписаних зошитах. Розв'язування кожної задачі починається з нової сторінки. Спочатку треба записати умову задачі, скорочену умову, а потім наводити розв'язування, даючи стислі але вичерпні пояснення.

Таблиця варіантів

№ Варіа	Номери задач							
	Механіка							
0	10	20	30	40	50	60	70	80
1	1	11	21	31	41	51	61	71
2	2	12	22	32	42	52	62	72
3	3	13	23	33	43	53	63	73
4	4	14	24	34	44	54	64	74
5	5	15	25	35	45	55	65	75
6	6	16	26	36	46	56	66	76
7	7	17	27	37	47	57	67	77
8	8	18	28	38	48	58	68	78
9	9	19	29	39	49	59	69	79

Зміст і номери задач до домашньої контрольної роботи

1. Точка рухається по колу радіусом $R = 4$ м. Закон її руху заданий рівнянням $s = A + B t^2$, де $A = 8$ м; $B = -2$ м/с². Знайти момент часу t , коли нормальне прискорення точки $a_n = 9$ м/с²; швидкість v ; тангенціальне a_τ і повне а прискорення точки в цей момент часу.
2. Матеріальна точка рухається по колу радіусом $R = 2$ м згідно з рівнянням $s = At + B t^3$, де $A = 8$ м/с; $B = -0,2$ м/с³. Знайти швидкість v ; нормальне a_n , тангенціальне a_τ і повне a прискорення в момент часу $t = 3$ с.
3. Колесо радіусом $R = 0,3$ м обертається згідно з рівнянням $\varphi = At + B t^3$, де $A = 1$ рад/с; $B = 0,1$ рад/с³. Визначити повне прискорення точок на поверхні колеса в момент часу $t = 2$ с.
4. Рухи двох точок визначаються рівняннями $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$ і $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, де $A_1 = 20$ м; $B_1 = 2$ м/с; $C_1 = -4$ м/с²; $A_2 = 2$ м; $B_2 = 2$ м/с; $C_2 = 0,5$ м/с². В який момент часу швидкості точок будуть однаковими? Визначити швидкості і прискорення точок в цей момент.
5. Точка рухається прямолінійно згідно з рівнянням $s = At + B t^3$, де $A = 3$ м/с; $B = 0,06$ м/с³. Знайти швидкість і прискорення точки в моменти часу $t_1 = 0$ і $t_2 = 3$ с. Визначити середні значення швидкості і прискорення за перші 3 с руху.
6. Точка рухається прямолінійно згідно з рівнянням $s = At + B t^3$, де $A = 6$ м/с; $B = 0,125$ м/с³. Знайти середню швидкість точки в інтервалі часу від $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с.
7. Дві точки рухаються згідно з рівняннями $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$ і $x_2 = A_2 + C_2 t^2$, де $A_1 = 10$ м; $B_1 = 32$ м/с; $C_1 = -3$ м/с²; $A_2 = 5$ м; $C_2 = 5$ м/с². В який момент часу швидкості точок будуть однаковими? Визначити швидкості і прискорення точок у цей момент.
8. Колесо радіусом $R = 0,2$ м обертається згідно з рівнянням $\varphi = A+Bt + C t^3$, де $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Визначити тангенціальне,

нормальне і повне прискорення точок на поверхні колеса в момент часу $t = 10$ с.

9. Точка рухається по колу радіусом $R = 10$ м. В деякий момент часу нормальне прискорення точки $a_n = 9$ м/с². Вектор повного прискорення в цей момент утворює з вектором нормального прискорення кут 60° . Знайти швидкість і тангенціальне прискорення точки.
10. Точка рухається по колу радіусом $R = 0,1$ м згідно з рівнянням $\varphi = A + Bt + C t^2$, де $A = 10$ рад; $B = 20$ рад/с; $C = -2$ рад/с². Знайти повне прискорення точки в момент часу $t = 4$ с.
11. Снаряд масою 10 кг у верхній точці траєкторії має швидкість 300 м/с. В цей момент він розірвався на 2 частини. Менша частина масою 2 кг отримала швидкість 500 м/с, спрямовану вперед під кутом 60° до площини горизонту. З якою швидкістю і в якому напрямку полетіла більша частина?
12. Людина масою 70 кг стоїть на візку масою 210 кг, що рухається горизонтально зі швидкістю 3 м/с. Після того, як людина стрибнула у напрямку, протилежному до напрямку руху візка, швидкість візка стала рівною 4 м/с. Визначити, з якою швидкістю відносно візка стрибнула людина.
13. Кулька масою 200 г рухається зі швидкістю 10 м/с під кутом 30° до площини стінки. Після удару кулька відскочила від стінки, причому модуль її швидкості не змінився. Визначити імпульс, отриманий стінкою.
14. Кулька масою 100 г вільно падає з висоти 1 м на сталеву плиту і підстрибує на висоту $0,5$ м. Визначити імпульс (за величиною і напрямком), переданий плитою кульці.
15. Снаряд, що має швидкість 300 м/с, розірвався на 2 частини. Менша частина масою 20% від загальної маси снаряду полетіла в протилежному напрямку зі швидкістю 200 м/с. З якою швидкістю і в якому напрямку полетіла більша частина?
16. На залізничній платформі встановлено гармату, жорстко з'єднану з платформою. Загальна маса платформи і гармати 20 т. Гармата виконує

постріл під кутом 60° до горизонту в напрямку руху. Маса снаряду 50 кг, його швидкість 500 м/с. Яку швидкість отримують платформа з гарматою внаслідок віддачі?

17. Два однакових човни масами по 200 кг рухаються паралельними курсами назустріч з однаковими швидкостями 1 м/с. Коли вони зрівнялися, з першого човна у другий і з другого в перший одночасно перекидають вантажі масами по 20 кг. Визначити швидкості човнів після цього.
18. Людина, що стоїть у човні, зробила 6 кроків і зупинилася. На скільки кроків пересунувся човен, якщо маса човна у 2 рази більша, ніж маса людини?
19. Човен масою 210 кг і довжиною 6 м стоїть у воді носом до берега. На кормі човна стоїть людина масою 70 кг. На яку відстань відійде човен від берега, якщо людина перейде з корми на ніс човна?
20. У човні масою 240 кг стоїть людина масою 60 кг. Човен пливе зі швидкістю 2 м/с. Людина стрибає з човна в горизонтальному напрямку зі швидкістю 4 м/с (відносно човна). Знайти швидкість човна після стрибка людини: 1) в напрямку руху човна; 2) в протилежному напрямку.
21. До стелі вагона, що рухається зі швидкістю 18 км/год., підвішений на нитці вантаж. На який кут відхилиться нитка при гальмуванні вагона, якщо він зупинився через 5 с після початку гальмування?
22. Тіло ковзає вздовж похилої площини, розташованої під кутом 30° відносно горизонту. Пройшовши відстань 0,6 м, тіло набуло швидкості 2 м/с. Визначити коефіцієнт тертя тіла відносно площини.
23. Тіло ковзає вздовж похилої площини, розташованої під кутом 45° відносно горизонту. Залежність пройденої відстані від часу дається рівнянням $s = V t^2$, де $V = 1,73 \text{ м/с}^2$. Визначити коефіцієнт тертя тіла відносно площини.
24. Дві гирі масами 3 кг і 5 кг з'єднані ниткою, перекинутою через невагомий блок. Знайти силу натягу нитки і прискорення гирь.

25. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок, закріплений на краю столу, так, що одна гиря висить, а друга ковзає по столу з коефіцієнтом тертя 0,1. Знайти силу натягу нитки і прискорення гирь.

26. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок, закріплений на вершині похилої площини, що складає з горизонтом кут 30° (див. рис.1). Знайти силу натягу нитки і прискорення гирь. Тертям знехтувати.

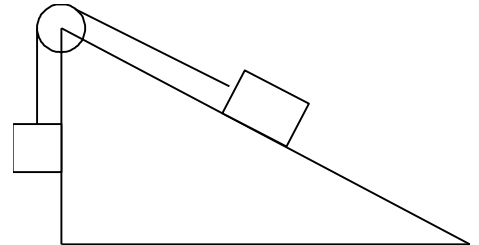


Рис. 1

27. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок, закріплений на вершині похилої площини, що складає з горизонтом кут 30° (див. рис. 1). Знайти силу натягу нитки і прискорення гирь. Коефіцієнт тертя гирі по площині дорівнює 0,1.

28. Камінь масою 0,2 кг кинули під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну, потенціальну і повну енергії каменю у найвищій точці траєкторії.

29. Тіло масою 1 кг ковзає з похилої площини висотою 1 м і довжиною 10 м. Знайти швидкість тіла в кінці площини і шлях, пройдений по горизонтальній ділянці шляху до зупинки. Коефіцієнт тертя на всьому шляху 0,05.

30. Тіло ковзає спочатку по похилій площині, розміщеній під кутом 8° до горизонту, а потім по горизонтальній поверхні. Визначити коефіцієнт тертя, якщо відомо, що шляхи, пройдені по похилій і по горизонтальній поверхнях, є рівними.

31. Молот для забивання палі масою 0,6 т падає з деякої висоти на палю масою 150 кг. Знайти к.к.д. молота, вважаючи удар непружним. Корисною вважати енергію, витрачену на заглиблення палі.

32. Куля масою 2 кг рухається зі швидкістю 3 м/с і стикається з кулею масою 1 кг, що рухається назустріч зі швидкістю 4 м/с. Визначити швидкості куль після абсолютно пружного центрального удару.
33. Молот масою 10 кг вдаряє по шматку м'якого заліза, що лежить на ковадлі масою 0,4 т. Визначити к.к.д. удару молота в даних умовах. Удар вважати непружним. Корисною є енергія, витрачена на деформацію заліза.
34. Куля масою 5 кг рухається зі швидкістю 2 м/с і стикається з нерухомою кулею масою 3 кг. Визначити роботу деформації куль при непружному центральному ударі.
35. Вантаж масою 10 кг підвішений на нитці довжиною 2 м. У вантаж влучає і застряє в ньому куля масою 5 г. Визначити швидкість кулі до удару, якщо нитка з вантажем відхилилася від вертикалі на кут 3° .
36. Ядро атома розпадається на дві частини масами $1,6 \cdot 10^{-25}$ кг і $2,3 \cdot 10^{-25}$ кг. Визначити кінетичні енергії кожної частини, якщо сума їх кінетичних енергій $2,2 \cdot 10^{-11}$ Дж.
37. На краю плоту масою 140 кг і довжиною 3 м стоїть людина масою 70 кг. З якою найменшою швидкістю і під яким кутом до горизонту повинна стрибнути людина, щоб потрапити на протилежний край плоту?
38. Яку максимальну частину своєї кінетичної енергії може передати частинка масою $2 \cdot 10^{-25}$ кг при пружному зіткненні з нерухомою частинкою масою $8 \cdot 10^{-25}$ кг?
39. Куля масою 1,8 кг стикається з нерухомою кулею. В результаті пружного центрального удару куля втратила 36% своєї кінетичної енергії. Визначити масу нерухомої кулі.
40. Перша куля масою 10 кг рухається зі швидкістю 4 м/с, а друга куля масою 4 кг – зі швидкістю 12 м/с. Визначити швидкість куль після їх непружного зіткнення, якщо вони рухалися до удару: 1) назустріч; 2) друга куля наздоганяла першу.

41. Вагон масою 40 т, що рухається зі швидкістю 0,1 м/с, вдаряється об стінку. При цьому буферні пружини стискаються на 10 см. Визначити максимальну силу стискання пружин і час повного гальмування вагона.
42. З якою швидкістю вилетить із пружинного пістолету кулька масою 10 г, якщо пружина була стиснена на 5 см, а жорсткість пружини 200 Н/м?
43. Пружина жорсткістю 10^4 Н/м стиснена силою 200 Н. Визначити роботу зовнішньої сили, що додатково стискає цю пружину ще на 1 см.
44. Вагон масою 20 т рухався зі швидкістю 1 м/с. При зіткненні з нерухомою стінкою він зупинився, стиснувши пружину буфера на 10 см. Визначити жорсткість пружини.
45. Пружина жорсткістю 1000 Н/м була стиснена на 5 см. Яку роботу необхідно виконати, щоб стиснути пружину ще на 10 см?
46. Гиря, покладена на верхній край вертикально розміщеної пружини, стискає її на 2 мм. На скільки стисне пружину та сама гиря при її падінні на пружину з висоти 5 см?
47. Дві пружини, жорсткість яких 1 кН/м і 3 кН/м, з'єднані паралельно. Визначити потенціальну енергію даної системи при її навантаженні силою 200 Н.
48. Дві пружини, жорсткість яких 300 Н/м і 500 Н/м, з'єднані послідовно. Визначити роботу розтягнення цих пружин, якщо друга пружина була розтягнута на 3 см.
49. Із шахти глибиною 600 м підіймають кліть масою 3 т на канаті, кожний метр якого має масу 1,5 кг. Яка робота виконується при підніманні кліті на поверхню землі?
50. При пострілі з пружинного пістолету вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м. Визначити жорсткість пружини, якщо вона була стиснена на 10 см.
51. Диск радіусом $R = 0,2$ м і масою $m = 7$ кг обертається згідно з рівнянням $\varphi = A + Bt + C t^3$, де $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Визначити закон,

- за яким змінюється обертальний момент сил, що діє на диск. Визначити момент сил в момент часу $t = 2$ с.
52. Маховик радіусом 10 см обертається навколо горизонтальної осі. На обід маховика намотаний шнур, до якого прив'язаний вантаж масою 800 г. При рівноприскореному опусканні вантаж пройшов відстань 160 см за 2с. Визначити момент інерції маховика.
53. Суцільний циліндр скочується з похилої площини висотою 15 см. визначити швидкість поступального руху циліндра в кінці площини.
54. Суцільний циліндр котиться по горизонтальній площині зі швидкістю 10 м/с. Яку відстань пройде циліндр до зупинки? Коефіцієнт тертя 0,02.
55. Тонкий стрижень довжиною 40 см і масою 0,6 кг обертається навколо осі, що проходить через середину стрижня перпендикулярно до нього. Закон обертання стрижня $\varphi = At + B t^3$, де $A = 1$ рад/с; $B = 0,1$ рад/с³. Визначити обертальний момент сил в момент часу $t = 2$ с.
56. Диск радіусом 20 см і масою 5 кг обертається з частотою 8 об/с. При гальмуванні він зупинився через 4 с. Визначити гальмуючий момент сил.
57. Через блок масою 0,2 кг перекинутий шнур, до кінців якого підвішені вантажі масами 0,3 кг і 0,5 кг. Визначити сили натягу шнура з обох сторін блока під час руху вантажів, якщо маса блока рівномірно розподілена вздовж його ободу.
58. Через блок радіусом 3 см перекинутий шнур, до кінців якого підвішені вантажі масами 0,1 кг і 0,12 кг. Вантажі рухаються з прискоренням $0,3$ м/с². Визначити момент інерції блока.
59. Суцільний циліндр масою 12 кг може обертатися навколо горизонтальної осі. На циліндр намотали шнур і прив'язали гирю масою 1 кг. Визначити силу натягу шнура і прискорення гирі під час її опускання.
60. Два однакових маховика обертаються з однаковою кутовою швидкістю 63 рад/с. Внаслідок тертя один маховик зупинився через 1 хв., а другий зробив до зупинки 360 обертів. У якого маховика гальмуючий момент сил більший і в скільки разів?

61. На краю горизонтальної платформи у формі диска радіусом 2 м і масою 200 кг стоїть людина масою 80 кг. Платформа може обертатися навколо вертикальної осі без тертя. З якою кутовою швидкістю буде обертатися платформа, якщо людина буде йти вздовж її краю зі швидкістю 2 м/с відносно платформи?
62. На лаві Жуковського стоїть людина і тримає в руках стрижень, розміщений вертикально вздовж осі обертання лави. Сумарний момент інерції людини і лави $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Довжина стрижня 2,4 м, його маса 8 кг. Лава обертається з кутовою швидкістю 1 рад/с. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава, якщо повернути стрижень в горизонтальне положення?
63. На краю горизонтальної платформи у формі диска масою 240 кг стоїть людина масою 60 кг. Платформа може обертатися навколо вертикальної осі без тертя. На який кут повернеться платформа, якщо людина пройде вздовж краю платформи і, обійшовши її, повернеться у вихідну точку? Людину вважати матеріальною точкою.
64. Кулька масою 50 г, прив'язана до кінця нитки довжиною 1 м, обертається з частотою 1 об/с, ковзаючи без тертя по горизонтальній площині. Визначити частоту обертання після того, як нитку вкоротили на 0,5 м. Яку роботу виконала сила, що вкоротила нитку?
65. На краю горизонтальної платформи у формі диска радіусом 1 м стоїть людина масою 80 кг. Момент інерції платформи $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Платформа обертається навколо вертикальної осі без тертя з частотою 6 об/хв. З якою частотою буде обертатися платформа, якщо людина перейде в її центр? Людину вважати матеріальною точкою.
66. На лаві Жуковського стоїть людина і ловить м'яч масою 0,4 кг, що летить горизонтально зі швидкістю 20 м/с на відстані 0,8 м від осі обертання лави. Сумарний момент інерції людини і лави $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава після того, як людина спіймає м'яч?
67. На нерухомій лаві Жуковського стоїть людина і тримає в руках стрижень, розміщений вертикально вздовж осі обертання лави. Стрижень є віссю

- обертання колеса, розміщеного на верхньому кінці стрижня, яке обертається з частотою 10 об/с. Сумарний момент інерції людини і лави $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радіус колеса 20 см. Маса колеса 3 кг розподілена вздовж його ободу. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава, якщо людина поверне стрижень з колесом на 180° ?
68. Маховик у формі диска радіусом 40 см і масою 50 кг може обертатися навколо горизонтальної осі. На цій осі жорстко закріплений шків радіусом 10 см. По дотичній до шківа прикладена сила 500 Н. Через який час маховик розкрутиться до частоти 1 об/с?
69. В центрі горизонтальної платформи у формі диска радіусом 1,5 м і масою 180 кг стоїть людина масою 60 кг. Платформа обертається навколо вертикальної осі без тертя з частотою 10 об/хв. Яку швидкість відносно землі буде мати людина, якщо вона перейде на край платформи? Людину вважати матеріальною точкою.
70. Стрижень довжиною 1 м і масою 3 кг підвішений на горизонтальній осі, що проходить через верхній кінець стрижня. М'яч масою 2 кг, що летить горизонтально, влучає в нижній кінець стрижня і пружно відбивається. Стрижень після удару відхилився від вертикалі на кут 60° . Визначити швидкість м'яча до удару.
71. Матеріальна точка масою 100 г здійснює гармонічні коливання з амплітудою 20 см і максимальною швидкістю 40 см/с. Написати рівняння коливань і знайти максимальне значення сили, що діє на точку.
72. Рівняння коливань матеріальної точки $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$; $A = 5 \text{ см}$. В момент, коли на точку діяла відновлювальна сила +5 мН, вона мала потенціальну енергію 0,1 мДж. Знайти цей момент часу і відповідне значення фази коливань.
73. Стрижень довжиною 40 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що проходить через його верхній кінець. Визначити період коливань.

74. Рівняння коливань матеріальної точки масою 0,01 кг: $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 8\pi \text{ с}^{-1}$; $A = 0,2 \text{ м}$. Знайти відновлюючу силу в момент часу 0,1 с, а також повну енергію точки.
75. На невагомому стрижні довжиною 30 см закріплені два однакових вантажі: один – в середині стрижня, другий – на його кінці. Стрижень коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що проходить через його вільний кінець. Визначити період коливань.
76. Рівняння коливань матеріальної точки масою 0,1 г: $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$; $A = 5 \text{ см}$. Визначити максимальні значення повертаючої сили і кінетичної енергії.
77. Диск радіусом 30 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що співпадає з однією із твірних циліндричної поверхні диска. Визначити період коливань.
78. Диск радіусом 24 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що проходить через середину одного з його радіусів перпендикулярно до площини диска. Визначити частоту коливань.
79. Точка здійснює гармонічні коливання. В деякий момент часу зміщення точки дорівнює 5 см, її швидкість 20 см/с, прискорення – 80 см/с². Знайти циклічну частоту, період коливань, амплітуду, фазу в цей момент часу.
80. На гладкому столі лежить вантаж масою 200 г, прикріплений до горизонтально розміщеної пружини жорсткістю 500 Н/м. У вантаж влучає куля масою 10 г, що летить уздовж осі пружини зі швидкістю 300 м/с, і застряє у ньому. Визначити амплітуду і період коливань вантажу.

**Перелік питань до захисту домашньої контрольної роботи
з розділу «Фізичні основи класичної механіки»**

1. Система відліку. Лінійні кінематичні характеристики матеріальної (м.) точки. Закон руху м. точки.
2. Тангенціальна і нормальна складові прискорення м. точки.

3. Поняття сили і маси, їх властивості. Імпульси тіла, системи тіл. Інерціальні і неінерціальні системи відліку. Закони Ньютона в інерціальних системах.

4. Механічний принцип відносності Галілея. Закон додавання швидкостей.

5. Закони динаміки в неінерціальних поступальних системах відліку. Сили інерції.

6. Механічна робота. Потужність. Графічне відображення роботи.

7. Кінетична енергія тіла, її властивості. Зв'язок між механічною роботою і кінетичною енергією.

8. Консервативні і неконсервативні сили. Потенціальна енергія системи тіл, частин одного і того ж тіла, її властивості. Зв'язок між роботою консервативної сили і потенціальною енергією. Визначення потенціальної енергії по заданій консервативній силі.

9. Потенціальна енергія системи тіл, її властивості. Зв'язок потенціальної енергії з консервативною силою.

10. Поступальний і обертальний рухи твердого тіла. Центр мас твердого тіла. Кінематичні характеристики обертального руху: кутове переміщення, кутова швидкість, кутове прискорення. Зв'язок між обертальними і лінійними характеристиками. Період і частота обертання.

11. Момент сили і пари сил відносно точки. Момент сили відносно осі. Момент імпульсу частинки відносно точки і відносно осі. Рівняння моментів для окремої частинки і системи частинок.

12. Зв'язок між кутовим прискоренням твердого тіла і моментом зовнішніх сил, діючих на тіло: основний закон динаміки обертального руху твердого тіла.

13. Момент інерції (м. точки) тіла відносно вісі обертання. Теорема Штейнера.

14. Енергія обертального руху твердого тіла. Механічна робота при обертальному русі.

15. Закони зміни і збереження імпульсу м. точки і системи м. точок.
Центр мас системи м. точок.
16. Закони зміни і збереження моменту імпульсу твердого тіла.
17. Закони зміни і збереження механічної енергії системи м. точок.
18. Умови рівноваги механічної системи. Стійка і нестійка рівноваги.

**Перелік питань до захисту домашньої контрольної роботи з розділу
«Механічні коливання і хвилі»**

1. Коливальні процеси. Одномірний класичний гармонічний осцилятор.
2. Коливання механічної системи при малих відхиленнях від положення стійкої рівноваги.
3. Вільні незгасаючі коливання. Приклади реальних коливальних систем: пружний маятник.
4. Вільні незгасаючі коливання. Приклади реальних коливальних систем: математичний маятник.
5. Вільні незгасаючі коливання. Приклади реальних коливальних систем: фізичний маятник.
6. Енергія вільних незгасаючих коливань.
7. Вільні згасаючі коливання.
8. Характеристики вільних згасаючих коливань: добротність, час релаксації, логарифмічний декремент загасання.
9. Вимушені коливання. Явище резонансу.
10. Додавання гармонічних коливань. Векторна діаграма.

РОЗДІЛ 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

2.1 Рівняння стану речовини

Стан речовини описується основними термодинамічними параметрами: тиском p , температурою T , об'ємом V . Кількість речовини характеризується масою m або числом молів $\nu = m/\mu$, де μ - молярна маса. Використовують також наступні величини: густина $\rho = m/V$, молярний об'єм $V_M = V/\nu$. Функціональна залежність вищенаведених параметрів називається *рівнянням стану*.

Рівняння стану для ідеального газу (еквівалентні форми):

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1)$$

де R - універсальна газова стала, $R = 8,314$ Дж/(К моль).

$$pV = \nu RT \quad (2)$$

$$pV_M = RT \quad (3)$$

$$\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{\mu} \quad (4)$$

Рівняння стану реального газу (Ван-дер-Ваальса):

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2} \right) (V_M - b) = RT \quad (5)$$

де a і b – сталі, що характерні для даного газу.

Рівняння стану для механічної суміші ідеальних газів:

$$pV = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \dots \right) RT \quad (6)$$

де m_i і μ_i – відповідно маси і молярні маси компонентів суміші.

2.2 Термодинамічні процеси

Перший закон термодинаміки (диференціальна форма відображення):

$$dQ = dU + dA \quad (7)$$

де dQ - елементарна кількість тепла, наданого системі, dU – зміна внутрішньої енергії, dA – елементарна робота системи.

$$dU = \nu C_v dT \quad (8)$$

де C_v – молярна теплоємність при сталому об'ємі.

Відповідна зміна ентропії:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (9)$$

Для кінцевого переходу системи із стану 1 в стан 2:

$$\Delta Q = \Delta U + A \quad (10)$$

$$\Delta U = \nu \int_1^2 C_v dT \quad (11)$$

$$A = \int_1^2 p dV \quad (12)$$

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \nu \int_1^2 \frac{C_v dT}{T} \quad (13)$$

Для ідеального газу із сталою молярною теплоємністю виконуються наступні співвідношення:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (14)$$

$$C_p = C_v + R \quad (15)$$

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1} \quad (16)$$

$$C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \quad (17)$$

$$U = \nu C_v T = \nu \frac{RT}{\gamma - 1} = \frac{PV}{\gamma - 1} \quad (18)$$

Рівняння політропного процесу:

$$PV^n = \text{const.} \quad (19)$$

де n- показник політропи.

Ізохорний процес:

$$V = \text{const.}, dV = 0$$

$A=0$, $Q = \Delta U$, обмін енергією відбувається лише у формі теплообміну, $n=\infty$,

$$\Delta U = \nu C_v \Delta T = \frac{1}{1-\gamma} V \Delta P$$

$$\Delta S = \nu C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = \nu C_v \ln \frac{P_2}{P_1}$$

При ізохорному процесі виконується закон Шарля:

$$\frac{P}{T} = \text{const.} \quad (20)$$

Ізобарний процес:

$$P = \text{const.}$$

$$A = P\Delta V = \nu R\Delta T,$$

$$\Delta U = \nu C_v \Delta T = \frac{1}{1-\gamma} P\Delta V,$$

$$Q = \nu C_p \Delta T, \quad n=0,$$

$$\Delta S = \nu C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = \nu C_p \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

При ізобарному процесі в ідеальному газі виконується закон Гей-Дюсака:

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Ізотермічний процес:

$$T = \text{const.} \quad dT = 0$$

$$\Delta U = 0. \quad A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad Q = A, \quad n = 1,$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu R \ln \frac{P_1}{P_2}.$$

При ізотермічному процесі в ідеальному газі виконується закон Бойля-Маріота:

$$PV = \text{const.}$$

Адіабатичний процес:

$$Q = 0, \quad \Delta S = 0, \quad n = \gamma,$$

$$\Delta U = \nu C_v \Delta T$$

$$A = \frac{\nu RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right],$$

Рівняння адиабати:

$$PV^\gamma = \text{const.} \quad (21)$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const.} \quad (22)$$

$$P^{\gamma-1} T^\gamma = \text{const.} \quad (23)$$

Коефіцієнт корисної дії циклу η :

$$\eta = A/Q_1 \quad (24)$$

де A - робота, яка здійснена робочим тілом за цикл, Q_1 - тепло отримане тілом за цикл.

$$A = Q_1 - Q_2 \quad (25)$$

де Q_2 – тепло віддане тілом за цикл.

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (26)$$

Коефіцієнт корисної дії циклу Карно:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (27)$$

де T_1 і T_2 – відповідно температури нагрівача і охолоджувача.

Домашня контрольна робота з розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка»

Методичні вказівки до виконання та оформлення контрольних робіт

1. Виконання завдань ДКР ґрунтується на знаннях теоретичних положень, тому перед їх виконанням треба опрацювати лекційний матеріал, матеріал який був винесений на самостійну роботу, а також переглянути задачі, що розв'язувалися на практичних заняттях.
2. Номери задач, включених до кожної контрольної роботи, визначаються за таблицями варіантів, наведеними нижче.
3. Номер варіанту відповідає номеру прізвища студента в журналі групи.
4. Завдання ДКР оформлюється в окремих підписаних зошитах. Розв'язування кожної задачі починається з нової сторінки. Спочатку треба записати умову задачі, скорочену умову, а потім наводити розв'язування, даючи стислі але вичерпні пояснення.

Таблиця варіантів

№ Варіа	Номери задач							
	Молекулярна фізика і термодинаміка							
0	10	20	30	40	50	60		
1	1	11	21	31	41	51		
2	2	12	22	32	42	52		
3	3	13	23	33	43	53		
4	4	14	24	34	44	54		
5	5	15	25	35	45	55		
6	6	16	26	36	46	56		
7	7	17	27	37	47	57		
8	8	18	28	38	48	58		
9	9	19	29	39	49	59		

Зміст і номери задач до домашньої контрольної роботи

1. У балоні ємністю 20 л знаходиться аргон під тиском 800 кПа і при температурі 325 К. Після того, як з балону випустили деяку кількість аргону, тиск у балоні знизився до 600 кПа, а температура – до 300 К. Визначити масу аргону, випущеного з балону.
2. Обчислити густину кисню, що знаходиться в балоні під тиском 1 МПа при температурі 300 К.
3. Деякий газ знаходиться під тиском 700 кПа при температурі 308 К. Визначити його відносну молекулярну масу, якщо густина газу $12,2 \text{ кг/м}^3$.
4. Обчислити густину азоту, що знаходиться в балоні під тиском 20 ат при температурі 290 К.
5. У балоні ємністю 40 л знаходиться азот при температурі 300 К. Після того, як з балону випустили частину азоту, тиск у балоні знизився на 400 кПа. Визначити масу азоту, випущеного з балону. Процес вважати ізотермічним.
6. У балоні ємністю 50 л знаходиться кисень при температурі 300 К. Після того, як з балону випустили деяку кількість кисню, тиск у балоні знизився на 200 Па. Визначити масу кисню, випущеного з балону. Процес вважати ізотермічним.
7. Два однакові балони містять кисень. В одному тиск 1 МПа, температура 400 К, в другому тиск 1,5 МПа, температура 250 К. Балони з'єднали трубкою й охолодили до температури 300 К. Визначити тиск у балонах.
8. Визначити густину насиченої водяної пари при температурі 300 К під тиском 26,7 мм рт. ст.
9. Густина газу під тиском 96 кПа при температурі 0°C дорівнює $1,35 \text{ г/л}$. Визначити молярну масу газу.
10. При температурі 35°C під тиском 708 кПа густина деякого газу $12,2 \text{ кг/м}^3$. Визначити відносну молекулярну масу газу.

11. Балон ємністю 30 л містить суміш водню і гелію при температурі 300 К під тиском 0,8 МПа. Маса суміші 24 г. Визначити маси водню і гелію.
12. У балоні ємністю 11,2 л міститься водень при нормальних умовах. Після того, як у балон було додано деяку кількість гелію, тиск у балоні зріс до 0,15 МПа, а температура не змінилася. Визначити масу гелію.
13. Балон ємністю 0,01 м³ містить 7 г азоту і 1 г водню при температурі 280 К. Визначити тиск суміші газів.
14. Визначити густину суміші газів, що складається з однієї масової частини водню і 8 масових частин кисню під тиском 0,1 МПа і при температурі 290 К.
15. Азот міститься у балоні ємністю 20 л під тиском 2,5 МПа, а кисень – у балоні ємністю 44 л під тиском 1,6 МПа. Балони з'єднали трубкою для утворення суміші. Визначити парціальні тиски компонент. Процес ізотермічний.
16. Балон ємністю 30 л містить суміш водню і гелію при температурі 300 К під тиском 0,8 МПа. Маса суміші 24 г. Визначити маси водню і гелію.
17. Балон містить 80 г кисню і 320 г аргону при температурі 300 К під тиском 1 МПа. Визначити ємність балону.
18. У балоні ємністю 15 л міститься суміш 10 г водню, 54 г водяної пари і 60 г вуглекислого газу при температурі 27°C. Визначити тиск.
19. Суміш кисню і азоту міститься в балоні під тиском 1 МПа. Маса кисню складає 20% від маси суміші. Визначити парціальні тиски компонент.
20. Балон ємністю 15 л містить суміш водню і азоту при температурі 300 К під тиском 1,23 МПа. Маса суміші 145 г. Визначити маси водню і азоту.

21. Визначити середню кінетичну енергію однієї молекули водяної пари за температури 360 К.
22. Знайти середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули водню, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул одного моля водню при температурі 190 К.
23. Визначити температуру газу, якщо середня кінетична енергія поступального руху його молекул $2,07 \cdot 10^{-21}$ Дж.
24. Знайти середню кінетичну енергію поступального руху однієї молекули, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул 1 моля і 1 кг гелію при температурі 70 К.
25. У азоті зависли найдрібніші пилинки, кожна масою 10^{-10} г, які рухаються так, немовби вони є дуже великими молекулами. Температура газу 293 К. Визначити середні квадратичні швидкості і середні кінетичні енергії поступального руху молекул азоту і пилинок.
26. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули двоатомного газу, якщо сумарна кінетична енергія молекул одного кіло моля цього газу 3,01 МДж.
27. Балон ємністю 4 л містить 0,6 г деякого газу під тиском 0,2 МПа. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу.
28. Газ займає об'єм 1 л під тиском 0,2 МПа. Визначити кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу.
29. Визначити внутрішню енергію 0,5 моля водню, а також середню кінетичну енергію однієї молекули при температурі 300 К.
30. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули водню, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул 1 кг водню при температурі 300 К.
31. Обчислити теплоємність при сталому об'ємі 2-атомного газу, що займає об'єм 10 л за нормальних умов.

32. Визначити молярні і питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі для кисню і аргону.
33. Суміш містить 2 моля 1-атомного і 1 моль 2-атомного газів. Визначити молярні теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі суміші.
34. Визначити теплоємність при сталому об'ємі 1-атомного газу, що займає 20 л за нормальних умов.
35. Відносна молекулярна маса газу дорівнює 4. Показник адіабати дорівнює 1,67. Визначити питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі.
36. Питомі теплоємності газу $c_v = 10,4$ кДж/(кг·К) і $c_p = 14,6$ кДж/(кг·К). Визначити його молярні теплоємності.
37. Різниця питомих теплоємностей газу $c_p - c_v = 2,08$ кДж/(кг·К). Визначити молярну масу газу.
38. Газ знаходиться в балоні об'ємом 100 л під тиском 0,2 МПа при температурі 350 К. Теплоємність при сталому об'ємі газу 140 Дж/К. Визначити показник адіабати цього газу.
39. Визначити молярні і питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі для азоту і гелію.
40. Суміш містить кисень O_2 з масовою часткою 85% і озон O_3 з масовою часткою 15%. Визначити питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі цієї суміші.
41. Визначити середню частоту зіткнень молекули водню при температурі 300 К і тиску 10^{-3} мм рт. ст.
42. Середня довжина вільного пробігу молекул кисню за нормальних умов 10^{-5} см. Обчислити середню арифметичну швидкість молекул і середню частоту зіткнень однієї молекули.
43. Знайти діаметр молекули водню, якщо при нормальних умовах середня довжина вільного пробігу молекул 112 нм.

44. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул водню при температурі 300 К і тиску 40 мкПа.
45. Балон ємністю 10 л містить 1 г азоту. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул.
46. Визначити густину водню, якщо середня довжина вільного пробігу молекул 1 мм.
47. Балон ємністю 5л містить 1 г водню. Визначити середню частоту зіткнень молекули при кімнатній температурі.
48. Визначити середню довжину вільного пробігу і середню частоту зіткнень молекули гелію при температурі 400 К і тиску 1 Па.
49. Газ виконує цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу 5 Дж. Визначити роботу ізотермічного стиснення, якщо термічний к.к.д. циклу 0,2.
50. При виконанні циклу Карно газ віддав охолоджувачу теплоту 4 кДж. Робота циклу 1 кДж. Визначити температуру нагрівача, якщо температура охолоджувача 300 К.
51. Газ виконує цикл Карно. Температура нагрівача 475 К, охолоджувача 260 К. При ізотермічному розширенні газ виконав роботу 100 Дж. Визначити к.к.д. циклу, а також теплоту, віддану охолоджувачу при ізотермічному стисненні.
52. При виконанні циклу Карно газ отримує від нагрівача теплоту 42 кДж. Яку роботу виконує газ, якщо температура нагрівача в 3 рази вища, ніж температура охолоджувача?
53. В циліндрі під поршнем міститься 20 г водню при температурі 300 К. Після адіабатичного розширення у 5 разів водень потім був ізотермічно стиснений у 5 разів. Знайти температуру в кінці адіабатичного розширення і повну роботу, виконану газом. Зобразити процес графічно.

54. При ізотермічному розширенні 1 г водню його об'єм зріс у 2 рази. Визначити роботу розширення і теплоту, отриману газом, якщо його температура 300 К.
55. При адіабатичному стисненні 1 кг кисню виконана робота 100 кДж. Визначити кінцеву температуру, якщо до стиснення кисень мав температуру 300 К.
56. З балону, в якому знаходився водень під тиском 1 МПа при температурі 290 К, випустили половину газу. Вважаючи процес адіабатичним, визначити кінцеві температуру і тиск.
57. Повітря адіабатично стиснене від тиску 0,1 МПа до тиску 1 МПа. Визначити тиск повітря після його охолодження до початкової температури при сталому об'ємі.
58. При ізотермічному розширенні 1 моля водню за температури 300 К витрачена теплота 2 кДж. У скільки разів зріс об'єм газу?
59. Азот масою 20 г нагрівається від 300 К до 450 К при сталому тиску. Визначити отриману газом теплоту, приріст внутрішньої енергії і виконану газом роботу.
60. Кисень масою 2 кг займає об'єм 1 м^3 і знаходиться під тиском 0,2 МПа. При нагріванні газ розширився при сталому тиску до 3 м^3 , а потім його тиск зріс до 0,5 МПа при сталому об'ємі. Визначити отриману газом теплоту, приріст внутрішньої енергії і виконану газом роботу. Побудувати графік процесу.

Перелік питань до захисту домашньої контрольної роботи

з розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка»

1. Ідеальний газ. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) для тиску ідеального газу. Молекулярно-кінетичне тлумачення температури.
2. Рівняння стану ідеального газу. Ізопроцеси. Газові закони: Бойля-Маріотта, Шарля, Гей-Люсака, Дальтона, Авогадро.

3. Математична ймовірність події. Функція розподілу ймовірностей. Умова нормування ймовірностей. Арифметичне і статистичне середні значення величин.
4. Розподіл Максвелла.
5. Максвеловський закон розподілу молекул за модулем швидкостей. Визначення середньої швидкості молекул. Середня квадратична швидкість молекул.
6. Максвеловський закон розподілу молекул за модулем швидкостей. Розподіл молекул за кінетичними енергіями.
7. Ідеальний газ в однородному полі тяжіння. Барометрична формула Лапласа.
8. Розподіл Больцмана. Закон Максвелла- Больцмана.
9. Обмін енергією між макроскопічними тілами: робота і теплопередача (теплообмін). Графічне відображення роботи в термодинаміці.
10. Перший закон (початок) термодинаміки для циклів і не колових процесів. Внутрішня енергія системи.
11. Ступені свободи системи. Розподіл енергій хаотичного теплового руху молекул за ступенями свободи. Внутрішня енергія ідеального газу.
12. Теплоємність. Види теплоємностей.
13. Другий закон термодинаміки. Статистичне і термодинамічне визначення ентропії. Теорема Нернста.
14. Цикл Карно. Тепловий двигун. Оцінка ефективності роботи теплового двигуна.
15. Застосування першого і другого законів термодинаміки для характеристики ізопроцесів в ідеальних газах: ізохорний процес.
16. Застосування першого і другого законів термодинаміки для характеристики ізопроцесів в ідеальних газах: ізобарний процес.

17. Застосування першого і другого законів термодинаміки для характеристики ізопроцесів в ідеальних газах: ізотермічний процес.
18. Застосування першого і другого законів термодинаміки для характеристики адіабатного процесу в ідеальних газах.
19. Реальні гази. Відмінність реального газу від ідеального. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми реальних газів. Критичний стан. Внутрішня енергія реального газу.
20. Явища переносу в газах: дифузія, внутрішнє тертя, теплопровідність.

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

3.1. Електростатика

Закон Кулона:

$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad (1)$$

де Q_1 і Q_2 нерухомі точкові заряди, що знаходяться на відстані r , ϵ_0 - електрична стала, ϵ – діелектрична проникність середовища, \vec{r} – вектор, проведений від заряду Q_1 до заряду Q_2 .

Напруженість електричного поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

де \vec{F} – сила, з якою поле в точці з напруженістю \vec{E} впливає на заряд q .

Принцип суперпозиції:

$$\vec{E} = \text{електричне поле} \quad (3)$$

Напруженість поля точкового заряду:

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad (4)$$

де \vec{r} - вектор, що визначає положення розрахункової точки відносно заряду, який утворює електричне поле.

Теорема Гауса:

$$N_E = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (5)$$

де N_E – потік вектору напруженості поля у вакуумі крізь довільну замкнену поверхню; $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраїчна сума зарядів, що охоплюються поверхнею інтегрування.

Напруженість поля, яке утворюється нескінченно довгою рівномірно зарядженою ниткою (циліндром) на відстані r від її осі:

$$E = \frac{\tau}{2\pi r \epsilon \epsilon_0} \quad (6)$$

де τ – лінійна густина заряду.

Напруженість поля, яке утворюється нескінченною рівномірно зарядженою площиною:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon \epsilon_0}, \quad (7)$$

де σ – поверхнева густина заряду.

Напруженість поля конденсатора:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} \quad (8)$$

Потенціал довільної точки електричного поля:

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (9)$$

де W – енергія системи: поле - заряд q , що розміщений в точці поля з потенціалом φ .

Потенціал поля точкового заряду:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi r \epsilon \epsilon_0} \quad (10)$$

де r - відстань від заряду q , що утворює електричне поле до розрахункової точки.

Зв'язок між напруженістю і потенціалом:

$$\vec{E} = - \vec{\nabla} \varphi, \quad (11)$$

де $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ - оператор набла; $\vec{\nabla} \varphi$ – градієнт потенціалу.

Для однорідного поля конденсатора:

$$E = \frac{U}{d} \quad (12)$$

де U – різниця потенціалів між обкладинками, d – відстань між ними.

Робота кулонівських (електростатичних) сил по переміщенню точкового заряду q з точки поля з потенціалом φ_1 в точку з потенціалом φ_2 :

$$A_{12} = q (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (13)$$

Електростатичні сили – консервативні, а поле цих сил – електростатичне поле – потенціальне:

$$\oint_L \vec{E}_{\text{ел.}} \cdot d\vec{l} = 0, \quad (14)$$

робота електростатичних сил по довільному замкненому контуру дорівнює нулю.

Взаємна потенціальна енергія електростатичної взаємодії:

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon \epsilon_0 r} + \text{const.} \quad (15)$$

Електричний момент диполя

$$\vec{P} = q \vec{l}, \quad (16),$$

де q - заряд електричного диполя, \vec{l} – його плече.

Механічний момент сил, діючих на диполь:

$$\vec{M} = [\vec{P}\vec{E}] \quad (17)$$

Енергія диполя в електричному полі:

$$W = - \vec{P}\vec{E} + \text{const.} \quad (18)$$

Поляризованість (вектор поляризації) діелектрика

$$\vec{P} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^n \vec{P}_i \right) \quad (19)$$

де \vec{P}_i - електричний момент i -го диполя, n - кількість диполів в об'ємі Δv поляризованого діелектрика.

Залежність вектору поляризації однорідного ізотропного діелектрика від напруженості результуючого поля E в цьому діелектрику

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E} \quad (20)$$

де χ – відносна діелектрична сприйнятливність речовини.

Зв'язок між поверхневою густиною зв'язаного заряду σ' поляризованого діелектрика і поляризованістю:

$$\sigma' = P_n = \chi \varepsilon_0 E_n \quad (21)$$

де P_n - проекція вектору поляризації на напрямок зовнішньої нормалі, E_n – проекція на цей напрямок вектору напруженості поля в діелектрику.

Вектор електричного зміщення D :

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (22)$$

де \vec{E} – результуюче поле в поляризованому діелектрику, \vec{P} – вектор поляризації.

Для ізотропного діелектрика співвідношення (22) спрощується:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E} \quad (23)$$

Теорема Гауса для електричного поля в середовищі:

$$N_E = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \left(\sum_{i=1}^N q_i + \sum_{i=1}^N q'_i \right) \quad (24)$$

де $\sum_{i=1}^N q'_i$ - сумарний зв'язаний заряд, що охоплюється поверхнею інтегрування.

Потік вектору електричного зміщення через довільну замкнену поверхню не залежить від наявності, або відсутності в середині цієї поверхні зв'язаного заряду. Теорема Гаусу для цього вектору має вигляд:

$$N_D = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^N q_i \quad (26)$$

де $\sum_{i=1}^N q_i$ - алгебраїчна сума вільних зарядів, що охоплюються поверхнею інтегрування.

На межі розподілу двох однорідних діелектриків

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon} \quad (27)$$

де \vec{E}_0 – напруженість поля, яке утворюють в вакуумі ті самі вільні заряди.

Для вектору електричного зміщення

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E}_0 = \vec{D}_0 \quad (28)$$

де \vec{D}_0 – вектор електричного зміщення в вакуумі.

Електрична ємність – характеризує здатність провідників накопичувати електричні заряди. Ємність C віддаленого (ізолюваного) провідника, який має електричний заряд q і потенціал φ :

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (29)$$

Ємність конденсатора (взаємна):

$$C = \frac{|q|}{U} \quad (30)$$

де $|q|$ – заряд конденсатора – абсолютна величина заряду однієї з обкладинок конденсатора, U – різниця потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ між обкладинками.

Ємність плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (31)$$

де d – відстань між пластинами, S – площа кожної пластини.

Ємність циліндричного конденсатора

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 L}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \quad (32)$$

де L – довжина циліндру, R_1 і R_2 – радіуси обкладинок.

Ємність сферичного конденсатора

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (33)$$

де R_1, R_2 - радіуси концентричних обкладинок сферичного конденсатора.

Для отримання номіналу ємності, конденсатори з'єднують в батареї. При цьому розрізняють їх послідовне і паралельне з'єднання.

Ємність батареї C_6 , складеної з n конденсаторів C_i з'єднаних паралельно:

$$C_6 = \sum_{i=1}^n C_i \quad (34)$$

Ємність батареї C_6 , складеної з n конденсаторів C_i з'єднаних послідовно:

$$\frac{1}{C_6} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (35)$$

Якщо конденсатор заповнений n шарами діелектриків товщиною d_i з діелектричною проникністю ϵ_i відповідно, то ємність такої системи розглядається, як ємність батареї n -ї кількості послідовно з'єднаних конденсаторів:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \dots + \frac{d_n}{\epsilon_n}} \quad (36)$$

Енергія системи n-ї кількості точкових зарядів q_i :

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i \quad (37)$$

де φ_i – потенціал результуючого поля, яке утворюється всіма зарядами окрім і-го, в точці поля, де знаходиться і-й заряд.

Енергія зарядженого провідника

$$W = \frac{q \varphi}{2} = \frac{C}{2} \varphi^2 = \frac{q^2}{2C} \quad (38)$$

де q – заряд, C – ємність, φ – потенціал провідника. Енергія виражена відносно нульового рівня, пов'язаного з незарядженим провідником.

Енергія зарядженого конденсатора

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} = \frac{C}{2} U^2 \quad (39)$$

де q – заряд, C – ємність, U – напруга конденсатора. За нульовий рівень енергії приймається енергія незарядженого конденсатора.

3.2 Сталий струм

Сила струму I в провіднику

$$I = dq / dt \quad (40)$$

де dq – заряд, що проходить за час dt через довільний переріз провідника.

Сила сталого струму

$$I = q / t \quad (41)$$

За напрямком струму приймають напрямок руху позитивних зарядів.

Густина струму

$$j = dI / dS_n \quad (42)$$

Залежність сили струму від його густини

$$I = \int_S j_n dS \quad (43)$$

де j_n – проекція вектору густини на напрямок нормалі елементу поверхні dS .

Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \quad (44)$$

де $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ – різниця потенціалів, R – опір провідника.

Для ділянок електричного ланцюга, де на заряди діють тільки електростатичні сили:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i \quad (45)$$

де U_i - падіння напруги на окремих ділянках, I_i та R_i – сили струмів та опори окремих ділянок.

Закон Ома для ділянки електричного ланцюга, яка містить ЕРС

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon}{R+r} \quad (46)$$

де I – сила струму, φ_1, φ_2 - потенціали на початку і кінці неоднорідної ділянки за напрямком струму крізь джерело, ε – ЕРС ділянки, r – внутрішній опір джерела, $R + r$ - повний опір ділянки.

Закон Ома для повного кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (47)$$

де ε – ЕРС джерела струму, r – внутрішній опір джерела, R – опір зовнішньої ділянки кола.

Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t \quad (48)$$

де Q – кількість теплоти, яка виділяється на ділянці кола з опором R за час t .

3.3 Магнітне поле

Закон Біо-Савара-Лапласа

$$\vec{dB} = \frac{\mu \mu_0 I [\vec{dl} \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad (49)$$

де \vec{dB} – індукція магнітного поля, яке утворює в розрахунковій точці елементарна ділянка струму $I\vec{dl}$; напрямок вектору \vec{dl} співпадає з напрямком струму, а його модуль дорівнює довжині цієї ділянки; \vec{r} – вектор, проведений від даної ділянки струму до розрахункової точки, r – модуль цього вектору; μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ – відносна магнітна проникність.

Модуль вектору \vec{dB} :

$$dB = \frac{\mu \mu_0 dl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (50)$$

де α – кут між векторами \vec{dl} і \vec{r} .

Індукція результуючого магнітного поля, яке створюють в розрахунковій точці всі ділянки провідника зі струмом:

$$\vec{B} = \int_L d\vec{B} \quad (51)$$

Закон повного струму:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i \quad (52)$$

де $\oint_L \vec{B} d\vec{l}$ – циркуляція \vec{B} уздовж довільного замкненого контуру L ; $\sum_{i=1}^n I_i$ – алгебраїчна сума струмів, які охоплені даним контуром.

Поле в центрі довгого соленоїду

$$B = \mu\mu_0 nI \quad (53)$$

де n – кількість витків на одиницю довжини соленоїду.

Сила Ампера

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}] \quad (54)$$

де $d\vec{F}$ – сила, з якою магнітне поле з індукцією \vec{B} діє на елемент струму $I d\vec{l}$.

Магнітний момент контуру зі струмом I :

$$\vec{p}_m = I S \vec{n} \quad (55)$$

де S – площа контуру, \vec{n} – одинична права нормаль.

Механічний момент, який діє на контур зі струмом, розміщений в однорідному магнітному полі

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}] \quad (56)$$

Механічна енергія контуру зі струмом в магнітному полі

$$W = - \vec{p}_m \vec{B} + \text{const.} \quad (57)$$

Магнітний потік через плоску поверхню площею S :

$$\Phi = \int_S B_n dS \quad (58)$$

При переміщенні контуру зі струмом в магнітному полі, сили поля здійснюють роботу:

$$A_{12} = I (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (59)$$

де I – сила струму в контурі, Φ_2, Φ_1 – магнітні потоки, що пронизують контур відповідно в кінцевому і початковому положеннях.

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = q [\vec{v} \vec{B}] \quad (60)$$

де \vec{F} – сила, яка діє з боку магнітного поля з індукцією \vec{B} на електричний заряд q, що рухається в цьому полі зі швидкістю \vec{v} .

Домашня контрольна робота з розділу «Електрика і магнетизм»
Методичні вказівки до виконання та оформлення контрольної роботи

1. Виконання завдань ДКР ґрунтується на знаннях теоретичних положень, тому перед їх виконанням треба опрацювати лекційний матеріал, матеріал який був винесений на самостійну роботу, а також переглянути задачі, що розв'язувалися на практичних заняттях.

2. Номери задач, включених до кожної контрольної роботи, визначаються за таблицями варіантів, наведеними нижче.

3. Номер варіанту відповідає номеру прізвища студента в журналі групи.

4. Завдання ДКР оформлюється в окремих підписаних зошитах. Розв'язування кожної задачі починається з нової сторінки. Спочатку треба записати умову задачі, скорочену умову, а потім наводити розв'язування, даючи стислі але вичерпні пояснення.

Таблиця варіантів

№ Варіанту	Номери задач							
	Електрика і магнетизм							
0	10	20	30	40	50	60	70	
1	1	11	21	31	41	51	61	
2	2	12	22	32	42	52	62	
3	3	13	23	33	43	53	63	
4	4	14	24	34	44	54	64	
5	5	15	25	35	45	55	65	
6	6	16	26	36	46	56	66	
7	7	17	27	37	47	57	67	
8	8	18	28	38	48	58	68	
9	9	19	29	39	49	59	69	

Зміст і номери задач до домашньої контрольної роботи

1. Два точкових заряди Q і $4Q$ розміщені на відстані 60 см один від одного. У якій точці простору необхідно розмістити третій заряд для того, щоб він знаходився у рівновазі?
2. Три однакових кульки масами по 0,12 г кожна підвішені до однієї точки на нитках довжиною 20 см. Які заряди необхідно надати кожній кульці, щоб кожна нитка складала з вертикаллю кут 30° ?
3. Дві однакових заряджених кульки підвішені в одній точці на однакових нитках. При цьому нитки розійшлися на деякий кут α . Після того, як кульки занурилися в масло густиною $8 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$, їх кут розходження не змінився. Визначити діелектричну проникність масла. Густина речовини кульок $1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
4. У вершинах квадрата поміщені однакові заряди $3 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$. Який негативний заряд необхідно помістити в центр квадрата, щоб усі заряди знаходилися в рівновазі?
5. Відстань між двома точковими зарядами 180 нКл і 720 нКл дорівнює 60 см. Визначити, в яку точку необхідно помістити третій заряд, щоб система зарядів знаходилася в рівновазі. Визначити величину і знак заряду.
6. Дві однакові заряджені кульки, розміщені на відстані 60 см, відштовхуються з силою 70 мкН. Кульки наблизили до стану дотику, а потім знову розвели на попередню відстань. Сила їх відштовхування зросла до 160 мкН. Обчислити заряди кульок до їх дотику.
7. У вершинах квадрата зі стороною 20 см розміщені однакові заряди по 10 нКл. Знайти силу, що діє на кожен заряд.
8. Точкові заряди 1 мкКл та -1 мкКл розміщені на відстані 10 см один від одного. Визначити напруженість і потенціал поля в точці, віддаленій на 6 см від першого і на 8 см від другого заряду.

9. Дві кульки масами по 1 г кожна підвішені на нитках довжиною по 10 см до однієї точки. Які однакові заряди необхідно надати кулькам, щоб нитки розійшлися на кут 60° ?
10. Заряди 100 нКл і -50 нКл розташовані на відстані 10 см. Визначити силу, що діє на заряд 1 мкКл, віддалений на 8 см від першого і на 6 см від другого заряду.
11. На продовженні осі тонкого стрижня на відстані 10 см від його кінця знаходиться точковий заряд 0,1 мкКл. Стрижень заряджений з лінійною густиною заряду 1 нКл/см, його другий кінець іде у нескінченність. Визначити силу взаємодії стрижня і заряду.
12. Тонкий нескінченно довгий стрижень має розподілений заряд з лінійною густиною 0,2 мкКл/см. Визначити напруженість поля у точці на відстані 2 см від стрижня.
13. Тонке напівколо радіусом 10 см має рівномірно розподілений заряд 0,2 мкКл. Визначити напруженість поля в центрі кривизни напівкола.
14. На тонкому кільці радіусом 5 см рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною 20 нКл/см. Визначити силу, що діє на точковий заряд 40 нКл, розміщений на перпендикулярі до площини кільця на відстані 10 см від його центру.
15. Дві однакові круглі пластини площею 100 см^2 кожна розміщені паралельно. Заряд однієї пластини 100 нКл, другої – -200 нКл. Визначити силу їх взаємного притягнення, якщо відстань між ними: 1) 2 мм; 2) 10 м.
16. Дві нескінченні нитки розміщені паралельно на відстані 10 см. На одній з них рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною -2 нКл/см, на іншій – $+4$ нКл/см. Визначити напруженість електричного поля в точці, віддаленій від першої нитки на 6 см і від другої – на 8 см.
17. Нескінченна вертикальна площина має рівномірно розподілений позитивний заряд. До неї прикріплена нитка, на якій висить кулька масою 40 мг з позитивним зарядом 670 пКл. Сила натягу нитки 490 мкН. Визначити поверхневу густину заряду площини.

18. З якою силою (на одиницю довжини) взаємодіють дві нескінченні паралельні нитки, відстань між якими 4 см, заряджені з однаковою лінійною густиною заряду 2 мкКл/м?
19. Нескінченна вертикальна площина має рівномірно розподілений позитивний заряд 98 мкКл/м². До неї прикріплена нитка, на якій висить кулька масою 10 г. Визначити заряд кульки, якщо нитка утворює з площиною кут 45°.
20. З якою силою (на одиницю площі) взаємодіють дві нескінченні паралельні площини, заряджені з поверхневою густиною заряду 2 мкКл/м²?
21. Три однакових краплі ртуті, заряджених до потенціалу 20 В, зливаються в одну. Який потенціал краплі, що утворилася?
22. Визначити потенціальну енергію системи двох точкових зарядів 100 нКл і 10 нКл, що знаходяться на відстані 10 см.
23. Тонкий нескінченно довгий стрижень має розподілений заряд з лінійною густиною 10 пКл/м. Визначити різницю потенціалів двох точок, віддалених від стрижня на 5 см і 10 см.
24. Нескінченна площина має рівномірно розподілений позитивний заряд густиною 10 нКл/м². Визначити різницю потенціалів двох точок, віддалених від площини на 5 см і 10 см.
25. Квадратна рамка рівномірно заряджена з лінійною густиною заряду 100 пКл/м. Визначити потенціал поля у центрі рамки.
26. Дві нескінченні площини розміщені паралельно на відстані 0,5 см. На одній з них рівномірно розподілений заряд з поверхневою густиною $-0,3$ мкКл/м², на іншій – $+0,2$ мкКл/м². Визначити різницю потенціалів між площинами.
27. При бомбардуванні нерухомого ядра атома натрію α -частинкою сила відштовхування між ними досягла 140 Н. Визначити початкову енергію α -частинки. На яку найменшу відстань вона наблизилася до ядра?
28. Пилінка масою 1 нг, що має 5 надлишкових електронів, пройшла прискорюючу різницю потенціалів 3 МВ. Визначити її швидкість.

29. Іон атома водню H^+ пройшов різницю потенціалів 100 В, іон атома калію K^+ - різницю потенціалів 200 В. Знайти відношення швидкостей цих іонів.
30. Знайти відношення швидкостей іонів Ca^{++} і Na^+ , що пройшли однакову різницю потенціалів.
31. Два конденсатори ємностями 2 мкФ і 3 мкФ з'єднані послідовно і підключені до батареї з е.р.с. 30 В. Визначити заряд і різницю потенціалів на кожному конденсаторі.
32. Два конденсатори ємностями 5 мкФ і 10 мкФ заряджені до напруг 60 В і 100 В відповідно. Визначити напругу на конденсаторах після того, як з'єднали їх обкладки, що мають однойменні заряди.
33. Конденсатори ємностями 2 мкФ, 5 мкФ і 10 мкФ з'єднали послідовно і підключили до напруги 850 В. Визначити напругу і заряд кожного конденсатора.
34. Простір між пластинами плоского конденсатора заповнено двома шарами діелектриків: скло товщиною 1 см і парафін товщиною 2 см. Різниця потенціалів на конденсаторі 3 кВ. Визначити напруженість поля і спад напруги на кожному з діелектриків.
35. Одна металева кулька радіусом 3 см заряджена до заряду 10 нКл, друга радіусом 2 см – до потенціалу 9 кВ. Визначити енергію розряду при з'єднанні кульок провідником.
36. Плоский конденсатор, утворений двома пластинами площею 300 см^2 кожна, між якими скляний діелектрик товщиною 4 см, заряджений до напруги 1 кВ. Визначити енергію і густину енергії електричного поля.
37. Плоский конденсатор, утворений двома пластинами на відстані 2 см, заряджений до напруги 6 кВ. Заряд кожної пластини 10 нКл. Визначити енергію електричного поля і силу притягнення пластин.
38. Конденсатор ємністю 100 пФ, заряджений до різниці потенціалів 600 В, має всередині фарфоровий діелектрик. Яку роботу необхідно виконати, щоб витягти діелектрик із конденсатора?

39. Плоский конденсатор, утворений двома круглими пластинами радіусами 20 см, розміщеними на відстані 0,5 см, заряджений до напруги 3 кВ. Діелектрик – скло. Визначити заряд і напруженість поля конденсатора.
40. До повітряного конденсатора, зарядженого до різниці потенціалів 500 В, приєднали паралельно такий же за розмірами незаряджений конденсатор зі скляним діелектриком. Після цього різниця потенціалів зменшилася до 70 В. Визначити діелектричну проникність скла.
41. Визначити число електронів, що проходять за 1 с через 1 мм^2 поперечного перерізу залізного провідника довжиною 10 м при напрузі на його кінцях 6 В.
42. Резистор 5 кОм і вольтметр, з'єднані послідовно, підключили до мережі напругою 120 В. При цьому вольтметр показав 80 В. Коли резистор замінили іншим, вольтметр показав 50 В. Визначити опір другого резистора.
43. Е.р.с. батареї 12 В. Максимальна сила струму від цієї батареї 6 А. Визначити максимальну потужність, яка може бути отримана на зовнішній ділянці кола.
44. Резистор і амперметр, з'єднані послідовно, підключили до джерела струму. До кінців резистора підключили вольтметр, опір якого 2 кОм. При цьому вольтметр показав 100 В, а амперметр 0,25 А. Визначити опір резистора. Якою буде відносна похибка, якщо не врахувати опір вольтметра?
45. Від батареї з е.р.с. 500 В необхідно передати потужність 10 кВт на відстань 2,5 км. Визначити мінімальні втрати потужності у мідних провідниках, якщо їх діаметр 1,5 см.
46. Е.р.с. батареї 60 В, внутрішній опір 4 Ом. Зовнішнє коло споживає потужність 125 Вт. Визначити силу струму, напругу на зовнішньому колі і його опір.
47. Е.р.с. батареї 8 В. При силі струму 2 А к.к.д. батареї дорівнює 0,75. Визначити її внутрішній опір.

48. При зовнішньому опорі 3 Ом сила струму в колі 0,3 А, а при опорі 5 Ом – 0,2 А. Визначити силу струму короткого замикання.
49. Сила струму в провіднику змінюється з часом за законом $I = I_0 e^{-\alpha t}$, де $I_0 = 10$ А, $\alpha = 10^3 \text{ с}^{-1}$. Визначити кількість теплоти, що виділилася в провіднику за час 10^{-3} с.
50. Сила струму в провіднику змінюється з часом за законом $I = I_0 \sin \omega t$, де $I_0 = 5$ А, $\omega = 100\pi \text{ с}^{-1}$. Визначити заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за половину періоду коливань.
51. По двох тонких паралельних провідниках, відстань між якими 6 см, течуть однакові струми 12 А. Визначити магнітну індукцію в точці, віддаленій від кожного провідника на 6 см, якщо струми течуть: а) в одному напрямі; б) в протилежних напрямках.
52. Два довгих провідника розміщені під прямим кутом, відстань між ними 10 см. По провідниках течуть струми 60 А і 80 А. Визначити магнітну індукцію в середині спільного перпендикуляра до провідників.
53. По провіднику, що має форму прямокутника зі сторонами 6 см і 10 см, тече струм 20 А. Визначити напруженість магнітного поля в центрі прямокутника.
54. По провіднику, що має форму рівностороннього трикутника зі стороною 30 см, тече струм 40 А. Визначити напруженість магнітного поля в центрі трикутника.
55. Струм силою 20 А тече по провіднику, зігнутому під прямим кутом. Визначити магнітну індукцію на бісектрисі цього кута на відстані 10 см від його вершини.
56. Круговий виток радіусом 10 см зі струмом силою 1,6 А розміщений вертикально у площині магнітного меридіану. Визначити кут відносно цієї площини, під яким встановиться магнітна стрілка, поміщена в центр витка. Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі 20 мкТл.

57. По провіднику, що має форму кола, тече струм. Напруженість магнітного поля струму в центрі кола 20 А/м . Провіднику надали форму квадрата і ввімкнули такий самий струм. Визначити напруженість магнітного поля в центрі квадрата.
58. В центрі кругового витка зі струмом напруженість магнітного поля 200 А/м . Магнітний момент витка $1 \text{ А}\cdot\text{м}^2$. Визначити силу струму і радіус витка.
59. Квадратна дротяна рамка зі стороною a розміщена в одній площині з довгим прямим провідником так, що дві її сторони паралельні провіднику, а найближча до провідника сторона знаходиться від нього на відстані a . Визначити силу, що діє на рамку, якщо по ній і по провіднику течуть однакові струми 100 А .
60. По трьох паралельних прямих провідниках, перерізи яких лежать у вершинах правильного трикутника зі стороною 10 см , течуть однакові струми 100 А , причому в двох із них напрямки співпадають. Визначити силу, що діє на одиницю довжини кожного провідника.
61. По контуру, що має форму квадрата зі стороною 20 см , тече струм 5 А . Контур знаходиться в магнітному полі з індукцією $0,5 \text{ Тл}$, спрямованому під кутом 30° до площини контура. Яку роботу проти сил поля необхідно виконати, щоб змінити форму контура з квадрата на коло?
62. Котушка, що має 1500 витків площею 50 см^2 , обертається з частотою 960 об/хв. в магнітному полі напруженістю 10^5 А/м . Вісь обертання лежить у площині витків і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити максимальну е.р.с. індукції в котушці.
63. Контур радіусом 4 см і опором $0,01 \text{ Ом}$ знаходиться в магнітному полі з індукцією $0,2 \text{ Тл}$, спрямованому під кутом 30° до площини контура. Який заряд протече по витку при вимкненні магнітного поля?
64. Рамка площею 100 см^2 , що має опір $0,01 \text{ Ом}$, рівномірно обертається в магнітному полі з індукцією $0,05 \text{ Тл}$. Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити заряд, що

- протече через рамку при зміні кута між нормаллю до рамки і силовими лініями: 1) від 0 до 30° ; 2) від 30° до 60° ; 3) від 60° до 90° .
65. Рамка площею 200 см^2 обертається з частотою 10 с^{-1} в магнітному полі з індукцією $0,2 \text{ Тл}$. Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити середнє значення е.р.с. індукції за час, протягом якого магнітний потік через рамку змінюється від нуля до максимального значення.
66. Замкнений мідний провідник масою 1 г утворює контур у формі квадрата, розміщений перпендикулярно до силових ліній магнітного поля з індукцією $0,1 \text{ Тл}$. Визначити заряд, який протече по провіднику, якщо квадрат, потягнувши за протилежні вершини, витягнути в лінію.
67. У магнітному полі напруженістю 2 кА/м обертається стрижень довжиною 20 см з частотою 10 с^{-1} . Площина обертання перпендикулярна до силових ліній поля, а вісь обертання проходить через один із кінців стрижня. Визначити різницю потенціалів на кінцях стрижня.
68. Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом і індуктивністю $0,4 \text{ Гн}$. Через який час сила струму досягне 95% максимального значення?
69. По замкнутому колу опором 23 Ом тече струм. Через 10 мс після розмикання кола сила струму в ньому зменшилася в 10 разів. Визначити індуктивність кола.
70. Соленоїд містить 600 витків площею 8 см^2 . По соленоїду тече струм, що створює магнітне поле з індукцією 5 мТл . Визначити середнє значення е.р.с. самоіндукції, якщо струм зменшується до нуля за $0,6 \text{ мс}$.

Перелік питань до захисту домашньої контрольної роботи з розділу

«Електрика і магнетизм»

1. Електричні заряди. Закон Кулона. Розрахунок електростатичної взаємодії точкових, протяжних зарядів.

2. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції електричних полів. Розрахунок поля на основі принципу суперпозиції: поле електричного диполя; поле зарядженого кільця.
3. Графічне відображення електростатичного поля. Лінії вектору напруженості, екіпотенціальні поверхні.
4. Потік вектору напруженості. Теорема Гауса в інтегральній формі відображення. Приклади застосування теореми для розрахунку поля: електричне поле рівномірно зарядженої нескінченної площини.
5. Потік вектору напруженості. Теорема Гауса в інтегральній формі відображення. Приклади застосування теореми для розрахунку поля: електричне поле рівномірно зарядженої нескінченної нитки (циліндричної поверхні).
6. Потік вектору напруженості. Теорема Гауса в інтегральній формі відображення. Приклади застосування теореми для розрахунку поля: електричне поле зарядженої сфери.
7. Робота сил електростатичного поля. Потенціальний характер електростатичного поля. Потенціал, різниця потенціалів.
8. Характеристики електростатичного поля. Зв'язок потенціалу з напруженістю поля.
9. Розрахунок потенціалу і різниці потенціалів в електростатичному полі потенціал поля точкового заряду, потенціал поля електричного диполя.
10. Полярні і неполярні молекули. Електричний диполь в однорідному і неоднорідному електричних полях. Механізм поляризації діелектриків.
11. Механізм поляризації діелектриків. Вектор поляризації. Зв'язок вектору поляризації з поверхневою густиною зв'язаних зарядів.
12. Електричне поле в діелектрику. Діелектрична проникність.
13. Теорема Гауса для електричного поля в діелектриках. Вектор електричної індукції.
14. Рівновага зарядів на провіднику. Провідник в зовнішньому полі. Явище електростатичної індукції.

15. Електрична ємність відокремлених провідників. Ємність конденсатора. Послідовне і паралельне з'єднання конденсаторів.
16. Енергія системи нерухомих точкових зарядів. Енергія конденсатора. Енергія електричного поля. Об'ємна густина енергії.
17. Електричний струм, умови його існування. Сила струму. Густина струму.
18. Рівняння безперервності.
19. Електричний ланцюг. Сторонні сили. Джерело струму. Електрорушійна сила. Різниця потенціалів. Напруга.
20. Закони Ома для однорідної, неоднорідної ділянок, замкненого ланцюга (інтегральна і диференціальна форми).
21. Правила Кірхгофа.
22. Закон Джоуля - Ленца (інтегральна і диференціальна форми).
23. Основні положення класичної теорії електропровідності металів.
24. Магнітне поле, індукція магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямого і колового струмів.
25. Теорема про циркуляцію вектору магнітної індукції. Розрахунок індукції магнітного поля соленоїда.
26. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера. Контур зі струмом в магнітному полі: магнітний момент контуру; обертальний механічний момент контуру, механічна енергія контуру.
27. Дія магнітного поля на електричні заряди. Сила Лоренца. Рух заряджених частинок в магнітному та електричному полях.
28. Магнітне поле в речовині. Гіпотеза Ампера. Намагнічування магнетиків. Вектор намагнічування. Магнітна проникність речовини.
29. Теорема про циркуляцію вектору магнітної індукції при наявності магнетика. Напруженість магнітного поля.
30. Магнітний момент атома. Класифікація магнетиків. Властивості діамагнетиків, парамагнетиків, феромагнетиків.
31. Магнітний потік. Явище електромагнітної індукції. Закон Фарадея. Природа е.р.с. індукції. Вихрове електричне поле.

32. Явище самоіндукції. Індуктивність. Струми розмикання електричного ланцюга. Енергія магнітного поля.
33. Теорія Максвелла. Система рівнянь Максвелла в інтегральній формі відображення.
34. Диференціальні характеристики векторних полів: дивергенція та ротор векторного поля. Система рівнянь Максвелла в диференціальній формі.
35. Електромагнітні хвилі. Хвильове рівняння. Плоска електромагнітна хвиля. Енергія електромагнітного поля, вектор Пойнтинга. Тиск, імпульс і маса електромагнітної хвилі.

РОЗДІЛ 4. ОПТИКА. АТОМНА ФІЗИКА

4.1 Інтерференція світла

Оптична довжина шляху світлової хвилі в однорідному середовищі:

$$L = n s \quad (1)$$

де s - геометрична довжина шляху світлової хвилі; n - абсолютний показник заломлення середовища, в якому поширюється хвиля.

Оптична різниця ходу двох світлових хвиль

$$\Delta = L_2 - L_1 \quad (2)$$

Результуюча інтенсивність I при накладанні двох монохроматичних хвиль однакової частоти з різницею фаз $\Delta\varphi$:

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos\Delta\varphi \quad (3)$$

Зв'язок різниці фаз коливань з оптичною різницею ходу:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta \quad (4)$$

де λ_0 – довжина хвилі в вакуумі.

Умова інтерференційних максимумів:

$$\Delta = \pm k \lambda_0 \quad (5)$$

де k – порядок інтерференції, $k = 0, 1, 2, \dots$

Умова інтерференційних мінімумів:

$$\Delta = \pm (2k + 1) \lambda_0 / 2 \quad (6)$$

Ширина смуги інтерференції:

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (L/d) \lambda \quad (7)$$

Радіуси світлих кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}} \quad (8)$$

де k - номер кільця ($k=1,2,3,\dots$); R - радіус лінзи.

Радіуси темних кілець у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (9)$$

4.2 Дифракція світла

Радіус k -ї зони Френеля

$$r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b} k\lambda} \quad (11)$$

де a - відстань від точкового джерела до перешкоди, b - відстань від перешкоди до точки спостереження; λ – довжина хвилі.

Дифракція Фраунгофера на щілині (світло падає на щілину нормально), умова спостереження мінімумів інтенсивності:

$$b \sin \varphi = \pm k\lambda, \quad k=1,2,3,\dots \quad (12)$$

де b – ширина щілини, k - порядок дифракції, φ - кут дифракції.

Умова спостереження максимумів інтенсивності:

$$b \sin \varphi' = \pm (2k+1)\lambda/2 \quad k=1,2,3\dots \quad (13)$$

Дифракція світла на дифракційній ґратці при нормальному падінні променів. Умова головних максимумів інтенсивності

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda, \quad k=1,2,3\dots \quad (14)$$

де d - період ґратки; k – номер головного максимуму; φ - кут між нормаллю до площини ґратки і напрямком хвиль.

Кутова дисперсія

$$D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d\cos\varphi} \quad (15)$$

Лінійна дисперсія

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda} = D_\varphi F \quad (16)$$

де $\delta\varphi$ – кутова відстань, $\delta\lambda$ - лінійна відстань між спектральними лініями, які відрізняються за довжиною хвилі на $\delta\lambda$; F – фокусна відстань лінзи спостереження спектру.

Роздільна здатність дифракційної ґратки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN \quad (17)$$

де λ , $\lambda + \Delta\lambda$ - довжини хвиль двох сусідніх спектральних ліній, що розрізняються; k - номер максимуму; N - число штрихів ґратки.

4.3 Елементи квантової оптики

Закон Кірхгофа: відношення випромінювальної здатності тіла r_ν до його поглинальної здатності α не залежить від речовини і форми тіла і є для всіх тіл універсальною функцією частоти і температури:

$$\frac{r_\nu}{\alpha} = f(\nu, T) \quad (18)$$

Закон Стефана – Больцмана:

$$R^* = \sigma T^4 \quad (19)$$

де R^* - енергетична світність абсолютно чорного тіла; σ – стала Стефана-Больцмана

Енергетична світність сірого тіла

$$R = \alpha \sigma T^4 \quad (20)$$

де α – поглинальна здатність.

Закон зміщення Віна :

$$\lambda_{\max} = b/T \quad (21)$$

де λ_{\max} – довжина хвилі рівноважного спектру випромінювання абсолютно чорного тіла, яка відповідає максимальному значенню спектральної густини енергетичної світності; $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м К – стала Віна.

Зв'язок радіаційної $T_{\text{рад}}$ та істинної температур

$$T_{\text{рад}} = \sqrt[4]{\alpha} T \quad (22)$$

де α - поглинальна здатність тіла.

Енергія кванта світла (фотона)

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar\omega \quad (23)$$

де $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж с – стала Планка; $\hbar = h / 2\pi$; c – швидкість світла в вакуумі
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; ν – частота, ω – кругова частота, λ – довжина хвилі світла.

Рівняння Ейнштейна для фотоефекту

$$E = A + eU_{\text{зап.}} \quad (24)$$

де A – робота виходу електронів з речовини; e – заряд електрона, $U_{\text{зап.}}$ – запірна напруга;

Червона межа фотоефекту

$$\nu_{\text{чер.}} = A/h \quad (25)$$

Імпульс фотону

$$p = \hbar k \quad (26)$$

де $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число.

Короткохвильова межа гальмівного рентгенівського спектру

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eU} \quad (27)$$

де U – прискорююча різниця потенціалів, яка розганяє електрон в рентгенівській трубці.

Зміна довжини хвилі рентгенівського випромінювання при

комптонівському розсіюванні

$$\Delta\lambda = \lambda^* - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \alpha) = 2\lambda_c \sin 2\alpha \quad (28)$$

де λ і λ^* - довжини падаючої і розсіяної хвиль; α – кут розсіювання; m_0 – маса спокою електрону; $\lambda_c = \frac{h}{m_0 c}$ – комптонівська довжина хвилі.

Перший постулат Бора

$$m v_n r_n = n\hbar \quad (n= 1,2,3,\dots) \quad (29)$$

де m - маса електрона; v_n – лінійна швидкість електрона на n -й орбіті; r_n – радіус n -ї стаціонарної орбіти.

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2} \quad (n= 1,2,3,\dots) \quad (30)$$

де ε_0 - електрична стала; m - маса електрона; Z - порядковий номер елемента; e – заряд електрона.

Другий постулат Бора

$$\hbar\omega = E_n - E_m \quad (31)$$

де E_n і E_m енергії стаціонарних станів атому відповідно до n і після випромінювання (поглинання); ω – циклічна частота обертання електрона в атомі.

Енергія електрона на n -й стаціонарній орбіті

$$E_n = - \frac{1}{n^2} \frac{mZ^2 e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \quad (32)$$

Потенціал іонізації атома

$$E_i = \frac{hcRZ^2}{e} \quad (33)$$

де $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – стала Рідберга.

Узагальнена формула Бальмера для воднеподібного атому

$$\omega = R^1 Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (34)$$

де $R^1 = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$; m - визначає серію ($m=1,2,3,\dots$); n - визначає лінії даної серії ($n = m + 1, m+2, \dots$).

Довжина хвилі де Бройля

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv} \quad (35)$$

де m – маса частинки, v - її швидкість.

Довжина хвилі де Бройля для релятивістської частинки

$$\lambda = \frac{h\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{m_0v} \quad (36)$$

де v – швидкість частинки; c - швидкість поширення світла у вакуумі; m_0 – маса спокою частинки;

Співвідношення невизначеностей для координати та імпульсу об'єкта

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar \quad (37)$$

де Δx – невизначеність координати x ; Δp_x – невизначеність проекції імпульсу на відповідний напрямок.

Співвідношення невизначеностей для енергії та часу

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar \quad (38)$$

де ΔE – невизначеність енергії даного енергетичного стану; Δt - невизначеність часу перебування системи в даному стані.

Домашня контрольна робота з розділу «Оптика. Атомна фізика»

Методичні вказівки до виконання та оформлення контрольної роботи

1. Виконання завдань ДКР ґрунтується на знаннях теоретичних положень, тому перед їх виконанням треба опрацювати лекційний матеріал, матеріал який був винесений на самостійну роботу, а також переглянути задачі, що розв'язувалися на практичних заняттях.

2. Номери задач, включених до кожної контрольної роботи, визначаються за таблицями варіантів, наведеними нижче.

3. Номер варіанту відповідає номеру прізвища студента в списку групи.

4. Завдання ДКР оформлюється в окремих підписаних зошитах. Розв'язування кожної задачі починається з нової сторінки. Спочатку треба записати умову задачі, скорочену умову, а потім наводити розв'язування, даючи стислі але вичерпні пояснення.

Таблиця варіантів

№ Варіанту	Номери задач							
	Оптика. Атомна фізика							
0	10	20	30	40	50	60	70	80
1	1	11	21	31	41	51	61	71
2	2	12	22	32	42	52	62	72
3	3	13	23	33	43	53	63	73
4	4	14	24	34	44	54	64	74
5	5	15	25	35	45	55	65	75
6	6	16	26	36	46	56	66	76
7	7	17	27	37	47	57	67	77
8	8	18	28	38	48	58	68	78
9	9	19	29	39	49	59	69	79

Зміст і номери задач до домашньої контрольної роботи

1. На гліцеринову плівку товщиною 1 мкм падає біле світло нормально до її поверхні. Визначити довжини хвиль видимої ділянки спектру, які будуть ослаблені внаслідок інтерференції.

2. У досліді Юнга відстань від щілин до екрану 1,5 м. Визначити відстань між щілинами, якщо 8 темних інтерференційних смуг займають ширину 1 см. Довжина хвилі світла 0,6 мкм.

3. На тонкий скляний клин падає нормально світло з довжиною хвилі 600 нм. Відстань між сусідніми темними інтерференційними смугами у відбитому світлі 0,4 мм. Показник заломлення скла 1,5. Визначити кут між поверхнями клину.

4. На скляну пластину покладена опуклою стороною плоскоопукла лінза. На лінзу падає нормально світло з довжиною хвилі 600 нм. Знайти радіус кривизни лінзи, якщо радіус восьмого темного кільця Ньютона у відбитому світлі 2,4 мм.

5. На скляну пластину покладена опуклою стороною плоскоопукла лінза з фокусною відстанню 2 м. Радіус п'ятого темного кільця Ньютона у відбитому світлі 1,5 мм. Визначити довжину хвилі світла.

6. На мильну плівку нормально до її поверхні падає світло з довжиною хвилі 600 нм. Відбите світло максимально підсилене внаслідок інтерференції. Визначити мінімальну товщину плівки. Показник заломлення 1,3.

7. На скляну пластинку нанесене просвітлююче покриття з показником заломлення 1,4. Світло з довжиною хвилі 540 нм падає на пластинку нормально. Визначити мінімальну товщину покриття, при якому відбиті промені мають найменшу яскравість.

8. Між двома плоскопаралельними пластинами на відстані 10 см від лінії їх дотику лежить дротина діаметром 0,01 мм, утворюючи повітряний клин. Світло з довжиною хвилі 600 нм падає на пластини нормально. Визначити ширину інтерференційних смуг у відбитому світлі.

9. Від двох когерентних джерел з довжиною хвилі $0,8 \text{ мкм}$ промені падають на екран і утворюють інтерференційну картину. Коли на шляху одного з променів перпендикулярно до нього помістили мильну плівку ($n = 1,33$), картина змінилася на протилежну (максимуми перетворилися на мінімуми і навпаки). Визначити найменшу товщину плівки.

10. На мильну плівку ($n = 1,33$) падає нормально світло з довжиною хвилі $0,6 \text{ мкм}$. Відбите світло в результаті інтерференції має найбільшу яскравість. Визначити найменшу можливу товщину плівки.

11. Дифракційна решітка, освітлена монохроматичним світлом, що падає нормально, відхиляє спектр третього порядку на 30° . На який кут вона відхиляє спектр 4-го порядку?

12. Період дифракційної решітки в 5 разів більший, ніж довжина хвилі світла, що нормально падає на її поверхню. Визначити кут між двома першими дифракційними максимумами.

13. Період дифракційної решітки в 3,5 разів більший, ніж довжина хвилі світла, що нормально падає на її поверхню. Визначити число дифракційних максимумів, які можливо спостерігати в даному випадку.

14. На непрозору пластину з вузькою щілиною падає нормально світло з довжиною хвилі 500 нм . Кут відхилення променів першого дифракційного максимуму 30° . Визначити ширину щілини.

15. На дифракційну решітку з періодом 5 мкм падає нормально світло з довжиною хвилі $0,56 \text{ мкм}$. Максимум якого найбільшого порядку дає ця решітка?

16. На дифракційну решітку падає нормально біле світло. Спектри 2-го і 3-го порядків частково взаємо накладаються. На яку довжину хвилі у спектрі 2-го порядку накладається фіолетова межа ($\lambda = 400 \text{ нм}$) спектру 3-го порядку?

17. На грань кристалу кам'яної солі падає пучок рентгенівських променів з довжиною хвилі 147 пм . Відстань між атомними площинами кристалу 280 пм . Під яким кутом до площини грані спостерігається дифракційний максимум 2-го порядку?

18. Визначити, яку довжину та яку загальну кількість штрихів повинна мати дифракційна решітка для того, щоб у спектрі 1-го порядку можна було роздільно спостерігати дві жовті лінії натрію з довжинами хвиль 589,0 нм і 589,6 нм. Відстань між штрихами решітки 10 мкм.

19. На непрозору пластину з вузькою щілиною шириною 0,05 мм падає нормально світло з довжиною хвилі 700 нм. Визначити кут відхилення променів першого дифракційного максимуму.

20. На дифракційну решітку падає нормально світло з довжиною хвилі 410 нм. Кут між напрямками на максимуми 1-го і 2-го порядків дорівнює $2^\circ 21'$. Визначити число штрихів на 1 мм.

21. Обчислити істинну температуру вольфрамової спіралі, якщо радіаційний пірометр показує температуру 2500 К. Поглинальну здатність вольфраму взяти рівною 0,35.

22. Визначити максимальну спектральну світність абсолютно чорного тіла при температурі 2000 К, а також довжину хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності.

23. Визначити інтегральну світність абсолютно чорного тіла і його температуру, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, дорівнює 600 нм.

24. Енергетичний потік від абсолютно чорного тіла 10 кВт. Довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, дорівнює 0,8 мкм. Визначити площу поверхні тіла.

25. Як і в скільки разів зміниться енергетичний потік від абсолютно чорного тіла, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, переміститься з червоної межі видимого спектру (780 нм) до фіолетової (390 нм)?

26. Визначити поглинальну здатність сірого тіла з істинною температурою 3200 К, якщо вимірювання температури радіаційним пірометром показало 1400 К.

27. Визначити енергію, що випромінюється за 1 хв з площі 1 см^2 поверхні сірого тіла, якщо його температура 1000 К , а поглинальна здатність $0,6$.
28. Початкова температура абсолютно чорного тіла 400 К . В результаті нагрівання енергетичний потік збільшився в 10 разів. Визначити кінцеву температуру тіла.
29. Тіло масою 20 кг охолоджується за рахунок теплового випромінювання. За 5 с температура тіла зменшилася від 600°С до 590°С . Визначити питому теплоємність тіла, якщо площа його поверхні 1 м^2 , а коефіцієнт чорноти $0,6$.
30. Середня енергетична світність поверхні Землі $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \text{ хв.})$. Визначити температуру поверхні Землі, якщо умовно вважати, що вона випромінює як сіре тіло з коефіцієнтом чорноти $\varepsilon = 0,25$.
31. Визначити максимальну енергію і відповідну довжину хвилі фотона серії Пашена в спектрі випромінювання атомарного водню.
32. Фотон вибиває з атома водню, що знаходиться в основному стані, електрон з енергією 5 еВ . Визначити довжину хвилі фотона.
33. Електрон в атомі водню знаходиться на другому енергетичному рівні. Визначити його кінетичну, потенціальну і повну енергії (в електрон-вольтах).
34. За теорією Бора обчислити частоту обертання електрона в атомі водню, що знаходиться в другому збудженому стані.
35. Атом водню, що знаходиться в основному стані, поглинає фотон з довжиною хвилі $121,5 \text{ нм}$. За теорією Бора обчислити радіус електронної орбіти після цього.
36. В однозарядному іоні гелію електрон перейшов з другої орбіти на першу. Визначити довжину хвилі фотона, що був випромінений при цьому.
37. За теорією Бора обчислити радіус першої борівської орбіти і швидкість електрона на ній в однозарядному іоні гелію.

38. Визначити перший потенціал збудження і енергію іонізації однозарядного іона гелію, що знаходиться в основному стані.
39. Знайти потенціал іонізації атома водню.
40. Атомарний водень збуджується на n -й енергетичний рівень. Визначити довжини хвиль ліній, що випромінюються, якщо $n=3$.
41. Скільки довжин хвиль де Бройля вкладається вздовж 3-ї орбіти однократно іонізованого збудженого атома гелію?
42. Порівняти дебройлівські довжини хвиль електрона і протона, які пройшли прискорюючу різницю потенціалів $\Delta \varphi = 2$ кВ.
43. Кінетична енергія електрона дорівнює його енергії спокою. Визначити його довжину хвилі де Бройля.
44. Обчислити довжину хвилі де Бройля електрона, який рухається в атомі водню, що знаходиться в основному стані.
45. Для молекули водню визначити довжину хвилі де Бройля, яка відповідає найімовірнішій швидкості цієї молекули при нормальній температурі.
46. Електрон рухається в однорідному магнітному полі з індукцією $B=10$ мТл по колу радіусу $R=1$ см. Визначити довжину хвилі де Бройля цієї частинки.
47. З якою швидкістю повинна рухатися мікрочастинка, щоб її довжина хвилі де Бройля дорівнювала її комптонівській довжині хвилі.
48. Паралельний пучок електронів, що рухаються з однаковою швидкістю $v = 1$ Мм/с, падає нормально на діафрагму шириною $a=1$ мкм. При проходженні через щілину електрони розсіюються і утворюють на екрані дифракційну картину. Екран і щілина паралельні і знаходяться на відстані $l=0,5$ м. Визначити лінійну відстань між першими дифракційними максимумами.
49. Яку швидкість має електрон, якщо його довжина хвилі де Бройля $\lambda_{\text{Бр}} = 500$ нм.

50. Кінетична енергія електрона $E = 10^{-15}$ Дж. Визначити довжину хвилі цієї частинки.

51. Отримати вираз для довжини хвилі де Бройля релятивістської частинки, яка рухається з кінетичною енергією E . Маса спокою цієї частинки m .

52. Червона межа фотоефекту для деякого металу дорівнює 500 нм. Визначити : 1) роботу виходу електронів з цього металу; 2) максимальну швидкість електронів, які вириваються з цього металу світлом з довжиною хвилі 400 нм.

53. Калій опромінюється світлом з довжиною хвилі 400 нм. Визначити найменше значення запірної напруги, при якій фотострум зникає, якщо робота виходу електронів з калія 2,2 еВ. ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ Дж с; $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл)

54. Визначити довжину хвилі фотону, імпульс якого дорівнює імпульсу електрона, якій пройшов прискорюючи різницю потенціалів 9,8 В.

55. Визначити для фотона, якій має довжину хвилі $\lambda = 0,5$ мкм, його:
1) енергію; 2) імпульс; 3) масу.

56. Тиск монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 500$ нм на чорну поверхню, розташовану перпендикулярно до падаючих променів, дорівнює 0,12 мкПа. Визначити, яка кількість фотонів падає щосекунди на 1 м² цієї поверхні.

57. Визначити енергію фотона, якій утворюється в атомі водню при переході електрона з третього енергетичного рівня на другий. (стала Рідберга $R = 3,29 \times 10^{15} \text{ c}^{-1}$).

58. З теорії Бора для атома водню, визначити перший боровський радіус і швидкість руху електрона по цій орбіті.

59. З теорії Бора для атома водню, визначити орбітальний магнітний момент електрона, якій рухається по третій орбіті атома водню.

60. Заряджена частинка, яка прискорюється різницею потенціалів $U = 500$ В, має довжину хвилі де Бройля $\lambda = 1,3$ пм. Визначити масу частинки, якщо її заряд дорівнює елементарному заряду. ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ Дж с).

61. Паралельний пучок моноенергетичних електронів направлений нормально на вузьку щілину шириною $b=1\text{мкм}$. Визначити швидкість електронів, якщо ширина центрального дифракційного максимуму дорівнює $\Delta x=48\text{мкм}$. Відстань від щілини до екрану $L=20\text{см}$.

62. Протон рухається в однорідному магнітному полі з індукцією $B=15\text{мТл}$ по колу радіусом $R=1,4\text{м}$. Визначити довжину хвилі де Бройля.

63. Скористатися співвідношенням невизначеностей Гейзенберга для оцінки розмивання енергетичного рівня в атомі водню для 1) основного стану; 2) збудженого стану (проміжок часу життя $\sim 10^{-8}\text{с}$).

64. Визначити відношення невизначеностей швидкості електрона, координата якого встановлена з точністю $\Delta x = 10^{-4}\text{м}$, і частинкою з масою $m=10^{-10}\text{кг}$, якщо координата цієї частинки встановлена з такою ж точністю.

65. Записати квантові числа для зовнішнього (валентного) електрону для основного стану атома натрію ($Z=11$).

66. Пояснити відмінність між металами, діелектриками і напівпровідниками з точки зору зонної теорії твердого тіла.

67. Пояснити електричні властивості напівпровідників з точки зору зонної теорії твердого тіла. Як змінюється опір напівпровідників із зростанням температури. Зростає чи зменшується? Чому?

68. В чистий германій внесена невелика домішка миш'яку. За допомогою періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва визначити і пояснити тип провідності даного напівпровідника з домішкою.

69. Намалювати схеми енергетичних зон напівпровідників n-типу і p-типу. Пояснити механізми їх провідності.

71. Короткохвильова межа гальмівного рентгенівського спектру, при напрузі на трубці $U=60\text{кВ}$, дорівнює $\lambda_{\text{min}}=20,7\text{пм}$. Визначити за цими даними значення сталої Планка.

72. Визначити порядковий номер елементу в періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва, якщо частота K_{α} -лінії характеристичного рентгенівського

спектру цього елемента дорівнює $14,6 \times 10^9 \text{ c}^{-1}$. Сталу екранування прийняти рівною одиниці ($\sigma=1$), сталу Рідберга прийняти рівною $R=1,1 \times 10^7 \text{ c}^{-1}$.

73. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0\text{n}^1$.
Звільняється чи поглинається ця енергія?

74. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$.
Звільняється чи поглинається ця енергія?

75. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1$.
Звільняється чи поглинається ця енергія?

76. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_7\text{N}^{14} + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_2\text{He}^4$.
Звільняється чи поглинається ця енергія?

77. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$.
Звільняється чи поглинається ця енергія?

78. Визначити енергію β -розпаду ядра карбону ${}_6\text{C}^{14}$.

79. Визначити найменшу енергію, яка необхідна для поділу ядра карбону ${}_6\text{C}^{12}$ на три однакові частини.

80. Фотон з енергією 5 MeV перетворився на пару електрон – позитрон. Визначити кінетичні енергії частинок, вважаючи, що вони однакові.

***Перелік питань до захисту домашньої контрольної роботи з розділу
«Оптика. Атомна фізика»***

1. Закони лінійної оптики. Принцип Ферма.

2. Світлова хвиля. Інтенсивність світла. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла.

3. Інтерференція світла.

4. Явище дифракції. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Фраунгофера від щилини.

5. Явище дифракції. Дифракційна ґратка.

6. Дифракція рентгенівських променів на кристалі. Формула Вульфа-Брегга.

7. Світлова хвиля. Природне та поляризоване світло. Закон Малюса.

8. Теплове випромінювання. Характеристики і закони теплового випромінювання. Формула Релея – Джинса. Ультрафіолетова катастрофа. Гіпотеза Планка. Формула Планка.
9. Явище фотоефекту. Експериментальні результати і їх теоретичне обґрунтування. Формула Ейнштейна.
10. Короткохвильова межа гальмівного рентгенівського спектру.
11. Дослід Боте. Фотони. Енергія, маса, імпульс фотона. Тиск світла.
12. Закономірності в атомних спектрах. Модель атома Резерфорда. Постулати Бора. Елементарна Боровська теорія водневого атома.
13. Досліди Франка і Герца.
14. Хвильові властивості мікрочастинок. Гіпотеза де Бройля і її експериментальне підтвердження.
15. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга.
16. Поняття хвильової функції, її зміст і властивості.
17. Рівняння Шредингера, часове і для стаціонарних станів.
18. Результати розв'язку рівняння Шредингера для вільної частинки.
19. Результати розв'язку рівняння Шредингера для частинки в одновірній прямокутній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками.
20. Висновки розв'язку рівняння Шредингера для атома водню. Систематика енергетичних станів.
21. Енергія молекули. Молекулярні спектри.
22. Нормальний ефект Зеємана.
23. Квантові числа. Принцип Паулі. Розподіл електронів в атомі. Періодична система елементів Менделєєва.
24. Рентгенівські спектри. Гальмівне і характеристичне випромінювання. Закон Мозлі.
25. Енергетичні зони. Структура енергетичних зон металів, діелектриків, напівпровідників.

26. Структура енергетичних зон напівпровідників. Власна і домішкова провідності напівпровідників.

Література

1. Л. Д. Дідух Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. — Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. — 464 с.
2. Фелінський Г.С. Загальна фізика : підручник / Г.С. Фелінський ; М-во освіти і науки України, Київ. Нац. Ун-т ім. Тараса Шевченка. – Київ : Каравела, 2018.
3. Авдонін К. В., Ковальчук О. В. А18 Фізика. Ч. 4: Електромагнетизм. Геометрична і хвильова оптика: навч. Посіб. Київ : КНУТД, 2021. 232 с.
4. Галушак М.О., Федоров О.Є. Курс фізики. Електромагнетизм. Підручник з грифом ІФНТУНГ. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2016, 405 с.
5. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики: Навч. Посібник: У 2 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – 2 – ге вид. – К.: Лебідь, 2001. – 446 с. *Додаткова література:*
6. Розв'язування задач із фізики: електрика та магнетизм : навчальний посібник / О.В. Лисенко, Г.А. Олексієнко ; Міністерство освіти і науки України, Сумський державний університет. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 283 с.
7. Оптика : навчальний посібник / А. В. Попов, Р. В. Вовк, В. І. Білецький. – 2-ге вид. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. – 100 с.
8. Колобродов, В. Г. Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція [Електронний ресурс] : підручник для студентів / КПІ ім. Ігоря Сікорського; В. Г. Колобродов. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 210 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/20753>
9. Колобродов В.Г. Хвильова оптика. Частина 2. Дифракція і поляризація світла [Електронний ресурс] : підручник для студентів / В. Г. Колобродов ; КПІ ім. І. Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,22 Мбайт). – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2018. – 230 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23244>
10. Збірник задач із загальної фізики [Електронний ресурс] : навч. Посіб. Для студентів інженерно-технічних спеціальностей./ КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.П. Бригінець, І.М. Репалов, Л.П. Пономаренко, Н.О. Якуніна. –

Електронні текстові дані (1 файл: 4.1Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 230 с.

11. Бригінець, В. П. Лекції з курсу загальної фізики. Коливання і хвилі [Електронний ресурс] : [навчальний посібник] / В. П. Бригінець, С. О. Подласов ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,27 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 143 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/3578>

12. Якісні завдання з розділу «ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ» : навч. Посіб. Для студ. Усіх спеціальностей / В. П. Бригінець, С.О. Подласов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,37 Мбайт). – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 12 с. 13. Атомна та ядерна фізика : навчально-методичний посібник для студентів нефізичних спеціальностей університетів / В.І. Білецький, Р.В. Вовк, В.Ю. Гресь, Д.Ю. Чібісов ; Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017

14. Фізика: Електрика і магнетизм – Вчимося розв'язувати задачі: Компенсаційний курс [Електронний ресурс] : навч. Посіб. Для здобувачів ступеня бакалавр / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; В.П. Бригінець, С.О. Подласов, О.В.Матвійчук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.

15. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. Посіб. Для студ. Вищ. Техн. І пед. Закл. Освіти. Т. 2. Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 2001. – 452 с.: іл.

16. Л.Г. Чертов, А.А. Вороб'єв. Задачник по физике. изд. "Высшая школа", М., 1977.(НТБ)

17.И.Е. Иродов.Задачник по физике. «Наука», М.,1988.(НТБ)

17. Фізика. Розділ «Електрика і магнетизм» [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студентів спеціальностей «Промислова біотехнологія», «Обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості» / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. П. Кузь. - Електронні текстові дані (1 файл: 7,44 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2009. - Назва з екрана. – Доступ:

<http://library.ntu-kpi.kiev.ua:8080/handle/123456789/153>

18. Методичні вказівки для самостійної підготовки та вивчення дисципліни фізика розділ: «Магнетизм» для студентів факультетів: біотехнології та хіміко-технологічного напрям підготовки 6.051401 «Біотехнологія» та 6.051301 «Хімічна технологія» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ»; уклад. О. В. Дрозденко, О. П. Кузь, О. В. Долянівська, О. М. Слободян. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,49 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 115 с. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2711>

19. Загальна фізика: Динаміка [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до розв'язування задач для студентів інституту телекомунікаційних систем та інших технічних факультетів / НТУУ «КПІ»; уклад. А. В. Немировський, О. В. Дрозденко, О. П. Кузь. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,34 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана. – Доступ: <http://library.kpi.ua:8080/handle/123456789/1332>

20. Методичні вказівки для самостійної підготовки та вивчення дисципліни фізика. Розділ: «Оптика» для студентів факультетів біотехнології та хіміко-технологічного напрямку підготовки 6.051401 «Біотехнологія», 6.051301 «Хімічна технологія» [Електронний ресурс] / О. П. Кузь, О. В. Дрозденко; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 93 с. – Назва з екрана. – Доступ:

<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/6363>

20. Physics. Magnetism [Electronic resource] : course book for foreign students of Engineering specialities / O. V. Drozdenko, O. V. Dolianivska, O. P. Kuz; NTUU «KPI». – Electronic text data (1 file: 2,95 Mb). – Kyiv : NTUU «KPI», 2014. – 103 p. – Title with screen. – Access : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7382>

Фундаментальні фізичні константи

Назва	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Універсальна газова стала	R	$8,315 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	k	$1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Швидкість світла	c	$2,99792 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$
Елементарний заряд	e	$1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Електрична стала	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}$
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$
Стала Планка	h	$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Стала Планка	$\hbar = h/2\pi$	$1,05459 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Атомна одиниця маси	$a.o.m.$	$1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Стала Ридберга	R'_∞	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Стала Ридберга	R_∞	$3,28 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$
Борівський радіус	a	$0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Стала Стефана-Больцмана	σ	$5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Стала Віна	b	$2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ_C	$2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ м}$

ДОДАТОК Б

Рекомендовані позначення та одиниці вимірювання фізичних величин

Фізична величина	Символ	Одиниця вимірювання	
		Назва	Позначення
Довжина	l, L	метр	м
Ширина	a, b	метр	м
Діаметр	d, D	метр	м
Радіус	r, R	метр	м
Площа	S	метр квадратний	м^2
Об'єм	V	метр кубічний	м^3
Шлях	s	метр	м
Швидкість	v	метр за секунду	м/с
Прискорення	a	метр за секунду в квадраті	$\text{м}/\text{с}^2$
Кут повороту	φ	радіан	рад
Кутова швидкість	ω	радіан за секунду	рад/с
Кутове прискорення	ε	радіан за секунду в квадраті	$\text{рад}/\text{с}^2$
Маса	m	кілограм	кг
Сила	F, f	ньютон	Н
Коефіцієнт тертя	k	-	-
Імпульс	p	кілограм-метр за секунду	кг м/с
Момент сили	M	ньютон-метр	Н м
Момент інерції	J	кілограм-метр у квадраті	кг м^2
Момент імпульсу	L	кілограм-метр у квадраті за секунду	$\text{кг м}^2/\text{с}$
Робота	A	джоуль	Дж
Потужність	N, P	ват	Вт

1	2	3	4
Енергія	E,W	джоуль	Дж
Коефіцієнт корисної дії	η	-	-
Модуль Юнга	E	паскаль	Па
Тиск	P	паскаль	Па
Температура Цельсія	t	градус Цельсія	$^{\circ}\text{C}$
Густина	ρ	кілограм на метр у кубі	$\text{кг}/\text{м}^3$
Питомий об'єм	v	метр у кубі на кілограм	$\text{м}^3/\text{кг}$
Кількість теплоти	Q	джоуль	Дж
Повна теплоємність	C	джоуль на кельвін	Дж/К
Молярна теплоємність	(C)	джоуль на моль-кельвін	Дж/моль К
Питома теплоємність	c	джоуль на кілограм-кельвін	Дж/кг К
Коефіцієнт теплопровідності	k	ват на метр-кельвін	Вт/м К
Коефіцієнт в'язкості	δ	паскаль-секунда	Па с
Коефіцієнт дифузії	D	метр у квадраті за секунду	$\text{м}^2/\text{с}$
Поверхневий натяг	g	ньютон на метр	Н/м
Ентропія	s	джоуль на кельвін	Дж/К

1	2	3	4
Температурний коефіцієнт лінійного розширення	α	кельвін у мінус першому ступені	K^{-1}
Температурний коефіцієнт об'ємного розширення	ξ	кельвін у мінус першому ступені	K^{-1}
Електричний заряд	q	кулон	Кл
Напруженість електричного поля	E	вольт на метр	В/м
Лінійна густина заряду	τ	кулон на метр	Кл/м
Поверхнева густина заряду	σ	кулон на метр квадратний	Кл/м ²
Об'ємна густина заряду	ρ	кулон на метр кубічний	Кл/м ³
Потенціал	ϕ	вольт	В
Різниця потенціалів	$\phi_1 - \phi_2$	вольт	В
Електричне зміщення	D	кулон на квадратний метр	Кл/м ²
Потік напруженості електричного поля	Φ_E	вольт -метр	В м

1	2	3	4
Електричний дипольний момент	p	кулон-метр	Кл м
Поляризованість	P	кулон на квадратний метр	Кл/м ²
Відносна діелектрична сприйнятливість	χ	-	-
Відносна діелектрична проникність	ϵ	-	-
Електрична ємність	C	фарада	Ф
Сила струму	i	ампер	А
Густина струму	j	ампер на квадратний метр	А/м ²
Електрорушійна сила	\mathcal{E}	вольт	В
Електрична напруга	U	вольт	В
Електричний опір	R	ом	Ом
Питомий електричний опір	ρ	ом-метр	Ом м
Температурний коефіцієнт опору	α	одиниця на Кельвін	К ⁻¹
Електрична провідність	G	сименс	См
Питома електрична провідність	σ	сименс на метр	См м

1	2	3	4
Магнітна індукція	В	тесла	Тл
Потік магнітної індукції	Ф	вебер	Вб
Напруженість магнітного поля	Н	ампер на метр	А м
Індуктивність	L	генрі	Гн
Магнітний момент	p_m	ампер-квадратний метр	A/m^2
Намагніченість	I	ампер на метр	А/м
Відносна магнітна сприйнятливість	χ	-	
Відносна магнітна проникність	μ	-	

Властивості деяких твердих тіл

Речовина	Густина, кг/м ³	Темпера- тура плавлення , К	Питома теплоємні сть Дж/(кг·К)	Питома теплота плавлен- ня, Дж/кг	Коефіцієнт теплового розширенн я, К ⁻¹
Алюміній	$2,7 \cdot 10^3$	932	$9,2 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Залізо	$7,8 \cdot 10^3$	1803	$4,6 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Цинк	$7,1 \cdot 10^3$	692	$4,0 \cdot 10^2$	$1,18 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Мідь	$8,9 \cdot 10^3$	1356	$3,8 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Латунь	$8,5 \cdot 10^3$	1173	$3,8 \cdot 10^2$	–	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Олово	$7,3 \cdot 10^3$	505	$2,5 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Свинець	$1,14 \cdot 10^4$	600	$1,2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Срібло	$1,05 \cdot 10^4$	1233	$2,5 \cdot 10^2$	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Платина	$2,15 \cdot 10^4$	2043	$1,25 \cdot 10^2$	$1,13 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^{-6}$
Скло	$2,5 \cdot 10^3$	–	$8,4 \cdot 10^2$	–	$9 \cdot 10^{-6}$
Цегла	$1,8 \cdot 10^3$	–	$7,5 \cdot 10^2$	–	$(3-9) \cdot 10^{-6}$
Лід	$0,9 \cdot 10^3$	273	$2,09 \cdot 10^3$	$3,35 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^{-5}$

Пружні властивості деяких речовин

Речовина	Границя міцності, Н/м ²	Модуль Юнга, Н/м ²
Алюміній	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Бетон	–	$\sim 2 \cdot 10^{10}$
Залізо	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Мідь	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Свинець	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Срібло	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Сталь	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$
Цегла	–	$\sim 2,8 \cdot 10^{10}$

Теплопровідність деяких речовин (Вт/м·К)

Алюміній	210	Сухий пісок	0,325
Залізо	58,7	Цегла силікатна	1,1
Мідь	390	Бетон із гравієм	1,5
Срібло	460	Шлакобетон	0,15 – 0,4
Деревина (сосна)	0,1	Ебоніт	0,174
Скло	0,8 – 1	Войлок	0,046

Властивості деяких рідин за 20⁰С

Рідина	Густина , кг/м ³	Питома теплоємність , Дж/(кг·К)	Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м	Динамічна в'язкість, Па·с
Вода	1 000	4 190	0,072	0,001
Ацетон	792	–	0,024	0,00033
Спирт етиловий	790	2 510	0,022	0,0012
Гліцерин	1 200	2 430	0,059	1,5
Бензол	880	1 720	0,03	0,00065
Гас	800	2 140	0,024	–
Бензин	700	–	0,029	0,00065
Касторове масло	900	1 800	0,033	1,0
Ртуть	13 600	138	0,47	16

Параметри критичного стану деяких речовин

Речовина	T_k , К	p_k , Па	ρ_k , кг/м ³
Водяна пара	647	$22 \cdot 10^6$	329
Азот	126	$3,4 \cdot 10^6$	311
Аргон	151	$4,87 \cdot 10^6$	531
Водень	33	$1,3 \cdot 10^6$	31
Вуглекислий газ	304	$7,4 \cdot 10^6$	464
Гелій	5,2	$0,23 \cdot 10^6$	69
Кисень	154	$5,07 \cdot 10^6$	430
Спирт етиловий	516	$6,4 \cdot 10^6$	–

Діаметри молекул деяких газів, м.

Азот	$3,7 \cdot 10^{-10}$	Вуглекислий газ	$4,5 \cdot 10^{-10}$
Аргон	$3,6 \cdot 10^{-10}$	Гелій	$2,1 \cdot 10^{-10}$
Водень	$2,7 \cdot 10^{-10}$	Кисень	$3,5 \cdot 10^{-10}$

Діелектрична проникність деяких речовин

Гас	2	Слюда	6
Парафін	2	Фарфор	6
Ебоніт	2,6	Скло	6 – 10
Кварц	2,7	Вода	81

Електричні властивості матеріалів за 20°C

Матеріал	Питомий опір, 10^{-8} Ом· м	Темпер. коефіц. опору, K^{-1}	Матеріал	Питомий опір, 10^{-8} Ом· м	Темпер. коефіц. опору, K^{-1}
Алюміній	2,7	0,0038	Константан	48	0,00002
Мідь	1,72	0,0043	Нікелін	40	0,000017
Срібло	1,6	-	Ніхром	100	0,00026
Залізо	9,8	0,0062	Ртуть	94	0,0009
Сталь	12	0,006	Свинець	22	0,0042
Вольфрам	5,5	0,0051	Графіт	800	-

Робота виходу A електронів з металу, еВ

Метал	A	Метал	A	Метал	A
Вольфрам	4,5	Магній	3,5	Срібло	4,5
Залізо	4,5	Мідь	4,5	Тантал	4,1
Золото	4,7	Молібден	4,2	Цинк	4,0
Калій	2,0	Нікель	5,0	Рубідій	2,13
Літій	2,4	Платина	5,3	Цезій	1,97

Абсолютні показники заломлення видимого світла

Алмаз	2,42	Повітря	1,00029
Вода	1,33	Скло	1,5
Лід	1,31	Скипидар	1,47
Кварц	1,54	Сірковуглець	1,63

Атомні маси деяких атомних ядер, а.о.м.

H ¹	1,007825	Si ³¹	30,975350
H ²	2,014108	P ³¹	30,973762
H ³	3,016028	Ca ⁴⁴	43,95549
He ³	3,016045	Ti ⁵⁰	49,944736
He ⁴	4,002596	Ti ⁵¹	50,949858
Li ⁶	6,015110	Ra ²²⁶	226,025279
Li ⁷	7,016046	Th ²³²	232,038112
Be ⁷	7,016925	U ²³⁸	238,050637
B ¹¹	11,009304	U ²³⁹	239,054149
C ¹⁴	14,003217	Pu ²³⁹	239,052037
N ¹⁴	14,00307	електрон	0,000545

Періоди піврозпаду деяких ізотопів

C^{14}	5 730 років	Ra^{226}	1 620 років
Co^{58}	71 доба	Th^{232}	$1,41 \cdot 10^{10}$ років
Sr^{90}	28 років	U^{238}	$4,5 \cdot 10^9$ років
Po^{210}	140 діб	U^{239}	23,5 хвилини
Rn^{222}	3,82 доби	Pu^{239}	24 390 років