



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра хімії та фізики

05-06-73

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до тестового оцінювання знань

«Інтерактивні тематичні таблиці»

з навчальної дисципліни «Фізика»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
інженерно-технічних напрямів підготовки
денної, заочної та дистанційної форм навчання

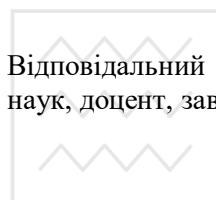
Схвалено
науково-методичною
радою НУВГП
Протокол № 8
від 21.11.2018 р.

Рівне – 2018



Методичні вказівки до тестового оцінювання знань «Інтерактивні тематичні таблиці» з навчальної дисципліни «Фізика» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форм навчання / Мороз М. В., Гаєвський В. Р., Соляк Л. В., Кочергіна О. Д. – Рівне : НУВГП, 2018. – 60 с.

Укладачі: М. В. Мороз, канд. фіз. мат. наук, доцент кафедри хімії та фізики; В.Р. Гаєвський, канд. техн. наук, доцент кафедри хімії та фізики; Л. В. Соляк, ст. викладач кафедри хімії та фізики; О. Д. Кочергіна, ст. викладач кафедри хімії та фізики.



© М. В. Мороз, Л. В. Соляк,
О. Д. Кочергіна, В. Р. Гаєвський, 2018
© НУВГП, 2018



ЗМІСТ

Вступ -----	4
Розділ 1. Механіка -----	5
1.1. Кінематика-----	5
1.2. Динаміка-----	8
1.3 Робота, потужність, енергія-----	12
1.4. Задачі Механіка ІІІ рівень-----	13
1.5. Задачі Механіка ІІ рівень-----	14
Розділ 2. Молекулярна фізика та термодинаміка-----	16
2.1. Задачі. Молекулярна фізика та термодинаміка ІІІ рівень---	21
2.2. Задачі. Молекулярна фізика та термодинаміка ІІ рівень---	21
Розділ 3. Електростатика і постійний струм-----	23
3.1. Задачі. Електростатика і постійний струм ІІІ рівень-----	28
3.2. Задачі. Електростатика і постійний струм ІІ рівень-----	29
Розділ 4. Магнетизм-----	31
4.1. Задачі. Магнетизм ІІІ рівень-----	34
4.2. Задачі. Магнетизм ІІ рівень-----	34
Розділ 5. Коливання і хвилі-----	35
5.1. Задачі. Коливання і хвилі ІІІ рівень-----	40
5.2. Задачі. Коливання і хвилі ІІ рівень-----	40
Розділ 6. Оптика – геометрична, хвильова, квантова-----	42
6.1. Задачі. Оптика-геометрична, хвильова, квантова ІІІ рівень	46
6.2. Задачі. Оптика-геометрична, хвильова, квантова ІІ рівень	47
Розділ 7. Ядерна фізика, елементи атомної фізики-----	49
7.1. Задачі. Ядерна фізика, елементи атомної фізики ІІІ рівень	51
7.2. Задачі. Ядерна фізика, елементи атомної фізики ІІ рівень	52
8. Довідкові дані-----	53
9. Література-----	60



Вступ

Методичні вказівки містять теоретичний матеріал навчальної дисципліни «Фізика» розділи «Механіка», «Молекулярна фізика та термодинаміка», «Електростатика. Постійний електричний струм», «Магнетизм», «Коливання і хвилі», «Оптика – геометрична, хвильова, квантова», «Ядерна фізика» у вигляді тематичних таблиць. Після кожного розділу наведені задачі, які необхідно розв'язати при підготовці до тестового оцінювання знань при модульному та семестровому контролі. Формули, які використовують під час розв'язання задач, виділено кольором.

Метою цих МВ є підвищення ефективності роботи студента в процесі підготовки до тестування, створення у студента чіткого розуміння структури дисципліни, забезпечення ГРЗ (гарантованого рівня знань) студентів.

МВ містять теоретичний матеріал в тому обсязі, який вимагають під час тестування на другому й третьому рівнях.

Під час тестового оцінювання в задачі потрібно буде знайти лише **одну** невідому величину і, відповідно, у відповіді буде лише **одне число**.

У процесі тестового оцінювання необхідно дотримуватися таких правил під час відповіді:

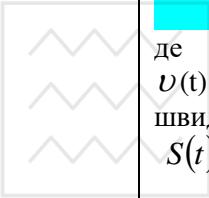
- одиниці вимірювань не вказувати;
- замість , – коми писати . – крапку;
- замість $10^{\pm n}$ пишемо $E \pm n$;
- при отриманні раціонального невеликого числа записувати його повністю;
- при отриманні ірраціонального числа його необхідно заокруглювати за правилами заокруглення (див. на 0 і 9) зазвичай до десятих, сотих, тисячних;
- дуже великі (маленькі) числа ($\sim 10^{\pm n}$) представляти в нормованому вигляді: розряд одиниць помножити на $10^{\pm n}$ і записати через $E \pm n$;
- при обчисленнях з числом π набирати його як символ π .



Розділ 1

Механіка

1.1. Кінематика

Поступальний рівномірний рух	Поступальний рівномірний рух	Обертальний рівномірний рух (по колу)	Обертальний рівномірний рух
$a=0 \text{ м/с}^2$ – прискорення  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$ де $v(t)$ – швидкість, $S(t)$ - шлях	прискорення $a = \text{const}$ - миттєве прискорення $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$ де $v(t)$ – швидкість, $S(t)$ - шлях	нормальне прискорення (доцентрове) $a_n = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$	кутове прискорення $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ - нормальне прискорення (доц.) $a_n = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$ тангенціальне прискорення $a_\tau = \frac{dv}{dt} = \varepsilon R$ - повне прискорення $a = \sqrt{(a_n)^2 + (a_\tau)^2} = R \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \frac{v^4}{R^2}}$ -
$v = \text{const}$ – швидкість $v = \frac{ds}{dt}$ - Швидкість $v = v_0 \pm at$ -, v_0 - початкова	миттєва швидкість $v = \frac{ds}{dt}$ - Швидкість $v = v_0 \pm at$ -, v_0 - початкова	кутова швидкість $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ = const - $T = \frac{1}{\nu}$ -період,	кутова швидкість $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ -, де $\varphi(t)$ - кут повороту,



<p>швидкість</p> <p>середня швидкість</p> $v_{sep} = \frac{v_0 + v}{2}$ <p>(! тільки для рівнозмінного). Для визначення прискорення, якщо не даний час t</p> $v^2 - v_0^2 = 2aS$	$v = \frac{N}{t}$ - частота, де N - кількість обертів	<p>кутова швидкість</p> $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$, кутове прискорення $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ - $\omega^2 - \omega_0^2 = 2 \varepsilon \varphi$
<p>шлях</p> $S = v \cdot t$ - <p>Шлях</p> $S = v_0 \cdot t \pm \frac{at^2}{2}$ <p>Вертикальний рух: час підйому + час падіння $t = 2t_1$ - висота найбільшого - підйому (падіння без початкової швидкості)</p>	<p>кут повороту</p> $\varphi = \omega t$ - <p>кут повороту</p> $\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$, де $\omega_0 = 2\pi\nu$ - початкова кутова швидкість	



$$h_{\max} = \frac{gt_1^2}{2}$$

швидкість при
вертикальному
підйомі, падінні

$$v_y = v_{oy} \mp gt_1 -$$





1.2. Динаміка

Поступальний рух	Обертальний рух
Мірою інертності при поступальному русі є <u>маса</u> m	Мірою інертності при обертальному русі є <u>момент інерції</u> I : - для м.т. $I_i = m_i \cdot R_i^2$ - для тв.тіла $I_Z = \sum_i m_i \cdot R_i^2$, R_i - відстань від мат. точки до осі обертання Z
При поступальному русі тіло рухається зі <u>швидкістю</u> v	При обертальному русі мат. точка, тіло обертається з <u>кутовою швидкістю</u> ω
При поступальному русі тіло має <u>імпульс</u> $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	При обертальному русі навколо нерухомої осі Z тіло має <u>момент імпульсу</u> $L_Z = I_Z \cdot \omega$
Поступальний рух може відбуватися під дією <u>сили</u> \vec{F}	Обертальний рух відбувається під дією <u>момента сил</u> M_Z відносно нерухомої осі Z . $M_Z = F_\tau h$, де h плече сили, F_τ - дотична сила
Тіло, що рухається під дією сили, має <u>прискорення</u> \vec{a}	Тіло, що обертається, має <u>кутове прискорення</u> ε
<u>Другий закон Ньютона:</u> $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	<u>Основний закон динаміки обертального руху т.т. навколо нерухомої осі</u> $M_Z = I_Z \cdot \varepsilon$ $M_Z = \frac{dL_Z}{dt} = \frac{d(I_Z \omega)}{dt}$
<u>Закон збереження імпульсу:</u> $\sum_i \vec{p}_i = const ;$ $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 -$	<u>Закон збереження моменту імпульсу</u> замкненої системи тіл, що обертаються навколо нерухомої осі:



для 2-х тіл при абсолютно
пружному ударі
 $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$ -
при непружному ударі двох тіл

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

У даній таблиці проведено аналогію між поступальним і обертовим рухом.

Представимо таблицю 1.2. Динаміка у стислому вигляді більш зручному для запам'ятовування:

Поступ. рух	m	v	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	\vec{F}	\vec{a}	$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$
Оберт. рух	I_z	ω	$L_z = I_z \cdot \omega$	M_z	ε	$M_z = I_z \cdot \varepsilon$	$M_z = \frac{dL_z}{dt}$

Подібна аналогія може бути проведена і для кінетичної енергії при поступальному та обертовому русі, що буде розглянуто нижче в розділі Робота, потужність, енергія

Динаміка

Теорема Штейнера: $I_z = I_c + md^2$,

де I_z – момент інерції відносно довільної осі Z;

I_c - момент інерції відносно осі, що проходить через центр мас || осі Z; d - відстань між осями.

- Для застосування теореми Штейнера.

Момент інерції деяких тіл відносно осі, що проходить через центр мас:

a) стрижня масою m і довжиною l відносно осі, перпендикулярної до стрижня: $I_c = \frac{1}{12}ml^2$;

б) обруча (тонкостінного циліндра) відносно осі, що співпадає з віссю циліндра: $I_c = mR^2$;



в) диска (суцільного циліндра) відносно осі, що співпадає з

$$\text{віссю циліндра: } I_c = \frac{1}{2} mR^2;$$

г) суцільної кулі радіусом R : $I_c = \frac{2}{5} mR^2$.

- **Сили в природі** (ті, що розглядаються в механиці):

* $\vec{F} = m\vec{g}$ – сила тяжіння,

* $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ – модуль сили гравітаційної взаємодії (закон

всесвітнього тяжіння),

де: g – прискорення вільного падіння; G – гравітаційна стала;

m_1 та m_2 – маси взаємодіючих тіл; r – відстань між ними.

* $F_{np} = \mu N$ – модуль сили тертя ковзання,

де μ – коефіцієнт тертя, N – сила нормального тиску.

* $F_x = -kx$ – проекція сили пружності на напрямок деформації

(закон Гука для абсолютної деформації),

де k – жорсткість, x – абсолютнона деформація.

* $\sigma = E\varepsilon = E \frac{\Delta l}{l_0}$ - закон Гука для відносної деформації,

де $\sigma = \frac{F_{np}}{S}$ -механічна напруга.

* $F = ma + F_{op}$ -сила, яку треба прикласти до тіла, щоб збільшити його швидкість, доляючи силу опору.



Обертальний рух диска з тертям:

$$M = M_z - M_{TP} = F_r R - M_{TP},$$

де M_z - момент дотичної сили, що призводить до обертання диску, M_{TP} - момент сил тертя.





1.3. Робота, потужність, енергія

- **Робота змінної сили:** $A = \int_{S_1}^{S_2} F dS \cos \alpha ,$

де $F \cos \alpha = F_s$ – проекція вектора \vec{F} на напрямок переміщення

- **Робота постійної сили** ($F = \text{const}, \alpha = \text{const}$): $A = FS \cos \alpha$

- **Елементарна робота при поступальному русі:** $dA = F_s dS$

- **Елементарна робота при обертовому русі:** $dA = M_z d\varphi ,$

M_z -момент сил

- **Потужність (середня і миттєва):** $N_{cp} = \frac{A}{t}; \quad N = \frac{\delta A}{dt} = Fv \cos \alpha$

- **Зв'язок між потужністю двигуна, силою тяги і швидкістю руху:**
 $N = F \cdot v$

- **Кінетична енергія поступального руху:** $W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} ,$
де p – імпульс тіла, m – його маса, v – швидкість.

- **Кінетична енергія обертального руху:** $W_k = \frac{I\omega^2}{2} ,$

де I – момент інерції тіла, ω – кутова швидкість.

- **Кінетична енергія тіла, що котиться:** $W_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$

- **Потенціальна енергія гравітаційної взаємодії:** $W_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$

- **Потенціальна енергія тіла, піднятого на невелику висоту h над поверхнею Землі:** $W_n = mgh$

- **Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:** $W_p = \frac{kx^2}{2} ,$

де k – жорсткість, x – величина абсолютної деформації.

- **Теорема про зміну кінетичної енергії:** $A = W_{k2} - W_{k1} = \Delta W_k$ -



робота = збільшенню кінетичної енергії,
де A – робота рівнодійної всіх сил, що діють на тіло.

- **Теорема про зміну потенціальної енергії:**

$$W_{p2} - W_{p1} = \Delta W = -A_{nom}$$

- робота потенціальних сил = зменшенню потенціальної енергії,
де A_{nom} – робота потенціальних сил (зокрема сили пружності та гравітаційної сили).

- **Повна механічна енергія:** $W_{mex} = W_k + W_p$

- **Закон збереження механічної енергії консервативної системи взаємодіючих тіл:** $W_{mex} = W_k + W_p = \text{const}$,

де W_k – кінетична енергія, W_p – потенціальна енергія системи

- **Закон збереження повної механічної енергії диска, що піднятій на похилу площину висотою h :** $mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$

1.4. Задачі Механіка ІІІ рівень

Задачі ІІІ-го рівня при тестовому оцінюванні не мають відповіді для вибору варіанта. Ці задачі оцінюються найвищим балом і їх бажано розв'язати в першу чергу. При розв'язуванні користуйтесь виділеними формулами.

1. Першу половину шляху автомобіль рухався зі швидкістю 72 км/год, а другу половину зі швидкістю 54 км/год. Знайти середню швидкість автомобіля.
2. Тіло масою 100 г рухається згідно закону $S=At-Bt^2+Ct^3$, $A=3$ м, $B=2$ м/с, $C=1$ м/с². Знайти силу, що діє на це тіло через 3 секунди після початку руху.
3. Вентилятор обертається з частотою 180 об/хв. Починаючи з деякого моменту часу він починає гальмувати і обертається рівноспівільнено з кутовим прискоренням 3 рад/с². За який час вентилятор зупиниться?



4. Диск масою 1 кг котиться без ковзання по горизонтальній площині зі швидкістю 6 м/с. Знайти його повну кінетичну енергію.
5. Обчислити роботу, яку потрібно виконати для того, щоб збільшити швидкість тіла масою 1 кг від 2 м/с до 5 м/с на шляху 10 м. На всьому шляху діє сила опору 8 Н.
6. Однорідний диск радіусом $R=2$ м і масою $m=5$ кг обертається навколо осі, що проходить через його центр. Залежність кутової швидкості обертання диска від часу описується рівнянням $\omega=A+Bt$, $B=8$ рад/с. Знайти величину дотичної сили, яка прикладена до ободу диски. Тертям знехтувати.
7. До ободу однорідного диска радіусом $R=0.2$ м прикладена дотична сила $F=98.1$ Н. При обертанні на диск діє момент сил тертя $M_{\text{тр}}=4.9$ Н·м. Знайти масу диска, якщо він обертається з постійним кутовим прискоренням $\varepsilon=100$ рад/с².
8. Дві кулі масами $m_1=2.5$ кг та $m_2=1.5$ кг рухаються назустріч одна одній зі швидкостями $v_1=6$ м/с та $v_2=2$ м/с. Визначити кінетичну енергію куль після удару. Удар вважати прямим та непружним.

1.5. Задачі Механіка II рівень

Задачі II-го рівня при тестовому оцінюванні мають відповіді для вибору варіанта. При розв'язуванні користуйтесь виділеними формулами.

9. Залежність шляху від часу описується рівнянням $S=At-Bt^2+Ct^3$, $A=3$ м, $B=2$ м/с, $C=1$ м/с². Знайти швидкість тіла через 2 секунди після початку руху.
10. Хлопчик кинув тіло вертикально вгору і зловив його через 4 секунди. На яку максимальну висоту піднялося тіло?
11. Хлопчик кинув тіло вертикально вгору і зловив його через 4 секунди. З якою початковою швидкістю рухалося тіло?



12. Тіло підняли на висоту $h=2$ м і відпустили. Нехтуючи опором повітря, знайти швидкість тіла біля поверхні землі.
13. Швидкість потягу, що рухається рівноприскорено, за 10 секунд збільшилась з 36 км/год до 72 км/год. Знайти прискорення потяга.
14. Лінійна швидкість точки на ободі диска в 2 рази більша від швидкості точки, що знаходиться відстані 5 см біжче до осі диска. Знайти радіус диска.
15. Знайти імпульс тіла масою 10 г, що рухається зі швидкістю 36 км/год
16. Людина масою 60 кг, що біжить зі швидкістю 5 м/с наздоганяє візок масою 100 кг, що котиться зі швидкістю 2 м/с, та застрибує на нього. З якою швидкістю буде рухатись візок після цього?
17. Тіло рухається рівноприскорено з початковою швидкістю v_0 . Визначити прискорення тіла, якщо за час $t=2$ с воно пройшло шлях 16 м і його швидкість становила $v=3v_0$.
18. До ободу однорідного диска діаметром $d=0.2$ м прикладена дотична сила $F=98.1$ Н. Знайти момент сили, що діє на диск.
19. При підйомі вантажу масою 2 кг на висоту 1 м сталою силою було виконано роботу 50 Дж. З яким прискоренням піднімався вантаж?
20. Диск масою 1 кг та радіусом 0.1 м котиться без ковзання по горизонтальній площині з кутовою швидкістю $\omega=6$ рад/с. Знайти кінетичну енергію обертального руху диска.
21. Обчислити роботу, яку потрібно виконати для того, щоб збільшити швидкість тіла масою 1 кг від 2 м/с до 5 м/с.



Розділ 2

Молекулярна фізика та термодинаміка

Кількість речовини (молів): $\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$,

де m – маса речовини, μ – молярна маса, N – число молекул, $N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – стала Авогадро.

-Зв'язок молярної маси з масою однієї молекули ($m^{(1)}$): $\mu = m^{(1)} N_A$

Рівняння стану ідеального газу

рівняння Менделєєва-Клапейрона	рівняння Клапейрона	зв'язок тиску з концентрацією молекул газу $p = nkT$, де $n = N/V$ – концентрація, $k = R/N_A$ - стала Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К .
$pV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT$, $R = 8,31$ Дж/(моль·К) універсальна газова стала, p -тиск, V - об'єм	$\frac{pV}{T} = \text{const}$, де p – тиск, T - абсолютна температ, V - об'єм (для даної маси газу).	

Газові закони (для ізопроцесів)

Ізотермічний $T = \text{const}$ закон Бойля-Маріотта	Ізобарний $p = \text{const}$ закон Гей-Люссака	Ізохорний $V = \text{const}$ закон Шарля
$T = \text{const}, m = \text{const}$ $pV = \text{const}$ - ізотерма	$p = \text{const}, m = \text{const}$ $\frac{V}{T} = \text{const}$ - ізобара	$V = \text{const}, m = \text{const}$ $\frac{p}{T} = \text{const}$ - ізохора

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$



Робота в ізопроцесах

Ізотермічний

$$T = \text{const}$$

$$A = v RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT$$

$$\text{або } A = v RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Ізобарний

$$p = \text{const}$$

$$A = p(V_2 - V_1) \equiv p\Delta V$$

$$\text{або } A = vR\Delta T$$

(з рівняння

Менделєєва-
Клапейрона)

Ізохорний

$$V = \text{const}$$

$$A = 0$$

Робота розширення (стискання) газу (загальна формула): $A = \int_{V_1}^{V_2} pdV$,

де V_1 та V_2 – початковий і кінцевий об'єми газу.

Рівняння адіабатичного процесу:

$$PV^\gamma = \text{const} ; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const} ; \quad pT^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \text{const}$$

де γ – показн. адіабати (коef. Пуасона). ($\Delta Q = 0$ -без теплообміну, Q –кількість . теплоти.)

Робота газу при адіабатичному процесі:

$$A = -\Delta U = -v C_{\mu V} \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_2),$$

де $C_{\mu V}$ – молярна теплоємність при сталому об'ємі,

ΔU – зміна внутрішньої енергії газа

Внутрішня енергія довільної маси ідеального газу:

$$U = v \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT ,$$

де i – кількість ступенів вільності молекул

Число ступенів вільності i для системи, що складається з N жорстко зв'язаних матеріальних точок:

а) $i = 3$, якщо $N = 1$ – одноатомна молекула;

б) $i = 5$, якщо $N = 2$ – двоатомна молекула;

в) $i = 6$, якщо $N \geq 3$ – молекула складається з трьох і більше атомів.



Густина газу: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu p}{RT}$; $\rho = m^{(1)} \cdot n$,

де $m^{(1)}$ – маса однієї молекули, n – концентрація молекул

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів (МКТГ)

$p = \frac{2}{3}n\langle W_K \rangle$, де $\langle W_K \rangle$ - середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули. $\langle W_K \rangle = \frac{m^{(1)}v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ $v_{\text{кв}}$ – середня квадратична швидкість молекул k – стала Больцмана	$p = nkT$ або $n = \frac{p}{kT}$, де $n = N/V$ – концентрація, $k = R/N_A$ – стала Больцмана. $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К	для одного моля газу: $pV_\mu = \frac{2}{3}nV_\mu\langle W_K \rangle = RT$ V_μ – об'єм одного моля $V_\mu = \frac{N_A}{n}$ для газа об'ємом V : $pV = \frac{2}{3}E_{\text{к.п.}}$, де $E_{\text{к.п.}} = \frac{2}{3}nV\langle W_K \rangle$, де $E_{\text{к.п.}}$ – кінетична енергія поступального руху всіх молекул газу.
---	--	---

Закон Дальтона

$$p = \sum_i p_i = p_1 + p_2 + \dots$$

p – тиск суміші газів,

p_i – парціальний тиск i -го газу.

$p = nkT = n_1kT + n_2kT + \dots$ де $n = n_1 + n_2 + \dots$ - концентрація для суміші газів

Швидкості молекул газу

Середня арифметична швидкість молекул:

$$v_{ap} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

m – маса молекули

Середня квадратична швидкість молекул:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

m – маса молекули

Найбільш імовірна швидкість молекул:

$$v_{im} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

m – маса молекули



Середня кінетична енергія довільної молекули, котра володіє “i”

$$\text{ступенями вільності} \langle W_K \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

$$\text{для одноатомної} - \langle W_K \rangle = \frac{3}{2} kT$$

Середня довжина вільного пробігу молекули:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi}\sigma^2 p},$$

де $\sigma = 2r$ – ефективний діаметр молекули, n – концентрація, p – тиск

Середнє число зіткнень однієї молекули з іншими за одиницю часу:

$$z = \sqrt{2\pi}\sigma^2 v_{ap} n,$$

де v_{ap} – середня арифметична швидкість молекул:

Перший закон термодинаміки:

- в інтегральній формі: $Q = A + \Delta U$

- в диференціальній формі: $dQ = dA + dU$,

де Q – кількість теплоти, одержаної системою ззовні; A – робота системи проти зовнішніх сил; ΔU – зміна внутрішньої енергії системи.

Перший закон термодинаміки для ізопроцесів

Ізотермічний

$$T = \text{const}, dU = 0$$

$$\delta Q = \delta A,$$

$$\delta Q = pdV$$

Ізобарний

$$p = \text{const}$$

$$\delta Q = \delta A + dU$$

$$\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RdT + pdV$$

Ізохорний

$$V = \text{const}, \delta A = 0$$

$$\delta Q = dU$$

$$\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RdT$$

Перший закон термодинаміки для адіабатичного процесу:

$$\delta A = -dU, \quad \text{оскільки } \delta Q = 0, \quad \text{або } pdV = -\frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RdT$$

Питома теплоємність речовини: $c = \frac{\delta Q}{mdT}$



Теплоємність довільної маси речовини: $C = \frac{\delta Q}{dT}$

Молярна теплоємність: $C_\mu = \frac{\delta Q}{\frac{m}{\mu} dT} = \frac{\delta Q}{V dT},$

де V – кількість молей

Зв'язок молярної теплоємності (C_μ) з питомою теплоємністю (c) речовини $C_\mu = c \cdot \mu,$

де μ – маса одного моля

Молярна теплоємність ідеального газу при сталому об'ємі (ізохорний процес) $C_{\mu V} = \frac{i}{2} R,$

де i – кількість ступенів вільності, R – універсальна газова стала

Молярна теплоємність ідеального газу при сталому тиску (рівняння Майєра): $C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = \frac{i+2}{2} R$

Показник адіабати (коєфіцієнт Пуасона): $\gamma = \frac{C_{\mu P}}{C_{\mu V}} = \frac{i+2}{i},$

де i – кількість ступенів вільності молекули

Коефіцієнт корисної дії теплової машини: $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$

де A – робота, виконана робочим тілом за цикл: $A = Q_1 - Q_2;$
 Q_1 – кількість теплоти, одержаної тілом за цикл від нагрівника;
 Q_2 – кількість теплоти, відданої тілом за цикл холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії циклу Карно: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$

T_1 – температура нагрівника, T_2 – температура холодильника



2.1. Задачі Молекулярна фізика та термодинаміка ІІІ рівень

Задачі ІІІ-го рівня при тестовому оцінюванні не мають відповіді для вибору варіанта. Ці задачі оцінюються найвищим балом і їх бажано розв'язати в першу чергу. При розв'язуванні користуйтесь виділеними формулами.

1. 6 г вуглекислого газу (CO_2) та 5 г закису азоту (N_2O) заповнюють посудину об'ємом 2 дм³. Який загальний тиск у посудині при температурі 127 °C. Молярні маси газів: $M(\text{CO}_2)=44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль та $M(\text{N}_2\text{O})=44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
2. При нагріванні газу на 1 К при постійному тиску його об'єм збільшився на 0.005 початкового. При якій температурі знаходився газ?
3. Знайти число молекул, що знаходиться в посудині об'ємом 20 см³ при тиску 10⁴ Па і температурі 27 °C. Стала Больцмана рівна $k=1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.
4. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, 2/3 теплоти, одержаної від нагрівника, передає холодильнику з температурою 10 °C. Визначити температуру нагрівника.

2.2. Задачі Молекулярна фізика та термодинаміка ІІ рівень

Задачі ІІ-го рівня при тестовому оцінюванні мають відповіді для вибору варіанта. При розв'язуванні користуйтесь виділеними формулами.

5. Знайти густину повітря при температурі 20 °C та тиску 10⁵ Па. Повітря вважати однорідним газом з молярною масою $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
6. Балон об'ємом 12 л заповнений азотом при тиску 9 МПа і температурі 17 °C. Знайти масу азоту. Молярна маса азоту $N_2 = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
7. Знайти число молекул газу, що міститься в об'ємі 2 л при тиску $0.5 \cdot 10^5$ Па та температурі 27 °C.
8. Знайти густину водню при температурі 17 °C та тиску 10⁵ Па.



Молярна маса водню $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

9. Знайти середню квадратичну швидкість молекул повітря при температурі 17°C . Повітря вважати однорідним газом з молярною масою $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

10. Знайти відношення середніх квадратичних швидкостей молекул азоту та кисню при одинакових температурах. Молярна маса азоту $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, а кисню $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

11. Визначити число молекул, які містяться в 4 г кисню. Молярна маса кисню $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

12. Об'єм балону, який містить газ під тиском $p_1 = 1.2 \cdot 10^5$ Па, становить $V_1 = 6$ л. Яким стане тиск p_2 газу в балоні, якщо його з'єднати з іншим балоном $V' = 10$ л, з якого повністю викачали повітря (температура залишається постійною)?

13. У балоні знаходиться газ під тиском 10^5 Па та температурі 400 K . Яким стане тиск в балоні, якщо температуру підвищити на 100 K . Процес вважати ізохоричним.

14. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Температура нагрівника становить 600 K , а температура холодильника 300 K . Знайти ККД цієї теплової машини (у %).

15. Визначити роботу ізобаричного розширення газу від об'єму 3 л до об'єму 6 л. Тиск газу 10^5 Па.

16. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, отримує за кожний цикл від нагрівника 200 Дж теплоти. Температура нагрівника 400 K , а температура холодильника 300 K . Знайти роботу, яку виконує машина за один цикл.



Розділ 3

Електростатика та постійний струм Електростатика

Закон Кулона:

$$F = \frac{|q_1 q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

де F – модуль сили взаємодії точкових зарядів q_1 і q_2 ,
 r – відстань між зарядами, ϵ - діелектрична проникність середовища,
 ϵ_0 – електрична стала.

Напруженість електростатичного поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}},$

де q_{np} – пробний заряд, вміщений в дану точку електричного поля

Сила, що діє на точковий заряд в електричному полі: $\vec{F} = q\vec{E}$

Напруженість поля, створеного системою N точкових зарядів (принцип суперпозиції електричних полів): $\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i,$

де \vec{E}_i – напруженість поля, створеного точковим зарядом q_i в даній точці поля

Напруженість поля:

- **точкового заряду** $E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$

де r – відстань від заряду до точки, в якій визначається напруженість;

- **нескінченної рівномірно зарядженої площини** $E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon\epsilon_0},$

де $\sigma = \frac{q}{S}$ – поверхнева густина заряду;

- **між двома нескінченною різномірно зарядженими**

площинами: $E = \frac{|\sigma|}{\epsilon\epsilon_0}$



-зарядженої нитки (довгого тонкого циліндра)

$$E = \frac{|\tau|}{2\pi\epsilon_0 r}$$

де $\tau = \frac{dq}{dl}$ – лінійна густина заряду, r – відстань від нитки або від осі циліндра до точки, в котрій визначається напруженість;

-зарядженої сфери радіуса R на відстані r від її центра

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \text{ для } r > R, \quad E=0 \text{ при } r < R;$$

-зарядженої кулі радіуса R на відстані r від її центра

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr}{R^3} \text{ для } r < R;$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \text{ або } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi R^2 \rho}{r^2} \text{ для } r > R,$$

$$\rho = \frac{dq}{dV} - об'ємна густина$$

Потенціальна енергія взаємодії двох точкових зарядів

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$$

Потенціал електростатичного поля, створеного зарядом q :

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0},$$

де W_p – потенціальна енергія точкового заряду, вміщеного в дану точку поля

Потенціал поля точкового заряду

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

де r – відстань від заряду до точки, в якій визначається потенціал.

Потенціал поля, створеного системою N точкових зарядів (принцип суперпозиції електричних полів) $\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$



Потенціал поля, створеного зарядженою провідною сферою (кулею) радіуса R на відстані r від її центра

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}, \quad r > R \quad \text{або} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}, \quad r \leq R.$$

Зв'язок між потенціалом і напруженістю $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ – для однорідного поля (d – відстань між точками з потенціалами φ_1 та φ_2);
 $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ – для поля, що володіє центральною чи осьовою симетрією.

Робота електростатичного поля по переміщенню заряду q_0 з точки поля з потенціалом φ_1 у точку з потенціалом φ_2 $A_{12} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$

Електроемність відокремленого провідника $C = \frac{q}{\varphi}$,

де q – заряд провідника, φ – його потенціал

Електроемність (проводної) сфери, кулі радіусом R $C = 4\pi\epsilon_0 R$

Електроемність конденсатора $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$,

де q – заряд пластини, U – напруга на конденсаторі (різниця потенціалів між пластинами)

Електроемність плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$,

де S – площа пластини, d – відстань між ними

Електроемність батареї конденсаторів

при послідовному з'єднанні

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

при паралельному з'єднанні

$$C = \sum_{i=1}^N C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Енергія поля зарядженого провідника: $W = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2}$

Енергія зарядженого конденсатора $W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$



Постійний електричний струм

Сила струму: $I = \frac{dq}{dt}$ – миттєве значення сили струму;

$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ – для постійного струму або середнє значення сили змінного струму

Густина струму $j = \frac{dI}{dS}$ – миттєва густина струму;

$j = \frac{\Delta I}{\Delta S}$ – середня густина,

де ΔS – площа поперечного перерізу провідника

Зв'язок густини струму з середньою швидкістю $\langle v \rangle$

напрямленого руху носіїв струму $\vec{j} = q_0 \cdot n \cdot \langle \vec{v} \rangle$,

де q_0 – заряд носія струму; n – концентрація носіїв струму

Електрорушійна сила (ЕРС) $\mathcal{E} = \frac{A_{cmop}}{q}$,

де A_{cmop} – робота сторонніх сил по переміщенню позитивного заряду q по замкненому контуру

Закон Ома:

для однорідної ділянки кола

$$I = \frac{U}{R},$$

де $U = \varphi_1 - \varphi_2$ – різниця потенціалів на ділянці кола, R – її опір.

для неоднорідної ділянки кола

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}}{R + r}, \text{ де}$$

\mathcal{E} – ЕРС джерела; R – зовнішній опір ділянки; r – внутрішній опір джерела струму.

для повного кола (замкненого кола)

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

де R – опір зовнішньої ділянки кола; r – опір джерела струму.



Закон Ома в диференціальній формі для однорідної ділянки та ізотропної провідності

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

де γ – питома провідність, \vec{E} – напруженість електричного поля.

$$\gamma = 1/\rho, \quad \text{де } \rho \text{ – питомий опір. } j = \frac{E}{\rho}$$

Закони Кірхгофа:

перший закон $\sum I_i = 0,$	другий закон $\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_i,$
------------------------------	---

де $\sum I_i$ – алгебраїчна сума сил струмів, що сходяться у вузлі;

$\sum I_i R_i$ - алгебраїчна сума спадів напруг на всіх ділянках замкненого контура включно внутрішні опори джерел живлення; $\sum \mathcal{E}_i$ - алгебраїчна сума ЕРС джерел, що діють у контурі

Опір провідника циліндричної форми $R = \rho \frac{l}{S},$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника; l – довжина; S – площа поперечного перерізу.

Провідність: $G = \frac{1}{R};$ **Питома провідність:** $\gamma = \frac{1}{\rho}$

Опір системи провідників:

при послідовному сполученні

$$R = \sum_{i=1}^N R_i$$

при паралельному сполученні

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

N – кількість провідників; R_i – опір окремого провідника

Температурна залежність опору і питомого опору провідника

$$R = R_0(1 + \alpha t^\circ); \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t^\circ),$$

де R_0, R – опір провідника при температурах 0°C і $t^\circ\text{C}$, відповідно; ρ_0 – питомий опір при 0°C , ρ – при $t^\circ\text{C}$; α – термічний коефіцієнт опору

Робота струму $A = IUt; \quad A = I^2 R t; \quad A = \frac{U^2}{R} t$

(перша формула справедлива для будь-якої ділянки кола, а останні



та природокористування
(для ділянки, що не містить інших елементів крім провідників
опором R)

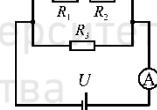
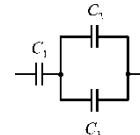
$$\text{Потужність струму } P = \frac{A}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Закон Джоуля-Ленца в інтегральній формі $Q = I^2 R t$

де I – сила струму, R – опір провідника, t – час проходження
струму

3.1. Задачі. Електростатика та постійний струм. ІІІ рівень

Задачі ІІІ-го рівня при тестовому оцінюванні не мають
відповіді для вибору варіанта. Ці задачі оцінюються найвищим
балом і їх бажано розв'язати в першу чергу. При розв'язуванні
користуйтесь виділеними формулами

1. Визначте покази амперметра, враховуючи, що $R_1=1 \Omega$, $R_2=2 \Omega$, $R_3=6 \Omega$, а напруга на клемах
джерела струму $U=2 \text{ В}$.

2. Знайти силу, що діє на заряд $q=4.5 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$, що знаходиться в
повітрі на відстані $r=2 \text{ см}$ від нескінченно довгої нитки,
зарядженої з лінійною густинорою заряду $\tau=2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}$.
3. В плоскому горизонтально розміщенному конденсаторі
заряджена краплина ртуті (густина $\rho=13.6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$)
перебуває в рівновазі при напруженості електричного поля
 $6 \cdot 10^4 \text{ В/м}$. Заряд краплини рівний $8 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}$. Знайти радіус
краплини.
4. Знайти загальну ємність батареї
конденсаторів, зображеній на рис.,
врахувавши, що $C_1=6 \text{ мкФ}$, $C_2=2 \text{ мкФ}$ та
 $C_3=1 \text{ мкФ}$.

5. Знайти енергію електричного поля, яка зосереджена між
пластинаами плоского конденсатора, під'єднаного до джерела
з напругою 12 В. Площа пластини конденсатора 20 см^2 ,
відстань між пластинами 5 мм. Діелектриком є слюда ($\epsilon=6$).



3.2. Задачі. Електростатика та постійний струм. II рівень

Задачі II-го рівня при тестовому оцінюванні мають відповіді для вибору варіанта. При розв'язуванні користуйтесь виділеними формулами.

6. Знайти електроємність плоского конденсатора, якщо площа його пластиини становить 400 см^2 , відстань між пластиинами 12 мм, а діелектриком є повітря.
7. Знайти відстань між пластиинами плоского конденсатора, якщо площа його пластиини становить 2 м^2 , електроємність 1.18 нФ , а діелектриком є повітря.
8. Визначити напруженість поля точкового заряду $8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ в точці, що знаходитьться на відстані 30 см від заряду в повітрі.
9. Визначити потенціал поля точкового заряду $8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ в точці, що знаходитьться на відстані 30 см від заряду в повітрі.
10. У скільки разів збільшиться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо величину одного з них збільшити у 3 рази, а відстань між зарядами зменшити у 2 рази?
11. На столі площею 5 мм^2 рівномірно розподілений заряд величиною 20 мКл . Знайти поверхневу густину заряду.
12. Лінійна густина заряду нитки довжиною 4 м становить $\tau = 2 \text{ нКл/м}$. Який електричний заряд міститься на цій нитці?
13. Два конденсатори ємностями $C_1=10 \text{ мКФ}$ та $C_2=30 \text{ мКФ}$ з'єднані послідовно. Знайти їх загальну ємність.
14. Джерело має ЕРС 1.5 В і внутрішній опір 0.5 Ом. Сила струму в колі 0.6 А. Знайти опір зовнішньої ділянки кола.
15. По провіднику опором 20 Ом впротивовжив 2 хв протікав струм силою 1 А. Визначити кількість теплоти, яка при цьому виділилась.



16. Визначити опір дротини довжиною 12 м та площею поперечного перерізу 4 mm^2 , виготовленої з ніхрому (питомий опір ніхрому $1.3 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$).
17. У скільки разів зміниться опір мідного дроту, якщо після протягування крізь волочильний станок його діаметр зменшився вдвічі? Довжина провідника залишається незмінною.
18. Знайти напруженість електричного поля, яке створене нескінченною пластиною з поверхневою густинною заряду $4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}/\text{м}^2$. Пластина знаходитьться в повітрі,
 $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}$.





Розділ 4

Магнетизм

Закон Біо-Савара-Лапласа

в векторному вигляді:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times \vec{r}}{r^3},$$

в скалярному вигляді:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha, \quad \alpha \equiv \hat{\left(dl, \vec{r} \right)},$$

де: dl – елемент довжини провідника зі струмом силою I ;

\vec{r} – вектор, проведений від елемента dl до точки простору;

μ_0 – магнітна стала; μ – магнітна проникність середовища

Принцип суперпозиції: $\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$,

де: \vec{B}_i – індукція магнітного поля, створеного i -тим провідником зі струмом; \vec{B} – індукція поля, створеного системою багатьох струмів

Зв'язок магнітної індукції \vec{B} з напруженістю \vec{H} магнітного поля:
$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}$$

Індукція \vec{B} і напруженість \vec{H} магнітного поля для різних випадків:

- для скінченного прямолінійного провідника зі струмом:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad H = \frac{I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

де r_0 - найкоротша відстань від точки поля до провідника,

α_1 і α_2 – кути між напрямком струму і радіусом-вектором початку і кінця провідника.

- для нескінченно довгого провідника зі струмом:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad H = \frac{I}{2\pi r_0}$$



- в **центрі колового струму**: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$ $H = \frac{I}{2R}$,

де R – радіус контуру

- для **скінченного соленоїда на його осі**:

$$B = \frac{\mu\mu_0 In}{2} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) \quad H = \frac{In}{2} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2).$$

де α_1 і α_2 – кути між напрямками на торці соленоїда та його віссю;
 n – кількість витків на одиниці довжини (1м) соленоїда:

$n = N/l$ (N – число витків, що припадає на довжину l соленоїда;
 $n \cdot I$ – число ампер-витків).

для **скінченного соленоїда в центрі**:

$$B = \mu\mu_0 In \cos\alpha_1 \quad H = In \cos\alpha_1$$

всередині нескінченного соленоїда:

$$B = \mu\mu_0 In \quad H = In$$

Сила Ампера

в векторному вигляді:

$$d\vec{F}_A = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

в скалярному вигляді:

$$dF_A = IdlB \sin\alpha$$

де I – сила струму в провіднику, dl – елемент довжини провідника,
 α - кут між напрямком струму і напрямком магнітного поля

Сила Ампера, що діє на прямолінійний провідник зі струмом в однорідному магнітному полі: $F_A = IBl \sin\alpha$

Сила взаємодії двох довгих паралельних провідників зі струмами: $F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l$,

де l – довжина провідника; I_1 та I_2 – сили струмів; d – відстань між провідниками

Сила Лоренца, що діє з боку магнітного поля на рухомий ел. заряд

в векторному вигляді:

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B},$$

в скалярному вигляді:

$$F_L = |q|vB \sin\alpha, \quad \alpha \equiv \left(\hat{\vec{v}}, \hat{\vec{B}} \right),$$



де q – заряд; \vec{v} – швидкість цього заряду; \vec{B} – магнітна індукція

Магнітний потік через деяку площину в однорідному магнітному полі: $\Phi = BS \cos \alpha$,

Де $\alpha \equiv \hat{\vec{B}, \vec{n}}$ - кут, \vec{n} – одиничний вектор нормалі до площини,

S – площа поверхні.

Робота переміщення контура зі струмом у магнітному полі:

$$A = I \cdot \Delta\Phi,$$

де I – сила струму; $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ – зміна магнітного потоку через площину, обмежену контуром; індекси “1” та “2” символізують вихідний і кінцевий стани, відповідно.

Магнітний потік, створений контуром зі струмом: $\Phi = LI$,

де I – сила струму, L – індуктивність контура.

У випадку системи з багатьох контурів (соленоїд)

$$\text{потокозчлення } \Psi = LI,$$

де L – індуктивність цієї системи.

Індуктивність контуру: $L = \frac{\Phi}{I}$

Індуктивність довгого соленоїда $L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S = \mu\mu_0 n^2 V$,

де: N – число витків, що припадають на ділянку соленоїда довжиною l ; n – кількість витків на 1м довжини; S – площа поперечного перерізу соленоїда, V - об'єм соленоїда

Основний закон електромагнітної індукції (з-н Фарадея):

$$\mathcal{E}_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt},$$

де \mathcal{E}_{ind} – ЕС індукції в контурі, що виникає при зміні магнітного потоку через поверхню, охоплену контуром. Якщо магнітний потік пронизує одночасно багато контурів (соленоїд), то в законі потрібно замість потоку Φ через один контур писати повний магнітний потік (потокозчлення) $\Psi = \sum \Phi = N\Phi$.



ЕРС самоіндукції: $\mathcal{E}_{cind} = -L \frac{dI}{dt}$,

де L – індуктивність контура; I – сила струму в контурі

Енергія магнітного поля струму: $W = \frac{LI^2}{2}$

Енергія однорідного магнітного поля всередині соленоїда:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\mu\mu_0 n^2 VI^2}{2} ,$$

де n – кількість витків на 1м довжини, V -об'єм соленоїда,
 L – індуктивність; I – сила струму в витках соленоїда

Густина енергії магнітного поля:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\mu\mu_0 n^2 I^2}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2} ,$$

де B – індукція магнітного поля, H – напруженість магнітного поля,
 μ_0 – магнітна стала; μ – магнітна проникність середовища.

4.1. Задачі. Магнетизм. ІІІ рівень

1. По двох паралельних прямих провідниках довжиною 2 м кожний, які знаходяться у вакуумі на відстані 10 см один від одного в протилежних напрямках протікають струми силою $I_1=50$ А та $I_2=100$ А. Визначити силу взаємодії струмів.

4.2. Задачі. Магнетизм. ІІ рівень

2. Знайти напруженість магнітного поля в центрі колового провідника радіусом 0.5 м, по якому протікає струм силою 2 А.
3. Знайти напруженість магнітного поля, створеного нескінченно довгим провідником, по якому протікає струм силою $I=2$ А в точці, що віддалена від нього на відстань $r=5$ см.
4. Визначити максимальну силу Ампера, що діятиме на провідник довжиною 3 м, по якому протікає струм силою 2 А. Провідник знаходитьться в магнітному полі з індукцією 0,02 Тл.



Розділ 5

Коливання і хвилі

Рівняння вільних гармонічних коливань:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \alpha) \text{ або } x = A \sin(\omega_0 t + \alpha),$$

де: x – зміщення коливної точки від положення рівноваги;

A – амплітуда; t – час; α – початкова фаза при $t = 0$;

ω_0 – циклічна частота власних незгасаючих коливань (власна циклічна частота); $(\omega_0 t + \alpha)$ - фаза коливання, яка визначає зміщення x у будь-який момент часу.

Рівняння вільних гармонічних коливань фізичного маятника:

$$\varphi = \varphi_{\max} \sin(\omega_0 t + \alpha),$$

де φ - кут відхилення від положення рівноваги.

Лінійна частота коливань: $\nu = \frac{N}{t}$;

$$\text{період коливань: } T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu},$$

де N – число коливань за час t .

Зв'язок циклічної частоти ω з періодом T

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Швидкість коливної точки:

$$v = \dot{x} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) = A\omega_0 \cos\left[\frac{\pi}{2} + (\omega_0 t + \alpha)\right]$$

Прискорення коливної точки:

$$a = \ddot{x} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \alpha) = A\omega_0^2 \cos[\pi + (\omega_0 t + \alpha)]$$

Повна енергія гармонічного коливання: $E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2},$

де m – маса к. точки.

Кінетична енергія гармонічного коливання:

$$W_k = W \cdot \sin^2(\omega_0 t + \alpha)$$



Потенціальна енергія гармонічного коливання:

$$W_n = W \cdot \cos^2(\omega_0 t + \alpha)$$

Період T і циклічна частота ω вільних гармонічних коливань маятників:

пружинного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} ;$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} ,$$

m – маса маятника,
 k – жорсткість пружини.

математичного маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} ;$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} ,$$

l – довжина нитки,
 g – прискорення вільного падіння

фізичного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgd}{I}} ;$$

$$L = \frac{I}{md} - \text{зведена довжина}$$

фізичного маятника,
 I - момент інерції маятника,
 d – відстань від осі обертання до центра мас.

Рівняння згасаючих коливань: $x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$,

де $A_0 e^{-\beta t}$ – амплітуда згасаючих коливань; β – коефіцієнт згасання,
 ω – циклічна частота згас. колив.,

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} , \quad \beta = 1/\tau , \quad \text{де } \tau \text{ - час релаксації}$$

Логарифмічний декремент згасання: $\lambda = \beta \cdot T$

Рівняння усталених вимушених коливань: $x = A \cos(\omega t + \alpha)$,

де : ω – циклічна частота зовнішньої періодично діючої сили;

$$A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}} - \text{амплітуда коливань};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} - \text{початкова фаза}$$

F_0 – амплітудне значення змушувальної сили;

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} - \text{циклічна частота власних коливань.}$$



Резонансна частота: $\omega_{pez} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$

Рівняння плоскої хвилі:

$$\zeta(x, t) = A \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right) = A \cos(\omega t - kx + \alpha),$$

де: $\zeta(x, t)$ – зміщення коливної точки в момент часу t в точці простору з координатою x ;

A – амплітуда коливань; ω – циклічна частота;

v – модуль фазової швидкості хвилі; α – початкова фаза;

$k = 2\pi/\lambda$ – **хвильове число**; $\lambda = v \cdot T = v/v$ – **довжина хвилі**;

T – період коливань, v – частота хвилі

Швидкість звуку

$$\text{в рідинах } v = \sqrt{\frac{1}{\beta \cdot \rho}}, \text{ де } \rho \quad \text{в газах } v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}},$$

– густина, β – адіабатична стисливість рідини. де γ – коефіцієнт Пуасона (показник адіабати), R – універсальна газова стала, μ – молярна маса, T – абсолютна температура.

Швидкість поширення хвиль в твердих тілах

$$\text{Повздовжніх: } v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad \text{Поперечних: } v = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де ρ – густина,
 E – модуль Юнга

де G – модуль зсуву

Швидкість поширення повздовжніх хвиль в рідинах і газах:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

де K – модуль всебічного стиску.

Рівняння стоячої хвилі:

$$\zeta(x, t) = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t = 2A \cos \omega \frac{x}{v} \cos \omega t$$



Координати пучностей: $x_P = \pm m \frac{\pi v}{\omega} = \pm m \frac{\lambda}{2}$, $m = 0, 1, 2, \dots$

Координати вузлів: $x_B = \pm \frac{(2m+1)\frac{\pi}{2}v}{\omega} = \pm (2m+1) \frac{\lambda}{4}$, $m = 0, 1, 2, \dots$

Ідеальний коливальний контур (тільки L і C)

-незгасаючі коливання

-заряд змінюється:

$$q = q_0 \cos(\omega t + \alpha)$$

-напруга змінюється:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \alpha)$$

-струм змінюється:

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_0 \omega \sin(\omega t + \alpha) = q_0 \omega \cos\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right)$$

-частота власних електромагн. коливань: $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$,

де R – активний опір котушки, L – її індуктивність,

q_0 і U_0 – значення q_{\max} та U_{\max} при $t = 0$, причому $q_0 = CU_0$,

-період коливань в ідеальному колив. контурі (формула Томсона):

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Реальний коливальний контур (L, C, R) – згасаючі коливання

-заряд змінюється: $q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$

-напруга змінюється: $U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$,

де $q(t) = q_0 e^{-\beta t}$ - амплітуда згасаючих коливань;

$\beta = R/(2L)$ -кофіцієнт згасання

R – активний опір котушки, L – її індуктивність,

q_0 і U_0 – значення q_{\max} та U_{\max} при $t = 0$, причому $q_0 = CU_0$,

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ -циклічна частота власних електромагн. коливань в

ідеальному коливальному контурі,



$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$
 - циклічна частота згасаючих коливань,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$
 - період електромагн.

згасаючих колив.

Вимушенні електромагнітні коливання ($L, C, R, \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$)

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$
 циклічна частота вимушених електромагн.

коливань;

резонанс напруг наступає, якщо циклічна частота зовнішньої періодичної напруги наближається до резонансної частоти контура

$$\omega_{res}^{(U)} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2},$$

а резонанс струмів при $\omega_{res}^{(I)} = \omega_0$

Рівняння плоскої біжучої електромагнітної хвилі:

$$\begin{cases} \vec{E} = \vec{E}_{max} \cos(\omega t - kx + \alpha), \\ \vec{H} = \vec{H}_{max} \cos(\omega t - kx + \alpha), \end{cases}$$

де \vec{E} та \vec{H} – миттєві значення напруженостей електричного і магнітного полів хвилі, \vec{E}_{max} та \vec{H}_{max} – амплітуди відповідних величин.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
 - хвильове число.

Зв'язок модулів напруженостей E і H :

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H ,$$

де ϵ_0 та μ_0 – електрична і магнітна сталі;

ϵ та μ – діелектрична і магнітна проникності середовища.



Швидкість (фазова) поширення електромагнітних хвиль у

середовищі:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} ,$$

де $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ - швидкість електромагнітної хвилі у вакуумі.

Об'ємна густина енергії електромагнітної хвилі:

$$w = \frac{EH}{v}$$

Інтенсивність електромагнітної хвилі: $I = \frac{1}{2} E_{\max} \cdot H_{\max} ,$

$H_{\max} \sim E_{\max}$, тому $I \sim E_{\max}^2$,

де E_{\max} та H_{\max} -амплітудні значення напруженостей електричного та магнітного полів.

5.1. Задачі. Коливання і хвилі. III рівень

1. Амплітуда згасаючих коливань за час $t_1 = 20 \text{ с}$ зменшилася у два рази. У скільки разів вона зменшиться за час $t_2 = 1 \text{ хв}$?
2. Рівняння руху точки масою 10 г має вигляд
$$x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2} t\right) \text{ м.}$$
 Визначити максимальну силу, що діє на точку.
3. Рівняння зміни з часом різниці потенціалів на обкладках конденсатора в коливальному контурі має вигляд $U=50\cos(10^4\pi t)$ (В). Ємність конденсатора становить $C=10^{-7} \text{ Ф}$. Знайти індуктивність катушки.

5.2. Задачі. Коливання і хвилі. II рівень

4. Рівняння руху має вигляд $x = 0,06 \cos 100\pi t$. Який період коливань?
5. Рівняння руху має вигляд $x = 0,06 \cos 100\pi t$. Яка лінійна частота коливань?



6. На якій відстані від спостерігача виникла блискавка, якщо він почув перший удар грому через 6с? Швидкість звуку в повітрі вважати рівною 340 м/с.
7. У скільки разів збільшиться період коливань математичного маятника, якщо довжину нитки збільшити у чотири рази?
8. Яка довжина хвилі, якщо її частота 64Гц, а швидкість її поширення дорівнює 16м/с?
9. Довжина хвилі рівна 2 м. Яка її відповідає частота коливань, якщо швидкість поширення 32 м/с?
10. Розрахувати період коливань ідеального контура, що складається з конденсатора ємністю $C=4$ мкФ та катушки індуктивністю $L=1$ Гн.
11. Яку індуктивність L треба ввімкнути в коливальний контур, щоб при ємності $C=2$ мкФ одержати період $T = 10^{-3}$ с?





Розділ 6

Оптика-геометрична, хвильова, квантова

Закон заломлення:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21},$$

де i – кут падіння, r – кут заломлення,

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} – відносний показник заломлення,$$

n_2 і n_1 – абсолютні показники заломлення для лінзи та середовища

Закон заломлення при явищі повного внутрішнього відбивання:

$$\sin i_{\text{гран}} = \frac{n_2}{n_1},$$

де $i_{\text{гран}}$ - граничний кут падіння, при якому $r = 90^\circ$ - кут заломлення.

Швидкість світла в середовищі:

$$v = \frac{c}{n},$$

де c – швидкість світла у вакуумі;

n – абсолютний показник заломлення середовища.

Абсолютний показник заломлення середовища:

$$n = \frac{c}{v}$$

Відносний показник заломлення:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

де n_2 і n_1 – абсолютні показники заломлення середовищ,

v_1 і v_2 - швидкості поширення світла в першому і другому середовищах.

Оптична сила лінзи:

$$D = \frac{1}{F},$$

де $F = \frac{1}{(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$ - фокусна відстань лінзи.



Формула тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$,

де відносний показник заломлення $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$,

n_2 і n_1 – абсолютні показники заломлення для лінзи та середовища;
 R_1, R_2 – радіуси кривизни лінзи; S_1, S_2 – віддалі від лінзи до предмета та від лінзи до його зображення.

Формула передбачає використання правила знаків.

Оптичний шлях світлою хвилі: $L = n \cdot l$,

де l – геометричний шлях світлою хвилі в середовищі з абсолютним показником заломлення n

Оптична різниця ходу двох світлових хвиль (променів):

$$\Delta = L_2 - L_1$$

Інтерференція когерентних хвиль

Умова **максимумів** при інтерференції світла:

$$\Delta = \pm k\lambda_0 \quad (k = 0,1,2,\dots)$$

де λ_0 - довжина світлою хвилі у вакуумі

Умова **мінімумів** при інтерференції світла:

$$\Delta = \pm (2k+1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (k = 0,1,2,\dots)$$

Інтерференція на тонких плівках: $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda_0}{2}$,

де d – товщина плівки,

i – кут падіння

n – абсолютний показник заломлення плівки.,

Інтерференція на клині (кільця Ньютона):

Радіуси світлих кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda_0}{2}} \quad (k = 1,2,3,\dots)$$

де k – номер кільця;

R – радіус кривизни лінзи.

Радіуси темних кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda_0} \quad (k = 0,1,2,3,\dots)$$

де k – номер кільця;

R – радіус кривизни лінзи,

λ_0 -довж. світлою хвилі у вакуумі



Просвітлення оптики

Товщина плівки для просвітленої оптики:

$$d = \frac{(2k+1)\lambda}{4n} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

n – показник заломлення мат. плівки

Мінімальна товщина плівки для просвітленої оптики:

$$d_{min} = \frac{\lambda}{4n}, \quad k=0$$

Дифракція на щілині шириною a

Умова максимумів для дифракції на щілині шириною a :

$$a \sin \varphi = \pm(2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, \dots) \text{ де } \varphi - \text{кут дифракції}$$

Умова мінімумів для дифракції на щілині шириною a :

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, \dots)$$

Умова головних максимумів для дифракції на дифракційній решітці з періодом d : $d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$, де φ - кут дифракції, $d = a + b$ - постійна (період) дифракц. гратки, $k = 0, 1, 2, \dots$ - порядок дифракційних максимумів

Кількість штрихів диф. решітки на 1м: $N=1/d$, де d – порядок решітки

Роздільна здатність дифракційної решітки:

$$R = \frac{\lambda_{sep}}{\Delta\lambda} = \frac{2}{\lambda_2 - \lambda_1} = k \cdot N, \quad \text{де } \Delta\lambda - \text{різниця довжин хвиль } \lambda_2 \text{ і } \lambda_1,$$

що розділяються, k - порядок спектру, N - число щілин дифракційної гратки

Формула Вульфа-Брэггів: $2d \sin \theta = k\lambda$,

де θ – кут між напрямком рентгенівського випромінювання, що падає на кристал, і атомною площинами в кристалі;

d – відстань між атомними площинами у кристалі; $k = 1, 2, 3, \dots$

Закон Брюстера: $\operatorname{tg} i_B = n_{21}$,

де i_B – кут падіння, при якому відбитий від діелектрика промінь повністю поляризований; n_{21} – відносний показник заломлення

Закон Малюса: $I = I_0 \cos^2 \alpha$,



де I_0 – інтенсивність плоскополяризованого світла, що падає на аналізатор; I - інтенсивність світла після аналізатора; α – кут між площинами пропускань поляризатора і аналізатора

Закон Стефана-Больцмана: $R = \sigma T^4$,

де R енергетична світність (інтегральна випромінювальна здатність) абсолютно чорного тіла;

σ – постійна Стефана-Больцмана;

T – абсолютна температура

Закон зміщення Віна: $\lambda_m = \frac{b}{T}$,

де λ_m – довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії випромінювання; b – постійна Віна

Енергія фотона: $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$,

де h – постійна Планка; ν – частота фотона

Імпульс фотона: $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0}$,

де λ_0 – довжина хвилі фотона, c – швидкість світла у вакуумі

Рівняння Ейнштейна для фотоefекту: $h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2}$,

де $h\nu$ -енергія фо-tona,

A – робота виходу електрона з металу;

$\frac{mv_{max}^2}{2}$ – максимальна кінетична енергія fotoелектрона

Червона межа fotoefекту:

$v_0 = \frac{A}{h}$ – мінімальна частота

світла, при якій fotoefekt ще можливий,

A – робота виходу електрона з металу,

h – постійна Планка

$\lambda_0 = \frac{ch}{A}$ - максимальна довжина

світлової хвилі, при якій fotoefekt ще можливий,

A – робота виходу електрона з металу,

h – постійна Планка



Робота затримуючого електричного поля (при фотоефекті):

$$eU_3 = \frac{mv_{max}^2}{2},$$

де U_3 -затримуюча зворотня напруга, e -заряд електрона

Формула Комптона: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$,

де λ_0 – довжина хвилі падаючого рентгенівського кванта на слабо зв'язаний електрон;

λ – довжина хвилі, розсіяного на кут θ ,кванта;

λ_c – комптонівська довжина хвилі для електрона ($\lambda_c = 2,43 \text{ нм}$)

Тиск світла при нормальному падінні на поверхню: $P = \frac{I}{c}(1 + \rho)$,

де I – інтенсивність світла; ρ – коефіцієнт відбивання світла;

c - швидкість світла у вакуумі

6.1. Задачі. Оптика – геометрична, хвильова, квантова. III рівень

- На дифракційну гратку в напрямку нормалі до її поверхні падає монохроматичне світло. Період гратки дорівнює 2 мкм. Який найбільший порядок дифракційного максимуму дає ця гратка у випадку червоного $\lambda_c=0,7$ мкм світла?
- Показник заломлення скла рівний 1,5. Знайти граничний кут повного внутрішнього відбивання для поверхні розділу скло-повітря.
- Скільки штрихів на одиницю довжини має дифракційна гратка, якщо зелена лінія ртуті ($\lambda=546$ нм) у спектрі першого порядку спостерігається під кутом 20° ?
- Промінь світла виходить зі скляного дзеркала в повітря. Граничний кут повного внутрішнього відбивання для цього променя рівний 42° . Яка швидкість світла в скляному дзеркалі?



5. Знайти частоту світла, що вириває з поверхні металу електрони, які повністю затримуються зворотним потенціалом в 2 В. Фотоефект у цього металу починається при частоті падаючого світла $\nu_0=6\cdot10^{14}$ Гц.
6. Довжина хвилі, на яку припадає максимум випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, дорівнює 290 нм. Визначіть його інтегральну випромінювальну здатність ($\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}$ $\text{Bt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, $b=2,9 \cdot 10^{-3}$ $\text{m} \cdot \text{K}$).
7. Розрахувати масу фотона з довжиною хвилі $\lambda=0,016 \cdot 10^{-10}$ м. Стала Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ $\text{Дж} \cdot \text{с}$.

6.2. Задачі. Оптика – геометрична, хвильова, квантова. II рівень

8. Яка швидкість світла у воді. Показник заломлення води 1,33.
9. Яка швидкість світла у склі. Показник заломлення скла 1,5.
10. Фокусна відстань лінзи 5 см. Яка її оптична сила?
11. Довжина хвилі, при якій спостерігається максимум випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, рівна 2,9 мкм. Яка температура тіла? Стала Віна $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ $\text{m} \cdot \text{K}$.
12. Знайти імпульс фотона з довжиною хвилі 0,6 мкм. Стала Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ $\text{Дж} \cdot \text{с}$.
13. Потужність випромінювання одиниці площині абсолютно чорного тіла, рівна $5,67 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Яка температура тіла? Стала Стефана-Больцмана рівна $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ $\text{Bt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.
14. Знайти частоту світла, яке вибиває електрони з металу без надання їому кінетичної енергії. Робота виходу електрона з металу $A=6.63 \cdot 10^{-19}$ Дж.
15. Довжина хвилі, що відповідає червоній межі фотоефекту для деякої речовини становить $6.22 \cdot 10^{-7}$ м. Знайти роботу



Національний університет
водного господарства

та природокористування

виходу електрона з металу. Стала Планка

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

16. Яку енергію має фотон з довжиною хвилі $\lambda=3 \cdot 10^{-12}$ м? Стала Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
17. Яку енергію має фотон з частотою коливань $v=10^{20}$ Гц? Стала Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.
18. Розрахувати імпульс фотона з довжиною хвилі $\lambda=0,016 \cdot 10^{-10}$ м.



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Розділ 7

Ядерна фізика, елементи атомної фізики

Будова ядра, енергія зв'язку:

Ядро ${}^Z_A X$,

де Z – зарядове число (співпадає з порядковим номером в періодичній таблиці Д.І. Менделєєва),

A – масове число, складається з Z протонів і

$$N = A - Z \text{ нейтронів}$$

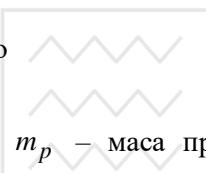
Енергія зв'язку ядра

$$\Delta E = \Delta m c^2,$$

Δm — дефект маси ядра,

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{ядра}}$$

або



$$\Delta m = Zm_{^1\text{H}} + (A - Z)m_n - m_{\text{атома}},$$

де m_p – маса протона, m_n – маса нейтрона, $m_{\text{ядра}}$ – маса ядра, $m_{\text{атома}}$ – маса атома, $m_{^1\text{H}}$ – маса атома водню ${}^1\text{H}$. Тут маси потрібно

брать в кг, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, а енергія зв'язку виражатиметься в Дж.

Для розрахунку енергії зв'язку зручно користуватись формулою

$$\Delta E = 931,5 \Delta m, \text{ MeB},$$

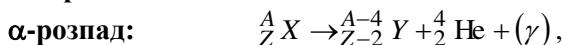
при цьому усі маси, необхідні для розрахунку Δm , потрібно брати в а.о.м., з точністю до п'ятого знаку після коми

Питома енергія зв'язку ядра

$$\Delta E_0 = \frac{\Delta E}{A}, \text{ MeB/нуклон}$$

Радіоактивність:

Схеми розпадів



(${}^0_{-1} e$ – електрон, ${}^0_0 \tilde{\nu}$ – антінейтрино),



β^+ -роздяд:



(${}_{+1}^0 e$ – позитрон, ${}_{+1}^0 \nu$ – нейтрино).

Закон радіоактивного розпаду $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

де N_0 – кількість радіоактивних ядер при $t = 0$,

N – кількість радіоактивних ядер в момент часу t ,

$$\lambda = \frac{|dN|}{Nd t}$$

Період напіврозпаду $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$,

де τ – середній час життя ядра.

Стала радіоактивного розпаду $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$

Кількість ядер, які розпадуться за час t ,

$$|\Delta N| = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

Активність радіоактивного препарату

$$J = \frac{|dN|}{dt} = \lambda N = J_0 e^{-\lambda t},$$

де J_0 – активність при $t = 0$

Одиниці активності

1 Бк (беккерель) = 1 розп/с;

1 Рд (резерфорд) = 10^6 Бк;

1 Кі (Кюрі) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Закон поглинання γ – променів $I = I_0 e^{-\mu x}$,

де I_0 – інтенсивність падаючого випромінювання,

I – інтенсивність випромінювання, що пройшло через речовину товщиною x ,

μ – коефіцієнт поглинання

Квантові числа електронів у складних атомах: n, ℓ, m_ℓ, m_s ,

де $n = 1, 2, 3, \dots$ – головне квантове число;

$\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$ – орбітальне (азимутальне) квантове число;



$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ – магнітне квантове число;

$m_s = \pm s = \pm \frac{1}{2}$ – магнітне спінове квантове число.,

де $s = \frac{1}{2}$ – спінове квантове число;

кількість електронів: у шарі – $2n^2$, в оболонці – $2(2\ell+1)$

Розподіл електронів по шарах і оболонках:

Головне квантове число n	1	2	3	4
Символи шарів	K	L	M	N
Максимальне число електронів у шарі $2n^2$	2	8	18	32
Орбітальні квантові числа ℓ	0	0 1	0 1 2	0 1 2 3
Символи оболонок	$1s$	$2s$ $2p$	$3s$ $3p$ $3d$	$4s$ $4p$ $4d$ $4f$
Максимальне число електронів у оболонці $2(2\ell+1)$	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14

Електронна конфігурація атомів $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} \dots$

7.1. Задачі. Ядерна фізика, елементи атомної фізики III рівень

- Знайти товщину шару води, пройшовши крізь який, інтенсивність γ -випромінювання зменшиться вдвічі. Коефіцієнт поглинання води прийняти рівним $0,047 \text{ см}^{-1}$.
- Яка частина початкової кількості атомів радіоактивного актинію ^{225}Ac ($T=10$ діб) залишиться через 5 діб.



7.2. Задачі. Ядерна фізика, елементи атомної фізики II рівень

3. Визначіть кількість електронів в атомі з електронною конфігурацією $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$
4. Період напіврозпаду радіоактивного ${}_{38}\text{Sr}^{94}$ становить 76.5 с.
Знайти постійну розпаду.





8. Довідкові дані

Фундаментальні фізичні сталі

Гравітаційна стала	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} H \cdot m^2 / kg^2$
Прискорення вільного падіння	$g = 9,81 m/s^2$
Стала Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} моль^{-1}$
Стала Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} Дж/К$
Стала Лошмідта	$n_0 = 2,69 \cdot 10^{25} m^{-3}$
Універсальна газова стала	$R = 8,314 Дж/(моль \cdot K)$
Стала Віна	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} m \cdot K$
Стала Дірака	$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} Дж \cdot с$
Стала Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} Дж \cdot с$
Стала Рідберга	$R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$
Стала Стефана – Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} Вт/(m^2 \cdot K^4)$
Молярний об'єм ідеального газу при н.у.	$V_0 = 22,413 \cdot 10^{-3} m^3 / моль$
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} Ф/м$
Елементарний заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} Кл$
Магнітна стала	$\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7} Гн/м$
Маса та енергія спокою електрона	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} кг$ (0,00055 а.о.м.); $E_0 = 0,51 MeV$
Маса та енергія спокою протона	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} кг$ (1,00728 а.о.м.); $E_0 = 938 MeV$
Маса та енергія спокою нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} кг$ (1,00867 а.о.м.); $E_0 = 939 MeV$



Маса та енергія спокою α -частинки	$m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$ (4,00149 а.о.м.); $E_0 = 3733 \text{ MeV}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Енергія іонізації атома водню	$E_i = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} (13,6 \text{ eV})$
Радіус першої борівської орбіти	$a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	$\lambda_K = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Маса Землі	$M_3 = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Маса Місяця	$M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Радіус Землі	$R_3 = 6,38 \cdot 10^6 \text{ м}$
Радіус Місяця	$R_M = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$
Електрон-вольт	$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Кіловат-година	$1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 3,60 \cdot 10^6 \text{ Дж}$
Атомна одиниця маси	1 а.о.м. = $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Густина деяких речовин

Речовина	$\rho \cdot 10^3 \text{ (кг/м}^3)$	Речовина	$\rho \cdot 10^3 \text{ (кг/м}^3)$
мідь	8,6	вода	1,00
залізо	7,9	гліцерин	1,26
свинець	11,3	касторове масло	0,89
ртуть	13,6	повітря	0,00129

Молярні маси деяких речовин

Речовина	Молекула	$\mu \cdot 10^{-3},$ кг/мол	Речовина	Молекула	$\mu \cdot 10^{-3},$ кг/мол
Азот	N_2	28	Гелій	He	4
Аргон	Ar	40	Кисень	O_2	32
Неон	Ne	20	Повітря	-	29
Вода	H_2O	18	Ртуть	Hg	201



Водень	H_2	2		NaCl	58
Вуглекислий газ	CO_2	44			

Нормальні умови:

$$T_0 = 273\text{K} ; \quad p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{Pa} = 760\text{мм рт.ст.} = 1\text{атм} .$$

Питомі теплоємності деяких речовин

Сталь: $c = 460 \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ Свинець: $c = 126 \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Питома теплота плавлення свинцю

$$\lambda = 2,26 \cdot 10^4 \text{Дж}/\text{кг} .$$

Деякі параметри води:

питома теплота пароутворення при 100°C – $r = 2,26 \text{МДж}/\text{кг}$;

питома теплоємність – $c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

питома теплота плавлення при 0°C – $\lambda = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

Критичні параметри

Елемент	$T_{kp}, \text{К}$	$p_{kp}, \text{МПа}$	Елемент	$T_{kp}, \text{К}$	$p_{kp}, \text{МПа}$
азот	126	3,4	кисень	154	5,07

Ефективні діаметри молекул

Елемент	$\sigma, \text{нм}$	Елемент	$\sigma, \text{нм}$
азот	0,30	гелій	0,20

Одиниці довжини, площи, об'єму, маси, густини, сили і швидкості, використані в задачах (перевод в СІ)



$$1\text{см} = 10^{-2}\text{м};$$

$$1\text{км} = 10^3\text{м};$$

$$1\text{см}^2 = 10^{-4}\text{м}^2;$$

$$1\text{см}^3 = 10^{-6}\text{м}^3;$$

$$1\text{л} = 1\text{дм}^3 = 1 \cdot 10^{-3}\text{м}^3;$$

$$1\text{г} = 10^{-3}\text{кг};$$

$$1\text{м} = 10^3\text{км};$$

$$1\text{г/см}^3 = 10^3\text{кг/м}^3;$$

$$1\text{км/год} = 0,28\text{м/с}$$

$$1\text{кгс} = 9,8\text{Н};$$

$$1\text{кал} = 4,19\text{Дж}$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Діелектрична проникність деяких речовин

Речовина	ϵ	Речовина	ϵ
Віск	7,7	олива	2,5
Вода	81	парафін	2,2
Гас	2	скло	7
масло трансформаторне	2,2	слюда	6

Питомі опори деяких металів

Метал	$\rho(\text{Ом} \cdot \text{м})$	Метал	$\rho(\text{Ом} \cdot \text{м})$
ніхром	$1,0 \cdot 10^{-6}$	нікелін	$4,2 \cdot 10^{-7}$
мідь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$
залізо	$8,7 \cdot 10^{-8}$		

Робота виходу електронів

Речовина	еВ	Дж	Речовина	еВ	Дж



Платина	5,3	$8,5 \cdot 10^{-19}$	Калій	2,0	$3,2 \cdot 10^{-19}$
---------	-----	----------------------	-------	-----	----------------------

Показник заломлення

Вода	1,33	Скло	1,5–1,9
Гліцерин	1,47	Скипидар	1,48

Періоди напіврозпаду деяких радіоактивних ізотопів

Ізотоп	Елемент	Період напіврозпаду
Кальцій	$^{45}_{20}\text{Ca}$	164 доби
Стронцій	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28 років
Полоній	$^{210}_{84}\text{Po}$	138 діб
Радон	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 доби
Радій	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1590 років
Уран	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ років
Уран	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ років

Порядкові номери (z) і відносні атомні маси (A) деяких хімічних елементів

Елемент	Символ	z	A
Водень	H	1	1
Гелій	He	2	4
Вуглець	C	6	12
Азот	N	7	14
Кисень	O	8	16
Фтор	F	9	19
Натрій	Na	11	23
Магній	Mg	12	24



Алюміній	Al	13	27
Кремній	Si	14	28
Сірка	S	16	32
Хлор	Cl	17	35
Мідь	Cu	29	64
Цезій	Cs	55	133

Атомні маси деяких ізотопів

Ізотоп	Символ	Маса, а.о.м.
Водень	протій ^1_1H	1,00783
	дейтерій ^2_1H	2,01410
	тритій ^3_1H	3,01605
Гелій	^3_2He	3,01603
	^4_2He	4,00260
Літій	^6_3Li	6,01512
	^7_3Li	7,01600
Берилій	^7_4Be	7,01693
	^8_4Be	8,00531
	^9_4Be	9,01218
Бор	$^{10}_5\text{B}$	10,01294
Вуглець	$^{12}_6\text{C}$	12,0000
Азот	$^{13}_7\text{N}$	13,00574
	$^{14}_7\text{N}$	14,00307
Кисень	$^{17}_8\text{O}$	16,99913
Магній	$^{23}_{12}\text{Mg}$	22,99413



	$^{24}_{12}\text{Mg}$	23,98504
Алюміній	$^{27}_{13}\text{Al}$	26,98754
Кремній	$^{30}_{14}\text{Si}$	29,97377
Кальцій	$^{40}_{20}\text{Ca}$	39,96257
Кобалт	$^{56}_{27}\text{Co}$	55,93984
Мідь	$^{63}_{29}\text{Cu}$	62,92960
Кадмій	$^{112}_{48}\text{Cd}$	111,90276
Ртуть	$^{200}_{80}\text{Hg}$	199,96832
Уран	$^{235}_{92}\text{U}$	235,04393
	$^{238}_{92}\text{U}$	238,05353

Префікси для утворення кратних одиниць

Префікс	Позначення	Числове значення	Префікс	Позначення	Числове значення		
тера	T	T	10^{12}	піко	n	p	10^{-12}
гіга	G	G	10^9	нано	n	n	10^{-9}
мега	M	M	10^6	мікро	$m\kappa$	μ	10^{-6}
кіло	k	k	10^3	мілі	m	m	10^{-3}



9. Література

1. Загальна фізика. Частина I : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / М. О. Ковалець, В. Ф. Орленко, М. В. Бялик [та ін.]. Рівне : НУВГП, 2009. 396 с.
2. Загальна фізика. Частина II : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / Д. І. Олексин, В. Ф. Орленко, Д. І. Вадець [та ін.]. Рівне : НУВГП, 2009. 457 с.
3. Вадець Д. І. Фізика : навч. посіб. / Д. І. Вадець, В. А. Дубчак, М. В. Мороз. Рівне : НУВГП, 2012. 277 с.
4. 05-06-35. Методичні вказівки до практичних і самостійних робіт із навчальної дисципліни «Фізика» розділ «Механіка» / М. О. Ковалець, В. І. Гаращенко, Л. В. Соляк, О. В. Гаращенко. Рівне : НУВГП, 2014. 50 с.
5. 05-06-36. Методичні вказівки до практичних і самостійних робіт із навчальної дисципліни «Фізика» розділ «Молекулярна фізика та термодинаміка» / В. Ф. Орленко, В. І. Гаращенко, Л. В. Соляк, О. Д. Кочергіна, О. В. Гаращенко. Рівне : НУВГП, 2014. 43 с.
6. 05-06-45. Методичні вказівки до практичних і самостійних робіт із навчальної дисципліни «Фізика» розділ «Електрика та магнетизм» / Є. С. Никонюк, Б. П. Рудик, Л. В. Соляк. Рівне : НУВГП, 2015. 50с.
7. 05-06-39. Методичні вказівки до лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика» розділ «Оптика» / Є. С. Никонюк, Б. П. Рудик, Л. В. Соляк, В. Ф. Орленко, О. Д. Кочергіна Рівне : НУВГП, 2015. 39 с.
8. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М. : “Наука”, 1985-1989.