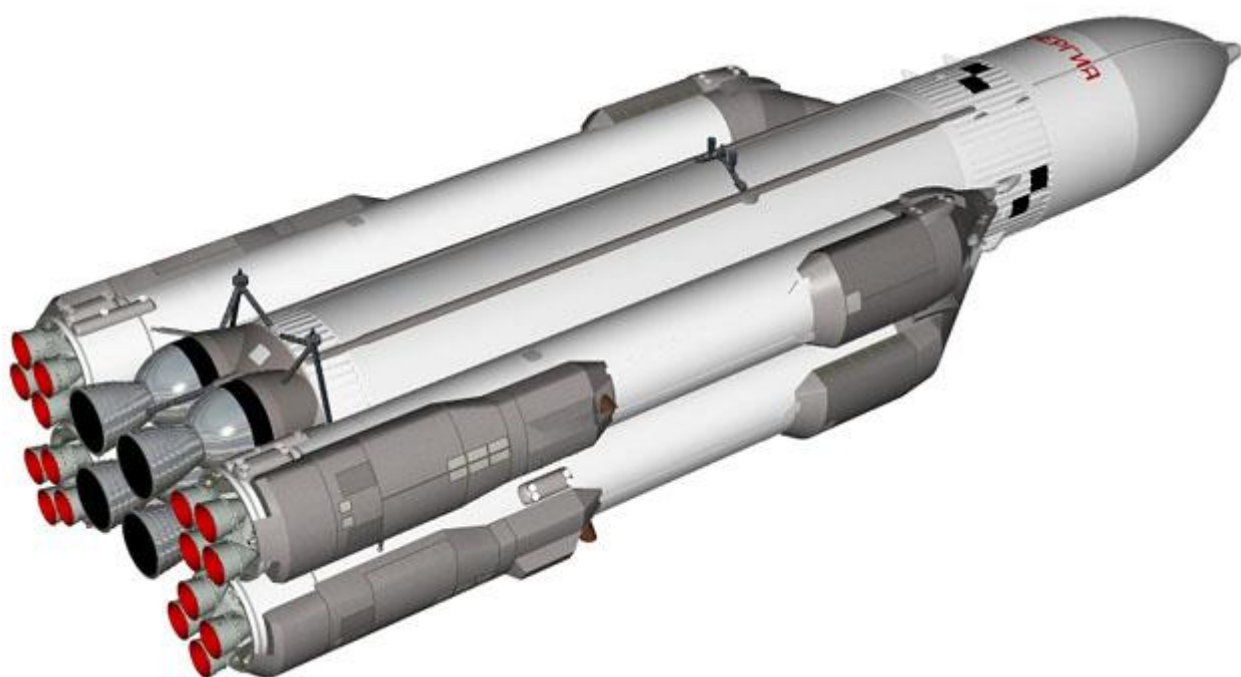


М.Я. Рохманов, С.С. Авогін, Є.А. Пивовар

ФІЗИКА



ХАРКІВ – 2012

Міністерство аграрної політики і продовольства України
Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

М.Я. Рохманов, С.С. Авогін, Є.А. Пивовар

ФІЗИКА

**МЕХАНІКА, МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА,
КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ, ГЕОМЕТРИЧНА,
ХВИЛЬОВА І КВАНТОВА ОПТИКА,
АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА**

Рекомендовано Міністерством аграрної політики та продовольства
України як навчальний посібник під час підготовки фахівців
ОКР «бакалавр» напрямів галузі 0801 «Геодезія та землеустрій»
у ВНЗ II-IV рівнів акредитації

Харків – 2012

УДК 53(075.8)
ББК ВЗЯ 7
Р 11

Рецензенти: д-р фіз.- мат. наук, професор А. А. Мамалуй
д-р фіз.- мат. наук, професор А. Г. Андерс
д-р пед. наук, професор В. М. Олексенко

Відповідальний за випуск канд. фіз.- мат. наук, доцент С.С. Авотін

Рохманов М.Я. та ін.

Р11 Фізика [Текст]: навчальний посібник/М. Я. Рохманов,
С. С. Авотін, Е. А. Пивовар / Харк. нац. аграр. ун-т.–Харків, 2012.
– 287 с.

Навчальний посібник містить відомості за розділами фізики: механіка, молекулярна фізика і термодинаміка, коливання та хвилі, оптика, атомна і ядерна фізика. Для закріплення знань та умінь іноземних студентів, які вивчають фізику українською мовою, у посібник включені українсько – англійський та українсько – французький словники, контрольні, запитання, задачі та вправи.

Призначено для іноземних громадян, які вивчають фізику українською мовою. Складено згідно з навчальною програмою з фізики для довузівської підготовки іноземних громадян для вступу у вищі навчальні заклади України. Може використовуватися студентами молодших курсів ВНЗ III и IV рівнів акредитації.

**УДК 53(075.8)
ББК ВЗЯ7**

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інженерів землевпорядкування Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (протокол № 3 від 23 листопада 2011 р.)

- © Рохманов М.Я., Авотін С.С., Пивовар Є.А., 2012
- © Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, 2012

Навчальне видання

**Рохманов Микола Якович
Авотін Станіслав Сергійович
Пивовар Євген Анатолійович**

ФІЗИКА

**МЕХАНІКА, МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА,
КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ, ГЕОМЕТРИЧНА,
ХВИЛЬОВА І КВАНТОВА ОПТИКА,
АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА**

Навчальний посібник

Редактори:
Л.І. Сібенкова, С.А. Мотовілова
Коректор М.А. Захарченко
Комп'ютерна верстка
С. С. Авотін

Підп. до друку . 05.2012. Формат 60×84/16. Гарнітура Таймс.
Друк офсет. Обсяг: 14,8 ум.- друк. арк.; 17,5 обл.- вид. арк.
Тираж 300. Замовлення №

Виробник – редакційно-видавничий відділ Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва, 62483, Харківська обл., Харківський р-н, п/в «Комуніст - 1», навчальне містечко ХНАУ, тел. 99-72-70, E-mail: admin @ agrouniver. Kharkov. com

Виготовлювач – дільниця оперативного друку ХНАУ, тел 99-77-80

Зміст

<i>Передмова</i>	6
<i>Вступний курс</i>	7
Механіка	24
1. Кінематика	25
1.1. Види руху	27
1.2. Швидкість	28
1.3. Прямолінійний рівномірний рух	29
1.4. Прямолінійний рівнозмінний рух. Прискорення	32
1.5. Вільне падіння	35
1.6. Рівномірний рух тіла по колу	37
2. Динаміка	41
2.1. Перший закон Ньютона	41
2.2. Другий закон Ньютона	42
2.3. Третій закон Ньютона	46
2.4. Імпульс. Закон збереження імпульсу	47
2.5. Закон всесвітнього тяжіння	51
3. Сили в механіці	52
3.1. Види взаємодії у природі	52
3.2. Сила тяжіння і вага тіла	53
3.3. Вага тіла при русі з прискоренням	53
3.4. Тертя. Сила тертя	55
3.5. Деформація. Закон Гука	57
4. Елементи статyki	59
4.1. Умови рівноваги твердого тіла	60
4.2. Гідроаеростатика	62
5. Механічна робота, потужність, енергія	68
5.1. Механічна робота. Потужність	69
5.2. Енергія. Закон збереження енергії	70
6. Молекулярна фізика і термодинаміка	74
6.1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії	75
6.2. Ідеальний газ. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу	77
6.3. Рівняння Менделєєва-Клапейрона	81
6.4. Ізопроцеси у газах	81
7. Термодинаміка	86
7.1. Основні поняття термодинаміки	86
7.2. Перший закон термодинаміки	88
7.3. Властивості рідини	90
7.4. Зміна агрегатного стану речовини	93
7.5. Вологість повітря	97
7.6. Тепловий двигун	98
8. Електростатика	101
8.1. Електричний заряд. Закон Кулона	102

8.2. Електростатичне поле. Напруженість. Принцип суперпозиції полів	108
8.3. Провідники і діелектрики в електричному полі	111
8.4. Робота сил електричного поля. Потенціал. Різниця потенціалів	114
8.5. Електроємність. Конденсатори	118
9. Електродинаміка	123
9.1. Постійний електричний струм. Джерела струму	124
9.2. Сила струму. Закон Ома для ділянки кола	127
9.3. Сполука провідників і джерел струму	132
9.4. Робота і потужність постійного струму	138
9.5. Електричний струм в електролітах і газах	140
10. Магнітне поле	146
10.1. Постійні магніти	147
10.2. Взаємодія провідників зі струмом	148
10.3. Магнітне поле	149
10.4. Сила Ампера. Вектор магнітної індукції	151
10.5. Рамка зі струмом у магнітному полі	153
10.6. Магнітний потік. Магнітне поле в речовині. Сила Лоренца	154
11. Електромагнітна індукція	160
11.1. Явище електромагнітної індукції	161
11.2. Явище самоіндукції. Індуктивність	164
11.3. Енергія магнітного поля	165
12. Механічні коливання і хвилі	168
12.1. Коливальний рух	169
12.2. Гармонійні коливання	170
12.3. Пружинний, математичний і фізичний маятники	172
12.4. Механічний резонанс	173
12.5. Механічні хвилі в пружному середовищі	175
13. Змінний електричний струм	183
13.1. Одержання змінного електричного струму	184
13.2. Опір у колі змінного струму	186
13.3. Передача і використання електроенергії	189
13.4. Електровакуумні прилади	193
14. Електромагнітні коливання і хвилі	197
14.1. Коливальний контур	198
14.2. Рівняння коливань у контурі	199
14.3. Одержання незатухаючих електромагнітних коливань	201

14.4. Електромагнітні хвилі	202
14.5. Випромінювання і прийом електромагнітних хвиль	203
14.6. Телебачення й радіолокація	204
15. Геометрична оптика	206
15.1. Розвиток поглядів на природу світла	207
15.2. Відбиття світла	210
15.3. Заломлення світла	214
15.4. Оптичні прилади	218
16. Хвильова оптика	224
16.1. Дисперсія світла	225
16.2. Спектральний аналіз	227
16.3. Рентгенівське випромінювання	228
16.4. Інтерференція світла	229
16.5. Дифракція світла	231
16.6. Поляризація світла	233
17. Квантова оптика	236
17.1. Теплове випромінювання	237
17.2. Фотоелектричний ефект	239
17.3. Двоїста природа світла (дуалізм світла)	241
18. Атомна і ядерна фізика	243
18.1. Складна будова атома	244
18.2. Досліди Резерфорда по розсіюванні α – часток	245
18.3. Теорія водородоподібного атома за Бором	246
18.4. Явище радіоактивності	247
18.5. Реєстрація радіоактивних випромінювань	249
18.6. Сполука і будова атомного ядра	250
18.7. Ядерні сили. Дефект мас	252
18.8. Ядерні реакції	252
18.9. Біологічна дія і захист від випромінювань	255
Додаток	257
Українсько-англійський фізичний словник	262
Українсько-французький фізичний словник	274
Література	286

ПЕРЕДМОВА

Фізика – фундаментальна природнича наука про навколишній матеріальний світ. Фізика вивчає найпростіші форми руху матерії, які є невід'ємною частиною більш складних форм руху. Закони і методи фізики використовуються в різних природничих науках про природу.

Посібник призначений для студентів-іноземців, що вивчають фізику на підготовчих факультетах вищих навчальних закладів. Містить такі розділи: механіка; молекулярна фізика і термодинаміка; електромагнетизм; коливання і хвилі; геометрична, хвильова і квантова оптика; атомна і ядерна фізика.

Іноземні студенти прибувають на підготовчі факультети з різною базовою підготовкою з фізики на рідній мові. Посібник не ставить завдання вивчити фізику. У ньому міститься обсяг навчальної інформації, яка дає можливість повторити фізику українською мовою і сприяє засвоєнню наукової лексики і «фізичної» термінології.

Посібник складено відповідно до навчальної програми з фізики для довишивської підготовки іноземних учнів, а також може бути використаний студентами молодших курсів вназ 3 і 4-го рівнів акредитації.

Автори висловлюють глибоку подяку доценту В.В.Троїцькій і старшому викладачеві В.А. Маслюку за численні слушні зауваження за змістом і формою викладення матеріалу книги.

ВСТУПНИЙ КУРС

Заняття 1. Фізика - наука про природу

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
існувати	to exist	exister
природа	nature	nature
великий	large	grand
вода	water	eau
повітря	air	l`air
говорити	to speak	parler
рухатися	to move	se mouvoir
інший	another	autre
звуковий	sound	sonore
Земля	Earth	Terre
зміна (чого?)	change	c□hangement
мати (що?)	to have	avoir
кожен	each	chaque
кипіти	to boil	bouillir
будь-який	anyone	quelconque
малий	little	petit
механічний	mechanical	mécanique
наука	science	science
об'єкт	object	objét
оптичний	optical	optique
щільність	density	densité
розмір	dimension	dimension
рослина	plant	la plante
світитися-посвітити	to shine	allumer
властивість	property	propriété
тіло	body	corps
фізичний	physical	physique
колір	colour	couleur
електричний	electrical	électrique
явище	phenomenon	phénomène

Текст 1

Усе, що існує навколо нас, – це об'єкти природи. Об'єкти природи можуть бути великі і малі. Великі об'єкти – це *макрооб'єкти*, наприклад, Сонце, Земля, Місяць. Малі об'єкти – це *мікрооб'єкти*, наприклад, молекули, атоми, електрони.

Кожен макрооб'єкт природи у фізиці – це *фізичне тіло*. Наприклад, людина, дерево, стіл, автобус, літак, корабель, Земля, Сонце, Місяць – це фізичні тіла.

Фізика – це наука про природу.

Будь-яка зміна в природі – це явище природи. Кожне явище природи – це фізичне явище. Автомобіль рухається – це механічне явище, людина говорить – це звукове явище, вода кипить – це теплове явище, лампа світить – це світлове явище.

Кожне тіло має фізичні властивості, такі як форма, розміри, густина, колір, запах та ін.

Фізика вивчає фізичні явища і властивості фізичних тіл.

Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Що називається явищем природи?
2. Що таке макрооб'єкт? Наведіть приклади.
3. Що таке мікрооб'єкт? Наведіть приклади.
4. Що називається фізичним тілом?
5. Що вивчає фізика?
6. Які об'єкти природи Ви знаєте?
7. Які фізичні явища Ви знаєте?
8. Які властивості має кожне фізичне тіло?

Вправа 3. Закінчіть речення:

1. Фізика ... фізичні явища.
2. Земля – це ... тіло.
3. У фізиці всі об'єкти природи – це фізичні
4. Автобус рухається – це механічне... .
5. Сонце світить – це ... природи.
6. Людина говорить – це явище
7. Усі фізичні тіла мають фізичні... .
8. Будь-яка зміна в природі – це ... природи.

Заняття 2. Матерія і види матерії

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
речовина	substance	substance
вид	kind	aspect
завжди	always	toujours
гравітаційний	gravitational	gravitationnel
рух	motion	mouvement
магнітний	magnetic	magnétique
матерія	matter	matière
поле	field	champ
реально	of real	réellement
складатися (з чого?)	to consist	se compose
існувати	to exist	exister
електромагнітний	electromagnetic	électromagnétique

Текст 2

Матерія – це все, що реально існує у природі. Ми знаємо два види матерії: речовина і фізичне поле.

Речовина – це один вид матерії. Речовина – це все, що складається з атомів і молекул.

Наприклад: вода, повітря, крейда, метал, дерево, пластмаса – це речовина.

Фізичне поле – це інший вид матерії. Фізичне поле передає взаємодію між частинками речовини. Наприклад: гравітаційне поле передає взаємодію між будь-якими тілами, електричне поле передає взаємодію між електричними зарядами, магнітне поле передає взаємодію між електричними струмами.

Матерія завжди рухається. Будь-яка зміна матерії – це рух. Рухаються Земля і Сонце, течуть річки, рухаються молекули і атоми. Існують такі форми руху матерії: фізична, хімічна, біологічна та ін.

Фізичні форми руху матерії – це механічний рух, тепловий рух, електромагнітні процеси, оптичні явища, внутрішньоатомні процеси.

ФОРМИ РУХУ МАТЕРІЇ:

фізична



біологічна



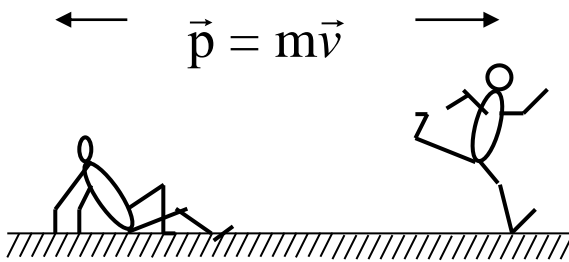
хімічна



ФІЗИЧНІ ФОРМИ РУХУ МАТЕРІЇ:

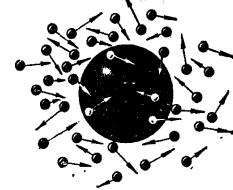
механічна

$$\vec{p} = m\vec{v}$$



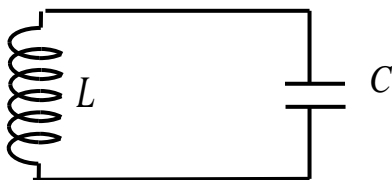
теплова (молекулярна)

$$p = n_0 kT$$



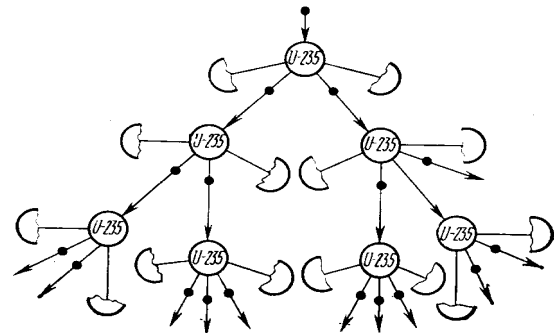
електромагнітна

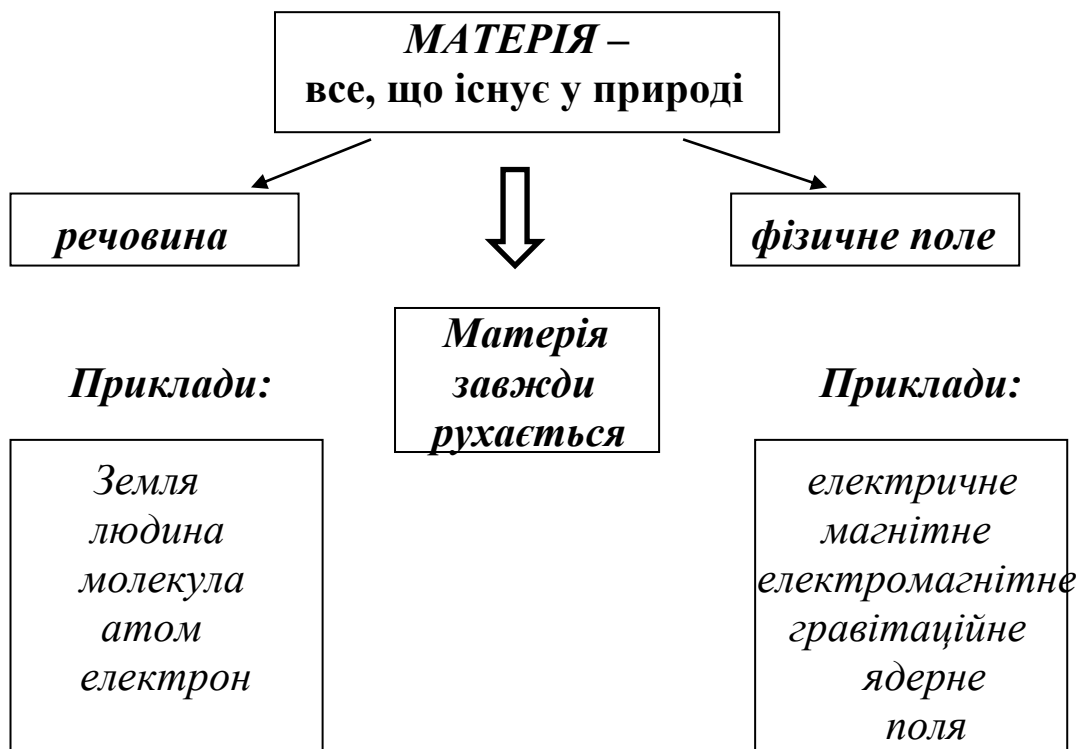
$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$



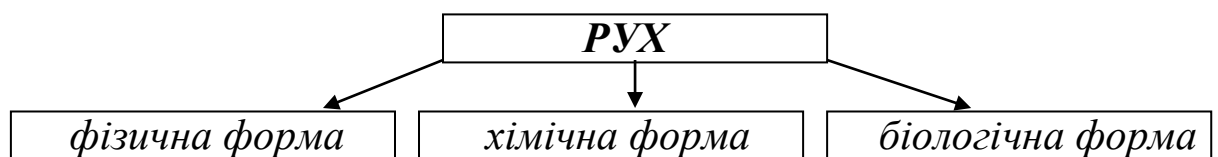
атомна (ядерна)

$$E = mc^2$$





Рух – будь-яка зміна матерії



Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання.

1. Що таке матерія?
2. Скільки видів матерії ви знаєте?
3. Які види матерії ви знаєте?
4. Які речовини ви знаєте?
5. Які фізичні поля ви знаєте?
6. Які форми руху матерії ви знаєте?
7. Що таке фізичне поле?

Вправа 3. Складіть речення зі слів:

це, все, реально, що, у природі, матерія, існує.

Вправа 4. Закінчіть речення.

1. Рух – це будь – яка ... матерії.

2.– це вид матерії.
3. Матерія завжди
4. Механічний рух – це ... форма руху матерії.
5. Існують різні ... руху матерії.

Заняття 3. Механічний рух

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
даний	given	donné
мати	to have	avoir
між (серед)	amidst, among	entre
називається	is called	s'appelle
перебуває (де?)	to be	se trouve
призначати-призначити	to define, determine	définir, déterminer
відносно (чого?)	relative to	relativement
положення	position	position
простір	space	espace
тіло відліку	body of reference	corps de référence

Текст 3

У фізиці будь-який макрооб'єкт називають фізичним тілом. Усі фізичні тіла мають форму, розміри і перебувають у просторі.

Простір не має початку, тому місцезнаходження будь-якого тіла визначають щодо інших тіл (тіл відліку). Наприклад, автобус рухається відносно будинку. Автобус – це дане тіло, а будинок – це тіло відліку (рис. 1). Якщо автобус – тіло відліку, то відносно автобуса рухається будинок.

Тіло відліку – це тіло, відносно якого визначають місцезнаходження даного тіла в просторі. Якщо тіло рухається, його положення щодо тіла відліку змінюється.

Зміна місцезнаходження даного тіла відносно інших тіл (тіл відліку) називається **механічним рухом**.



Рис. 1

Механічний рух – це процес зміни місцезнаходження даного тіла відносно інших тіл. Тому рух і спокій є відносними поняттями. Наприклад, студенти сидять в аудиторії. Відносно аудиторії і Землі студенти перебувають у спокої, а відносно Сонця студенти перебувають у русі. Земля рухається навколо Сонця. Якщо Сонце – тіло відліку (геліоцентрична система відліку), то Земля – дане тіло, що рухається. Якщо Земля – тіло відліку, то рухається Сонце.

Вправа 1. Напишіть нові слова у зошит і вивчіть ці слова.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання

1. Що таке фізичне тіло?
2. Де перебуває будь-яке фізичне тіло?
3. Що має кожне фізичне тіло?
4. Що таке тіло відліку?
5. Наведіть приклади тіл відліку?
6. Що таке механічний рух?
7. Яка система відліку називається геоцентричною?
8. Яка система відліку називається геліоцентричною?

Вправа 3. Складіть питання до речень.

1. У фізиці будь-який об'єкт називають фізичним тілом.
2. Фізичні тіла мають форму й розміри.
3. Будь-яке тіло перебуває в просторі.
4. Автобус рухається відносно будинку.
5. Спокій є відносним.
6. Рух є відносним.

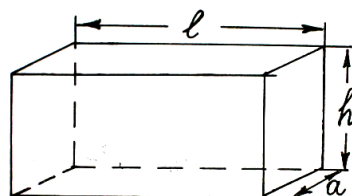
Заняття 4. Матеріальна точка. Траєкторія

Нові слова

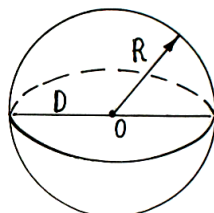
<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
висота	height	hauteur
довжина	length	longueur
кінцевий	final	final
кривий	curve	courbe
криволінійний	curvilinear	curviligne
лінія	line	ligne
матеріальна точка	material point	point matériel
початковий	initial	initial
деяке	certain, some	certain, quelque
не можна	not allowed	on ne peut pas
описати-описувати	describe	description
переміщення	displacement	déplacement
пряма	straight line	droit
прямолінійний	rectilinear	rectiligne
відстань	distance	distance
з'єднуватися – з'єднати	connect, join	lier, unir
супутник	the satellite, sputnik	satellite
стрілка	arrow	flech
рахувати	to consider	trouver - compter
траєкторія	trajectory	trajectoire

Текст 4

Фізичні тіла мають **розміри** і **форму**. Довжина, ширина, висота, радіус, діаметр – це розміри тіл (рис.2). Іноді при розв'язанні задач можна не враховувати малі розміри і форму фізичного тіла.



паралелепіпед
довжина – l , ширина – a
висота – h



куля
діаметр – D
радіус – R

Рис.2

Такий фізичний об'єкт можна вважати матеріальною точкою. **Матеріальна точка – фізичне тіло, розмір і форму якого можна не враховувати в даній задачі.** Наприклад, рух автомобіля з Харкова до Києва можна розглядати як

рух матеріальної точки, тому що розміри автомобіля малі в порівнянні з відстанню від Харкова до Києва. Рухаючись, будь-яка матеріальна точка описує лінію. **Траєкторія** – це лінія, за якою рухається матеріальна точка.

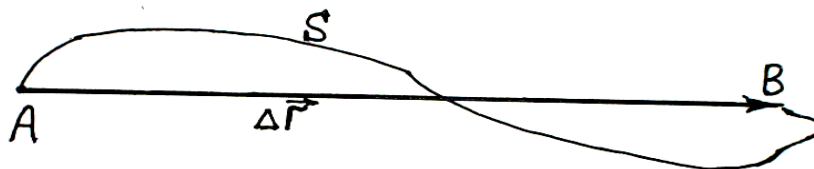


Рис. 3

- **Прямолінійним рухом** називається рух матеріальної точки за прямою лінією.
- **Криволінійним рухом** називається рух матеріальної точки за кривою лінією.

Рухаючись, матеріальна точка долає відстань – шлях. **Шлях S** – це довжина траєкторії. Наприклад: AB – це шлях (рис. 3). Якщо з'єднати пункти A і B прямою лінією і показати стрілкою напрямком руху матеріальної точки, то одержимо переміщення. **Переміщення ($\Delta \vec{r}$)** – це вектор, що з'єднує початкову і кінцеву точки траєкторії.

Вправа 1. Напишіть нові слова у зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Що мають фізичні тіла?
2. Що таке матеріальна точка? Наведіть приклади.
3. Що таке траєкторія?
4. Який рух називається прямолінійним?
5. Який рух називається криволінійним?
6. Що таке шлях?
7. Що таке переміщення?

Вправа 3. Поставте питання до пропозицій.

1. Довжина, ширина, висота – це розміри тіла.
2. Траєкторія – це лінія, яку описує матеріальна точка при русі.
3. Переміщення – це вектор, що з'єднує початкову і кінцеву точки траєкторії.

Заняття 5. Система відліку

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
координата	coordinate	coordonnée
спокій	rest	repos
площа	plane	plan
простір	space	espace
відстань	distance	distance
складатися-скласти	to make	faire
система координат	coordinate system	système de coordonnées
система відліку	reference system	système de référence
з'являтися	to appear	considere

Текст 5

Всі фізичні тіла перебувають у просторі. Місцезнаходження будь-якого тіла визначають щодо іншого тіла – *тіла відліку*. Тіла можуть змінювати місцезнаходження. *Механічним рухом називається зміна положення даного тіла відносно інших тіл.*

Наприклад. Автобус рухається відносно будинку. В автобусі сидить людина. Людина теж рухається відносно будинку, але людина не рухається (перебуває в спокої) щодо автобуса. Тому ми говоримо: «*механічний рух і спокій є відносними*» (рис. 4).

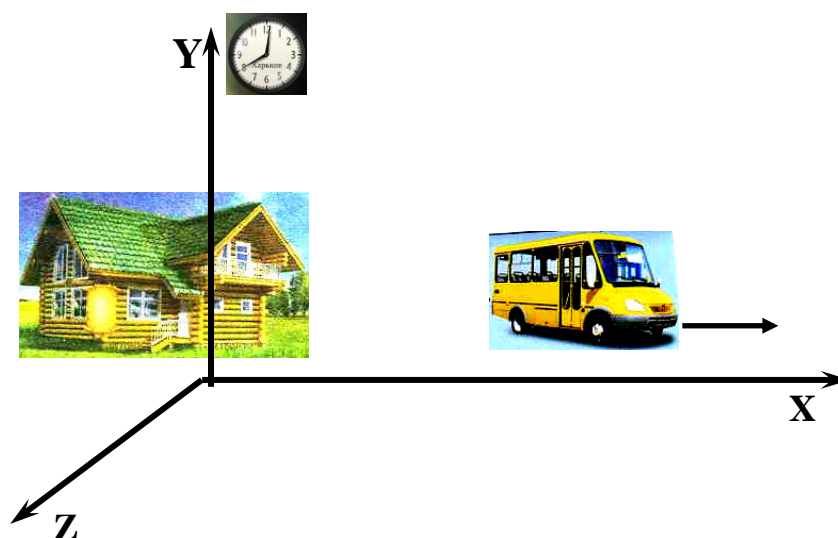


Рис. 4

Основне (головне) завдання механіки – визначення місцезнаходження тіла в просторі у будь-який момент часу. Місцезнаходження матеріальної точки визначають за допомогою системи координат. **Система координат** – це три взаємно перпендикулярних лінії (осі координат).

Для визначення місцезнаходження тіла в просторі в будь-який момент часу потрібно мати:

- Тіло відліку.
- Систему координат.
- Прилад для вимірювання часу(годинник).

Система відліку – це тіло відліку, система координат і годинник разом (рис. 4).

Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Де перебувають усі фізичні тіла?
2. Що таке механічний рух?
3. Яке основне завдання механіки?
4. Що потрібно мати для визначення місцезнаходження матеріальної точки?
5. Що потрібно мати для визначення часу?
6. Що таке система відліку?
7. Студент сидить в аудиторії. Відносно чого студент рухається?

Заняття 6. Фізичні величини і їх одиниці виміру

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
агрегатний	aggregation	d'agrégation
величина	quantity, magnitude	grandeur, valeur
обчислити	to calculate	calculer
тиск	pressure	pression
додатковий	additional	supplémentaire
вимірювати-виміряти	to measure	mesurer
кількість речовини	amount of substance	quantité desubstance
лінійка	ruler	règle
позначати	to denote	designer

1	2	3
об'єм	volume	volume
певний	definite	defini
основний	basic	fondamentale
плоский кут	plane (flat) angle	le coin plat
площа	area	aire
прилад	device	appareil
сила світла	force of light	force lumiere
сила струму	courant	intensite de curant
символ	symbol	symbol
система одиниць	system of units	systeme des unités
складати-скласти	to make	faire
тілесний кут	angle solid	angle solid
температура	temperature	temperature
термодинамічна температура	thermodynamic temperature	thermodynamique temperature
характеризувати	to characterize	caractériser

Текст 6

Всі тіла мають фізичні властивості: колір, розміри, густину, вагу, агрегатний стан та ін. Фізичні явища і властивості фізичних тіл описують за допомогою фізичних величин.

Фізична величина – це характеристика фізичного тіла або фізичного явища, яку можна виміряти або обчислити.

Фізична величина – міра фізичних властивостей тіл і явищ.

Для виміру фізичних величин потрібні прилади. Наприклад, для виміру довжини потрібна лінійка, для виміру часу потрібен годинник, для виміру сили струму потрібен амперметр. Довжина, ширина, висота, площа, об'єм, час, густина, шлях, переміщення, сила струму – це фізичні величини. Кожну фізичну величину позначають буквою латинського або грецького алфавіту. Ці букви називають **символами** фізичних величин.

Символи деяких фізичних величин: висота – h , довжина – l , площа – S , об'єм – V , маса – m , густина – ρ , час – t , температура – T , тиск – p , сила струму – A .

(SI) Міжнародна система одиниць виміру (СІ)

Кожна фізична величина має свою *одиницю виміру*. Наприклад:

- метр – одиниця виміру довжини;
- кілограм – одиниця виміру маси;
- секунда – одиниця виміру часу.

Існують основні, додаткові й похідні одиниці виміру.

Основних одиниць виміру сім, додаткових одиниць виміру дві (дивись таблицю), похідних одиниць виміру багато.

Основні одиниці виміру мають еталони (наприклад: метр, кілограм, секунда).

Одиниці виміру, які одержують за формулою, називають *похідними*. Основні, додаткові й похідні одиниці разом становлять *систему одиниць виміру*. Кожна похідна одиниця виміру складається з основних одиниць виміру (еталонних). Наприклад, одиниця виміру швидкості м/с. Її одержують за формулою $v = s/t$, де S – це шлях, t – час. Одиниця виміру шляху – метр. Одиниця виміру часу – секунда. Метр і секунда – це основні одиниці виміру в СІ. Одиниця виміру швидкості м/с – це похідна одиниця виміру.

ОСНОВНІ І ДОДАТКОВІ ОДИНИЦІ ВИМІРУ В СІ

Основні одиниці виміру

Назва фізичної величини	Позначення фізичної величини	Назва одиниці виміру	Позначення	
			українське	міжнародне
довжина	l	метр	м	m
маса	m	кілограм	кг	kg
час	t	секунда	с	s
сила струму	I	Ампер	А	A
термодинамічна температура	T	Кельвін	К	K
кількість речовини	ν	моль	моль	mole
сила світла	I	кандела	кд	cd

Додаткові одиниці виміру

плоский кут	φ	радіан	рад	rad
тілесний кут	Ω	стерадіан	ср	sr

Вправа 1. Запишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Які фізичні явища ви знаєте?
2. Які фізичні властивості тіл ви знаєте?
3. Що таке фізична величина?
4. Які алфавіти використовують у фізиці для позначення символів фізичних величин?
5. Що має кожна фізична величина?
6. Які одиниці називають основними? Наведіть приклади.
7. Які одиниці називають похідними? Наведіть приклади.
8. З яких груп складається міжнародна система одиниць виміру в міжнародній системі СІ?
9. Скільки основних одиниць виміру в міжнародній системі СІ?
10. Скільки похідних одиниць виміру в міжнародній системі СІ?
11. Як можна одержати похідну одиницю виміру?

Вправа 3. Напишіть сім основних одиниць виміру системи СІ.

Заняття 7. Скалярні й векторні величини

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
алгебраїчний	algebraic	algébrique
вектор	vector	vecteur
векторна величина	vector quantity	grandeur vectorielle
геометричний	geometrical	géométrique
модуль	modulus	module
напрямок	direction	sens, direction
однаковий	the same	identique, le même
вісь координат	axis of coordinate	axe de coordonnées
негативний	negative	négative
паралельний	parallel	parallél
позитивний	positive	positive
проекція	projection	projection
скаляр	scalar	scalaire
скалярна величина	scalar quantity	grandeur scalaire
складати - скласти	to add	additionner

1	2	3
стрілка	arrow	flech
характеризувати (що?)	to characterize	caractériser
чисельно дорівнює	numerically equal	numeriquement égale, est égal
число	number	nombre

Текст 7

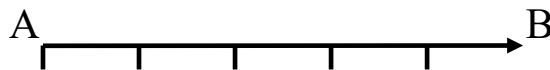
Фізичні величини поділяють на *скалярні і векторні*. Шлях, довжина, маса, час – це скалярні величини.

Величину, що характеризують позитивним або негативним числом, називають *скалярною величиною*, або *скаляром*.

Величину, що характеризують числом і напрямком у просторі, називають *векторною величиною*, або *вектором*.

Швидкість, переміщення, прискорення, сила, імпульс, густина струму, напруженість електричного поля, – це векторні величини.

Позначення векторів: \vec{a} , \vec{b} . Їхні модулі: $|\vec{a}|$, $|\vec{b}|$. **Модуль – це довжина вектора.** На рисунку вектор позначають відрізком прямої зі стрілкою на кінці. Довжину вектора показують у певному масштабі ($AB = 5,0$ см).



Вектори рівні, якщо: а) вони паралельні; б) мають однаковий напрямок; в) довжини векторів (модулі) рівні.

1. **Додавання (віднімання) векторів роблять за правилом паралелограма (рис.5) або трикутника (рис 6).**

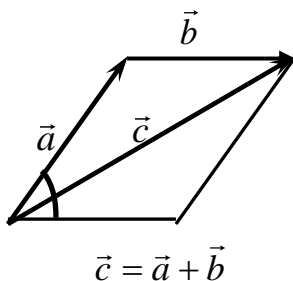


Рис. 5

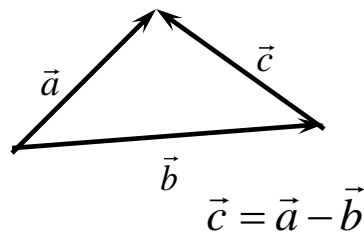


Рис. 6

модуль суми векторів обчислюють за теоремою косинусів:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \alpha,$$

де α - кут між векторами \vec{a} і \vec{b} .

2. Множення (ділення) вектора на число (позитивне або негативне). Якщо помножити вектор на позитивне число, то змінюється тільки модуль, а напрямок його в просторі не змінюється: $\vec{a}n = n\vec{a}$.

Якщо помножити вектор на негативне число, то змінюється модуль вектора й напрямок його стає протилежним: $\vec{a}(-n) = -n\vec{a}$.

Проекція вектора на вісь координат

Проекцією вектора на вісь координат ox називають різницю координат кінця вектора x і початку x_0 (рис.7). Формула проекції a_x вектора \vec{a} на вісь ox має вигляд: $a_x = a \cdot \cos \alpha$, де a_x - проекція вектора \vec{a} на вісь ox ; a - модуль вектора; α - кут між напрямком ox і напрямком вектора \vec{a} . Проекція вектора на вісь координат може бути позитивною або негативною величиною.

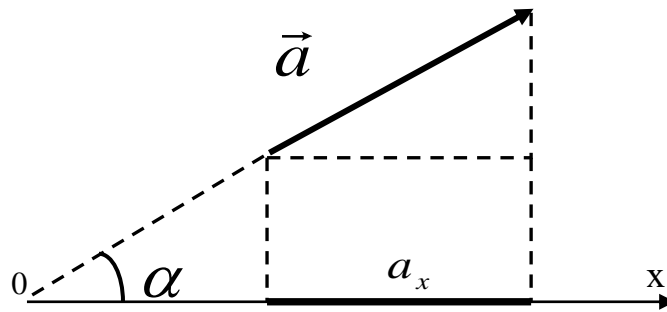


Рис. 7

Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. На які групи діляться фізичні величини?
2. Що таке скалярна фізична величина? Наведіть приклад.
3. Як складаються скалярні фізичні величини? Наведіть приклад.
4. Що таке векторна фізична величина? Наведіть приклад.
5. Як позначають векторну фізичну величину?
6. Що таке модуль вектора?
7. Коли рівні два вектори?
8. Як складаються векторні величини?
9. Чому дорівнює проекція вектора на вісь ox ?

Вправа 3. Закінчіть речення.

1. Векторна фізична величина – це величина, що характеризується і у просторі.
2. Модуль – це вектора.
3. Скалярна величина – це величина, що характеризується

**Контрольні питання за темою:
«Вступний курс з фізики»**

1. Що вивчає фізика?
2. Що таке матерія?
3. Що таке фізичне тіло?
4. Які фізичні явища ви знаєте?
5. Що таке тіло відліку?
6. Що таке механічний рух?
7. Механічний рух і спокій відносні?
8. Що таке система відліку?
9. Що має кожне фізичне тіло?
10. Що таке траєкторія?
11. Який рух називають прямолінійним?
12. Який рух називають криволінійним?
13. Що таке шлях?
14. Що таке переміщення?
15. Що таке фізична величина?
16. Що має кожна фізична величина?
17. На які групи ділять одиниці виміру?
18. Напишіть сім основних одиниць виміру.
19. Як одержати похідну одиницю виміру?
20. Що таке система одиниць виміру?
21. На скільки груп ділять фізичні величини? На які?
22. Що таке векторна величина? Наведіть приклади.
23. Що таке скалярна величина? Наведіть приклади.
24. Що таке модуль вектора?
25. Як складають вектори?
26. Як віднімаються вектори?
27. Як помножують вектор на число?

МЕХАНІКА



Механіка – це розділ фізики, у якому вивчають різні види руху тіл або їхніх частин (кінематика), причини зміни стану руху (динаміка) і умови рівноваги тіл або їхніх частин (статика)

1. КІНЕМАТИКА

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
кінематика	kinematics	la cinématique
головний	main	principal
динаміка	dynamics	le dynamique
нерівномірний	nonuniform	non uniforme
окремий	separate	particulie, separe
показувати - показати (що?)	to show (what?)	montrer (que?)
причина	reason	la raison, la cause
пройдений шлях	the way passed	la voie passee
рівновага	balance	l'équilibre, balance
рівномірний	uniform	uniforme, egal
результуючий	resulting	resultant
складний	complex	compose, complex
робити (що)	to make (what?)	accomplir (que?)
система відліку	reference system	système de référence
збігатися - збігтися (з чим?)	to coincide (with)	coincider (avec quoi?)
статика	statica	statique, la statique
потік	current	le courant
частина	part	la partie
даний	given	donné
мати	to have	avoir
між (серед)	amidst, among	entre
називається	is called	s'appelle
перебуває (де?)	to be	se trouve
призначати - призначити	to define, determine	définir, déterminer
відносно (чого?)	relative to	relativement
положення	position	position
простір	space	espace
тіло відліку	body of reference	corps de référence

Кінематика – це розділ фізики, який вивчає різні види механічного руху тіл або їхніх частин, але не вивчає причини зміни стану руху. Кінематика відповідає на запитання, як рухається тіло.

Основне (головне) завдання механіки – визначення положення тіла в просторі в будь-який момент часу. Всі фізичні тіла перебувають у просторі. Положення будь-якого тіла визначають щодо інших тіл – тіл відліку.

Тіло відліку – це тіло, щодо якого визначають положення даного тіла в просторі. Якщо тіло рухається, його положення щодо тіла відліку змінюється. Місцезнаходження тіл визначають за допомогою системи координат.

Система координат – це три взаємно перпендикулярні прямі лінії (осі координат). Для визначення положення тіла в просторі в будь-який момент часу потрібно мати:

- тіло відліку;
- систему координат;
- прилад для вимірювання часу (годинник).

Система відліку – це тіло відліку, система координат і прилад для вимірювання часу разом (рис. 1.1).

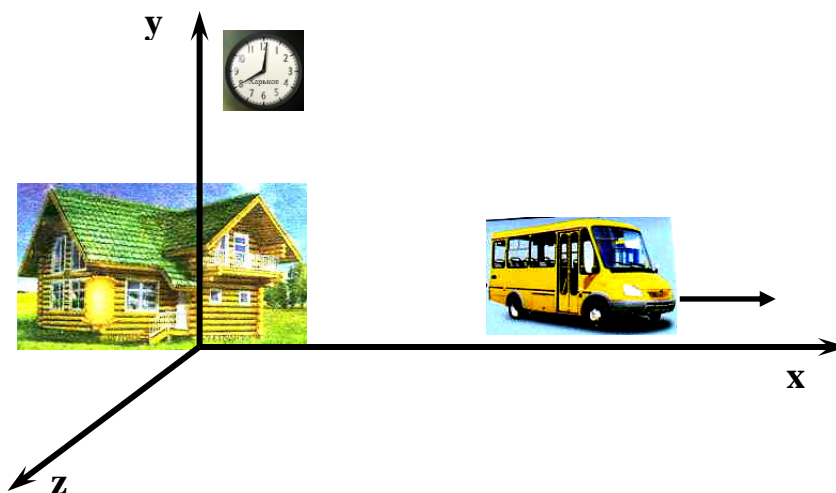


Рис.1.1

Якщо в даній інерційній системі відліку тіло перебуває в спокої, то для визначення його положення досить мати тіло відліку і систему координат.

1.1. Види руху

За формою траєкторії розрізняють такі два види руху: прямолінійний рух і криволінійний рух.

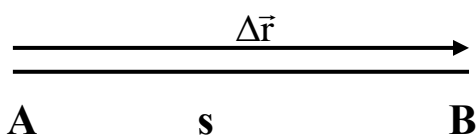


Рис. 1.2

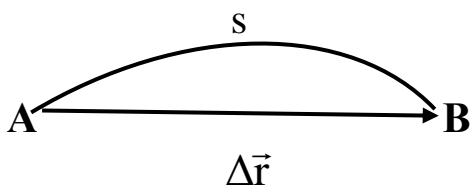


Рис. 1.3

1. При **прямолінійному русі** в одному напрямку (наприклад від пункту А до пункту В) пройдений шлях дорівнює модулю вектора переміщення $|\Delta\vec{r}| = s$ (рис. 1.2).

2. При **криволінійному русі** пройдений шлях більше модуля вектора переміщення і $s > \Delta r$ (рис. 1.3).

За величиною швидкості розрізняють два види руху:

- Рух, при якому швидкість не змінюється ($\vec{v} = \text{const}$), називається рівномірним.
- Рух, при якому швидкість змінюється ($\vec{v} \neq \text{const}$), називається нерівномірним.

У кінематиці будемо вивчати такі види механічного руху:

- прямолінійний рівномірний рух;
- прямолінійний нерівномірний рух;
- криволінійний рух;
- рівномірний рух по колу.

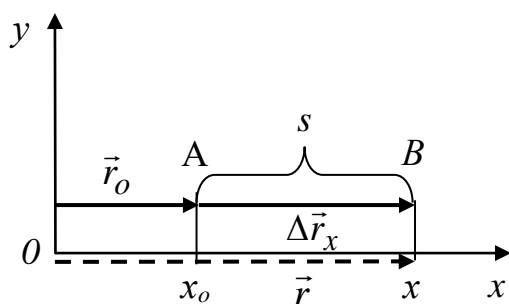


Рис. 1.4

Розглянемо рух матеріальної точки уздовж осі Ox . Нехай у початковий момент часу $t_0 = 0$ точка перебувала в положенні А (рис. 1.4). Місцезнаходження точки визначається радіусом-вектором \vec{r}_0 . В даному випадку це є початкова координата x_0 . **Радіус-вектор** – це вектор, що з'єднує початок координат і дану точку у просторі. Переміщення ($\Delta\vec{r}$) – це вектор, що з'єднує початкову (А) і кінцеву (В) точки руху.

Шлях (s) – це відстань, яку пододала матеріальна точка вздовж траєкторії. Нехай у момент часу t матеріальна точка буде перебувати в положенні B , радіус-вектор якої \vec{r} , а координата x_1 за час Δt точка зробила переміщення $\Delta \vec{r}_x$ і пододала шлях s . З рис. 1.4 видно, що переміщення:

$$\Delta r = x - x_0. \quad (1.1.)$$

1.2. Швидкість

Швидкість – це фізична величина яка описує зміну місцезнаходження тіла в просторі.

- **Середньою швидкістю** $\langle \vec{v} \rangle$ за час Δt називається фізична величина, що дорівнює відношенню вектора переміщення $\Delta \vec{r}$ до інтервалу часу

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.2.)$$

- **Середньою шляховою швидкістю** $\langle v \rangle$ називається фізична величина, що визначається відношенням усього шляху до часу, за який цей шлях пройдений. Середня шляхова швидкість не завжди дорівнює середній швидкості. Наприклад, якщо $\Delta \vec{r} = 0$ середня швидкість теж дорівнює нулю.

$$\langle v \rangle = \frac{S}{t}. \quad (1.3.)$$

- **Миттєва швидкість** \vec{v} – це швидкість у будь-який момент часу (швидкість у даній точці траєкторії). Миттєва швидкість дорівнює межі відношення переміщення Δr до інтервалу часу, при якому інтервал часу Δt прямує до нуля.

$$\langle \vec{v} \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad (1.4.)$$

де dt – нескінченно малий інтервал часу, $d\vec{r}$ – нескінченно мале переміщення. З формули видно, що **миттєва швидкість** \vec{v} дорівнює першій похідній за часом від радіуса-вектора за часом.

1.3. Прямолінійний рівномірний рух

Рівномірним називається рух, при якому за рівні інтервали часу матеріальна точка робить однакові переміщення. При такому русі швидкість тіла із часом не змінюється.

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{S}{t} = \text{const.} \quad (1.5)$$

З формули (1.5) одержимо рівняння шляху прямолінійного рівномірного руху. Пройдений шлях дорівнює добутку швидкості на час

$$s = v \cdot t \text{ або } \Delta r = r_2 - r_1 = v \cdot \Delta t. \quad (1.6)$$

На рис. 1.5 і 1.6 показані графіки пройденого шляху й координати від часу $S(t)$ і $x(t)$ для прямолінійного рівномірного руху.

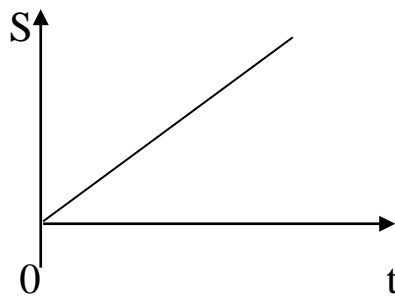


Рис. 1.5

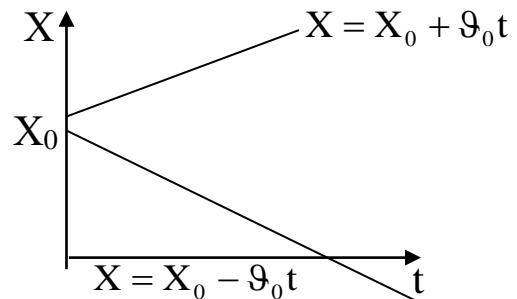


Рис. 1.6

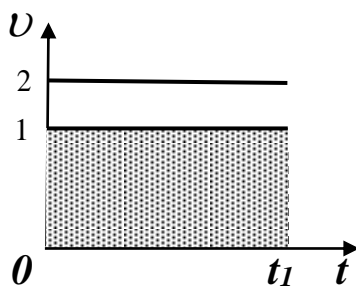


Рис.1.7

На рис. 1.7 показані графіки залежності швидкості руху від часу $v(t)$ для прямолінійного рівномірного руху. Графіки 1 і 2 відповідають руху тіл з різними швидкостями $v_2 > v_1$. Шлях при рівномірному русі тіла зі швидкістю v_1 за час t_1 чисельно дорівнює площі прямокутника висотою v_1 і основою t_1 : $s = v_1 \cdot t_1$.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що вивчає кінематика?
2. Які види механічного руху Ви знаєте?
3. Що таке шлях?
2. Що таке переміщення?
3. Що більше: шлях чи модуль переміщення?
4. Який рух називається рівномірним?
5. Який рух називається нерівномірним?
6. Що називається середньою швидкістю?
7. Що називається середньою шляховою швидкістю?
8. Що називається миттєвою швидкістю?
9. Який рух називається змінним ?
10. Який рух називається рівномірним і прямолінійним ?
11. Чому дорівнює прискорення при рівномірному прямолінійному русі?
12. За якою формулою можна визначити шлях при рівномірному русі.
13. Чи може рух по колу бути рівномірним?
14. Запишіть рівняння рівномірного руху.

Приклад розв'язання задачі

Задача № 1. Автомобіль рухається рівномірно зі швидкістю $v = 90$ км/ч. За який час t він пройде відстань $s = 75$ км?

Дане:
 $v = 25$ м/с
 $s = 75000$ м

 $t - ?$

Розв'язання

1. Запишемо дані задачі в системі СІ.

2. Шлях при рівномірному русі

$$s = v \cdot t .$$

3. Знайдемо час руху автомобіля

$$t = s/v.$$

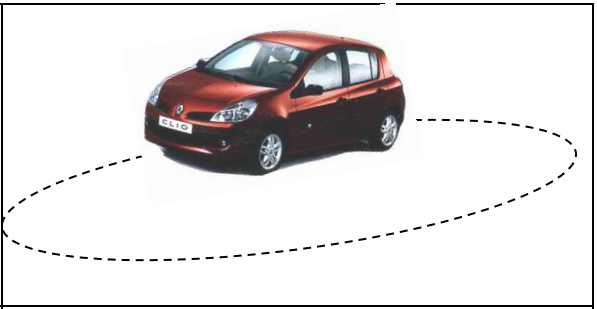
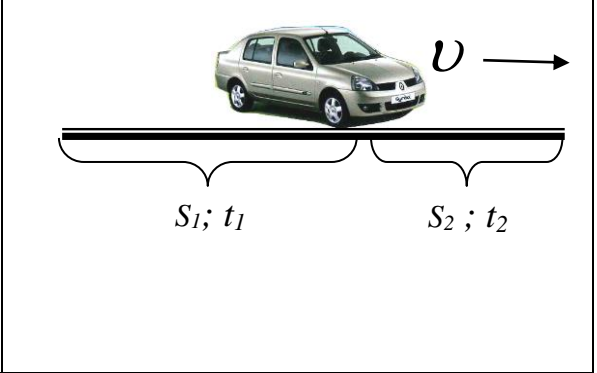
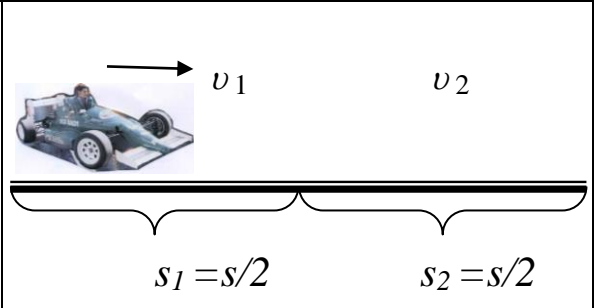
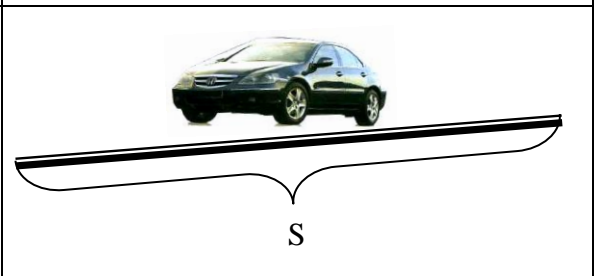
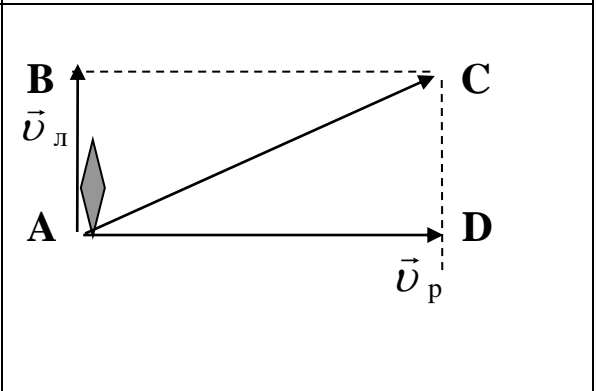
4. Перевіримо розмірність $[t] = \frac{m \cdot c}{m} = c$.

5. Підставимо числові значення:

$$t = \frac{75000}{25} = 3000 \text{ с} = 50 \text{ хв.}$$

Відповідь: $t = 50$ хв.

Виконайте завдання самостійно

<p>Задача 1. При рівномірному русі автомобіль проїхав половину кола. У скільки разів шлях s, пройдений автомобілем, більше модуля його переміщення Δr ?</p> <p>Відповідь: 1,57.</p>	
<p>Задача 2. Автомобіль за другу годину $t_1 = 2\text{ год}$ проїхав $s_1 = 90$ км. Наступні півгодини $t_2 = 0,5$ ч він рухався з швидкістю $v = 54$ км/год. Яка середня шляхова швидкість автомобіля $\langle v \rangle$?</p> <p>Відповідь: $\langle v \rangle = 13$ м/с.</p>	
<p>Задача 3. Першу половину шляху автомобіль проїхав зі швидкістю $v_1 = 72$ км/год, а другу – з швидкістю $v_2 = 36$ км/год. Визначити середню шляхову швидкість.</p> <p>Відповідь: $\langle v \rangle = 13,3$ м/с.</p>	
<p>Задача 4. Скільки часу рухався автомобіль на прямолінійній ділянці шляху $S = 1,8$ км зі швидкістю $v = 270$ км / год?</p> <p>Відповідь: $t = 24$ с.</p>	
<p>Задача 5. Човен рухається по річці шириною $AB = 300$ м. Швидкість плинину ріки $v_p = 1,2$ м/с; швидкість човна $v_{\text{л}} = 1,6$ м/с. На яку відстань BC віднесе човен униз за течією? Який шлях S пройде човен?</p> <p>Відповідь: $BC = 225$ м; $S = 375$ м.</p>	

1.4. Прямолінійний рівнозмінний рух. Прискорення

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
рівнозмінний	uniformly variable	uniformement varie
змінний	variable	variable
постійний	constant	constant
відбутися - відбуватися	to take place – to occur	avoir lieu – se passer
протилежний	opposite	oppose
рівносповільнений	uniformly retarded	uniformement retarde
рівноприскорений	uniformly accelerated	uniformement accelere
середній	average	moyen
прагнути (до чого?)	to aspire (to what)	aspirer (a quoi?)
збільшитися – збільшуватися	to be increased – to increase	se augmenter – s'agrandir
зменшитися – зменшуватися	to decrease – to decrease	diminuer – se reduire

Прямолінійним рівнозмінним називається рух, при якому швидкість тіла змінюється на однакову величину за рівні інтервали часу, а траєкторія – пряма лінія. Будь-який змінний рух характеризують прискоренням.

Прискорення – це фізична величина, що характеризує зміну вектора швидкості в одиницю часу. Розрізняють середнє і миттєве прискорення. Середнє прискорення за час Δt :

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.7)$$

Якщо в початковий момент часу $t_0 = 0$, то $\Delta t = t$. Одиниця виміру прискорення *метр, поділений на секунду у квадраті* (м/с²).

Якщо прискорення \vec{a} постійно ($\vec{a} = \text{const}$), то такий рух називається **рівноприскореним рухом**. У скалярній формі при будь-якому рівнозмінному русі прискорення становить:

$$a = \pm \frac{v - v_0}{\Delta t}, \quad \text{або} \quad v = v_0 \pm at. \quad (1.8)$$

Миттєве прискорення – фізична величина, що дорівнює межі відношення зміни швидкості до інтервалу часу, якщо інтервал часу прагне до нуля:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (1.9)$$

Рівнозмінний рух буває двох видів:

1. Рівноприскорений рух ($a > 0$) – це рух з постійним позитивним прискоренням.

2. Рівносповільнений рух ($a < 0$) – це рух з постійним негативним прискоренням.

Одержимо формулу шляху прямолінійного рівнозмінного руху:

$$s = v_{cp} \cdot t, \quad (1.10)$$

де середня швидкість

$$v_{cp} = \frac{v + v_0}{2} = \frac{(v_0 + at) + v_0}{2} = v_0 + \frac{at}{2}. \quad (1.11)$$

Підставивши (1.11) у формулу (1.10), одержимо формулу шляху

$$s = v_0 t + at^2/2. \quad (1.12)$$

На рис. 1.8 (а, б) показані графіки залежності швидкості від часу. На рис. 1.8 (а) графіки для рівноприскореного руху, на рис. 1.8 (б) для рівносповільненого. З наведених рисунків видно, що **шлях S чисельно дорівнює площі трапеції $ABCO$** .

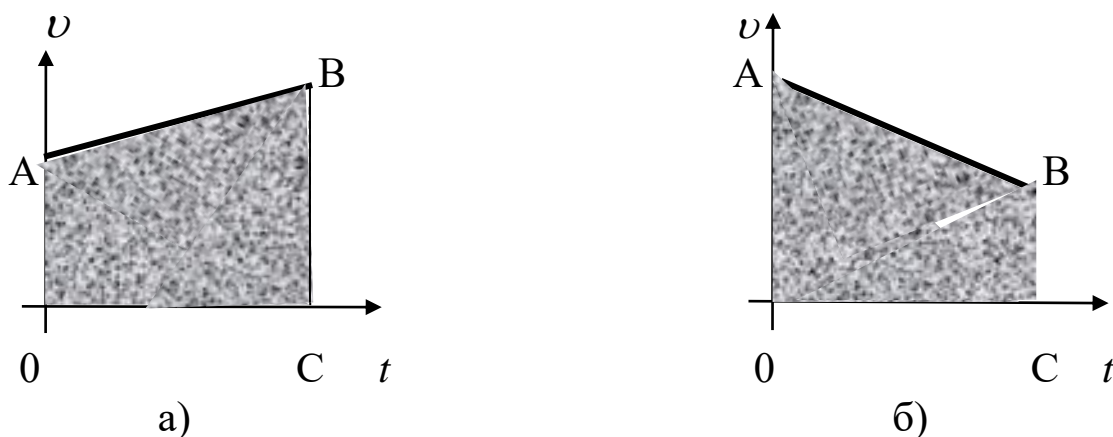


Рис. 1.8

На рис 1.9 показані графіки залежності шляху від часу для рівноприскореного (а) і рівносповільненого рухів (б).

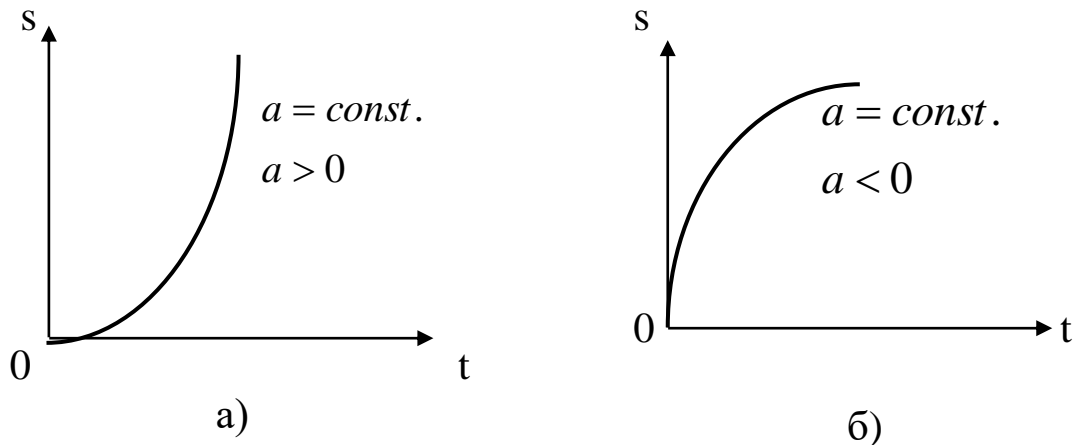


Рис.1.9

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на питання:

1. Який рух називається прямолінійним?
2. Який рух називається криволінійним? Наведіть приклади таких рухів.
3. Який рух називається прямолінійним нерівномірним? Наведіть приклади.
4. Що називається середнім прискоренням? Миттєвим прискоренням? Запишіть формули для $\langle \vec{a} \rangle$ і \vec{a} .
5. Який рух називається прямолінійним рівнозмінним? Наведіть приклади.
6. Якщо рух рівномірний, чому дорівнює прискорення?
7. Нарисуйте графіки залежності швидкості і прискорення від часу $v(t)$ і $a(t)$.
8. Напишіть основні формули для прямолінійного рівноприскореного руху, якщо початкова швидкість дорівнює нулю ($v_0 = 0$).
9. Напишіть основні формули для прямолінійного рівносповільненого руху.
10. Напишіть формули рівносповільненого руху за умови, що кінцева швидкість дорівнює нулю ($v = 0$).

Розв'яжіть задачі:

Задача 1. Тіло рухається рівноприскорено ($a = \text{const}$, $a > 0$) без початкової швидкості ($v_0 = 0$). За четверту секунду воно проходить шлях $\Delta S_4 = 35$ м. Який шлях пройде тіло за п'яту секунду (ΔS_5)? Яку швидкість воно буде мати наприкінці п'ятої секунди?

Відповідь: $\Delta S_5 = 45$ м; $v = 50$ м/с

Задача 2. За який час t швидкість автомобіля збільшилася від $v_0 = 5$ м/с до $v = 20$ м/с, якщо він при цьому пройшов відстань $s = 200$ м?

Відповідь: $= 16$ с.

Задача 3. Поїзд, що має швидкість $v_0 = 10$ м/с, став рухатися рівноприскорено з прискоренням $a = 0,15$ м/с². Чому буде дорівнювати кінцева швидкість v , якщо поїзд проїде $s = 1$ км шляху?

Відповідь: $= 20$ м/с.

Задача 4. Відстань між станціями метро $S = 1,5$ км. Першу половину його поїзд проходить рівноприскорено, а другу – рівносповільнено. Максимальна швидкість $v_m = 54$ км/ч. Чому дорівнює час руху потяга?

Відповідь: $t = 100$ с.

Задача 5. На тіло масою $m = 0,2$ кг, що знаходиться у спокої протягом 5 с, діє сила $F = 0,1$ Н. Яка буде швидкість тіла і який шлях воно пройде за зазначений час?

Відповідь: $2,5$ м/с; $6,25$ м.

Задача 6. Порожньому причепу тягач надає прискорення $a_1 = 0,4$ м/с², а навантаженому $a_2 = 0,1$ м/с². Яке буде прискорення обох причепів, з'єднаних разом? Силу тяги тягача вважати у всіх випадках однаковою.

Відповідь: $a = 8$ см/с².

1.5. Вільне падіння

*Вільним падінням називається рух тіл у безповітряному просторі (у вакуумі) під дією тяжіння Землі. При вільному падінні (якщо висота над поверхнею Землі невелика, тобто $h \ll R_3$, де R_3 – радіус Землі) всі тіла рухаються рівноприскорено з постійним прискоренням $\vec{g} = 9,81$ м/с². Воно спрямоване вертикально вниз (рис. 1.10). Прискорення \vec{g} називається *прискоренням вільного падіння*. При розв'язанні задач використовують значення прискорення ($g = 9,8$ м/с²). *Вільне падіння – це прямолінійний рівноприскорений рух.**

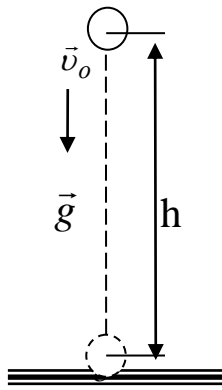


Рис.1.10

Якщо тіло кинуте вертикально вниз – рух буде рівноприскорений з початковою швидкістю. Якщо тіло кинуте вертикально вгору – рух рівносповільнений. При русі вертикально вгору прискорення вільного падіння буде негативним. Замінімо у формулах рівнозмінного руху прискорення $|\vec{a}|$ на $|\vec{g}|$, а шлях S на висоту h :

$$v = gt ; \quad h = \frac{gt^2}{2} . \quad (1.13)$$

Рух тіла, що кинули горизонтально на висоті h , відбувається за криволінійною траєкторією (параболою). Парабола є результат додавання двох видів руху:

- рівномірного руху по горизонталі (уздовж осі OX).
- вільного падіння (уздовж осі OY).

Результуюча швидкість \vec{v} складного руху в будь-який момент часу t завжди дотична до траєкторії.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що називається вільним падінням?
2. Що таке прискорення вільного падіння і від чого воно залежить?
3. Як одержати формули для вільного падіння?
4. Запишіть формули для вільного падіння.
5. Опишіть рух тіла, яке кинули вертикально угору.
6. Запишіть формули для цього руху.
7. Який вид має траєкторія руху тіла, яке кинули горизонтально на висоті h і під кутом α до горизонту? Поясніть.

Розв'яжіть задачі

Задача 1. Тіло кинули вертикально угору з швидкістю $v = 30$ м/с. На якій висоті h і через який час t_1 швидкість тіла буде в три рази менше, ніж на початку підйому?

Відповідь: $h = 40$ м/с; $t_1 = 2$ с.

Задача 2. Дальність польоту S тіла, яке кинули горизонтально з швидкістю $v = 5$ м/с, дорівнює висоті h , з якої кинули тіло. Чому дорівнює ця висота h ? Опором повітря знехтувати.

Відповідь: $h = 5$ м.

Задача 3. Тіло, кинуте під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту, піднялося на висоту $h = 10$ м. Яка дальність s польоту тіла? Скільки часу t тіло перебувало у польоті? З якою швидкістю v кинули тіло? Опором повітря знехтувати.

Відповідь: $s = 40$ м; $t \approx 2,8$ с; $v \approx 20$ м/с.

Задача 4. Людина стрибнула з висоти $h = 5$ м у річку і пішла під воду на глибину $h_1 = 2$ м. Скільки часу t_1 і з яким прискоренням a_1 рухалася людина під водою. Опором повітря знехтувати.

Відповідь: $t_1 \approx 0,4$ з; $a_1 \approx 25$ м/с².

Задача 5. Скільки часу t з якої висоти h падало тіло, якщо останні $h_2 = 196$ м шляху воно пройшло за $t_2 = 4$ с. Опором повітря знехтувати.

Відповідь: $t = 7$ с; $h \approx 240$ м.

Задача 6. Тіло, що кинули вертикально вгору, упало на Землю через $t = 6$ с. Яка початкова швидкість v_0 тіла й максимальна висота h підйому. Опором повітря знехтувати.

Відповідь: $v_0 \approx 30$ м/с; $h \approx 45$ м.

1.6. Рівномірний рух тіла по колу

Нові слова

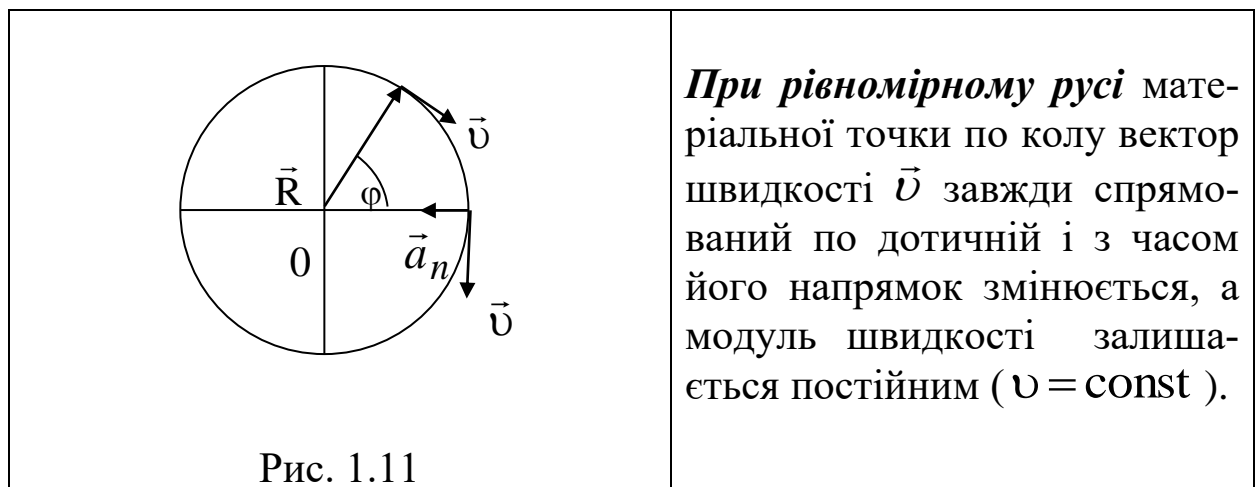
<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
швидкість	rapidity	la rapidite
обертання	rotation	la rotation
дуга	arc	l'arc
дотичний	tangent	tangent, tangentiel
лінійний	linear	lineaire
оборот	revolution	lechange, tour
коло	circle	la circonference
відрізок	piece	le segment
період	the period	la periode
поворот	turm	le tourmant

1	2	3
радіан	radian	radian
радіус	radius	le rayon
співвідношення	relation	relation
кутовий	angular	angulaire
кут	angle	le coin, angle
доцентровий	centripetal	centripète
частота	frequency	la frequence

Рівномірним рухом точки по колу називається рух, за яким за будь-які рівні інтервали часу точка має однакові кутові переміщення. Рівномірний рух точки по колу – це окремий випадок криволінійного руху (рис. 1.11). Даний рух характеризується такими величинами.

- **Період (T)** – це час одного повного оберту

$$T = \frac{t}{N}. \quad (1.15)$$



При рівномірному русі матеріальної точки по колу вектор швидкості \vec{v} завжди спрямований по дотичній і з часом його напрямок змінюється, а модуль швидкості залишається постійним ($v = \text{const}$).

- **Частота обертання (n)** – це число повних обертів за одиницю часу

$$n = \frac{N}{t}. \quad (1.16.)$$

Одиниця вимірювання частоти $[n] = \frac{\text{об}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$.

Співвідношення між періодом T і частотою обертання:

$$T = \frac{1}{n}. \quad (1.17)$$

При рівномірному обертанні точка рухається з постійною за модулем швидкістю

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}.$$

Кутова швидкість ω (омега) – це фізична величина, що дорівнює куту повороту радіуса за одиницю часу:

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}. \quad (1.18)$$

Одиниця вимірювання кутової швидкості $[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$. Один оберт ($\varphi = 2\pi \cdot \text{рад}$) відбувається за час T , звідки зв'язок між кутовою швидкістю ω й числом обертів n :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n. \quad (1.19)$$

Знайдемо зв'язок між лінійною й кутовою швидкостями. Модуль лінійної швидкості v при рівномірному русі точки по колу дорівнює відношенню шляху $s = 2\pi R$ до часу $t = T$, тоді:

$$v = \omega \cdot R. \quad (1.20)$$

де R – радіус окружності.

При рівномірному русі точки по колу з'являється нормальне (або доцентрове) прискорення \vec{a}_n , що спрямоване по радіусу до центру кола. Модуль цього прискорення визначають за формулою:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.21)$$

Нормальним (доцентровим) прискоренням називається фізична величина, що характеризує величину зміни напрямку вектора лінійної швидкості \vec{v} в одиницю часу.

Рівномірний рух матеріальної точки по колу – це рух з постійною кутовою швидкістю ($\omega = \text{const}$). При нерівномірному обертанні ($v \neq \text{const}$) виникає тангенціальне (дотичне) прискорення.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що називається вільним падінням?
2. Що таке прискорення вільного падіння і від чого воно залежить?
3. Яка траєкторія руху тіла, яке кинули горизонтально?
4. Який рух називається рівномірним рухом по колу?
5. Що таке період обертання?
6. Що таке кутова частота?
7. Який зв'язок між періодом і кутовою частотою?
8. Що називається кутовою швидкістю? Запишіть формулу.
9. Який зв'язок між лінійною й кутовою швидкостями?
10. Що називається нормальним прискоренням? Запишіть формулу.

Розв'яжіть задачі:

Задача 1. За який час колесо, що має кутову швидкість 4 рад /с, зробить 100 обертів?

Відповідь: $t = 50$ с.

Задача 2. Кутова швидкість обертання тіла $\omega = 62,8$ рад/с. Чому дорівнює число обертів N за дві хвилини ($t = 2$ хв)?

Відповідь: $N = 1200$.

Задача 3. Автомобіль рухається по горизонтальному шосе з швидкістю $v = 9,42$ м/с. Скільки обертів за хвилину n роблять його колеса, якщо діаметр колеса дорівнює $D = 0,6$ м.

Відповідь: $n = 300$ об/хв.

Задача 4. Хвилинна стрілка годинника у три рази коротша секундної. У скільки разів лінійна швидкість кінця хвилиної стрілки менше, ніж швидкість кінця секундної стрілки?

Відповідь: у 180 разів.

Задача 5. Вертоліт летить на північ зі швидкістю 20 м/с. З якою швидкістю і під яким кутом до меридіана буде летіти вертоліт, якщо подує західний вітер зі швидкістю 10 м/с?

Відповідь: $v = 22$ м/с; $\alpha = 27^\circ$.

Задача 6. Чому дорівнює доцентрове (нормальне) прискорення точок колеса автомобіля, якщо автомобіль рухається зі швидкістю $v = 72$ км /год і при цьому частота обертання колеса 8 с⁻¹.

Відповідь: 1 км /с².

2. ДИНАМІКА

Динаміка – це розділ механіки, у якому вивчають причини зміни стану механічного руху тіл. Динаміка відповідає на запитання: «Чому змінюється характер руху тіла?»

Класична механіка розглядає рух тіл зі швидкостями, які набагато менше швидкості світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с : $v \ll c$. В основі класичної механіки лежать закони, які сформулював І. Ньютон.

2.1. Перший Закон Ньютона (Закон інерції)

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
взаємодія	interaction	l'interaction
викликати	to cause (to induce)	l'indice, provoquer
дія	action	I 'action
деформація	deformation	la déformation
деформувати (що?)	to deformation	déformer
динаміка	dynamics	la dynamique
динамометр (м. р.)	dynamometer	dynamometre
інерція	inertia	I 'inertie
компенсація	indemnification	la compensation
компенсувати	to compensate	compenser
причина	the reason	la raison
сила	force	la force
стан	state	I 'état
зберігати (що?)	to conserve	conserver
точка прикладання	point of the application	le point d'application

Сформулюємо перший закон Ньютона.

Існують такі системи відліку (СВ), у яких будь-яке тіло зберігає стан руху $\vec{v} = const$, якщо на це тіло не діють інші тіла або дія тіл компенсується.

Системи відліку (СВ), у яких виконується перший закон Ньютона, називаються *інерціальними системами відліку (ІСВ)*. Перший закон Ньютона називають законом інерції.

Інертність – це властивість тіл зберігати стан руху (стан спокою або прямолінійного рівномірного руху).

Мірою інертності будь-якого тіла є його маса (m). Одиниця вимірювання маси в міжнародній системі одиниць – кілограм (кг). Маса – величина адитивна, тобто маса тіла дорівнює сумі мас його частин.

Всі ІСВ рухаються прямолінійно і рівномірно відносно одне одного. Неінерціальні системи відліку (НСВ) – це системи відліку, які рухаються з прискоренням відносно ІСВ.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що вивчає динаміка?
2. На яке запитання відповідає динаміка?
3. Що таке інертність?
4. Що таке прискорення?
4. Які системи відліку називаються інерціальними?
5. Які системи відліку називаються неінерціальними?
6. Сформулюйте перший закон Ньютона.

2.2. Другий закон Ньютона

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
залежати (від кого? чого?)	to depend (on what?)	dépendre(de quoi?qui?)
інертність	inertness	I'inertie
кількість	quantity (amount)	la quantité
нерухомий	immovable	immobile
нитка	string	le fil
обернено пропорційно	inversely proportionnal	inversement proportionnel
підвіс	suspension	la suspension
поступово	gradually	graduellement
уявити (що?)	to imagine	s'imaginér
набути – здобути (що?)	to get (what?)	acquérir (que?)
проявлятися (у чому?)	to be shown (in what?)	se manifester (dans quoi?)
прямо пропорційно	directly proportionnal	directement proportionnel

1	2	3
випливає	to follow	suivre
збігтися – збігатися	to coincide	coincider
сформулювати (що?)	to formulate (what?)	formuler (que?)

Експерименти свідчать, що зміна стану руху матеріальних об'єктів (тобто зміна швидкості тіл) відбувається під дією сили. Що таке сила?

Сила – векторна фізична величина, що є мірою механічної взаємодії тіл. Внаслідок дії сил тіла отримують прискорення або змінюють форму і розміри.

Сила характеризується модулем, напрямком і точкою прикладення. Силу можна виміряти за допомогою приладу, що називається динамометром. Другий закон Ньютона встановлює зв'язок між взаємодією тіл і зміною їх стану руху і тому він є основним законом динаміки поступального руху. Сформулюємо другий закон Ньютона.

Зміна стану руху (швидкості тіла) прямо пропорційна діючій силі і спрямована вбік дії сили. Запишемо формулу закону

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (2.1)$$

де a – прискорення, m – коефіцієнт, що отримав назву – маса. Що таке маса? Розглянемо такий експеримент. При дії однакової сили на тіла зміна швидкостей пропорційна їхнім масам (рис.2.1.), звідки:

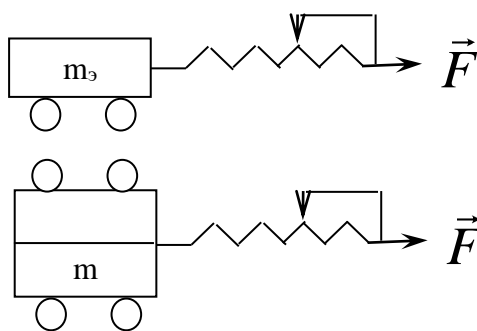


Рис. 2.1

$$F = m_3 a_3;$$

$$F = m a,$$

$$\text{звідки} \quad \frac{a}{a_3} = \frac{m_3}{m}. \quad (2.2)$$

З формули (2.2) випливає, що чим більше маса тіла, тим повільніше воно змінює свою швидкість. Фізична величина, що характеризує інертність тіла, називається масою цього тіла.

Маса тіла – це скалярна фізична величина, що є мірою інертності тіла. Одиниця маси в системі СІ є кілограм. Інші одиниці маси: грам ($1\text{г} = 10^{-3}\text{кг}$), міліграм ($1\text{мг} = 10^{-6}\text{кг}$), тонна ($1\text{т} = 10^3\text{кг}$).

Маса – адитивна величина, тобто маса тіла дорівнює сумі мас усіх частинок тіла.

Одиниця вимірювання сили називається **Ньютон**. Її одержують, підставивши одиниці маси і прискорення у формулу другого закону Ньютона (2.1): $N = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$.

Якщо на тіло діє декілька сил, то рівняння руху тіла (другий закон Ньютона) має вигляд:

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i. \quad (2.3)$$

Це рівняння називається **динамічним рівнянням руху**.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що таке інертність?
2. Яка фізична величина є мірою інертності?
3. Що таке сила?
4. Яка фізична величина характеризується модулем, напрямком і точкою прикладання?
5. Що таке прискорення?
6. У яких одиницях вимірюється прискорення?
7. Що таке маса?
8. У яких одиницях вимірюється маса?
9. Яка одиниця вимірювання сили?
10. Сформулюйте і запишіть другий закон Ньютона.
11. Напишіть основне рівняння руху.
12. Які основні одиниці міжнародної системи СІ ви знаєте?

Приклад розв'язання задачі

Задача 1. Автомобіль масою $m = 1,6$ т гальмує з прискоренням $a = -0,5$ м/с². Визначте силу гальмування.

Дано:

$$\begin{array}{l} m = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг} \\ a = -0,5 \text{ м/с}^2 \end{array}$$

Аналіз і розв'язання

$F = ?$

1. Прискорення автомобіля спрямоване у бік, протилежний напрямку руху, тому воно негативне.
2. Силу гальмування визначимо із другого закону Ньютона:

$$F = ma.$$

3. Перевіримо розмірність:

$$[P] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}.$$

4. Обчислимо силу гальмування

$$F = 1,6 \cdot 10^3 \cdot (-0,5) = -800 \text{ Н}.$$

Відповідь: $F = -800$ Н.

Розв'яжіть задачі самостійно:

Задача 2. Тіло масою $m = 2$ кг висить на динамометрі. Його піднімають вертикально вгору. Що покаже динамометр при рівномірному підйомі з прискоренням $a = 2$ м/с²?

Відповідь: $F_1 = 23,6$ Н; $F_2 = 19,6$ Н.

Задача 3. По похилій площині з кутом нахилу до горизонту $\alpha = 30^\circ$ ковзає тіло. Знайти швидкість v тіла наприкінці третьої секунди від початку руху, якщо коефіцієнт тертя $\mu = 0,3$.

Відповідь: $v = 7$ м/с.

Задача 4. Під дією постійної сили $F = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Н матеріальна точка пройшла шлях $S = 30$ м за перші $t = 10$ с. Визначте масу m точки.

Відповідь: $m = 0,02$ кг.

Задача 5. Два тіла рівної маси рухаються із прискореннями $a_1 = 0,08\text{м/с}^2$ і $a_2=0,64\text{м/с}^2$. Чи рівні сили, які діють на тіла? Чому дорівнює сила, що діє на друге тіло, якщо на перше діє сила $F_1 = 12\text{Н}$?

Відповідь: $F_2 = 96\text{Н}$.

Задача 6. На два тіла діють рівні сили. Перше тіло має масу $m_1=50$ кг і рухається з прискоренням $a_1=1\text{м/с}^2$. Друге тіло рухається з прискоренням $a_2=1\text{м/с}^2$. Чому дорівнює маса другого тіла?

Відповідь: $m_2 = 5\text{кг}$.

Задача 7. Вагон, маса якого $m=11\text{т}$, рухається зі швидкістю $v = 18$ км/год. Якою повинна бути сила гальмування, щоб зупинити вагон на відстані $S = 250\text{м}$?

Відповідь: $F = - 550\text{Н}$.

2.3. Третій закон Ньютона

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
реактивний	reactive	réactif
зовнішній	external	extérieur
внутрішній	internal	Intérieur
виникнути – виникати	to arise (to appear)	apparaître, se produit
виконати – виконувати	to carry out	accomplir, réaliser
імпульс	pulse	l'impulsion
штучний	artificial	artificiel
використати (кого?що?)	to use	utiliser
космонавт	cosmonaut	le cosmonaute
прикласти – прикладати	application	appliquer
продукт згоряння	product of combustion	le produit de la combustion
створити – створювати	to create	créer

Експерименти свідчать, що при будь-якій взаємодії двох тіл відношення модулів прискорень зворотно пропорційно відношенню їхніх мас:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (2.4)$$

Звідси виходить, що добутки мас двох взаємодіючих тіл на їхні прискорення рівні.

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 \quad \text{або} \quad m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2.$$

Сформулюємо третій закон Ньютона:

Сили, з якими взаємодіють два тіла \vec{F}_1 і \vec{F}_2 рівні за модулем і спрямовані уздовж однієї прямої у протилежні сторони:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

На рис. 2.2 показана взаємодія двох куль при центральному ударі.

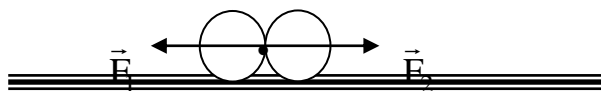


Рис. 2.2

2.4. Імпульс. Закон збереження імпульсу

Запишемо формулу другого закону Ньютона в іншому вигляді:

$$m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}. \quad (2.5)$$

Помножимо праву й ліву частини на $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = \vec{F}(t_2 - t_1). \quad (2.6)$$

Добуток сили на час її дії здобув назву – **імпульс сили**.

Імпульс тіла (\vec{p}) – це векторна фізична величина, що дорівнює добутку маси тіла на його швидкість \vec{v} :

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad [p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}. \quad (2.7)$$

Якщо розглядається n взаємодіючих між собою тіл, то їхня сукупність називається механічною системою тіл. Якщо на систему тіл не діють зовнішні сили або результуюча зовнішня сила дорівнює нулю ($\vec{F}_{\text{зовн}} = 0$), то така система називається замкнутою (ізолюваною). У замкнутій системі тіл виконується закон збереження імпульсу. Сформулюємо цей закон:

в інерціальній системі відліку величина і напрямок імпульсу замкнутої системи тіл (матеріальних точок) з часом не змінюється.

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const} \quad \text{або} \quad \vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}. \quad (2.8)$$

Наприклад: Розглянемо замкнуту систему з двох куль (рис. 2.3). У тіл (куль) з масами m_1 і m_2 до взаємодії швидкості \vec{v}_1 й \vec{v}_2 , а після взаємодії (зіткнення) швидкості \vec{u}_1 й \vec{u}_2 . Запишемо формулу закону збереження імпульсу для цих куль у загальному вигляді:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2. \quad (2.9)$$

$$m_1 \quad \vec{v}_1 \quad m_2 \quad \vec{v}_2 \qquad m_1 \quad \vec{u}_1 \quad m_2 \quad \vec{u}_2$$

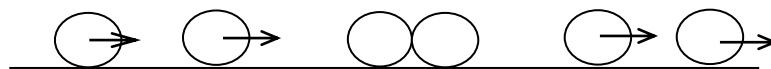


Рис. 2.3

Для взаємодії двох куль закон збереження імпульсу можна записати у такому вигляді:

у замкненій механічній системі сума імпульсів тіл до взаємодії дорівнює сумі імпульсів тіл після взаємодії.

Закон збереження імпульсу лежить в основі реактивного руху. Реактивний рух – це рух матеріальних тіл за рахунок імпульсу газів, рідини, що витікають.

Вправа 1. Випишіть слова з тексту і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Сформулюйте третій закон Ньютона.
2. Що називається імпульсом сили?
3. Що називається імпульсом тіла?
4. Яка одиниця виміру імпульсу в міжнародній системі СІ?
5. Запишіть формулу закону збереження імпульсу.
6. Сформулюйте закон збереження імпульсу.

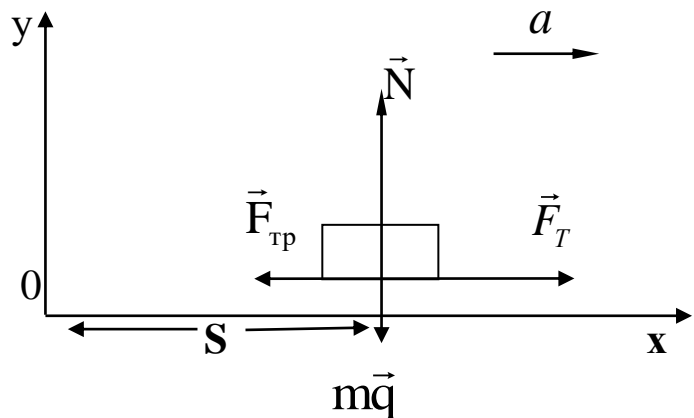
Приклад розв'язання задачі:

Задача 1. Автомобіль масою $m = 1\text{т}$ починає рухатись з початковою швидкістю яка дорівнює нулю $\mathcal{V}_0 = 0$ і через $t = 20\text{с}$ має швидкість $\mathcal{V} = 30\text{м/с}$. Знайти силу тяги \vec{F}_T , якщо коефіцієнт тертя дорівнює $\mu = 0,05$?

Дано:
 $m = 1\text{т} = 10^3\text{кг}$
 $\mathcal{V}_0 = 30\text{м/с}$
 $t = 20\text{с}$
 $\mu = 0,05$

$F_m - ?$

Аналіз і розв'язання



Автомобіль зобразимо у вигляді прямокутника. Покажемо сили, які діють на нього. Спроектуємо сили на осі координат Ox і Oy і позначимо початкову \mathcal{V}_0 і кінцеву \mathcal{V} швидкості (рисунок):

$$Oy: \quad N - mg = 0;$$

$$Ox: \quad F_m - F_{mp} = ma.$$

Перетворимо отриману систему рівнянь

$$N = mg;$$

$$F_m = ma + F_{mp}; \quad F_{mp} = \mu N = \mu mg.$$

Прискорення автомобіля виразимо через зміну швидкості

$$a = \frac{\mathcal{V} - \mathcal{V}_0}{t} = \frac{\mathcal{V}}{t}.$$

Підставимо прискорення і силу тертя в рівняння руху

$$F_m = m \frac{g}{t} + \mu mg \Rightarrow F_m = m \left(\frac{g}{t} + \mu g \right).$$

Перевіримо розмірність

$$[F_m] = \kappa \mathcal{E} \cdot \left(\frac{M}{c^2} + \frac{M}{c^2} \right) = \frac{\kappa \mathcal{E} \cdot M}{c^2}.$$

Виконаємо обчислення

$$F_m = 10^3 \cdot \left(\frac{30}{20} + 0,05 \cdot 9,8 \right) = 2 \cdot 10^3 \text{ Н} = 2 \text{ кН}.$$

Розв'яжіть задачі:

Задача 1. Поїзд масою $m = 2000$ т, що рухається прямолінійно, збільшив швидкість від $v_0 = 36$ км /год до $v = 72$ км /год. Знайти зміну імпульсу $\Delta(mv)$.

Відповідь: $\Delta(mv) = 2 \cdot 10^7$ кг·м/с.

Задача 2. З човна масою $m_1 = 200$ кг, що рухається зі швидкістю $v = 1$ м/с, стрибає хлопчик масою $m_2 = 50$ кг у горизонтальному напрямку з швидкістю $u = 7$ м/с. Яка швидкість руху човна після стрибка хлопчика, якщо хлопчик стрибає в бік, протилежний руху човна u_1^I ?

Відповідь: $v_1 = 3$ м/с.

Задача 3. Яку швидкість одержить ракета масою $m_1 = 600$ кг, якщо газу масою $m_2 = 15$ кг вилітають з неї зі швидкістю $u = 800$ м/с?

Відповідь: $v = 20$ м/с.

Задача 4. Тіло масою $m = 4$ кг летить горизонтально зі швидкістю $v = 30$ м/с, а потім ділиться на дві частини. Частина тіла масою $m_1 = 1$ кг рухається в тім же напрямку зі швидкістю $v_1 = 60$ м/с. Знайдіть величину і напрямок швидкості другої частини тіла.

Відповідь: $v_2 = 20$ м/с.

Задача 5. Граната летить зі швидкістю $v = 15$ м/с і розривається на дві частини. Частина $m_1 = 14$ кг збільшила швидкість до $v_1 = 24$ м/с у напрямку руху. Знайдіть величину і напрямок швидкості другої частини масою $m_2 = 6$ кг.

Відповідь: $v_2 = -6$ м/с.

2.5. Закон всесвітнього тяжіння

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
вага	weight	le poids
виникнути-виникати (де?)	to arise (to appear)	apparaître, surgir
гравітація	gravitation	gravitation
натяг	tension	la tension
поверхня	surface	la surface
поле тяжіння	field of gravitation	le champ de gravitation
припинення	termination, stop	la cessation
притягатися– притягатися (до чого?)	to be attracted (to what?)	être attiré (vers quoi?)
притягання	attraction	attraction
сила ваги	force of gravitation	la force de gravitation
тяжіння	gravitation	la gravitation

Вивчаючи закони руху Місяця, Ньютон установив закон всесвітнього тяжіння (закон гравітації):

сила гравітації (притягання) між двома тілами прямо пропорційна добутку їхніх мас і обернено пропорційна квадрату відстані r між центрами цих тіл (рис. 2.4)

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (2.10)$$

де $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ – гравітаційна постійна.

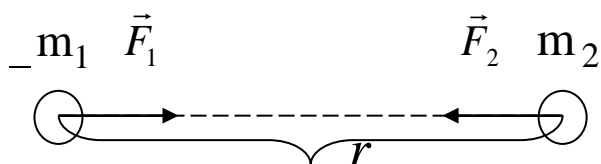


Рис.2.4

Формула (2.10) закону всесвітнього тяжіння справедлива для матеріальних точок і тіл, які мають форму кулі.

На Землі силу притягання тіл (силу тяжіння) можна записати на підставі другого закону Ньютона:

$$mg = G \frac{mM}{R^2}, \quad (2.11)$$

де m – маса тіла, M – маса Землі, R – радіус Землі, $g = G \frac{M}{R^2}$ – прискорення вільного падіння.

3. СИЛИ В МЕХАНІЦІ

Нові слова

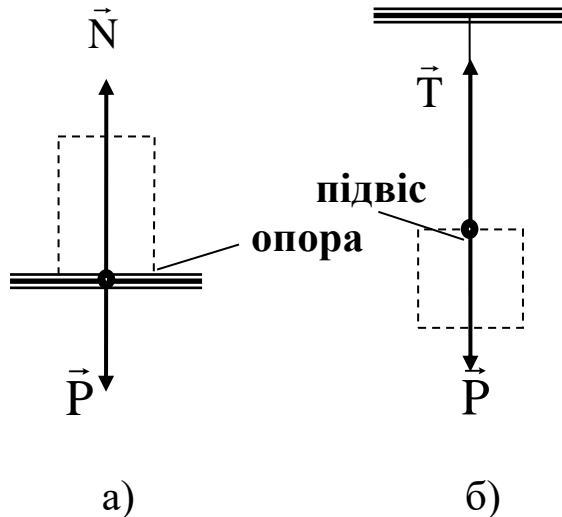
<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
угору	upwards	enhaut
униз	downwards	en bas
канат	rope, cable	le cable
космічна швидкість	space speed	la vitesse cosmique
ліфт	lift	l'ascenseur
натяг	tension	la tension
підвіс	suspension	suspension
виникати	to arise, to appear	se produire, apparaître
гора	mountain	la montagne
стосуватися	concerns	se concerner
контакт	contact	le contact
мотор	motor	le moteur
увігнутий міст	concave bridge	le pont concave
міст	bridge	le pont
натяг нитки	tension of a string	la tension du fil

3.1. Види взаємодії у природі

Науці відомо чотири фундаментальних види взаємодії: гравітаційна, електромагнітна, слабка, сильна (ядерна). У механіці вивчають гравітаційну і електромагнітну взаємодії. Сили пружності, сили тертя, сили реакції опору, сили натягу мають електромагнітну природу.

3.2. Сила тяжіння і вага тіла

Сила тяжіння – це сила, з якою тіла притягаються до Землі. Точка прикладання сили тяжіння – центр мас даного тіла. Сила тяжіння спрямована перпендикулярно поверхні землі.



Вага тіла (P) – це сила, з якою тіло діє на опору або підвіс. Вона прикладена до опори або підвісу (рис. 3.1). На рис. 3.1б показана дія тіла на підвіс (трос, нитка, канат), сили реакції опори \vec{N} і натягу підвісу \vec{T} .

\vec{N} – **сила реакції опори** – це сила, що виникає при

Рис.3.1

взаємодії тіла з опорою за третім законом Ньютона. У даному випадку внаслідок притягнення тіла до Землі. Сила \vec{N} також діє перпендикулярно опорі (рис. 3.1а). **Сила натягу** (T або \vec{F}_H) – це сила, що виникає при взаємодії тіла з підвісом унаслідок притягнення тіла до Землі (рис. 3.1б).

3.3. Вага тіла при русі з прискоренням

3.3.1. Рівняння руху тіла

Розглянемо рух тіла, що перебуває в ліфті (рис. 3.2). Запишемо рівняння руху:

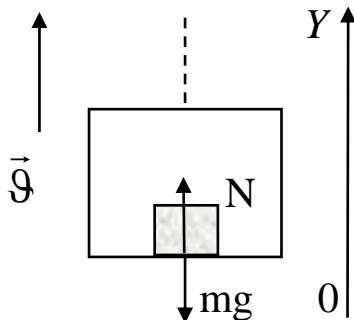


Рис. 3.2

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}, \quad (3.1)$$

де N – сила натягу каната.

Спроекуємо сили на вісь OY .

Ліфт піднімається угору з прискоренням a :

$$ma = N - mg. \quad (3.2)$$

Сила реакції опори N за третім законом

Ньютона за модулем дорівнює вазі тіла P :

$$P = N = m(g + a). \quad (3.3)$$

Якщо ліфт рухається вниз із прискоренням, то

$$-ma = N - mg.$$

Вага тіла за третім законом Ньютона дорівнює силі реакції опори

$$P = N = m(g - a). \quad (3.4)$$

Якщо тіло рухається вниз із прискоренням $a = g$, то його вага дорівнює нулю.

3.3.2. Динаміка рівномірного руху по колу

При русі тіла по колу рівняння другого закону Ньютона

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{mp}. \quad (3.5)$$

При рівномірному русі сила тяги дорівнює силі тертя

$$\vec{F} = -\vec{F}_{mp}.$$

Опуклий (ввігнутий) міст (рис 3.3). У скалярній формі рівняння руху тіла по опуклому мосту (без тертя) має вигляд

$$ma_n = mg - N. \quad (3.6)$$

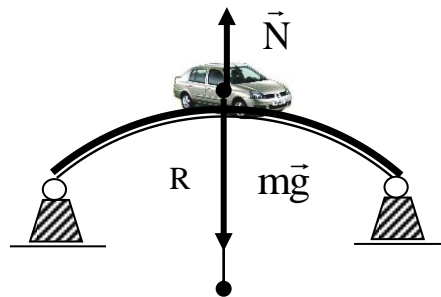


Рис. 3.3

Знайдемо силу реакції моста N :

$$N = mg - ma_n \text{ або } N = m(g - a_n), \quad (3.7)$$

де $m\vec{g}$ – сила тяжіння, \vec{N} – сила реакції опори, R – радіус кривизни моста, $a_n = v^2 / R$ – нормальне прискорення.

За третім законом Ньютона вага тіла P дорівнює силі реакції мосту, тобто вага тіла менше сили тяжіння:

$$P = N = m \cdot (g - a_n). \quad (3.8)$$

Якщо тіло рухається по ввігнутому мосту, то його вага P , більше сили тяжіння:

$$N = mg + ma_n \text{ або } N = m(g + a_n),$$

$$P = m \cdot (g + a_n). \quad (3.9)$$

3.3.3. Перша космічна швидкість

Обчислимо швидкість, яку потрібно повідомити тілу, щоб воно стало штучним супутником Землі. У цьому випадку доцентрова сила – це сила притягання тіла Землею.

$$F_n = \frac{mv^2}{R} = G \frac{mM}{R^2}, \quad (3.10)$$

де $R = 6,4 \cdot 10^6$ м – радіус Землі ($h \ll R$), $G \frac{M}{R^2} = g$. Числове значення першої космічної швидкості знайдемо з формули (3.9):

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M \cdot R}{R^2}} = \sqrt{gR} = \sqrt{9,8 \cdot 6400000} \approx 8 \text{ км/с.}$$

3.4. Тертя. Сила тертя

Тертям називається явище взаємодії дотичних тіл, що перешкоджає їхньому відносному переміщенню. Розрізняють *внутрішнє, зовнішнє і в'язке тертя*. Внутрішнє тертя – це тертя яке виникає між частинами одного тіла. В'язке тертя з'являється при русі тіла в рідині або газі.

Сила зовнішнього тертя – це сила, що виникає при переміщенні одного тіла по поверхні іншого. Сила зовнішнього тертя завжди спрямована у бік, протилежний напрямку руху тіла. Силу зовнішнього тертя обчислюють за формулою:

$$F_{\text{тер}} = \mu N, \quad (3.10)$$

де N – сила реакції опори, μ – коефіцієнт тертя.

Розрізняють три види зовнішнього тертя: *тертя спокою, тертя ковзання, тертя кочення*. Для цих видів тертя існує таке співвідношення між коефіцієнтами тертя:

$$\mu_{\text{сп}} > \mu_{\text{ков}} > \mu_{\text{коч.}}$$

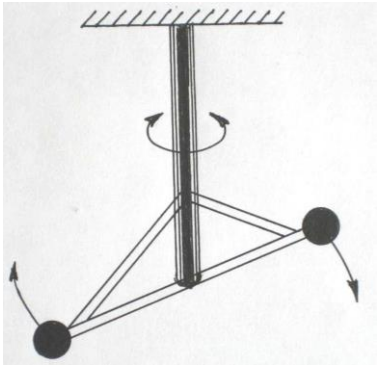
Причина зовнішнього тертя – це шорсткість поверхні тіл що взаємодіють, а також взаємодія між атомами дотичних тіл. Для зменшення тертя поверхню взаємодіючих тіл шліфують, полірують і змазують мастилами.

**ВИДИ
ТЕРТЯ**
 $F_{\text{тер}} = \mu N$

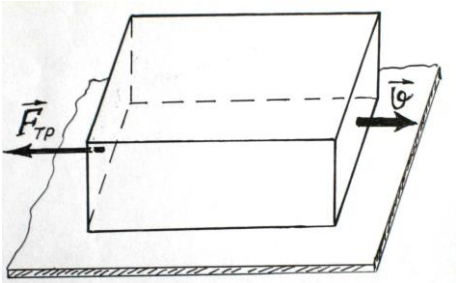
ЗОВНІШНЄ



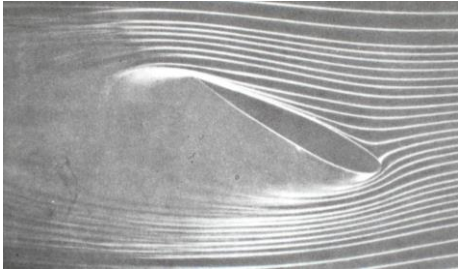
ВНУТРІШНЄ



СУХЕ



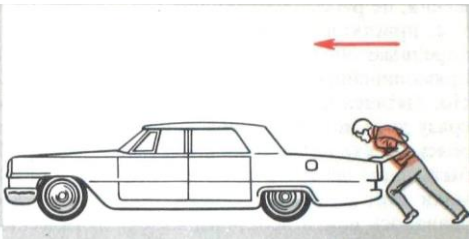
В'ЯЗКЕ



**ТЕРТЯ
СПОКОЮ**



**ТЕРТЯ
КОВЗАННЯ**



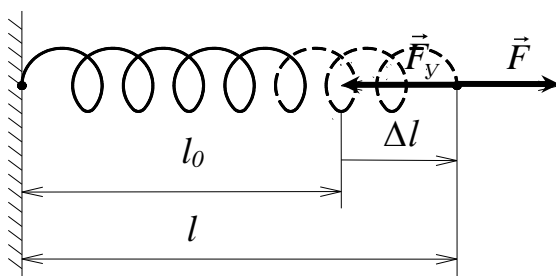
**ТЕРТЯ
КОЧЕННЯ**



3.5. Деформація. Закон Гука

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
деформація	deformation	la deformation
зникати	to disappear	disparaître
коефіцієнт пружності	coefficient of elasticity	le coefficient de l'élasticité
непружний	not elastic	non élastique
зворотний	opposite, reverse	inverse
припиняти	to stop, to cease	cesser
розтягання	extension	la distention, extension
тиск	compression	la compression
твердість	cruelty	la dureté
згин	bend	le repli, le flexion
крутіння	not elastic	non élastique
зсув	displacement	le déplacement
пружний	elastic	élastique
пружність	elasticity	l'élasticité
електромагнітний	electromagnetic	electromagnétique



Деформація – це явище зміни розмірів і форми тіл під дією сили. Якщо тіло приймає початкову форму і розміри після припинення дії сили \vec{F} , то деформація – пружна, а якщо форма тіла не відновлюється, то деформація – пластична.

Рис. 3.5

При деформації виникає *сила пружності* $\vec{F}_{пр}$ (рис. 3.5). *Мірою деформації* є зсув з положення рівноваги (подовження) $x = \Delta l = l - l_0$. Експерименти показують, що пружна деформація пропорційна силі пружності. Залежність між $\vec{F}_{пр}$ і пружною деформацією знайшов англійський вчений Гук.

Закон Гука:

Сила пружності \vec{F}_{np} прямо пропорційна зсуву x і спрямована у бік, протилежний зсуву. Запишемо формулу закону Гука:

$$\vec{F}_{np} = -k\vec{x} \quad \text{або} \quad F_{np} = kx, \quad (3.11)$$

де k – коефіцієнт пружності (жорсткості); k – залежить від речовини, з якої виготовлено тіло і чисельно дорівнює силі, що потрібна для подовження тіла на одиницю довжини:

$$[k] = \frac{H}{m}.$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Дайте визначення сили тяжіння, ваги, сили реакції опори, сили тертя.
2. Які види деформації тіл ви знаєте?
3. Запишіть закон Гука і сформулюйте його.

Розв'яжіть задачі

Задача 1. Тролейбус масою $m = 10\text{т}$ починає рухатися зі стану спокою. Наприкінці шляху його швидкість дорівнює $v = 10\text{ м/с}$. Знайти коефіцієнт тертя μ , якщо сила тяги дорівнює $F_T = 14\text{ кН}$, а шлях дорівнює $S = 50\text{ м}$.

Відповідь: $\mu = 0,04$.

Задача 2. З висоти $h = 25\text{ м}$ тіло падало $2,5\text{ с}$. Яку частину від сили ваги становить середня сила опору повітря?

Відповідь: $0,2$.

Задача 3. Сталеву нитку розтягують силою $F = 120\text{ Н}$. У результаті цього нитка подовжилася на $\Delta x = 2\text{ мм}$. Знайдіть коефіцієнт пружності нитки.

Відповідь: $k = 6 \cdot 10^4\text{ Н/м}$.

Задача 4. Тіло масою $m = 0,6\text{ кг}$ рівномірно тягнуть по горизонтальній поверхні за допомогою пружини. Пружина розтяглася на 3 см . Коефіцієнт тертя $\mu = 0,2$. Визначіть коефіцієнт пружності k .

Відповідь: $k = 39,2\text{ Н/м}$.

Задача 5. З якою швидкістю U повинен рухатися мотоцикліст по ввігнутій ділянці шосе з радіусом $R = 10\text{м}$, щоб сила тиску мотоцикліста в нижній точці ділянки була у два рази більше сили ваги?

Відповідь: $U = 10\text{ м/с}$.

Задача 6. Два вантажі масами $m_1 = 200\text{ г}$ и $m_2 = 300\text{ г}$ з'єднані ниткою, яка перекинута через нерухомий блок, що підвішений до пружинних ваг. Визначіть прискорення a вантажів, натяг нитки T і показання ваг P .

Відповідь: $a = 2\text{ м/с}^2$; $T = 2,4\text{ Н}$; $P = 4,8\text{ Н}$.

Задача 7. Знайдіть масу Сонця M_c , знаючи, що середня швидкість руху Землі по орбіті навколо Сонця $\langle v \rangle = 30\text{ км/з}$, а радіус орбіти Землі $R_z = 1,5 \cdot 10^8\text{ км}$.

Відповідь: $M_c = 210^{30}\text{ кг}$.

Задача 8. На підлозі ліфта лежить тіло масою $m = 100\text{кг}$. Визначте вагу тіла в чотирьох випадках:

- 1) якщо ліфт рухається вниз із прискоренням $a = 0,3\text{ м/с}^2$;
- 2) якщо ліфт рухається вниз рівномірно;
- 3) якщо ліфт рухається вниз із прискоренням $a = -0,3\text{ м/с}^2$;
- 4) якщо ліфт вільно падає.

Відповідь: $F_1 = 940\text{Н}$; $F_2 = 980\text{Н}$; $F_3 = 1010\text{Н}$.

Задача 9. Хлопчик масою 50 кг гойдається на гойдалці з довжиною підвісу 4 м . З якою силою він діє на сидіння при проходженні середнього положення зі швидкістю 6 м/с ?

Відповідь: 950 Н .

4. ЕЛЕМЕНТИ СТАТИКИ

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
байдужий	indifferent	indifférent
обрій	horizon	l'horizon
момент сили	the moment of force	le moment de la force
нестійкий	unstable	instable

1	2	3
загальний	general (common)	total
плече сили	shoulder of force, force arm	l'épaule de la force, bras de force
площа опори	the area of a support	la place du support, surface d'appui
поступальний	forward	progressif
продовжити – продовжувати	to continue – to continue	continuer – continuer
рівновага	balance, equilibrium	l'équilibre
статика	statics	la statique
стійкість	stability	la stabilité
стійкий	stable	stable
центр симетрії	the center of symmetry	le centre de la symétrie
центр ваги тіла	center of gravity of a body	le centre de gravité du corps
годинна стрілка	hour arrow, hour hand	la fleche horaire

Статика – розділ механіки, у якому вивчають умови рівноваги тіл під дією прикладених сил.

Рівновага – це такий стан, при якому в інерціальній системі відліку тіло перебуває в стані спокою.

4.1. Умови рівноваги твердого тіла

4.1.1. Рівновага тіла, що не має осі обертання

Умова рівноваги тіла, що не має осі обертання, випливає з першого закону Ньютона: *тіло перебуває в рівновазі (не переміщується в просторі) якщо векторна сума \vec{F} усіх сил, які діють на тіло, дорівнює нулю*

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = 0. \quad (4.1)$$

Точка додатка результуючої сили \vec{F} є центром ваги тіла.

4.1.2. Рівновага тіла, що має закріплену (нерухому) вісь обертання

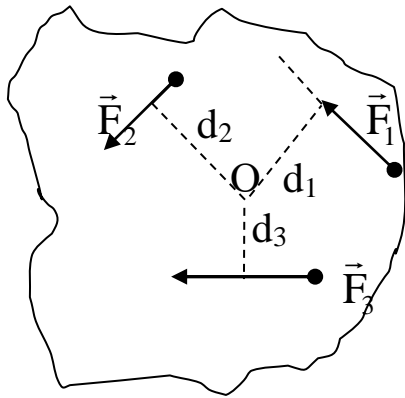


Рис. 4.1

Нехай закріплена (нерухома) вісь обертання проходить через центр ваги тіла (рис. 4.1). Сили, які діють на тіло, створюють моменти сил щодо осі обертання.

Момент сили M – це фізична величина, модуль якої дорівнює добутку сили (F) на плече сили

$$M = F \cdot d. \quad (4.2)$$

Плече сили – мінімальна відстань від осі обертання даного тіла до лінії дії сили (d).

Одиниця виміру моменту сили у міжнародній системі одиниць СІ – **Ньютон, помножений на метр (Н·м)**.

Момент сили вважається *позитивним*, якщо сила обертає тіло *по годинній стрілці*, і *негативним*, якщо сила обертає тіло *проти напрямку руху стрілки годинника*. Сформулюємо другу умову рівноваги твердих тіл.

Тіло, що має нерухому вісь обертання, перебуває в рівновазі (не обертається), якщо алгебраїчна сума моментів сил дорівнює нулю.

Для тіла на рис 4.1 правило моментів буде мати вигляд:

$$-M_1 - M_2 + M_3 = 0 \quad (4.3)$$

або
$$-F_1 d_1 - F_2 d_2 + F_3 d_3 = 0.$$

Момент сили – векторна фізична величина. Напрямок вектора моменту сили визначають за правилом правого гвинта (буравчика). **Якщо прикладена до тіла сила «обертає» ручку буравчика (голівку гвинта), то момент сили спрямований уздовж осі буравчика.**

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

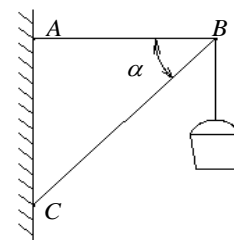
Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що вивчає статика?
2. Що таке плече сили?
3. Що таке момент сили?
2. Запишіть умови рівноваги для тіла, що не має осі обертання?
3. Що називається плечем сили, моментом сили?
4. Запишіть умови рівноваги для тіла, що має вісь обертання?
5. Сформулюйте правило моментів.
6. Запишіть загальну умову рівноваги твердого тіла.

Розв'яжіть задачі :

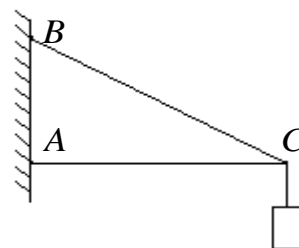
Задача 1. Знайти сили, які діють на стрижні АВ і ВР, якщо $\alpha = 60^\circ$, а маса тіла $m = 3$ кг.

Відповідь: $F_{AB} = 17,3$ Н; $F_{BC} = 34,6$ Н.



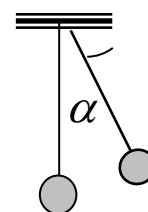
Задача 2. Стрижень має довжину $AC = 2$ м. Довжина троса $BC = 2,5$ м. У точці С до нього підвішений вантаж масою $m = 120$ кг. Знайти сили, які діють на трос F_{BC} і стрижень F_{AC} .

Відповідь: $F_{BC} = 2$ кН; $F_{AC} = 1,6$ кН.



Задача 3. Маленька кулька масою $m = 100$ г підвішена на нитці довжиною $l = 1$ м. Кульку відхиляють від вертикалі в положення, у якому на неї діє момент сили ваги щодо точки підвісу, рівний $M = 0,5$ Н·м. На який кут α у градусах від напрямку вертикалі відхилена кулька?

Відповідь: $\alpha = 30^\circ$.



4.2. ГІДРОАЕРОСТАТИКА

Гідроаеростатика – розділ фізики, у якому вивчають умови рівноваги рідин і газів, а також тіл, які в них поміщені. Важливою характеристикою речовини є її густина.

Густина речовини – це величина, яка чисельно дорівнює масі речовини m , що утримується в одиниці об'єму. Одиницею виміру густини ρ в міжнародній системі одиниць є кілограм, ділений на метр у кубі:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \left[\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]. \quad (4.4)$$

Питома вага – це фізична величина, яка чисельно рівна вазі одиниці об'єму речовини:

$$d = \frac{mg}{V}, \quad \left[d = \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \right]. \quad (4.5)$$

4.2.1. Тиск. Сила нормального тиску

Досвід свідчить, що дія сили \vec{F} залежить не тільки від її величини, але й від площі поверхні S , на яку вона діє. **Сила, що діє перпендикулярно (нормально) до поверхні, називається силою нормального тиску F_n .**

Тиск p – це фізична величина, яка чисельно рівна відношенню сили F_n нормального тиску, що діє на одиницю площі S :

$$p = \frac{F_n}{S}. \quad (4.6)$$

Одиницею вимірювання тиску в міжнародній системі одиниць СІ є паскаль (Па).

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

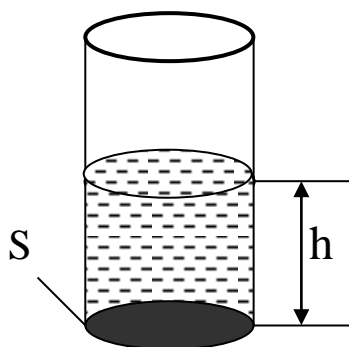


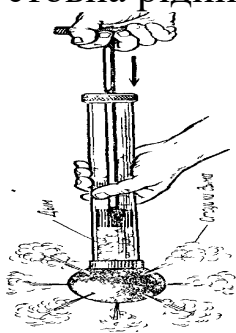
Рис. 4.2

Розрахуємо тиск стовпа рідини висотою h у посудині (рис. 4.2):

$$p_r = \frac{F_n}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho hg. \quad (4.6)$$

Тут сила нормального тиску F_n дорівнює вазі рідини, $m = \rho V$, об'єм води $V = Sh$. Тиск p стовпа рідини

(гидростатичний тиск) залежить від густини рідини ρ і висоти стовпа рідини h (або глибини).



Французький учений Блез Паскаль (1623 – 1662) встановив, що рідини і гази передають тиск в усіх напрямках *однаково* (рис. 4.3). Це відкриття Паскаль сформулював у вигляді закону, який пізніше одержав назву закон Паскаля:

рідина або газ передає зовнішній тиск в усіх напрямках однаково.

Рис.4.3

Атмосферний тиск

Земна куля оточена шаром повітря. Шар повітря, який оточує Земну кулю отримав назву – ***атмосфера***. Молекули атмосферного повітря притягуються до Землі і здійснюють тиск. Атмосферний тиск уперше виміряв італійський учений *Торрічеллі*. Він провів такий дослід: скляну трубку довжиною $l \approx 1$ м він заповнив ртуттю (рис. 4.4). Потім він перевернув трубку і опустив відкритим кінцем у посудину з ртуттю: частина ртуті вилілася, а в трубці залишився *стовп ртуті* висотою h близько 760 мм (рис. 4.5). Торрічеллі зрозумів, що атмосфера діє на відкриту поверхню ртуті в посудині і *компенсує (урівноважує) тиск стовпа ртуті в трубці*. Пізніше було встановлено, що ***на рівні моря*** тиск атмосфери $p_0 = 760$ мм рт. ст.

При збільшенні висоти над рівнем моря тиск атмосфери зменшується. Тиск атмосфери який дорівнює $p_0 = 760$ мм рт. ст. ***називається нормальним атмосферним тиском*** ($p_0 = 1$ атм).

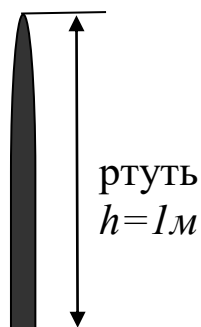


Рис. 4.4

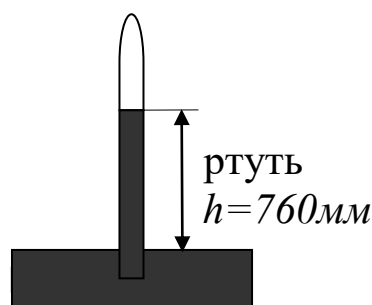


Рис. 4.5

Виразимо нормальний тиск атмосфери в міжнародній системі одиниць СІ за допомогою формули (4.6): $p_0 = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт.ст.} = 1,013 \times 10^5 \text{ Па}$, де тиск $1 \text{ мм.рт.ст.} = 133 \text{ Па}$.

4.2.2. Сполучені посудини

Сполучені посудини – це дві або кілька посудин, які з'єднані між собою в нижній частині (рис. 4.6, 4.7).

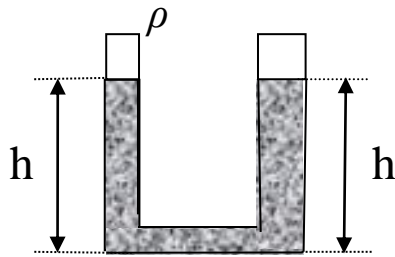


Рис. 4.6

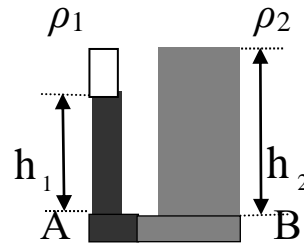


Рис. 4.7.

Якщо налити рідину в одну з посудин (рис. 4.6), то рідина в іншій посудині встановиться на тій же рівні (висоті).

Якщо налити в сполучені посудини рідини, що мають різну густину, то рівні рідин (висоти) у посудинах будуть не однакові (рис. 4.7). Висоту стовпів рідин позначимо h_1 і h_2 , а щільність рідин ρ_1 і ρ_2 . За законом Паскаля тиск рідин у посудинах повинен бути рівним. Тому:

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2. \quad (4.7)$$

З формули (4.7) випливає закон сполучених посудин.

Сформулюємо закон сполучених посудин:

висоти стовпів рідин у сполучених посудинах обернено пропорційні значенням густини цих рідин.

Запишемо математичний вираз закону:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (4.8)$$

Отже, якщо густина рідин однакова, то рівні рідин теж будуть однакові.

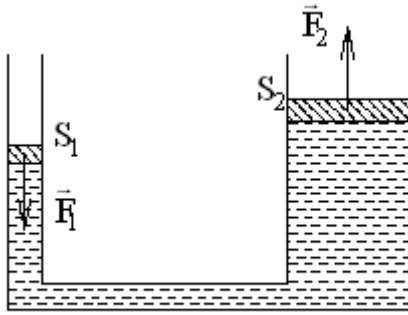


Рис. 4.8

Гідравлічний прес (рис. 4.8). – це пристрій, за допомогою якого виграють у силі. Він складається із двох циліндрів (сполучених посудів), які мають поршні різного перетину S_1 і S_2 , які з'єднані між собою. Тиск p , що робить сила F_1 на поршень з поперечним перерізом S_1 передається за законом Паскаля на великий поршень з перетином S_2

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}. \quad (4.8)$$

Гідравлічний прес дає вигоду у силі F_2 у стільки разів, у скільки разів площа великого поршня S_2 більше площі малого поршня S_1 . Гідравлічні преси і гідравлічні домкрати широко застосовуються у промисловості при обробці металів і різних матеріалів тиском.

4.2.3. Закон Архімеда. Умови плавання тіл

Розглянемо дію рідини на тіло, що у ній перебуває (занурене в рідину). Помістимо тіло у формі куба зі стороною a в рідину на глибину h_1 (рис. 4.9).

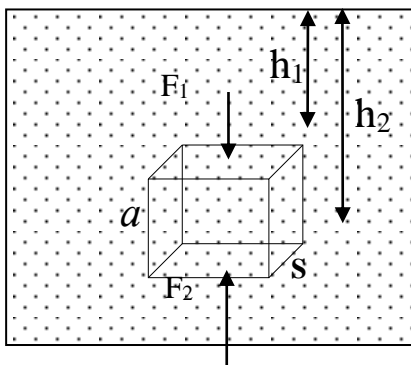


Рис. 4.9

З рис 4.9 видно, що на всі грані тіла діють сили нормального тиску рідини: $F_n = pS$. Сили, які діють на вертикальні грані, компенсуються. Оскільки верхня і нижня грані перебувають на різній глибині, результуюча цих сил дає силу Архімеда $F_A = F_2 - F_1 = (p_2 - p_1)S$.

З огляду на те, що площа грані $S = a^2$, а повний тиск на різних глибинах:

$$p_1 = p_o + \rho_p g h_1 \text{ і } p_2 = p_o + \rho_p g h_2,$$

одержимо формулу для **сили Архімеда**:

$$F_A = \rho_p g V, \quad (4.9)$$

де ρ_p – густина рідини; V – об'єм тієї частини тіла, що перебуває в рідині. Сформулюємо закон Архімеда:
на тіло, що занурено у рідину або газ, діє сила Архімеда, що дорівнює вазі витиснутої рідини або газу в об'ємі V зануреної частини тіла.

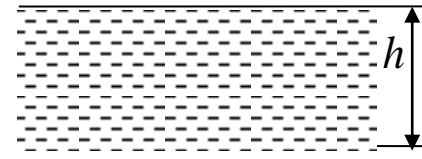

Умови плавання тіл: $F_A = mg$.

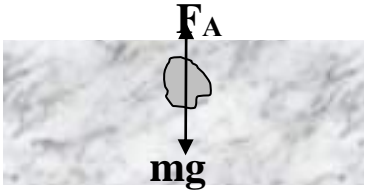
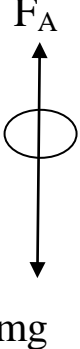
Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що вивчає гідроаеростатика?
2. Що називається густиною речовини?
3. У яких одиницях вимірюється густина речовини?
4. Що називається тиском?
5. Яка одиниця вимірювання тиску в системі одиниць СІ?
6. Запишіть формулу гідростатичного тиску.
7. Сформулюйте закон Паскаля.
8. Що таке нормальний атмосферний тиск?
9. Чому дорівнює нормальний атмосферний тиск?
10. За якою формулою визначається повний тиск у рідині?
11. Сформулюйте закон Архімеда.
12. Запишіть формулу для сили Архімеда.

Розв'яжіть задачі:

<p>Задача 1. Знайдіть тиск в озері на глибині $h = 4,5$ м, якщо густина води $\rho = 1000$ кг/м³, атмосферний тиск $p_0 = 100$ кПа.</p> <p style="text-align: right;">Відповідь: $p \approx 145$ кПа.</p>	 <p>The diagram shows a rectangular column of liquid with a dashed horizontal line at the top and a solid horizontal line at the bottom. A vertical double-headed arrow on the right side indicates the height of the column, labeled 'h'.</p>
<p>Задача 2. Надводна частина айсберга має об'єм $V_1 = 550$ м³. Густина льоду $\rho_1 = 920$ кг/м³, густина морської води $\rho_2 = 1030$ кг/м³. Знайдіть об'єм айсберга.</p> <p style="text-align: right;">Відповідь: $V = 1250$ м³.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of an iceberg floating in water. The iceberg is represented by a grey irregular shape. A horizontal line represents the water surface. The part of the iceberg above the water surface is labeled 'V1' and the part below is labeled 'V2'.</p>

<p>Задача 3. Яку силу F треба прикласти, щоб удержати у воді камінь масою $m = 10$ кг? Густина речовини каменю $\rho_1 = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³, а густина води $\rho_2 = 10^3$ кг/м³.</p> <p>Відповідь: $F = 61,5$ Н.</p>	
<p>Задача 4. Скляна кулька падає у воді з прискоренням $a = 5,8$ м/с². Знайдіть густину скла ρ_1, якщо густина води $\rho_2 = 10^3$ кг/м³ (опором води зневажити).</p> <p>Відповідь: $\rho_1 \approx 2450$ кг / м³.</p>	

5. МЕХАНІЧНА РОБОТА, ПОТУЖНІСТЬ, ЕНЕРГІЯ

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
вал	the shaft	l'arbre
ват	watt	watt
повернутися – повертатися	to come back	revenir – revenir
виконувати – виконати	to carry out – execute	accomplir – accomplir
джоуль	joule	joule
замкнений	closed, isolated	fermé
консервативний	conservative	conservateur
коефіцієнт корисної дії	efficiency	le rendement
механічна робота	mechanical work	le travail mécanique
потужність	power	la puissance
корисний	useful	utile
повний	complete, total	complet, total
втрата (чого?)	loss, waste	la perte
перешкоджати	to interfere, obstacle	empêcher, obstacler

1	2	3
розвивати	to develop	développer
зробити – робити	to make, to perform	faire, exécuter
збігатися	to coincide – to coincide	coincider
справедливо	fairly	justement
окремий випадок	particular special case	le cas particulier

5.1. Механічна робота. Потужність

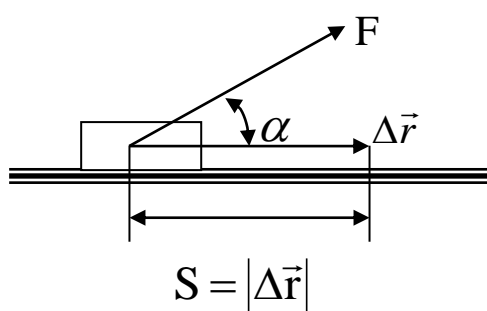


Рис.5.1

Механічна робота (A) – це скалярна фізична величина, яка чисельно дорівнює добутку модуля вектора сили на модуль вектора переміщення і косинус кута між ними (\vec{F} $\Delta \vec{r}$). При прямолінійному русі модуль переміщення дорівнює пройденому шляху $|\Delta \vec{r}| = S$, тому формулу роботи можна записати так:

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha. \quad (5.1)$$

Одиницею виміру роботи в міжнародній системі СІ є джоуль (Дж):

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} \Rightarrow [A] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Потужність (N) – це фізична величина, що дорівнює роботі A, яка виконується силою за одиницю часу:

$$N = \frac{A}{t}. \quad (5.2)$$

Одиницею вимірювання потужності в міжнародній системі СІ є ват (Вт):

$$[N] = \frac{\text{Дж}}{c} \Rightarrow [N] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{c^3} = \text{Вт}.$$

Якщо тіло рухається прямолінійно під дією сили, постійної за модулем, а напрямок її збігається з напрямком руху, то воно розвиває потужність, яку можна розрахувати за формулою:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S \cdot \cos \alpha}{t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha. \quad (5.3)$$

Для характеристики машин і механізмів використовують **коефіцієнт корисної дії** (ККД):

$$\eta = \frac{A_k}{A} < 1,$$

де A_k – корисна робота, що є характеристикою механізмів і машин; A – повна робота. ККД завжди менше одиниці, тому що $A > A_k$.

5.2. Енергія. Закон збереження енергії

Енергія – це універсальна міра різних форм руху і взаємодії всіх видів матерії, що характеризує і кількісні, і якісні зміни стану руху. Будь-яке тіло має енергію. Енергія характеризує здатність тіла виконувати роботу. Одиницею виміру енергії у міжнародній системі одиниць є джоуль (Дж). *Енергія є скалярна величина.* Якщо система тіл виконує роботу, то енергія системи зменшується:

$$A = -\Delta W. \quad (5.4)$$

Існує два види механічної енергії: кінетична енергія W_k і потенціальна енергія W_n .

• **Кінетична енергія W_k – це енергія, якою тіло або система тіл володіють внаслідок руху:**

$$W_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (5.5)$$

де m – маса тіла; v – швидкість руху тіла.

• **Потенціальна енергія W_n – це енергія, яку мають тіла, або система тіл, що взаємодіють на відстані.** Формула для

розрахунку потенціальної енергії тіла, яке піднято на висоту h над землею:

$$W_n = mgh . \quad (5.6)$$

Потенціальна енергія пружної деформації тіла (пружини) при розтяганні або стиску на величину x дорівнює:

$$W_n = \frac{kx^2}{2} . \quad (5.7)$$

За формулою (5.6) можна розрахувати потенціальну енергію тіла масою m , на висоті h над Землею. За допомогою формули (5.7) можна розрахувати енергію пружної деформації тіла (пружини) при розтяганні або стиску на величину X .

Повна механічна енергія тіла або системи тіл дорівнює сумі потенціальної W_n і кінетичної W_k енергій:

$$W = W_n + W_k . \quad (5.8)$$

Експерименти свідчать, що енергія замкнутої системи тіл зберігається. Сформулюємо Закон збереження механічної енергії:
у замкнутій системі тіл, які взаємодіють силами пружності і гравітації (консервативні сили) повна механічна енергія не змінюється. Запишемо формулу закону:

$$W = W_n + W_k = \text{const} . \quad (5.9)$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що називається механічною роботою?
2. Отримайте одиницю виміру роботи.
3. Що називається потужністю?
4. Напишіть формулу потужності.
5. Отримайте одиницю виміру потужності.
6. Що називається корисною роботою, повною роботою?
7. Запишіть формулу ККД.
8. Що називається енергією?
9. У яких одиницях вимірюється енергія?

10. Які види механічної енергії ви знаєте?

11. Сформулюйте закон збереження механічної енергії.

12. Запишіть формулу закону збереження механічної енергії.

Розв'яжіть задачі:

Задача 1. Яку роботу A виконує двигун автомобіля масою $m = 1,3$ т, якщо він проходить шлях $S = 75$ м за $t = 10$ с, а коефіцієнт опору при русі дорівнює $= 0,05$?

Відповідь: $A = 195$ кДж.

Задача 2. Підйомний кран приводиться в дію двигуном потужністю $N = 10$ квт. Скільки часу t потрібно, щоб повільно підняти тіло масою $m = 2$ т на висоту $h = 50$ м, якщо ККД двигуна 75% .

Відповідь: $t = 130$ с.

Задача 3. Імпульс тіла дорівнює $p = 8$ кг·м/с, а кінетична енергія $W_k = 16$ Дж. Знайти масу m і швидкість v тіла.

Відповідь: $m = 2$ кг; $v = 4$ м/с.

Задача 4. Яку роботу A потрібно виконати, щоб розтягти пружину жорсткістю $k = 40$ кН/м на $\Delta x = 0,5$ см?

Відповідь: $A = 0,5$ Дж.

Задача 5. Знайти потенціальну W_n і кінетичну енергію W_k тіла масою $m = 3$ кг, що вільно падає з висоти $h = 5$ м, на відстані $h_1 = 2$ м від поверхні Землі.

Відповідь: $W_n = 60$ Дж; $W_k = 90$ Дж.

Задача 6. Тіло кинули вертикально вгору зі швидкістю $v_0 = 10$ м/с. На якій висоті кінетична енергія тіла буде дорівнювати його потенціальній енергії $W_k = W_n$?

Відповідь: $h = 2,5$ м.

Задача 7. Тіло масою $m = 1$ кг, яке кинуте горизонтально з деякої висоти h зі швидкістю $v_x = 20$ м/с, упало на Землю через $t = 3$ с. Визначити кінетичну енергію W_k тіла в момент падіння.

Відповідь: $W_k = 650$ Дж.

Задача 8. Кулька масою $m = 0,1$ кг обертається в горизонтальній площині по окружності радіусом $R = 0,5$ м. Частота обертання

$n = 3$ об/с. Визначити енергію кульки W .

Відповідь: $W = 2$ Дж.

Задача 9. Тіло масою $m = 0,5$ кг, що знаходилося у стані спокою ($v_0 = 0$), падало із висоти $h = 10$ м. У поверхні Землі його швидкість становила $v = 12$ м/с. Яка була виконана робота A з подолання сили опору повітря?

Відповідь: $A \approx 14$ Дж.

Задача 10. Космічний корабель здійснює м'яку посадку на Місяць ($g_m = 1,6$ м/с²), рухаючись уповільнено у вертикальному напрямку (відносно Місяця) з постійним прискоренням $8,4$ м/с². Яка буде вага космонавта масою 70 кг, що перебуває в цьому кораблі?

Відповідь: 700 Н.

Задача 11. Яку роботу потрібно виконати, щоб однорідний стрижень довжиною 2 м і масою 100 кг, що лежить на землі поставити вертикально?

Відповідь: 1 кДж.

Задача 12. Яку роботу виконує двигун автомобіля «Жигулі» масою $1,3$ т при зрушенні з місця на перших 75 м шляху, якщо цю відстань автомобіль проходить за 10 с, а коефіцієнт опору руху дорівнює $0,05$?

Відповідь: 195 кДж.

Задача 13. У воді з глибини 5 м піднімають на поверхню камінь об'ємом $0,6$ м³. Густина каменю 2500 кг/м³. Чому дорівнює робота з підйому каменю.

Відповідь: 45 кДж.

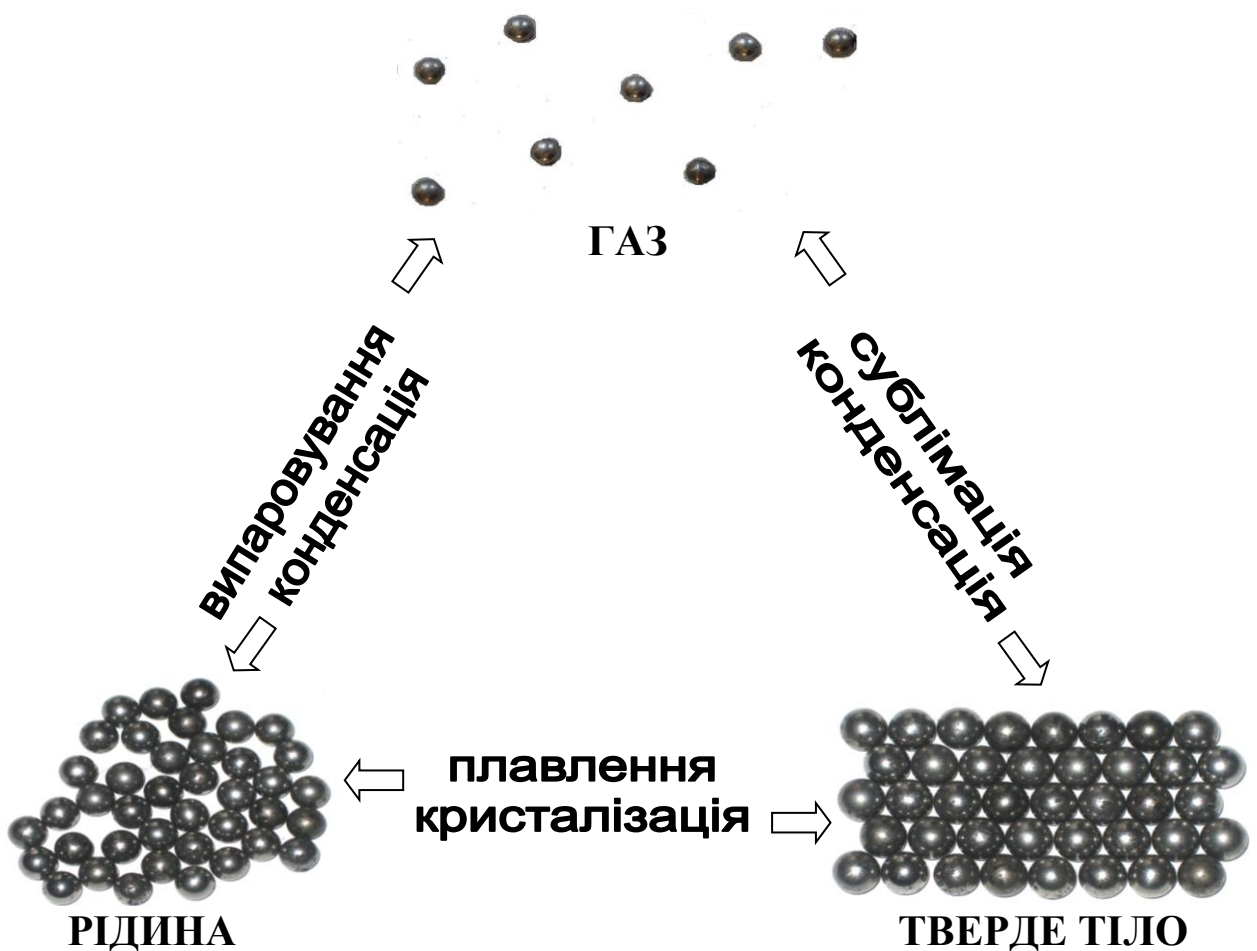
Задача 14. Яку роботу потрібно виконати, щоб розтягти пружину жорсткістю 40 кН/м на $0,5$ см?

Відповідь: $0,5$ Дж.

Задача 15. Корисна потужність насоса 10 кВт. Який об'єм води може підняти цей насос з глибини 18 м протягом однієї години?

Відповідь: 200 м³.

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА



Молекулярна фізика і термодинаміка – це розділи фізики, у яких вивчають властивості систем, які складаються з великої кількості дрібних частинок (атомів і молекул)

6. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Молекулярна фізика – це розділ фізики, у якому вивчають властивості речовини, з урахуванням характеристик дрібних частинок (атомів і молекул).

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
безладний	chaotic, random	desordonné
броунівський рух	brownian movement	le mouvement brownien
дискретний	discrete	discontinu
дифузія	diffusion	diffusion
запах	smell	l'odeur
інтенсивність	intensity	l'intensité
випаровування	evaporation	la vapeur
коливальний	oscillatory	oscillatoire
концентрація	concentration	la concentration
моль	mol	mole
молярна маса	molaric weight	la masse moleculaire
молярний об'єм	molar volume	le volume moleculaire
порушити-порушувати	to breake	violier, casser
наукова теорія	the scientific theory	la théorie scientifique
однорідний	homogeneous	homogéne
проникнення	penetration	la pénétration
розширення	expansion	l'élargissement, dilatation
сучасний	modern	moderne
здатність	ability, capacity	la capacité
зчеплення	coupling	l'enchainement, accollement

6.1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ)

Молекулярно-кінетична теорія (МКТ) – це наукова теорія, що пояснює фізичні властивості речовини на основі молекулярної будови, взаємодії і руху дрібних частинок (молекул і атомів).

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії:

- всі тіла складаються з дрібних частинок (молекул і атомів);
- частинки перебувають у безперервному хаотичному русі;
- між частинками будь-якої речовини діють сили взаємодії.

Атомом називається найменша частинка даного хімічного елемента. Молекулою називається найменша стійка частинка даної речовини, що має його основні хімічні властивості. Молекула може складатися з одного або декількох атомів.

Кожна речовина характеризується молярною масою M , що визначається за допомогою таблиці хімічних елементів Менделєєва.

Наприклад:

$Fe: M = 64 \times 10^{-3}$ кг/моль; $CO_2: M = 44 \times 10^{-3}$ кг/моль
 $N_2: M = 28 \times 10^{-3}$ кг/моль; $H_2O: M = 18 \times 10^{-3}$ кг/моль.

Одиницею кількості речовини є моль. **Моль – це кількість однорідної речовини, що містить стільки ж атомів або молекул, скільки утримується атомів в 0,012 кг вуглецю.** Число атомів або молекул, що містить один моль речовини називається числом Авогадро $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Кількість речовини (число молей ν) можна визначити за формулою:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_\mu} = \frac{N}{N_A}, \quad (6.1)$$

де m , V – маса і об'єм речовини, V_μ – молярний об'єм, M – молярна маса, N – число атомів або молекул, N_A – число Авогадро.

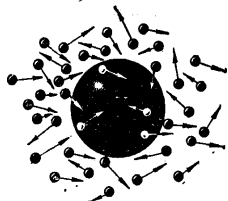


Рис. 6.1 **рідині (або газі) під дією ударів молекул** (рис. 6.1).

Експериментальним доказом існування молекул рідини або газу і доказом хаотичного теплового руху є броунівський рух. **Броунівський рух – це безперервний хаотичний рух твердих часток у рідині (або газі) під дією ударів молекул** (рис. 6.1).
Ще одним доказом руху частинок речовини є дифузія. **Дифузія – це фізичне явище, при якому молекули (або атоми) однієї речовини проходять між молекулами (або атомами) іншої речовини і навпаки (взаємна дифузія).** Дифузія спостерігається в газоподібних, рідких і твердих речовинах. Дифузія зростає з підвищенням температури.

Середній розмір атомів (діаметр) дуже малий: $\langle d \rangle \approx 3 \cdot 10^{-10}$ м. Сили $F(r)$ взаємодії між частинками виявляються на дуже малих r відстанях, у порівнянні з лінійними розмірами атомів.

Міжмолекулярні сили короткодійчі – вони діють між сусідніми молекулами і швидко зменшуються зі збільшенням відстані між молекулами.

Рух молекул газів, рідин і твердих тіл

У газах середня відстань між молекулами набагато більша, ніж розміри молекул газу. Взаємного притягання між молекулами газу практично немає. Молекули газу рухаються рівномірно і прямолінійно від зіткнення до зіткнення з іншими молекулами. При ударі змінюється напрямок і величина швидкості. Якщо молекули газу складаються з декількох атомів, то при зіткненні вони здобувають ще й обертальний рух. Таким чином *тепловий рух молекул газу є поступальним і обертальним*.

У рідинах молекули якийсь час перебувають у рівновазі, де вони коливаються, а потім переходять у нове положення рівноваги і т.д. Отже, тепловий рух молекул рідин в основному *коливальний*, а також *поступальний*.

У твердих тілах тепловий рух молекул – *коливальний*, але інколи молекули у твердих тілах можуть переходити з одного положення рівноваги в інше.

6.2. Ідеальний газ. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) ідеального газу

Молекули реального газу мають кінетичну і потенціальну енергію. У деяких випадках потенціальною енергією молекул зневажають.

Ідеальний газ – модель газу, у якій не враховують розміри молекул і їхню взаємодію на відстані. Реальні гази при не дуже низьких температурах і малих тисках за своїми властивостями близькі до ідеального газу.

Молекули газу рухаються хаотично. Стикаючись зі стінками посудини, молекули газу створюють тиск p :

$$p = \frac{F}{S}, \quad (6.1)$$

де F – сумарна сила ударів усіх молекул об стінки посудини, а S – площа поверхні посудини (балона).

Третя частина молекул ідеального газу рухається уздовж однієї із трьох координатних осей. З основних положень МКТ можна одержати основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. **Основне рівняння МКТ ідеального газу пов'язує параметри стану термодинамічної системи (p, V) з характеристиками молекул:**

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_{\text{кв}}^2, \quad (6.2)$$

де N – число молекул в об'ємі V , m_0 – маса молекули, $v_{\text{кв}}$ – середня квадратична швидкість молекул. У рівнянні (6.2) відношення $N/V = n$ – концентрація молекул. З огляду на те, що середня кінетична енергія молекул газу $E_{\text{кін}} = \frac{m_0 v^2}{2}$, з рівняння (6.2) одержимо формулу тиску ідеального газу:

$$p = \frac{2}{3} n E_k, \quad (6.3)$$

де E_k – середня кінетична енергія молекул газу.

Експерименти показали, що в стані термодинамічної (теплової) рівноваги для будь-яких газів $\frac{pV}{N} = \text{const}$. Тоді:

$$\frac{pV}{N} = \frac{1}{3} m_0 v_{\text{кв}}^2. \quad (6.4)$$

Отже, відношення $\frac{pV}{N} = \text{const}$ характеризує стан теплової (термодинамічної) рівноваги. Розмірність цієї величини – Джоуль. Введемо новий параметр T – абсолютну температуру, тоді:

$$\frac{2}{3} n E_k = kT, \quad (6.5)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ – стала Больцмана. З формули (6.5) видно, що середня кінетична енергія одноатомних молекул газу:

$$E_k = \frac{m v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT. \quad (6.6)$$

З формули (6.6) одержимо формулу для середньої квадратичної швидкості молекул ідеального газу:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \quad (6.7)$$

Фізичні процеси, які відбуваються при нагріванні або охолодженні тіл, зміні їхнього агрегатного стану, називають *теповими явищами*. Теплова (термодинамічна) рівновага системи характеризується *температурою*.

Температура – фізичний параметр, що характеризує тіла в стані теплової рівноваги. У стані теплової рівноваги температура всіх тіл однакова.

З формули (6.6) видно, що **абсолютна температура – це кількісна міра кінетичної енергії руху молекул (або атомів)**.

Для вимірювання температури застосовують прилад, що називається термометром.

У побуті для вимірювання температури використовують шкалу Цельсія – міжнародну практичну шкалу. Сота частина шкали Цельсія між 0°C і 100°C називається *градусом*. Порівнюючи температурні шкали, одержимо формулу:

$$T = t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}, \quad (6.8)$$

де T – температура в градусах Кельвіна; $t^{\circ}\text{C}$ – температура в градусах Цельсія. На шкалі Кельвіна всі температури позитивні, тому що відлік температур ведеться від нуля – 0K .

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Сформулюйте основні положення МКТ.
2. Що таке атом і молекула?
3. Чому дорівнює молярна маса речовин: NH_4 ; HCl ; H_2SO_4 ?
4. Запишіть формулу для обчислення кількості речовини.
5. Що таке число Авогадро?

6. Як обчислити масу молекули?
7. Який рух називають броунівським?
8. Що називається дифузією?
9. Що називається ідеальним газом?
10. Запишіть формулу кінетичної енергії молекул газу.
11. Запишіть формули середньої кінетичної енергії молекул.
12. Що називається термодинамічною температурою?
13. Який зв'язок між температурами за шкалою Цельсія і за шкалою Кельвіна?
14. Запишіть основне рівняння МКТ.

Розв'яжіть задачі:

Задача 1. Чому дорівнює середня квадратична швидкість руху молекул газу, якщо маса газу $m = 6$ кг, а об'єм $V = 5$ м³ при тиску $p = 200$ кПа?

Відповідь: $v = 710$ м/с.

Задача 2. Знайдіть концентрацію n молекул кисню, якщо тиск його $p = 0,2$ МПа, а середня квадратична швидкість молекул $v = 700$ м/с.

Відповідь: $n = 2,3 \cdot 10^{25}$ м⁻³.

Задача 3. Знайдіть середню кінетичну енергію молекули одноатомного газу при тиску $p = 20$ кПа. Концентрація молекул газу при цьому тиску становить $n = 3 \cdot 10^{25}$ м⁻³.

Відповідь: $W = 10^{-21}$ Дж.

Задача 4. У скільки разів збільшується тиск p газу в результаті зменшення його об'єму V у три рази і збільшенні середньої кінетичної енергії $\langle E_k \rangle$ у два рази?

Відповідь: у шість разів.

Задача 5. Який тиск p азоту, якщо середня квадратична швидкість $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500$ м/с його молекул, а його щільність $\rho = 1,35$ кг/м³?

Відповідь: $p = 0,11$ МПа.

Задача 6. Яка середня квадратична швидкість руху молекул ідеального газу масою 6 кг. Об'єм газу = 5 м³, тиск $p = 200$ кПа.

Відповідь: $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 710$ м/с.

6.3. Рівняння Менделєєва-Клапейрона

Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона) зв'язує макроскопічні параметри термодинамічної системи. Виразимо тиск газу через концентрацію n :

$$\frac{pV}{T} = const. \quad (6.9)$$

Запишемо тиск газу через концентрацію $n = N/V$, середню кінетичну енергію молекул ідеального газу і температуру:

$$p = \frac{2}{3} n E_k = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \cdot \frac{3}{2} kT, \quad (6.10)$$

де число молекул $N = \nu \cdot N_A$, число молів $\nu = m/M$. Тиск газу

$$p = \frac{\nu \cdot N_A kT}{V}. \quad (6.11)$$

Тут $N_A \cdot k = R$ – універсальна газова стала. Підставивши у формулу (6.1) універсальну газову сталу R , одержимо рівняння Менделєєва - Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (6.12)$$

Рівняння стану ідеального газу у вигляді формули (6.12) називається рівнянням Менделєєва-Клапейрона.

6.4. Ізопроееси у газах

Термодинамічною системою називається будь-яка фізична система, яка складається з великого числа атомів і молекул, які здійснюють неупорядкований тепловий рух і, взаємодіючи між собою, обмінюються енергією.

Будь-яка зміна в термодинамічній системі, яка пов'язана із зміною хоча б одного з термодинамічних параметрів (p , V , T) стану тіла системи, називається **термодинамічним процесом**.

Рівноважними називаються такі процеси, під час яких зміна стану системи відбувається дуже повільно і система проходить неперервний ряд нескінченно близьких рівноважних термодинамічних станів.

Ізопроцесами у газах називають термодинамічні процеси, які відбуваються при постійному значенні одного з параметрів стану системи (p , V , T). Розглянемо такі процеси.

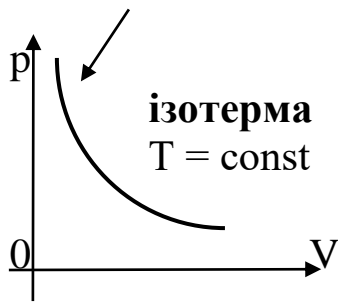


Рис. 6.2.

Ізотермічний процес у газах – це процес, що відбувається при постійній температурі $T = \text{const}$ (рис. 6.2). У цьому процесі параметри p і V змінюються обернено пропорційно

Закон Бойля – Маріотта: для даної маси газу (m) при постійній температурі (T) добуток тиску на об'єм є величина стала.

$$pV = \text{const}. \quad (6.13)$$

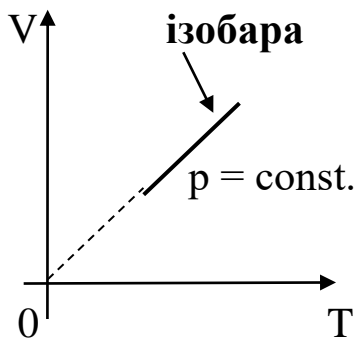


Рис. 6.3

Ізобаричний процес у газах – це процес, що відбувається при постійному тиску ($p = \text{const}$) (рис.6.3). У цьому процесі параметри V і T змінюються прямо пропорційно.

Закон Гей-Люссака: для даної маси газу при постійному тиску відношення об'єму до температури є величина стала.

$$\frac{V}{T} = \text{const}. \quad (6.14)$$

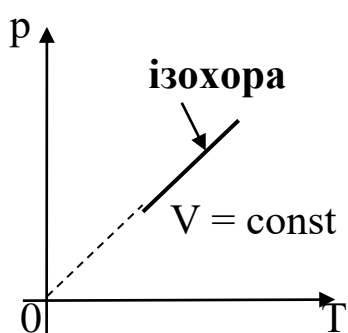


Рис.6.4

Ізохорний процес у газах – це процес, що відбувається при постійному об'ємі ($V = \text{const}$) (рис.6.4). У цьому процесі параметри p і T змінюються прямо пропорційно

Закон Шарля: для даної маси газу при постійному об'ємі відношення тиску до температури є величина стала

$$\frac{p}{T} = \text{const}. \quad (6.15)$$

На рис. 6.3 і 6.4 графіки починаються пунктирними лініями, тому що майже всі реальні гази при низьких температурах,

близьких до абсолютного нуля, перебувають у рідкому або твердому стані.

Абсолютний нуль – це температура, при якій тиск газу стає рівним нулю, тому що припиняється поступальний і обертовий рух молекул газу, але залишаються так звані «нульові» коливання молекул речовини.

Закон Дальтона

Англійський фізик Джон Дальтон відкрив закон, що був названий його ім'ям: *тиск p суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків газів, які входять до складу газу:*

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_N, \quad (6.16)$$

де p_1, p_2, \dots, p_N – парціальні тиски суміші газів.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

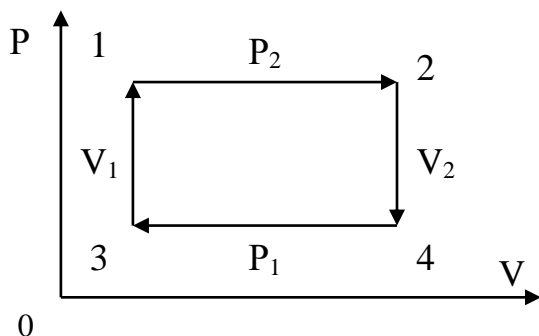
Вправа 2. Дайте відповіді на запитання та виконайте завдання:

1. Запишіть рівняння стану ідеального газу.
2. Запишіть формули для знаходження середньої квадратичної швидкості молекул газу.
3. Які процеси називаються термодинамічними?
4. Що таке ізопроцес?
5. Які ізопроцеси ви знаєте?
6. Запишіть формулу і сформулюйте закон Бойля - Маріотта.
7. Запишіть формулу і сформулюйте закон Гей - Люссака.
8. Запишіть формулу і сформулюйте закон Шарля.
9. Запишіть формулу і сформулюйте закон Дальтона.
10. Запишіть формулу об'єднаного газового закону.

Приклад розв'язання задачі:

Задача 1. З деякою масою ідеального газу зроблений круговий процес (цикл). На рисунку показаний графік цього процесу у координатах p - V . Покажіть цей процес у координатах p - T ; і V - T .

Дано:

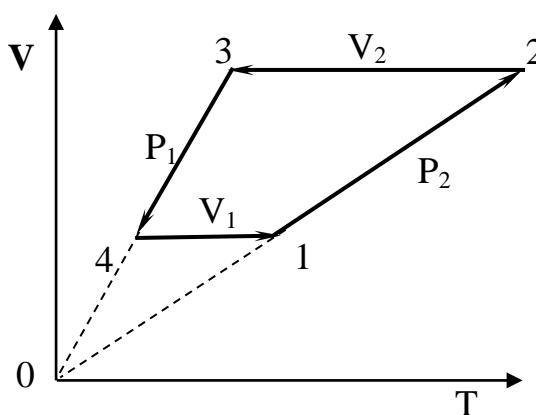
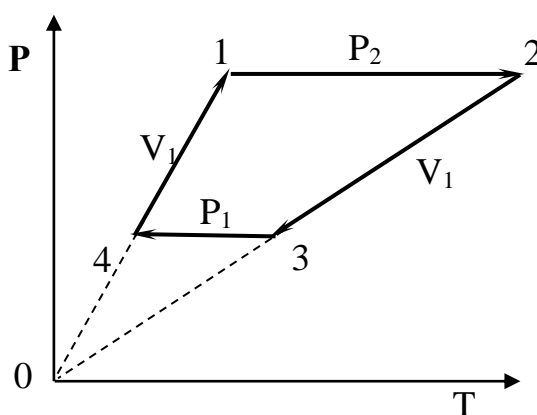


Розв'язання: на графіку кругового газового процесу показані дві ізобари і дві ізохори в координатах p - V , які потрібно побудувати у координатах p - T , а потім у координатах V - T .

Побудуємо графіки кругового процесу

1) у координатах p - T .

2) у координатах V - T .



Задача 2. Яка густина повітря ρ при температурі $t = 17^\circ\text{C}$ і тиску $p = 99,6 \text{ кПа}$? Молярна маса повітря $M = 0,029 \text{ кг/моль}$; газова стала $R = 8,3 \text{ Дж/(моль K)}$.

Відповідь: $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Задача 3. Яка кількість речовини утримується в газі, якщо при тиску $p = 200 \text{ кПа}$ і температурі $T = 240\text{K}$ об'єм дорівнює $V = 40 \text{ л}$?

Відповідь: $\nu = 4 \text{ моль}$.

Задача 4. Який тиск p стисненого повітря, що перебуває в балоні ємністю $V = 20 \text{ л}$ при $t = 12^\circ\text{C}$, якщо маса цього повітря $m = 2 \text{ кг}$, а молярна маса $M = 0,029 \text{ кг/моль}$?

Відповідь: $p = 8,2 \text{ МПа}$.

Задача 5. У балоні перебуває газ при температурі $t = 15^\circ\text{C}$. У скільки разів зменшиться тиск p газу, якщо 40% його вийде з балона, а температура при цьому понизиться на $\Delta t = 8^\circ\text{C}$?

Відповідь: $\eta = 1,7$.

Задача 6. На якій глибині h під водою кулька повітря має об'єм удвічі менший, ніж у поверхні води? Атмосферний тиск дорівнює $p = 100$ кПа, густина води $\rho = 1000$ кг/м³.

Відповідь: $h = 10$ м.

Задача 7. У скільки разів збільшиться тиск p газу в циліндрі, якщо поршень повільно опустити на одну третину висоти циліндра? Процес ізотермічний.

Відповідь: 1,5.

Задача 8. До якої температури T_2 потрібно нагріти повітря, взятого при температурі $T_1 = 293$ К, якщо в умовах ізобарного процесу його об'єм V збільшується вдвічі? Відповідь дати в градусах Цельсія.

Відповідь: $t = 313^\circ\text{C}$.

Задача 9. Газ нагрітий від $t_1 = 27^\circ\text{C}$ до $t_2 = 312^\circ\text{C}$. На скільки відсотків збільшився його об'єм V , якщо тиск p газу залишився незмінним?

Відповідь: 4%.

Задача 10. Газ, що перебуває в закритому балоні, нагріли від $T = 300$ К до $t = 87^\circ\text{C}$. На скільки відсотків η збільшиться тиск газу?

Відповідь: $\eta = 20\%$.

Задача 11. У скляній трубці, запаяній з одного кінця, перебуває повітря, замкнене стовпчиком ртуті. При 20°C довжина замкненого повітряного стовпчика була 180 мм. При опусканні трубки в посудину з гарячою водою, що має температуру 80°C , довжина повітряного стовпа збільшилася до 217 мм. Чому дорівнює значення коефіцієнта об'ємного розширення повітря?

Відповідь: $0,0037$ м⁻¹.

Задача 12. Водяний павук сріблянка будує у воді повітряний будиночок, переносячи на лапках і черевці пухирці атмосферного повітря і поміщаючи їх під купол павутини, прикріпленої до водяних рослин. Скільки рейсів треба зробити павукові, щоб на глибині 50 см побудувати будиночок об'ємом 50 см³, якщо щораз він бере 5 мм³ повітря при атмосферному тиску?

Відповідь: 210.

7 ТЕРМОДИНАМІКА

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
внутрішній	internal	intérieur
гарячий	hot (it)	chaud
підвищуватися	to rise – rise	s'élèver, monter
знижуватися	to lower, to fall	baisser
тепловий баланс	thermal balance	la balance (bilan) thermique
термодинаміка	thermodynamics	la thermodynamique
термодинамічна система	thermodynamic system	le système thermodynamique
питома теплоємність	specific heat	chaleur spécifique
холодний	cold	froid

Термодинаміка – це розділ фізики, у якому вивчають теплові явища в газах, рідинах і твердих тілах на основі процесів перетворення енергії.

7.1. Основні поняття термодинаміки

7.1.1. Внутрішня енергія

Молекули і атоми речовини безупинно рухаються і взаємодіють між собою, тому речовина має внутрішню енергію.

Внутрішня енергія системи U – це сума кінетичних E_i^k і потенціальних E_i^n енергій всіх частинок (молекул або атомів), які утворюють систему

$$U = \sum_{s=1}^n E_s^k + \sum_{i=1}^n E_i^n \dots \quad (7.1)$$

Кінетичну енергією E_i^k частинки і тіла набувають унаслідок руху, а потенціальну E_i^n – внаслідок взаємодії між собою.

Внутрішня енергія ідеального газу дорівнює добутку числа молекул на середню кінетичну енергію однієї молекули:

$$U = E^k \cdot N = \frac{3}{2} kT \cdot N_A \cdot \nu. \quad (7.2)$$

Підставимо $\nu = m/M$. Тоді внутрішня енергія ідеального газу

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT, \quad (7.3)$$

де $R = \kappa \cdot N_A$ – універсальна газова стала.

З формули (7.3) видно, що внутрішня енергія ідеального газу і її зміна ΔU залежать тільки від температури.

7.1.2. Робота ідеального газу

Розглянемо процес розширення газу в циліндрі під поршнем при постійному тиску (рис. 7.1). Робота газу:

$$A = F \cdot \Delta h = P \cdot \Delta V. \quad (7.4)$$

Робота газу при постійному тиску дорівнює добутку тиску на зміну об'єму.

Якщо тиск газу змінюється, то робота дорівнює сумі робіт при малих змінах об'єму V :

$$A = \sum_{i=1}^n p_i \Delta V_i. \quad (7.5)$$

Якщо термодинамічна система тіл виконує роботу, то внутрішня енергія зменшується ($A = -\Delta U$). Робота над системою приводить до збільшення внутрішньої енергії термодинамічної системи:

$$(\Delta U = -A).$$

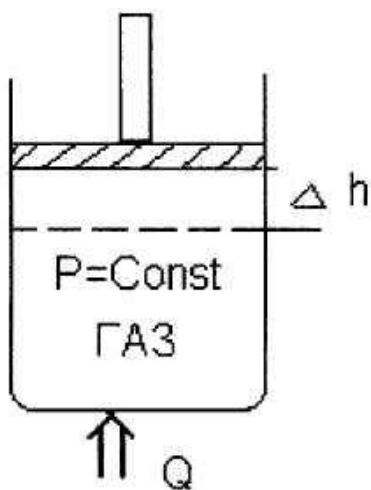


Рис. 7.1.

Отже, внутрішню енергію термодинамічної системи можна змінити або шляхом виконання роботи, або шляхом теплопередачі (теплообміну).

Теплопередача (теплообмін) – це процес зміни внутрішньої енергії ΔU термодинамічної системи без виконання роботи.

Мірою зміни внутрішньої енергії ΔU при теплопередачі є кількість теплоти Q . Важливою фізичною характеристикою речовини є теплоємність. Загальна теплоємність будь-якого тіла – кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла на один градус.

Питоною теплоємністю речовини називається величина, чисельно рівна кількості теплоти Q , яку необхідно передати одиниці маси ($m=1$ кг) речовини для нагрівання його на один Кельвін ($\Delta T = 1\text{K}$).

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}; \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (7.6)$$

За формулою (7.6) можна обчислити кількість теплоти Q , яка потрібна для нагрівання будь-якого тіла.

7.2. Перший закон термодинаміки

Сформулюємо закон збереження енергії в термодинамічних процесах.

Кількість теплоти Q , що передана системі (тілу), дорівнює сумі зміни її внутрішньої енергії ΔU і роботі A системи проти зовнішніх сил:

$$Q = \Delta U + A. \quad (7.7)$$

Застосуємо перший закон термодинаміки до ізопроцесів у газах.

1. При ізотермічному розширенні ($m = \text{const}$, $T = \text{const}$) зміна внутрішньої енергії газу дорівнює нулю ($\Delta U = 0$), тому що ($\Delta T = 0$). Передана газу кількість теплоти Q при ізотермічному процесі іде на виконання роботи розширення газу: $Q = A$.

2. При ізобарному розширенні ($m = \text{const}$, $p = \text{const}$) газ нагрівається і виконує роботу: $Q = \Delta U + A$.

3. При ізохорному нагріванні ($m = \text{const}$, $V = \text{const}$) робота газу дорівнює нулю ($A=0$). Передана системі (газу) кількість теплоти Q іде на збільшення внутрішньої енергії: $Q = \Delta U$.

4. Адіабатичним (адіабатним) процесом називається термодинамічний процес, що відбувається в системі без теплообміну із зовнішнім середовищем: $Q = 0$.

$$A = -\Delta U \quad \text{або} \quad \Delta U = -A. \quad (7.8)$$

З формули (7.8) випливає, що адіабатичне розширення газу відбувається за рахунок зменшення внутрішньої енергії газу, а робота зовнішніх сил ($-A$) над системою приводить до збільшення внутрішньої енергії системи.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що вивчає термодинаміка?
2. Що називається термодинамічною системою?
3. Які параметри характеризують термодинамічні системи?
4. Що називається внутрішньою енергією термодинамічної системи?
5. Що називається теплопередачею?
6. Яким способом ще можна змінити внутрішню енергію системи?
7. Що називається питомою теплоємністю речовини?
8. У яких одиницях вимірюється питома теплоємність?
9. За якою формулою можна розрахувати зміну внутрішньої енергії термодинамічної системи?
10. Сформулюйте перший закон термодинаміки.
11. Застосуйте перший закон термодинаміки до ізопроцесів.
12. Що називається адіабатичним процесом?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Одержіть формулу для внутрішньої енергії U одноатомного ідеального газу, що займає об'єм V при температурі T , якщо концентрація молекул n ?

Відповідь: $U = (3/2) nkTV$.

Задача 2. Змішали $m_1 = 39$ л води при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ і $m_2 = 21$ л при $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Визначити температуру суміші θ .

Відповідь: $\theta = 307\text{K}$.

Задача 3. Залізне тіло масою $m = 2$ кг мало температуру $T_1 = 400\text{K}$. На скільки зменшилася його внутрішня енергія U_2 при зменшенні його температури на 25 %. Питома теплоємність $c_3 = 460$ Дж/кг К.

Відповідь: $U_2 = 230$ Дж.

Задача 4. На яку величину загальна теплоємність заліза масою $m_1 = 0,5$ кг відрізняється від свинцю масою $m_2 = 1$ кг, якщо їхні питомі теплоємності відповідно рівні $C_1 = 460$ Дж/кг К і $C_2 = 130$ Дж/кг К.

Відповідь: $\Delta C = 100$ Дж/К.

Задача 5. Змішали $m_1 = 6$ кг води при температурі $t_1 = 42^\circ \text{C}$, $m_2 = 4$ кг води при температурі $T_2 = 345\text{K}$ и $m_3 = 20$ кг води при $t_3 = 18^\circ \text{C}$. Визначити температуру суміші θ .

Відповідь: $\theta = 303\text{K}$.

7.3. Властивості рідини

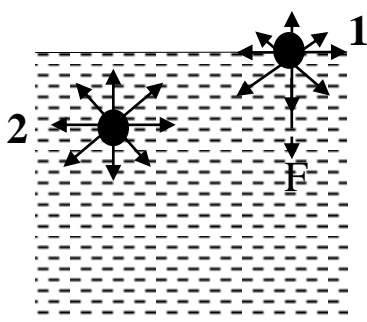


Рис. 7.2

Між молекулами рідини діють сили притягання і відштовхування. На поверхні рідини (1) сили, які діють на молекули з боку інших молекул угору менші (малі стрілки), ніж сили, які діють униз (рис. 7.2). Тому поблизу поверхні молекули мають додаткову потенціальну енергію.

При переміщенні молекули з об'єму рідини на поверхню молекула виконує роботу, яка іде на збільшення *поверхневої енергії рідини* $W_{\text{пов}}$.

Коефіцієнт поверхневого натягу σ дорівнює роботі ΔA (або поверхневої потенціальної енергії $\Delta W_{\text{нов}}$), що необхідна для ізотермічного збільшення площі ΔS поверхні рідини на одиницю.

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} = \frac{\Delta W_{\text{нов}}}{\Delta S}. \quad (7.9)$$

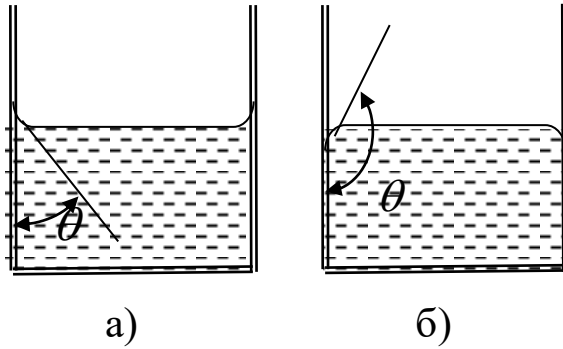
Якщо поверхня рідини обмежена *стінками посудини*, то коефіцієнт поверхневого натягу *чисельно дорівнює силі F , що діє на одиницю довжини ℓ периметра змочування. Ця сила спрямована перпендикулярно до периметра контакту:*

$$\sigma = \frac{F}{\ell}. \quad (7.10)$$

Одиниця вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу σ у міжнародній системі одиниць – $\text{H}/\text{м}$ або $\text{Дж}/\text{м}^2$.

Зменшення площі поверхні рідини зменшує її поверхневу енергію $\Delta W_{\text{нов}}$. Умовою стану рівноваги рідини, як і будь-якого тіла, є

мінімум потенційної поверхневої енергії. Тому у стані невагомості краплі води приймають форму кулі. На межі твердого тіла і рідини спостерігається явище змочування або незмочування (рис. 7.3).



Явище змочування характеризується **крайовим кутом θ** між стінками посудини і рідиною. Якщо має місце явище змочування, то **крайовий кут гострий: $0 \leq \theta < \pi/2$** (рис. 7.3 а). Для рідин, що **не змочують** тверде тіло, **крайовий кут тупий: $\pi/2 < \theta < \pi$** . (рис. 7.3 б).

Рис. 7.3

Явища змочування і незмочування пояснюються різницею сил притягання між молекулами стінок посудини і рідини.

Скривлення поверхні рідини створює **додатковий тиск** на рідину порівняно з тиском під плоскою поверхнею. **Додатковий тиск Δp визначається за формулою Лапласа:**

$$\Delta p = \pm \frac{2\sigma}{R}, \quad (7.11)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу (R – радіус сферичної поверхні рідини).

Вузькі циліндричні трубки діаметром менше міліметра називаються капілярами. Рівень рідини в капілярі радіуса r вище або нижче, ніж у сполученої з ним широкій посудині на висоту h (рис. 7.4). Ця різниця висот рівней рідини називається **капілярними явищами**. Обчислимо висоту стовпа рідини в капілярі. Гідростатичний тиск стовпа рідини дорівнює додатковому тиску скривленої поверхні Δp (7.11):

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho gh \Rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\rho g r}, \quad (7.12)$$

де θ – крайовий кут, r – радіус капіляра.

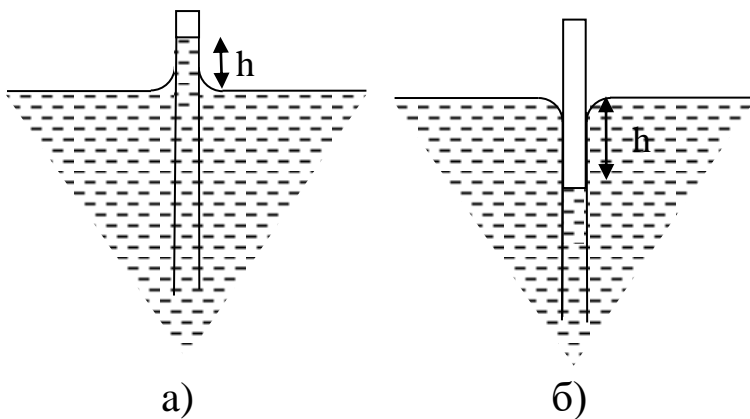


Рис. 7.4

Явищем змочування пояснюється *гігроскопічність* цілого ряду різних матеріалів – це властивість деяких тіл вбирати вологу: вата, бинти, тканини, ґрунт, бетон та інші матеріали.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх .

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Запишіть формули для коефіцієнта поверхневого натягу.
2. Дайте визначення коефіцієнта поверхневого натягу.
3. Як проявляється явище змочування?
4. Чим пояснюють наявність крайових кутів?
5. За якою формулою визначається додатковий тиск на рідину?
6. Що називається капілярами?
7. Які явища називаються капілярними?

Задачі для розв'язання:

Задача 1. Знайдіть різницю рівнів рідини Δh у двох капілярних трубках, які занурені в рідину. Густина рідини $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$. Внутрішні діаметри капілярів $d_1 = 0,4 \text{ мм}$ і $d_2 = 1 \text{ мм}$. Коефіцієнт поверхневого натягу рідини $\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

Відповідь: $\Delta h = 16,8 \text{ мм}$.

Задача 2. Мильна вода витікає з піпетки по краплях. У момент відриву краплі діаметр її шийки дорівнює $d = 1 \text{ мм}$. Маса краплі $m = 0,0129 \text{ г}$. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води.

Відповідь: $\sigma = 4,05 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$.

Задача 3. Для визначення коефіцієнта поверхневого натягу σ води була використана піпетка з діаметром вихідного отвору $d = 2$ мм. Маса $n = 40$ крапель дорівнювала $m = 1,9$ г. Чому дорівнює коефіцієнт поверхневого натягу води σ ?

Відповідь: $\sigma = 74$ мН /м.

Задача 4. У капілярній трубці діаметром $d = 1$ мм рідина піднялася на висоту $h = 11$ мм. Знайти густину ρ рідини, якщо коефіцієнт поверхневого натягу $\sigma = 22$ мН /м.

Відповідь: $\rho = 820$ кг/м³.

7.3. Зміна агрегатного стану речовини

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
аморфне тіло	amorphous of a body	amorphe du corps
анізотропія	anisotropy	anisotropie
ізотропія	isotropy	isotropie
кристалічна решітка	crystal lattice	le réseau cristallin
кристалічний	crystal	cristallin
навколишнє середовище	ambient medium	l'environnement,
плавлення	melting, fusion	fusion
полікристал	polycrystal	polycrystale
зруйнувати – руйнувати	collapses, is blasted	est détruit
питома теплота плавлення	latent heat of fusion	la chaleur latente de fusion

Більшість твердих тіл є *кристалічними*. У кристалах атоми утворюють у просторі кристалічну решітку.

Плавленням твердих тіл називається перехід речовини з твердого (кристалічного) стану в рідке. Плавлення відбувається при постійній температурі $T_{пл}$, яка називається *температурою плавлення*. При температурі плавлення тіло перебуває одночасно у твердому і рідкому станах. Вся кількість теплоти Q , що підводиться до твердого тіла при плавленні, йде на руйнування кристалічної решітки, тому тіла плавляться при постійній температурі.

Питомою теплотою плавлення λ називається величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти Q , яка необхідна для переходу одиниці маси m кристалічної речовини в рідкий стан при температурі плавлення ($T_{пл.}$):

$$\lambda = \frac{Q}{m}. \quad (7.13)$$

Одиниця виміру питомої теплоти плавлення Дж/кг.

Перехід речовини з рідкого у твердий стан називається кристалізацією. Цей процес проходить при постійній температурі кристалізації $T_{крист.}$, яка дорівнює температурі плавлення $T_{пл.}$. Питома теплота кристалізації λ дорівнює питомій теплоті плавлення.

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називається *паротворенням*. *Паротворення, що відбувається при будь-якій температурі з вільної поверхні рідини, називається випаровуванням*. Молекули, які вилітають при випаровуванні, називаються паром даної рідини. Випаровування з твердого стану називається *сублімацією*.

При випаровуванні з рідини вилітають молекули, які мають найбільшу кінетичну енергію, тому рідина охолоджується. Якщо випаровування відбувається в закритій посудині, то через якийсь час *наступає динамічна (рухлива) рівновага* між процесами випаровування і конденсації. Конденсація – процес перетворення пари в рідину. При рівновазі кількість молекул, які переходять у пару, дорівнює кількості молекул які переходять з пари у рідину. *Пара, що перебуває в динамічній рівновазі зі своєю рідиною, називається насичуючим (насиченим) паром*.

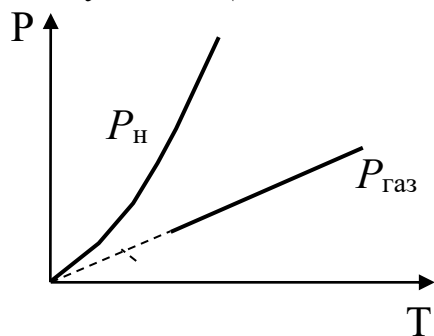


Рис. 7.5

Тиск насичуючої пари p_n залежить від температури і не залежить від вільного від рідини об'єму посудини. Тиск насиченої пари зростає зі збільшенням його температури. На рис. 7.5 представлені графіки залежності тиску насиченої пари (p_n) та ідеального газу ($p_{газ}$) залежно від температури пару або газу.

Кипінням називається процес інтенсивного паротворення не тільки з вільної поверхні, але й з усього об'єму рідини. Рідина випаровується в бульбашки пари, які утворюються при кипінні. Температурою (точкою) кипіння називається температура рідини, при якій тиск її насиченої пари (P_n) не набагато перевищує зовнішній тиск p :

$$P_n \geq p + \frac{2\sigma}{R}. \quad (7.14)$$

У процесі кипіння температура рідини залишається постійною. **Питомою теплотою паротворення r називається величина, чисельно рівна кількості теплоти Q , яка необхідна для перетворення в пару одиниці маси m рідини при температурі кипіння:**

$$r = \frac{Q}{m}. \quad (7.15)$$

Одиниця вимірювання питомої теплоти паротворення – Дж/кг. При зворотному процесі (конденсації) виділяється та сама кількість теплоти Q , що й при паротворенні.

Фазою називається термодинамічно рівноважний стан речовини, що відрізняється за своїми фізичними властивостями від інших можливих рівноважних станів тієї ж речовини. Наприклад, якщо в закритій посудині перебуває вода – система є двофазною: *рідка фаза* – вода і *газоподібна фаза* – насичена пара. Якщо у воду кинути шматочки льоду, то система стане трифазною.

Фазовий перехід – це перехід речовини з однієї фази в іншу. Фазовий перехід завжди пов'язаний зі змінами властивостей речовини. Приклад фазового переходу – зміна агрегатного стану речовини (плавлення, кристалізація, кипіння і тд.). Такі фазові переходи супроводжуються поглинанням або виділенням деякої кількості теплоти.

При згорянні палива виділяється теплова енергія. Паливо характеризується *питомою теплотою згорання:*

$$q = \frac{Q}{m}. \quad (7.16)$$

Питома теплота згоряння палива чисельно дорівнює кількості теплоти Q , що виділяється при повному згорянні одиниці маси палива. Одиниця виміру – Дж/кг.

Нагрівальні прилади характеризуються коефіцієнтом корисної дії (ККД):

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_z} \quad (7.17)$$

де Q_n – корисно використана теплота; Q_z – витрачена теплота.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що називається кристалом?
2. Що називається плавленням, кристалізацією? Запишіть формули для питомої теплоти плавлення, кристалізації.
3. Що називається паротворенням, конденсацією?
4. Що таке пара? Які властивості насиченої пари?
5. Що називається питомою теплою паротворення, конденсації?
6. Що називається температурою кипіння, плавлення, кристалізації?
7. Що називається фазою? Наведіть приклади.
8. При яких фазових переходах поглинається теплота? Виділяється теплота? Чому?
9. Чому під час снігопаду температура повітря підвищується?

Задачі для розв'язання:

Задача 1. В алюмінієвий калориметр (склянка) масою $m_1 = 0,2$ кг, що містить $m_2 = 340$ г води при температурі $t_1 = 23,5^\circ\text{C}$, опустили $m_3 = 81,5$ г льоду при 0°C . Весь лід розплавився. Знайти кінцеву температуру θ . Питома теплоємність алюмінію $c_1 = 920$ Дж/кг К.

Відповідь: $\theta = 5,4^\circ\text{C}$.

Завдання 2. Скільки теплоти Q виділиться при конденсації $m = 200$ г водяної пари, що має температуру $t_1 = 100^\circ\text{C}$ і при охолодженні водяного конденсату до $t_2 = 20^\circ\text{C}$? Питома теплота паротворення води $r = 2,26$ Мдж/кг.

Відповідь: $Q = 519$ кДж.

Задача 3. У посудину, що містить $m_1 = 400$ г води при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$, впускають $m_2 = 10$ г пари при $t_2 = 100^\circ\text{C}$, яка перетворюється у воду. Визначити кінцеву температуру θ води. Теплоємністю посудини і втратами тепла зневажити.

Відповідь: $\theta = 32^\circ\text{C}$.

Задача 4. Алюмінієвий калориметр масою $m_1 = 50$ г містить $m_2 = 250$ г води при $t_2 = 16^\circ\text{C}$. Яку кількість пари m_3 варто впустити у калориметр, щоб його температура підвищилася до $t_3 = 90^\circ\text{C}$?

Відповідь: $m_3 = 35$ г.

Задача 5. Яку кількість теплоти Q потрібно затратити, щоб $m_1 = 6$ кг льоду при $t_1 = -20^\circ\text{C}$ перетворити в пару з температурою $t_2 = 100^\circ\text{C}$?

Відповідь: $Q = 18,3$ МДж.

Задача 6. У посудину, що містить $m_1 = 0,8$ л води при $t_1 = 15^\circ\text{C}$, вилили $m_2 = 0,2$ кг розплавленого свинцю при температурі $t_2 = 327^\circ\text{C}$. При цьому $m_3 = 1$ г води перетворилася у пару. До якої температури θ нагрілася вода в посудині? Питома теплоємність свинцю $C = 120$ Дж/кг · К, його питома теплота плавлення $\lambda_{\text{л}} = 25$ кДж/кг.

Відповідь: $\theta = 18^\circ\text{C}$.

Задача 7. Скільки сталі m_1 , узятої при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ можна розплавити в плавильній печі з ККД 50 %, якщо спалити $m_2 = 2$ т кам'яного вугілля? Питома теплоємність сталі $C = 460$ Дж/кг · К, а її питома теплота плавлення $\lambda_{\text{л}} = 82$ кДж/кг при точці плавлення $t = 1400^\circ\text{C}$, питома теплота згоряння вугілля $q = 29$ МДж/кг.

Відповідь: $m_1 = 40$ т.

7.5. Вологість повітря

Абсолютною вологістю повітря називається густина ρ водяної пари у повітрі при даній температурі: $[\rho] = \text{г} / \text{м}^3$.

Відносною вологістю повітря φ називається відношення абсолютної вологості ρ до густини водяної пари $\rho_{\text{н}}$, яка необхідна для насичення повітря при даній температурі

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\%. \quad (7.18)$$

Відносну вологість виражають у відсотках (%). У метеорології відносну вологість визначають через відношення тисків:

$$\varphi = \frac{P}{p_n} 100\% , \quad (7.19)$$

де P – тиск водяної пари, що перебуває в повітрі при даній температурі; P_n – тиск пари, що насичував би повітря при даній температурі.

Точкою роси називається температура, при якій водяні пари, що не насичували раніше повітря, стають такими, що насичують.

7.6. Тепловий двигун

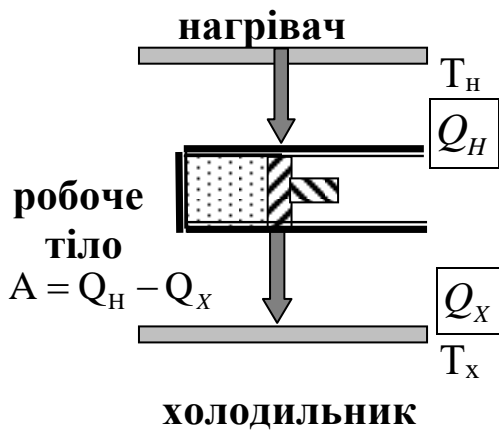


Рис. 7.6

Деяка кількість теплоти Q_x віддається холодильнику. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{A_k}{Q_n} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} , \quad (7.20)$$

де $A_k = Q_n - Q_x$ – корисна робота, що виконується робочим тілом. ККД ідеального теплового двигуна, що працює за циклом Карно, не залежить від природи робочого тіла і визначається тільки температурами нагрівача T_n і холодильника T_x :

$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} . \quad (7.21)$$

Тепловими двигунами є: парові машини, парові і газові турбіни, реактивні двигуни, двигуни внутрішнього згоряння і т. ін.

Вправа 1. Випишіть нові слова з тексту і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що називається абсолютною і відносною вологістю повітря?
2. Запишіть формулу відносної вологості повітря.
3. Що називається точкою роси?
4. Що називається тепловим двигуном? Назвіть основні частини теплового двигуна.
5. Запишіть формулу ККД теплового двигуна.
6. Наведіть приклади теплових двигунів?

Задачі для розв'язання:

Задача 1. Яка маса m водяного пару у кімнаті $5 \times 7 \times 3 \text{ м}^3$, якщо при температурі $t = 15^\circ\text{C}$ відносна вологість водяного пару $\varphi = 50\%$? Густина насиченого пару при даній температурі $\rho = 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Відповідь: $m = 672 \text{ г}$.

Задача 2. Чому при зниженні температури повітря в кімнаті починає відчуватися вологість?

Задача 3. Яку корисну роботу A виконав тепловий двигун з ККД $\eta = 25\%$, якщо холодильнику було передано $Q_2 = 300 \text{ Дж}$ теплоти?

Відповідь: $A = 100 \text{ Дж}$.

Задача 4. У тепловому двигуні $\eta = 30\%$ теплоти, отриманої від нагрівача, віддається холодильнику. Температура нагрівача $T_1 = 450 \text{ К}$. Визначити температуру холодильника T_2 .

Відповідь: $T_2 = 315 \text{ К}$.

Задача 5. Температура холодильника $T_2 = 27^\circ\text{C}$, температура нагрівача $T_1 = 600 \text{ К}$. У скільки разів збільшиться максимальний ККД (η) теплового двигуна, якщо температуру нагрівача підвищити вдвічі?

Відповідь: $\eta = 1,5$.

Задача 6 В ідеальному тепловому двигуні кількість тепла, що отримана від нагрівача $Q = 1000$ Дж. Корисна робота $A = 300$ Дж. Визначити ККД двигуна (η) і температуру T_1 нагрівача, якщо температура холодильника $T_2 = 280$.

Відповідь: $\eta = 30\%$; $T_1 = 673^0$ С.

Задача 7. Знайти ККД (η) тракторного двигуна, що розвиває потужність $N = 110$ квт і витрачає за одну годину $m = 28$ кг дизельного палива. Питома теплота згоряння дизельного палива $q = 42$ МДж /кг.

Відповідь: $\eta = 34\%$.

Задача 8. Яку потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо при швидкості $v = 108$ км /г витрата бензину $V = 3,7$ л на 100 км шляху, а ККД двигуна $\eta = 25\%$? Густина бензину $\rho = 700$ кг/м³, а питома теплота згоряння бензину $q = 46$ Мдж/кг.

Відповідь: $N = 8,9$ квт.

Задача 9. Тиск повітря в автомобільній камері при температурі 13^0 С був 160 кПа (надлишкове над атмосферним). Яким став тиск, якщо в результаті тривалого руху автомобіля повітря нагрілося до 37^0 С?

Відповідь: 210 кПа (понад атмосферний).

Задача10. Яку роботу виконало повітря масою 290 г при ізобарному нагріванні на $20K$ і яку кількість теплоти передали повітряю?

Відповідь: $A = 1,7$ кДж; $Q = 5,8$ кДж.

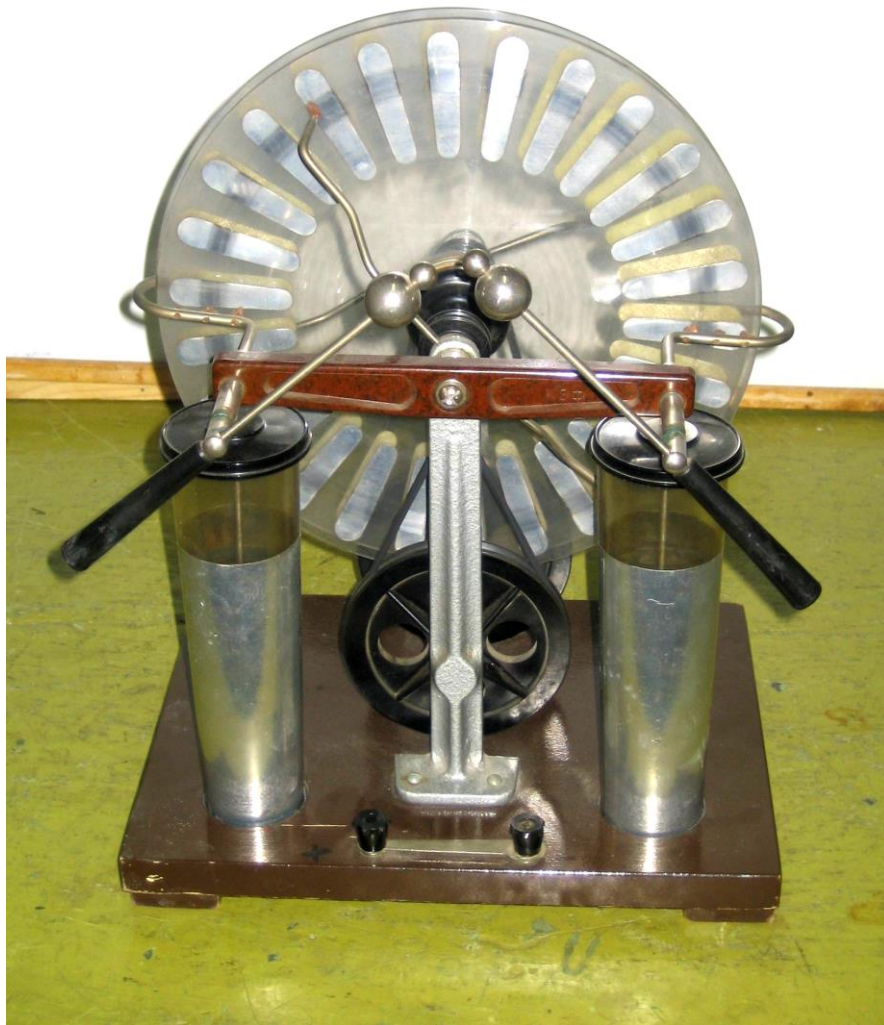
Задача11. Температура повітря в кімнаті об'ємом 70 м³ була $280K$. Після включення опалення температура підвищилася до $296K$. Знайти роботу повітря при розширенні, якщо тиск постійний й дорівнює 100 кПа.

Відповідь: $A = 400$ кДж.

Задача12. Знайти ККД (η) автомобіля, що розвиває потужність $N = 220$ квт і витрачає за одну годину $m = 28$ кг палива. Питома теплота згоряння палива $q = 42$ МДж /кг.

Відповідь: $\eta = 34\%$.

ЕЛЕКТРОСТАТИКА



Електростатика – розділ електродинаміки, у якому вивчають взаємодію нерухомих електричних зарядів

8. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

8.1. Електричний заряд. Закон Кулона

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
електростатика	electrostatic	l'électrostatique
електродинаміка	electrodynamic	l'électrodynamique
електризація тіл	electrization of bodies	l'électrisation des corps
електричний заряд	electric charge	la charge électrique
надлишок	surplus	l'excédent
наявність	availability	la disponibilité
недолік	deficiency	le manqué, le défaut
нейтральні	neutral	neutre
носії	carriers	les porteurs
виявити	to detect	détecter, révéler
негативний заряд	negative charge	la charge négative
дозволити	to allow	permettre, admettre
позитивний заряд	positive charge	la charge positive
дотик	tangency	l'attouchement, le contact
скляна паличка	glass rod	la baguette en verre, le bâtonnet de verre
структура	structure	la structure
спростити	to simplify	simplifier
електрометр	electrosavings	l'électroscope
електроскоп	electrostatics	l'électrostatique
елементарний заряд	partial charge	la charge élémentaire
янтар (ч. р.)	amber	l'ambre jaune, le succin

Електростатика – розділ (частина) електродинаміки, у якому вивчають взаємодію заряджених тіл, які знаходяться у спокої у даній інерціальній системі відліку. Важливим поняттям є електричний заряд.

8.1.1. Електричний заряд

Усі тіла у природі електризуються, тобто можуть здобути електричний заряд. Наявність електричного заряду полягає у тому, що заряджені тіла взаємодіють між собою – притягаються або відштовхуються.

Існування електромагнітної взаємодії відомо з глибокої давнини. Так, у VII столітті нашої ери грецький вчений Фалес з міста Мілети спостерігав притягання легких предметів до бурштинової палички при її натиранні вовною. На рис. 8.1 показане притягання шматочків пінопласту до скляної палички, що була натерта папером. Джерелом електромагнітної взаємодії є електричний заряд. Сформулюємо поняття електричного заряду.

Електричний заряд – фізична величина, що є мірою електромагнітної взаємодії. Електричний заряд – джерело електромагнітного поля. Іноді зарядом називають також заряджене тіло або кількість електрики – q .

У природі існує два види електричних зарядів. Одні з них умовно називають позитивними, а другий – негативним. Скляна паличка натерта шовком здобуває позитивний заряд, бурштинова паличка натерта вовною – негативний заряд.

Існування двох видів зарядів стало зрозуміло після встановлення на початку XX століття структури атома. Атом будь-якої речовини складається з позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених елементарних часток – електронів (рис.8.2). Ядра атомів складаються з позитивно заряджених протонів і нейтронів, які не мають заряду. Число протонів дорівнює числу електронів, тому атоми нейтральні (не мають заряду).

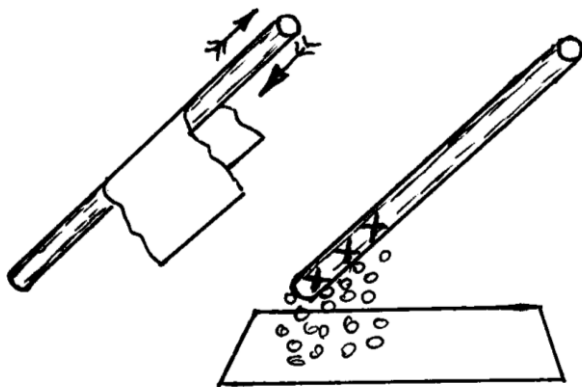


Рис. 8.1

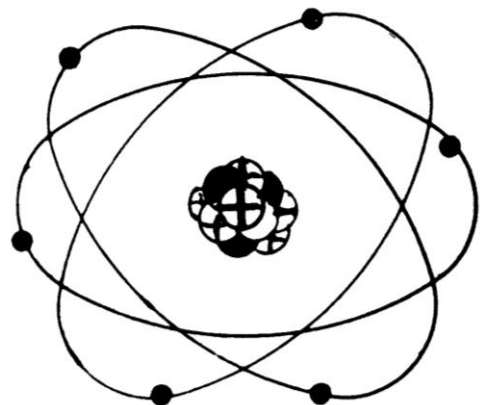


Рис. 8.2

Явище електризації тіл можна пояснити тим, що при тісному контакті тіл, які виготовлені з різних речовин, відбувається перехід електронів з однієї речовини в іншу. Тертя сприяє збільшенню ділянок тіл з тісним контактом. Електризація тіл відбувається при порушенні рівноваги між числом протонів і числом електронів.

Наелектризувати тіло можна двома засобами:

• *Тертям* (зіткненням) тіл, виготовлених з різних речовин. Натирають тіла для того, щоб збільшити площу зіткнення.

• *Через вплив.* У цьому випадку використовують явище електростатичної індукції: тіло розміщують у електростатичному полі – однойменні заряди відштовхуються і накопичуються на його протилежних сторонах.

Експериментально доведено:

- існують заряди двох видів (позитивні і негативні);
- однойменні заряди відштовхуються (рис.8.3), різнойменні заряди притягаються (рис.8.4);
- заряди завжди з'являються (виникають) і зникають парами;
- нейтральні тіла містять однакову кількість позитивних і негативних зарядів;
- існує мінімальний (елементарний) електричний заряд $e = \pm 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
- електричні заряди квантуються, тобто будь-яке заряджене тіло містить ціле число елементарних зарядів $q = \pm Ne$;
- електричний заряд – внутрішня властивість деяких елементарних частинок;
- у природі виконується закон збереження заряду.



Рис. 8.3



Рис. 8.4

8.1.2. Закон збереження електричного заряду

Експерименти свідчать, що у природі виконується закон збереження електричного заряду: алгебраїчна сума усіх зарядів ізольованої системи не змінюється. Аналітичний запис закону збереження заряду має вигляд:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const$$

$$\text{або } \sum_{i=1}^n q_i = const. \quad (8.1)$$

Виявити наявність електричного заряду можна за допомогою приладу, що називається електрометром (рис.8.5).

8.1.3. Закон Кулона

Закон взаємодії електричних зарядів експериментально був встановлений Шарлем Кулоном у 1785 р. за допомогою крутильних ваг (рис.8.6). Сформулюємо закон Кулона.

Сили, з якими взаємодіють два точкових електричних заряди (у вакуумі), прямо пропорційні добутку модулів зарядів, обернено пропорційні квадрату відстані між ними і спрямовані уздовж прямої, що з'єднує заряди:

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (8.2)$$

Коефіцієнт пропорційності k_0 залежить від вибору системи одиниць. У міжнародній системі одиниць вимірювання СІ коефіцієнт k_0 записують у вигляді:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Нм^2}{Кл^2}, \quad (8.3)$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} Кл/(Н \cdot м^2)$ – електрична стала.

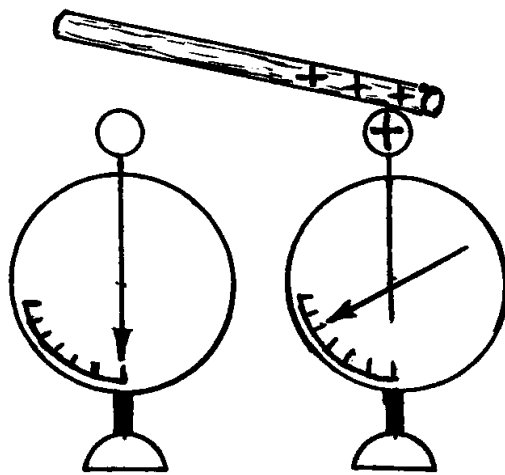


Рис. 8.5

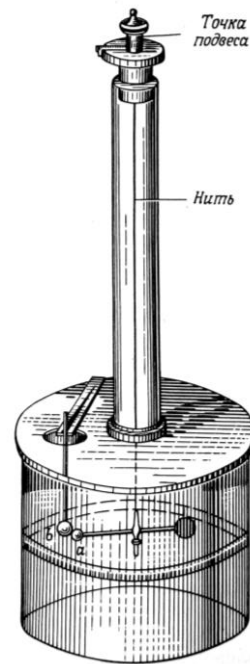


Рис. 8.6

Особливості закону Кулона:

- електричні заряди знаходяться у спокої (нерухомі) у даній інерціальній системі відліку;
- електричні заряди – точкові.

Точковим електричним зарядом називається заряджене тіло, розмірами і формою якого можна знехтувати порівняно з відстанню між зарядами.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що вивчає електростатика?
2. Як можна наелектризувати тіло?
3. Які властивості електричних зарядів ви знаєте?
4. Які види зарядів існують у природі?
5. Чому атоми не мають електричного заряду?
6. Які заряди називають однойменними?
7. Які заряди називають різнойменними?
8. Які види електризації Ви знаєте?
9. Сформулюйте закон збереження заряду.
10. Сформулюйте закон Кулона.
11. Запишіть формулу закону Кулона.

Приклад розв'язання задачі

Задача 1. У повітрі на шовковій нитці висить кулька масою $m = 5$ г. Визначити натяг нитки, якщо внизу на відстані $r = 10$ см по вертикалі розташований такий же однойменний заряд $q = 10^{-7}$ Кл.

Дані:

$$m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$r = 0,1 \text{ м}$$

$$q_1 = q_2 = 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$T = ?$

Аналіз і розв'язання:

На кульку діють три сили: ваги $m\vec{g}$, натягу нитки \vec{T} й електрична сила відштовхування \vec{F} . Спроекуємо сили на спрямовану вертикально нагору вісь OX і запишемо умову рівноваги кульки:

$$T + F - mg = 0.$$

За законом Кулона сила відштовхування

$$F = k_0 \frac{q^2}{r^2}.$$

Знайдемо силу натягу нитки

$$T = mg - k_0 \frac{q^2}{r^2}.$$

Підставимо чисельні значення:

$$T = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 - 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-14} / 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Н}.$$

Відповідь: $T = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$.

Задачі для розв'язання:

Задача 2. Два точкових заряди перебувають у вакуумі на відстані $r = 0,3$ м і взаємодіють із силою $F = 30$ Н. Величина одного заряду в три рази більше іншого $q_2 = 3q_1$. Визначите величину кожного заряду.

Відповідь: $q_1 = 10^{-5}$ Кл; $q_2 = 3 \cdot 10^{-5}$ Кл.

Задача 3. Дві однакових кульки масою $m = 0,05$ кг кожна підвішені в одній точці на шовкових нитках однакової довжини. Визначити заряди кульок, якщо вони розійшлися на відстань $r = 30$ см, а кут між нитками $\alpha = 90^\circ$.

Відповідь: $q = 7,1 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Задача 4. Дві однакових кульки, маси яких $m = 0,5$ г, підвішені на нитках довжиною $\ell = 1$ м. Кульки мають однаковий заряд $q_1 = q_2 = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл. На яку відстань розійшлися кульки?

Відповідь: $r = 4$ см.

Задача 5. Два точкових заряди $q_1 = +10^{-8}$ Кл і $q_2 = +4 \cdot 10^{-7}$ Кл перебувають на відстані $r = 24$ см один від одного. Де потрібно помістити третій заряд, щоб система перебувала у рівновазі?

Відповідь: $x = 0,08$ м.

Задача 6. Кулька масою $m = 0,3$ г і зарядом $q_1 = -10^{-8}$ Кл висить на тонкій нитці. На якій відстані r від нього потрібно помістити кульку із зарядом $q_2 = -1,7 \cdot 10^{-8}$ Кл, щоб натяг нитки зменшився у два рази?

Відповідь: $r = 3,2 \cdot 10^{-2}$ м.

8.2. Електростатичне поле. Напруженість. Принцип суперпозиції полів.

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
густота (ж.р.)	density	la densité
напруженість (ж.р.)	intensity	l'intensité, en consistance
неоднорідне поле	inhomogeneous field	le champ hétérogène, inhomagène
особливий, -а, -е, -і	special	spécial
поверхнева щільність	surface density	la densité superficielle
принцип суперпозиції	principle of superposition	le principe de la superposition
пробний, -а, -е, -і	trial	d'essai, d'épreuve
радіальна пряма	radial straight line	la droste radiale
електростатичне поле	electrostatic field	le champ électrostatique
обґрунтувати	to justify	argumenter

8.2.1. Електростатичне поле

Експерименти свідчать, що наелектризовані тіла взаємодіють на відстані. Англійські фізики Фарадей і Максвелл довели, що властивості простору навколо зарядженого тіла змінюються – виникає електростатичне поле. Наші органи почуттів не сприймають електричних полів. Однак існування електричного поля можна виявити за його дією на заряджені тіла, наприклад, на заряджену кульку, що підвішена на тонкій шовковій нитці.

Для вивчення електричних полів заряджених тіл використовують пробні електричні заряди. **Пробний електричний заряд – це точковий позитивний заряд, величина якого, за модулем, набагато менше заряду даного тіла.**

8.2.2. Напруженість електричного поля

Якщо в одній і тій же точці електростатичного поля поміщати пробні заряди q_1 , q_2 , і q_3 , то поле буде діяти на них із силами F_1 , F_2 і F_3 . Експерименти свідчать, що **відношення сили до величини заряду не залежить від матеріалу, розмірів і форми пробного заряду**. Це відношення характеризує електричні властивості даної точки простору (поля):

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \frac{F_3}{q_3} = \text{const.}$$

Напруженість електричного поля \vec{E} – векторна фізична величина що чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на поміщений у даній точці простору позитивний заряд q_0 , до модуля цього заряду. Напрямок вектора напруженості збігається з напрямком сили, що діє на позитивний заряд у даній точці поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}}{q_0}. \quad (8.4)$$

Одиниця напруженості електричного поля

$$[E] = \frac{H}{Кл} = \frac{В}{м}.$$

За формулою (8.4) можна знайти напруженості полів точкового заряду і зарядженої кулі:

$$E = \kappa_0 \frac{qq_0}{r^2 \cdot q_0} = \kappa_0 \frac{q}{r^2}. \quad (8.5)$$

Якщо електричний заряд рівномірно розподілений по поверхні кулі радіусом R з поверхневою щільністю $\sigma = q/S$, то напруженість поля такої кулі:

$$E = \frac{\kappa_0 \cdot \sigma \cdot S}{r^2} = \frac{\kappa_0 \cdot 4\pi R^2 \sigma}{r^2} = \frac{\sigma \cdot R^2}{\epsilon_0 r^2}. \quad (8.6)$$

На поверхні кулі $E = \sigma/\epsilon_0$ – напруженість електричного поля не залежить від радіуса кулі.

8.2.3. Принцип суперпозиції полів

Якщо електричне поле створюють кілька зарядів, то поля накладаються. У цьому полягає принцип суперпозиції (накладення) полів: *напруженість електричного поля системи точкових зарядів у будь-якій точці дорівнює векторній сумі напруженості полів усіх зарядів:*

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots \quad (8.7)$$

Графічне зображення електричних полів

Для наочного зображення електромагнітних полів Фарадей запропонував використовувати силові лінії.

Силова лінія – лінія, дотична до якої у кожній точці збігається з напрямком вектора напруженості. Щільність (густина силових ліній) пропорційна модулю напруженості. Силові лінії починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних. Якщо вектори напруженості у всіх точках електричного поля рівні за модулем і напрямком, тоді поле – однорідне. Силові лінії однорідного поля паралельні, а їхня щільність однакова. Якщо вектори напруженості відрізняються за модулем і напрямком, то поле – неоднорідне. На рис.8.7а, 8.7б показані силові лінії електричних полів відокремлених зарядів. На рис. 8.7в, 8.7г показані електричні поля системи двох різнойменних і двох однойменних зарядів.

8.3. Провідники і діелектрики в електричному полі

За електричними властивостями всі речовини поділять на *провідники, діелектрики і напівпровідники*. Провідниками називають речовини, які проводять електричний струм. Речовини, які не проводять струм, називаються діелектриками. Напівпровідники займають проміжне положення між провідниками і діелектриками. Провідниками є всі метали і електроліти: розчини і розплави солей, кислот, лугів. Діелектриками є пластмаси, скло, порцеляна, гума, шовк, нафтопродукти, ебоніт.

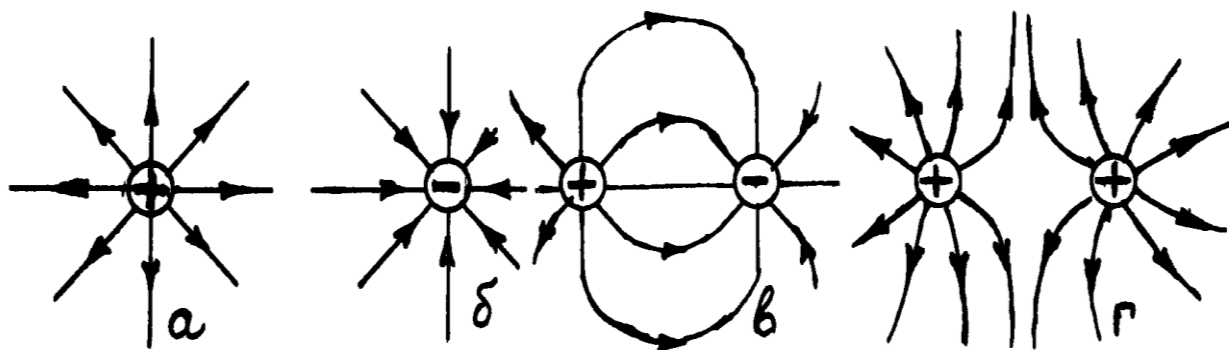


Рис. 8.7

Провідники проводять електричний струм тому, що в них є вільні носії заряду: електрони та іони. Під дією електричного поля вільні носії легко переміщуються по провіднику. У результаті електростатичного відштовхування заряди накопичуються на поверхні зарядженого провідника (рис. 8.8).

Якщо провідник помістити в зовнішнє електричне поле, то вільні носії у провіднику (у металах – електрони) будуть переміщатися доти, поки поле носіїв зарядів не скомпенсує зовнішнє електричне поле (рис. 8.9). Електричне поле усередині провідника буде дорівнювати нулю. Якщо провідник, що перебуває у електричному полі, розділити на дві половини, ці частини будуть заряджені різнойменними зарядами. При вимиканні електричного поля ці частини залишаються зарядженими.

Поділ зарядів у провіднику в електричному полі називається явищем електростатичної індукції.

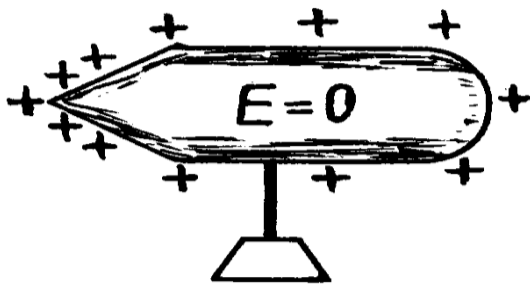


Рис. 8.8

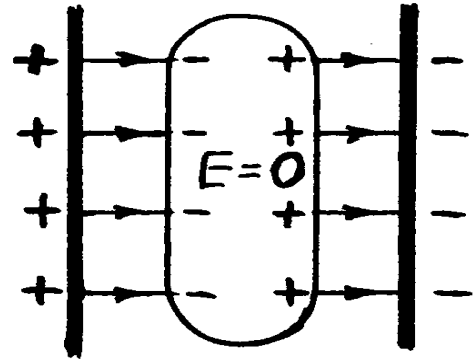


Рис. 8.9

У середині діелектрику майже немає вільних носіїв заряду, електрони мають можливість зміщуватися тільки в межах молекули. Внаслідок чого виникають електричні диполі.

Електричним диполем називається система із двох рівних за модулем різнойменних зарядів, які розташовані на деякій відстані l один від одного (рис. 8.10). Електричний диполь характеризується дипольним електричним моментом. Дипольний момент за модулем дорівнює добутку заряду на відстань між центрами зарядів $p = q \cdot l$.

Деякі молекули, наприклад, молекули води, мають власний (спіновий) *дипольний електричний момент*. Такі молекули називаються *полярними*. В інших молекулах (*неполярних*) дипольний момент індукується (з'являється) тільки у зовнішньому електричному полі. В електричному полі диполі орієнтуються уздовж напрямку поля – у діелектрику виникає внутрішнє поле, що частково компенсує зовнішнє. На зовнішніх поверхнях з'являються заряди протилежного знака (рис. 8.11).

Поляризацією називається явище виникнення зв'язаних зарядів на поверхні діелектрика, поміщеного в електричне поле.

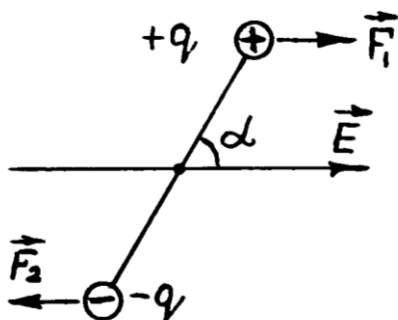


Рис. 8.10

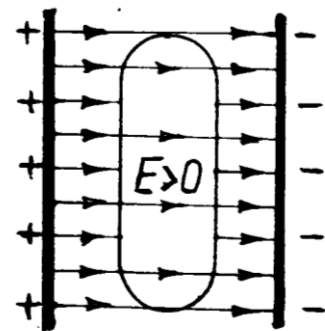


Рис. 8.11

Якщо діелектрик розділити на дві половини в електричному полі, то на поверхнях, що утворилися, виникають заряди протилежного знака. При вимиканні електричного поля заряди зникнуть.

Зменшення електричного поля в діелектрику характеризується відносною діелектричною проникністю.

Діелектрична проникність ε показує у скільки разів напруженість електричного поля в ізотропному діелектрику E менше, ніж напруженість поля E_0 у вакуумі:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}. \quad (8.8)$$

У діелектрику сила взаємодії зарядів зменшується в ε разів:

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}. \quad (8.9)$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання

1. Яке електричне поле називається електростатичним?
2. Що таке електричний заряд?
3. Який заряд називається пробним?
4. Що таке напруженість електричного поля?
5. Напишіть формулу напруженості електростатичного поля точкового заряду.
6. Що таке силова лінія?
7. У чому полягає принцип суперпозиції електричних полів?
8. Які речовини називаються провідниками?
9. Які речовини називаються діелектриками?
10. Нарисуйте силові лінії електричного поля двох однойменних точкових зарядів.
11. Нарисуйте силові лінії електричного поля двох різнойменних точкових зарядів.
12. Які властивості електричних зарядів ви знаєте?

8.4. Робота сил електричного поля. Потенціал. Різниця потенціалів

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
одиничний, -а, -е, -і	single	unitaire
пластина (ж.р.)	plate	la plaque, la lame
поміщений, -а, -е, -і	placed	place
потенціал (м. р.)	potential	le potentiel
практика (ж.р.)	practice	la pratique
практичне застосування	practical application	l'application pratique
різниця потенціалів	potential difference	la différence des potentiels
умовно	conditionally	par convention
широкий, -а, -е, -і	wide	large

Одержимо формулу для розрахунку роботи сил електричного поля по переміщенню заряду. Нехай заряд $+q$ переміщується по шляху S із точки В у точку С (рис. 8.12). Робота, що виконує електричне поле, дорівнює:

$$A = F \cdot S \cos \alpha = E \cdot q \cdot S \cos \alpha. \quad (8.10)$$

Виразимо шлях S через відстань між пластинами $S \cos \alpha = d$, тоді:

$$A = qE \cdot d. \quad (8.11)$$

З формули (8.11) випливає, що **робота електричного поля по переміщенню заряду не залежить від форми шляху, а залежить тільки від положення початкової і кінцевої точок**. Фізичні поля, у яких робота не залежить від форми шляху, називаються потенціальними.

Енергетичною характеристикою потенційних полів є потенціал. **Потенціал – скалярна фізична величина, що чисельно дорівнює потенційній енергії одиничного заряду (заряду у 1 Кл) в даній точці поля:**

$$\varphi = \frac{W^n}{q}. \quad (8.12)$$

Робота є мірою зміни енергії, тому потенціал електричного поля чисельно дорівнює роботі, чиненої полем при переміщенні одиничного заряду (1 Кл у СІ) з даної точки поля на нескінченно велику відстань:

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q}. \quad (8.13)$$

Одиницею потенціалу в СІ є вольт:

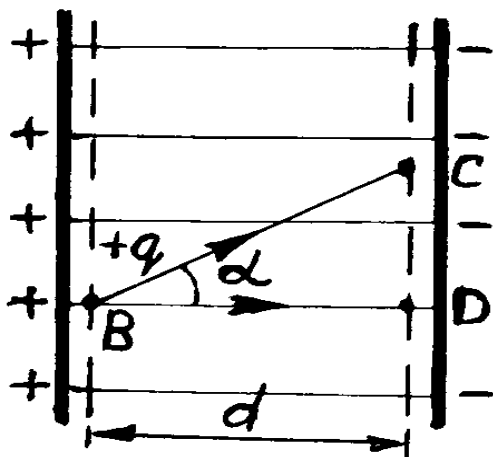
$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}. \quad (8.14)$$

Таким чином, електричне поле виконує роботу при переміщенні заряду під кутом до силових ліній електричного поля.

При переміщенні заряду по поверхні, що перпендикулярна силовим лініям, електричне поле роботи не виконує. Така поверхня називається еквіпотенціальною. З формули (8.13) випливає, що потенціал зарядженої кулі на відстані r дорівнює:

$$[\varphi] = k_0 \frac{q}{\epsilon r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}. \quad (8.15)$$

При знаходженні роботи електричного поля по переміщенню заряду з однієї точки поля в іншу використовують поняття різниці потенціалів



$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}. \quad (8.16)$$

З формул (8.11) і (8.16) можна знайти зв'язок між напруженістю й потенціалом для однорідного електричного поля:

Рис. 8.12

$$qE \cdot d = q(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ звідки}$$

$$E = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{d}. \quad (8.17)$$

З формули (8.17) видно, що **модуль напруженості електричного поля чисельно дорівнює зміні потенціалу на одиницю довжини уздовж силової лінії**. На рис. 8.13 і рис. 8.14 наведені графіки залежностей напруженості і потенціалу електричного поля зарядженої провідної кулі радіуса R залежно від відстані r .

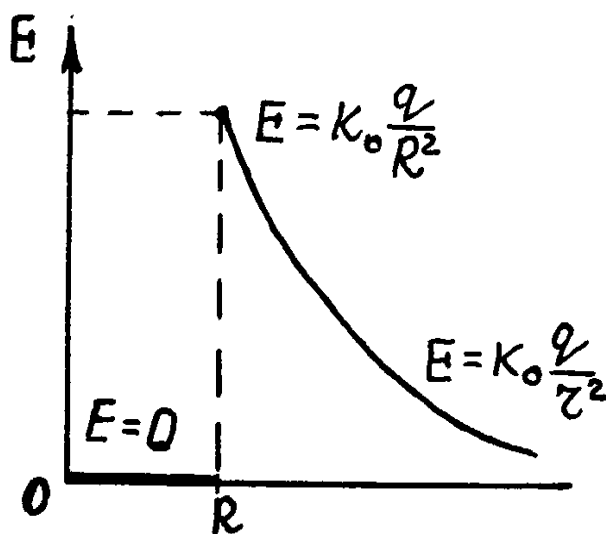


Рис. 8.13

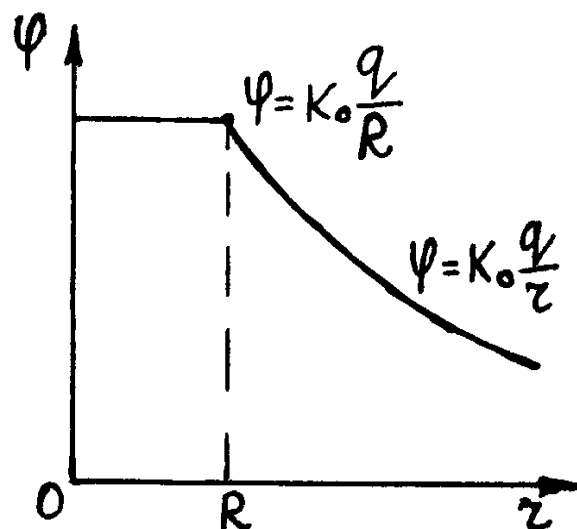


Рис. 8.14

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Чому дорівнює робота електричного поля по переміщенню заряду?
2. Що таке потенціал електричного поля? Яка одиниця виміру потенціалу?
3. Що таке різниця потенціалів? У яких одиницях вимірюється різниця потенціалів?
4. Які основні характеристики електростатичного поля ви знаєте?
5. Який взаємозв'язок між напруженістю і різницею потенціалів?

Приклад розв'язання задачі

Задача 1. Точкові електричні заряди $q_1 = +6,7$ нКл і $q_2 = -13,2$ нКл перебувають на відстані $r = 5$ см один від одного. Чому рівна напруженість і потенціал електричного поля у точці А, що перебуває на відстані $r_1 = 3$ см від позитивного і $r_2 = 4$ см від негативного?

Дано:

$$q_1 = +6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

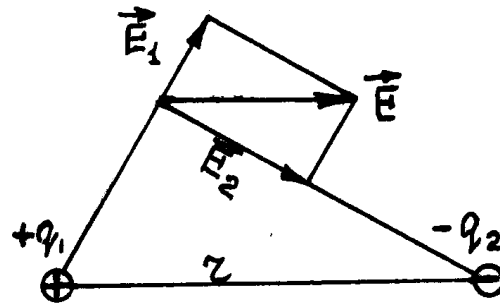
$$q_2 = -13,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_2 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Аналіз і розв'язання:



E – ?

φ – ?

Напруженість електричного поля у точці А дорівнює векторній сумі напруженостей полів зарядів q_1 і q_2 (див. рис.)

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Напруженості полів від зарядів q_1 і q_2 рівні:

$$E_1 = k_0 \frac{q_1}{r_1^2}; \quad E_2 = k_0 \frac{q_2}{r_2^2}.$$

За умовою завдання кут між \vec{E}_1 і \vec{E}_2 – прямий, тоді:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = k_0 \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^2} + \frac{q_2^2}{r_2^2}}.$$

Потенціал електричного поля в точці А:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = k_0 \frac{q_1}{r_1} - k_0 \frac{q_2}{r_2}.$$

Підставимо чисельні значення:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\left(\frac{6,7 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{13,3 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-2}}\right)^2} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ В/м}.$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{6,7 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-2}} + \frac{13,3 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-2}} \right) = 982 \text{ В}.$$

Відповідь: $E = 1,01 \cdot 10^5 \text{ В/м}; \varphi = -982 \text{ В}.$

Задачі для розв'язання

Задача 2. Чому дорівнює величина точкового заряду, якщо на відстані $r = 4$ м у гасі ($\varepsilon = 2$) напруженість електричного поля

$$E = 90 \text{ В/м?}$$

$$\text{Відповідь: } q = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл.}$$

Задача 3. Визначите напруженість і потенціал у точці, що перебуває посередині між зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ і $q_2 = -4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$. Заряди перебувають у скипидарі ($\varepsilon = 2,2$) на відстані 10 см один від одного.

$$\text{Відповідь: } E = 9,9 \cdot 10^5 \text{ В/м; } \varphi = -18 \text{ кВ/м.}$$

Задача 4. Напруженість електричного поля в деякій точці простору $E = 3 \cdot 10^{+4} \text{ В/м}$. Яка сила діє на заряд $q_2 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$?

$$\text{Відповідь: } F = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

Задача 5. Чому дорівнює потенціал електричного поля в точці, де потенціальна енергія електрона $W_n = 8 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$?

$$\text{Відповідь: } \varphi = -5 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

Задача 6. Заряджена порошина $m = 2 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$ перебуває в рівновазі між пластинами (обкладинками) повітряного конденсатора. Різниця потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2 = 5 \cdot 10^3 \text{ В}$, відстань між пластинами $d = 2,5 \text{ см}$. Чому дорівнює заряд порошини?

$$\text{Відповідь: } q = 9,8 \cdot 10^{-16} \text{ Кл.}$$

8.5. Електроємність. Конденсатори

Нові слова

українська	англійська	французька
1	2	3
електроємність	electric capacitance	la capacite electrique
конденсатор	capacitor	le condensateur
збирати	accumulate	accumulera
обкладка (пластина)	plate	l'armature
паралельна сполука	parallel connection	la connexion en parallele

1	2	3
послідовна сполука	mixed connection	association mélangée
куля (ж. р.)	layer	la couche
розділений, -а, -е, -і	disjointed	divisé, partage
відокремлений провідник	the solitary conductor	le conducteur isolé
електроємність провідника	electric capacitance of a conductor	la capacite electrique du conducteur

8.5.1. Електроємність провідника

Якщо на металевій кулі помістити електричний заряд q , то внаслідок кулонівського відштовхування заряд рівномірно розподілиться по його поверхні. Потенціал зарядженої кулі:

$$\varphi = k_0 \frac{q}{\varepsilon R} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}. \quad (8.18)$$

Експерименти показують, що якщо заряд на кулі збільшувати в 2, 3, 4 рази, то потенціал кулі буде приймати значення 2φ , 3φ , 4φ .

Таким чином, відношення заряду на провіднику до потенціалу величина постійна для даного тіла. **Електроємністю називається скалярна фізична величина, яка чисельно дорівнює заряду, що змінює потенціал провідника на одиницю (1В у СІ):**

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (8.19)$$

Одиницею виміру електроємності є фарад (Ф).

Фарад чисельно дорівнює заряду, що змінює потенціал провідника на одиницю (1В).

$$[C] = \frac{Кл}{В} = Ф.$$

Фарад – дуже велика одиниця ємності, тому на практиці використовують менші одиниці – мікрофарад, нанофарад і пікофарад:

$$1\text{Ф} = 10^6 \text{мкФ} = 10^9 \text{нФ} = 10^{12} \text{пФ}.$$

З формул (8.15) і (8.19) випливає, що електроємність кулі:

$$C = \frac{q\varepsilon R}{k_0 q} = \frac{\varepsilon R}{k_0} = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R. \quad (8.20)$$

Електроємність провідника не залежить від його маси і матеріалу. Вона залежить від розмірів провідника, діелектричної проникності середовища і наявності інших тіл. На рис. 8.15.а показаний заряджений електроскоп, на якому закріплена металева куля із пластиною. На металеву пластину поклали пластину з діелектрика (рис.8.15б) – потенціал електроскопа зменшився. Якщо на діелектричну пластину покласти другу металеву пластину (рис.8.15в), то потенціал зменшиться сильніше внаслідок електростатичної індукції. Якщо провідник перебуває далеко від інших тіл, то провідник називається відокремленим.

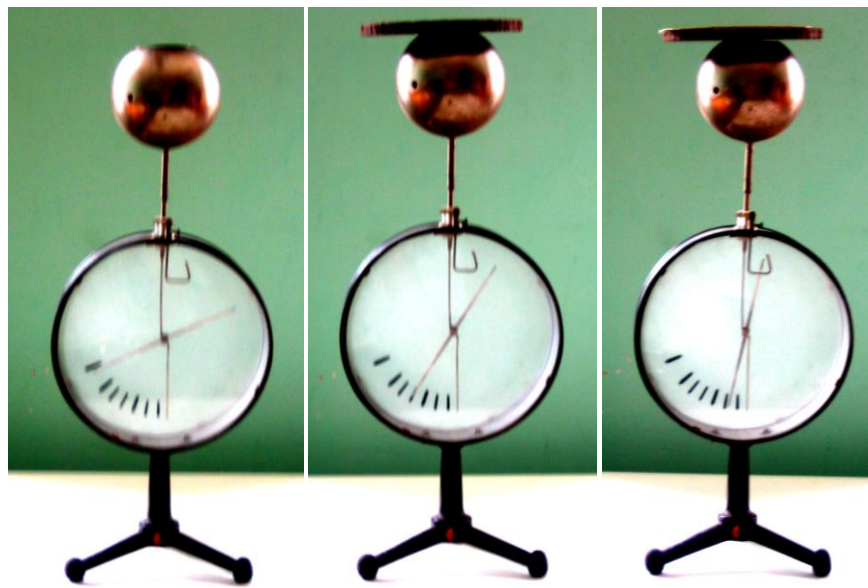


Рис. 8.15

8.5.2. Конденсатори

Електроємність провідника збільшується, якщо провідник оточити діелектриком або поблизу його помістити інші провідники. Збільшення ємності пояснюється явищами електростатичної індукції і поляризації діелектрика. Для накопичування електричного заряду застосовують конденсатори.

Конденсатор являє собою систему плоских провідників, розділених шарами діелектрика. Електроємність конденсатора:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}. \quad (8.21)$$

де $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ – різниця потенціалів (або напруга) між пластинами (обкладинками) конденсатора.

Залежно від форми провідників розрізняють плоскі і циліндричні конденсатори. Електроємність плоского конденсатора прямо пропорційна площі поверхні пластин, діелектричній проникності діелектрика і обернено пропорційна відстані між пластинами:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}. \quad (8.22)$$

Залежно від матеріалу діелектрика бувають повітряні, паперові, керамічні, електролітичні конденсатори (рис.8.16).

8.5.3. Сполуки конденсаторів

В електричних колах використовують різні сполуки конденсаторів. Для одержання більшої ємності конденсатори з'єднують паралельно (рис.8.16), у цьому випадку напруга на обкладинках конденсаторів однакова. Загальний заряд батареї конденсаторів дорівнює сумі зарядів усіх конденсаторів:

$$q = q_1 + q_2 + \dots \quad (8.23)$$

З формули (8.21) видно, що заряди конденсаторів $q = CU$, $q_1 = C_1U$, $q_2 = C_2U$. Підставивши значення q , q_1 , q_2 у формулу (8.23), одержимо:

$$CU = C_1U + C_2U + \dots \quad (8.24)$$

Скоротивши на U , одержимо формулу ємності батареї конденсаторів. **Електроємність батареї паралельно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі електроємностей окремих конденсаторів:**

$$C = C_1 + C_2 + \dots \quad (8.25)$$

При послідовній сполуці (рис.8.17) внаслідок електро-статичної індукції заряд на всіх конденсаторах однаковий. Загальне спадання напруги дорівнює сумі падінь напруг на кожному конденсаторі:

$$U = U_1 + U_2 + \dots \quad (8.26)$$

Зі співвідношення $q = CU$, одержимо:

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \dots \quad (8.27)$$

Скоротивши на q , одержимо формулу ємності батареї при послідовній сполуці конденсаторів:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad (8.28)$$

Зворотна електроємність батареї послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі зворотних електроємностей окремих конденсаторів. Заряджений конденсатор має енергію, яку можна обчислити за формулою:

$$W_{el} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}. \quad (8.29)$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що таке електроємність? Запишіть формулу.
2. У яких одиницях вимірюється електроємність?
3. Запишіть формулу електроємності кулі.
4. Що таке конденсатор?
5. Чому дорівнює електроємність плоского конденсатора?
6. Запишіть формулу електроємності при паралельній та послідовній сполуці конденсаторів.

Задачі для розв'язання

Задача 1. Яку роботу виконує електричне поле при переміщенні заряду 20 нКл з точки з потенціалом 700 В у точку з потенціалом 200 В ? З точки з потенціалом -100 В у точку з потенціалом 400 В ?

Відповідь: 10 мкДж ; -10 мкДж .

Задача 2. На скільки зміниться потенціальна енергія взаємодії зарядів 25 нКл і 4 нКл при зміні відстані між ними з 10 до 20 см ?

Відповідь: Збільшиться на $4,5 \text{ мкДж}$.

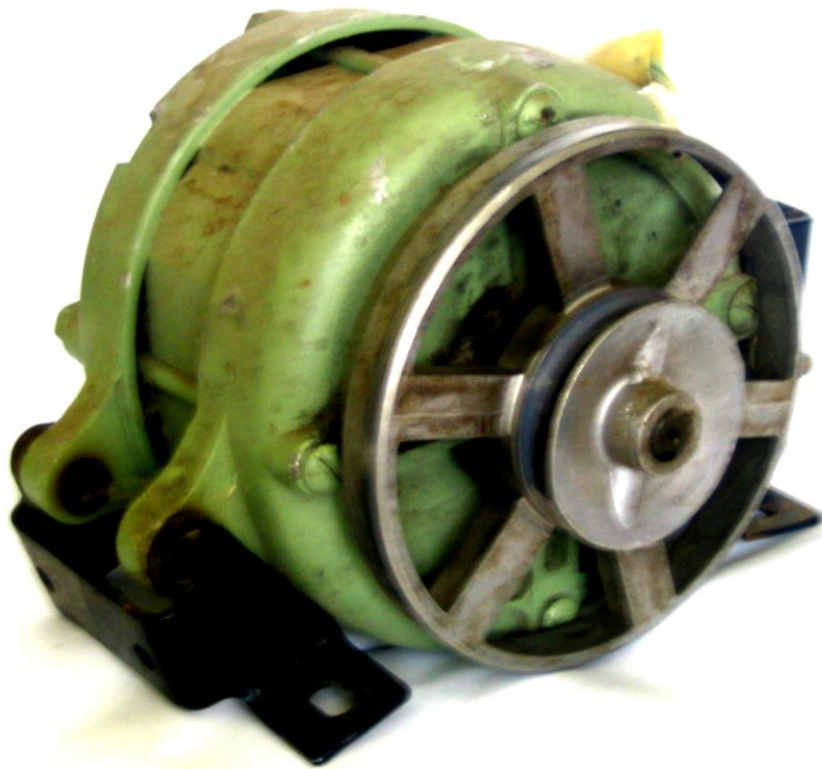
Задача 3. Електрон, рухаючись під дією електричного поля, збільшив свою швидкість із 10 до 30 Мм/с . Знайдіть різницю потенціалів між початковою і кінцевою точками переміщення.

Відповідь: $2,3 \text{ кВ}$.

Задача 4. Конденсатор ємністю C_1 зарядили до напруги $U_1 = 500 \text{ В}$. При паралельному підключенні цього конденсатора до незарядженого конденсатора ємністю $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ вольтметр показав $U_2 = 100 \text{ В}$. Чому дорівнює ємність C_1 ?

Відповідь: $C_1 = 1 \text{ мкФ}$.

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА



Електродинаміка – розділ фізики, у якому вивчають взаємодію електричних зарядів, що рухаються, і струмів

9. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

9.1. Постійний електричний струм. Джерела струму

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
безладний, -а,-е,-і	random	en désordre, sans ordre
гальванічний елемент	galvanic cell	l'élément galvanique
генератор (ч. р.)	the generator	le generatrice, la generatrice
тривалий час	long-lived time	le temps de longue durée
ізолюваний, -а,-е,-і	isolated	isolé
ізолюване проведення	insulated wire	le fil (conducteur) isolé
джерело електричного струму	source of an electric current	la source du courant électrique
наявність	presence	la disponibilité
нагромадження	accumulation	l'accumulation
відсутність	absence	l'absence
поповнювати	to fill up	completer
споживач (ч. р.)	the consumer	le consommateur
вільні заряди	free chargec	lés charges libres
спосіб (ч. р.)	expedient	le mode, le prosédé
турбіна (ж.р.)	the turbine	la turbine
пристрій	the device	le dispositif l'apporeil
електричний струм	electric current	le courant électrique
електрод (ч. р.)	the electrode	l'électrode

9.1.1. Електричний струм

Електричний струм – це напрямлений (упорядкований) рух носіїв електричного заряду. Під час відсутності електричного поля заряди в провіднику рухаються безладно (рис. 9.1).

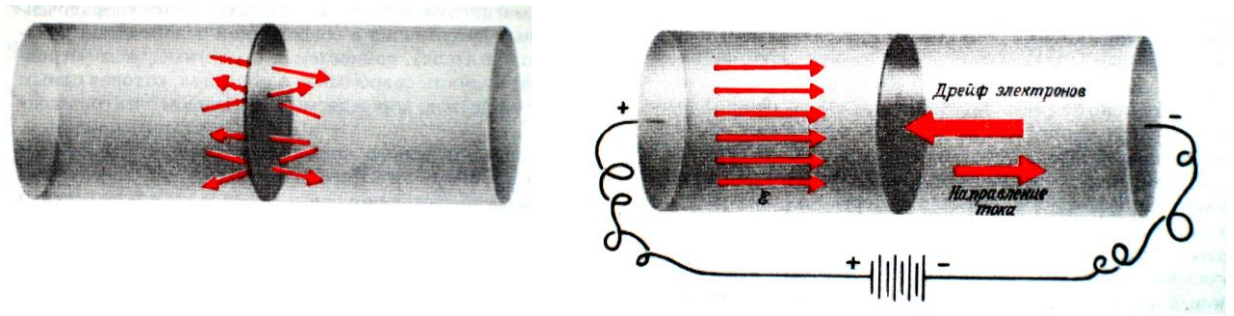


Рис. 9.1

Якщо заряджене тіло з'єднати провідником із землею, то в провіднику з'явиться електричне поле і вільні заряди будуть рухатися доти, поки різниця потенціалів не буде дорівнювати нулю.

Умовами тривалого існування електричного струму є наявність:

- електричного поля (джерела струму);
- вільних носіїв заряду;
- замкнутого електричного кола.

Електричне коло складається із джерела струму, споживачів, сполучених проводів і вимикача. На рис. 9.2 зображено електричне коло, що складається з акумулятора, лампочки (споживача), вимикача, приладів для виміру електричного струму (*амперметра*) і напруги (*вольтметра*). При замиканні ланцюга вимикачем електричний струм виконує корисну роботу в споживачі електроенергії. Електричний ланцюг (рис. 9.2) зображено у вигляді схеми на рис. 9.3. Прилади позначені умовними знаками.

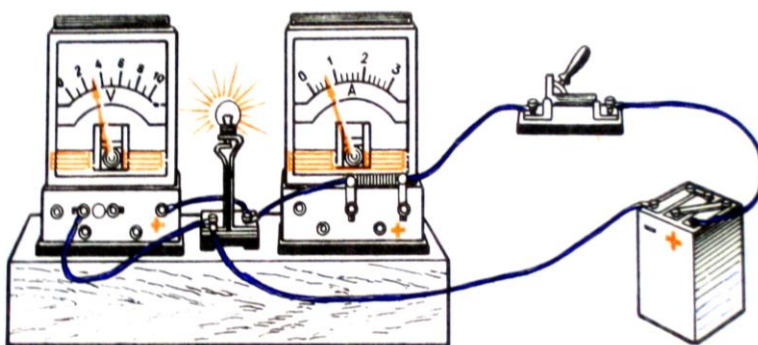


Рис. 9.2

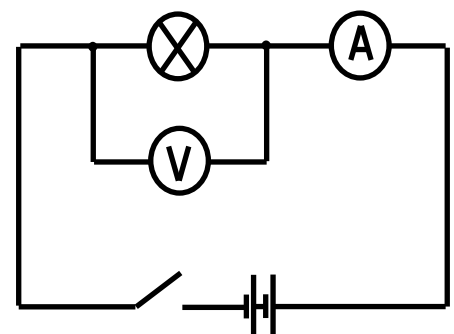


Рис. 9.3

Електричне поле в провідниках створюють і підтримують джерела струму.

Джерело струму – це пристрій, що розділяє позитивні і негативні заряди за рахунок енергії неелектричного походження (сторонніх сил).

Роботу, що виконує джерело струму з поділу зарядів, характеризують електрорушійною силою джерела струму (ЕРС).

Електрорушійна сила джерела струму – фізична величина, що дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного заряду (одиниця СІ – 1 Кл):

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} \quad (9.1)$$

Одиниця виміру ЕРС – вольт: $[\varepsilon] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$. Перше джерело струму – гальванічний елемент було створено італійським ученим Алессандро Вольта (1745-1827). Елемент Вольта складався з цинкових і мідних пластин, які знаходились в електроліті. У гальванічному елементі електричні заряди поділяються на позитивні і негативні за рахунок енергії хімічної реакції.

Сучасний гальванічний елемент (рис.9.4) складається з цинкової посудини, у якій знаходиться вугільний стрижень В. Стрижень поміщений у полотняний мішечок П. Мішечок наповнений сумішшю оксиду марганцю з вугіллям. Замість рідини в елементі використовують густий клейстер К. Клейстер складається з борошна на розчині нашатирного спирту. Цинкова посудина з усім умістом залита шаром смоли С. При взаємодії нашатирного спирту із цинком від цинку відокремлюються позитивні іони і він заряджається негативно, а графітовий електрод

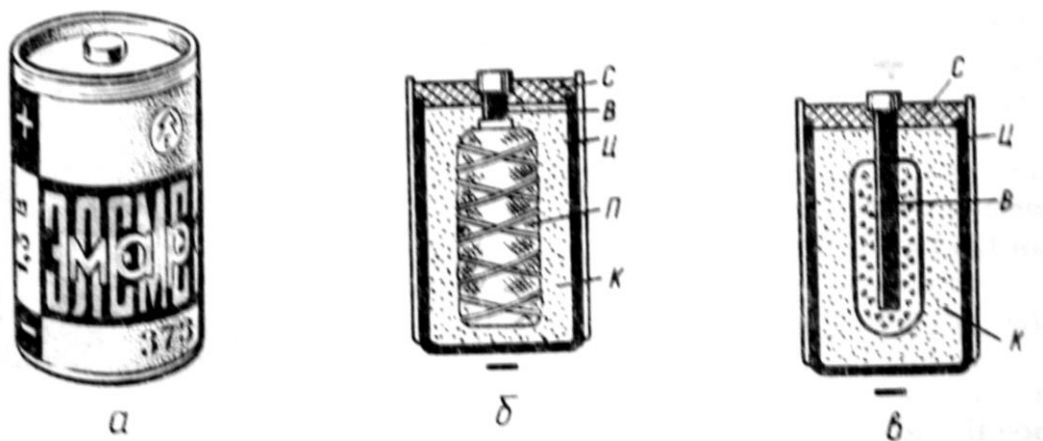


Рис. 9.4

заряджається позитивно.

Джерелами струму є акумулятори, електрогенератори, сонячні батареї, гальванічні елементи. Наявність електричного струму у провідниках можна виявити по тепловій, хімічній або магнітній дії.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання

1. Що називається електричним струмом?
2. Які умови існування струму ?
3. Що таке джерело струму?
4. Які джерела струму Ви знаєте?
5. Що відбувається в джерелах струму?
6. Що таке ЕРС джерела струму?
7. У яких одиницях вимірюється ЕРС?
8. Як можна виявити електричний струм?
9. З яких елементів складається електричне коло?

9.2. Сила струму. Закон Ома для ділянки кола

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>Французька</i>
1	2	3
ділянка ланцюга	circuit portion	la section des circuit
припустимий струм	permissible current	le courant admissible
виготовляти	to make	fabriquer
матеріал (ч. р.)	material	le matériel
непровідний, - а, - е, - і	nonconducting	non-conducteur
покриття	covering	le revêtement
поперечний переріз	cross section	la section transversale
притискати	press, clasp	serrer
дріт (провідник) (ч.р.)	wire (conductor)	le fil
протікати	to proceed	s'infiltrer,
реостат (ч. р.)	rheostat	les rhéostat
відповідно	accordingly	conformément à
опір (ч. р.)	resistance	la résistance

1	2	3
опір провідника	resistance of a conductor	la résistance de conducteur
стрижень (ч. р.)	rod	la barre, la tige
текти	to flow, to leak	la fuite
товщина (ж.р.)	thickness	l'épaisseur
питомий опір	specific resistance	la résistance spécifique
вказувати	is indicate	indiquer

Силою струму називається скалярна фізична величина, що визначається зарядом (кількістю електрики), що проходить через поперечний переріз провідника за 1 секунду:

$$I = \frac{q}{t}. \quad (9.2)$$

За одиницю сили струму в СІ прийнятий ампер. Ця одиниця сили струму встановлена на основі взаємодії паралельних провідників зі струмом (рис. 9.5). За одиницю сили струму в СІ (1А) приймають струм, при якому відрізки паралельних провідників довжиною $\ell = 1$ м, перебуваючи у вакуумі на відстані $a = 1$ м, взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7}$ Н. При вимірі малих струмів застосовують такі одиниці сили струму:

1 ма (міліампер) = 10^{-3} А; 1 мка (мікроампер) = 10^{-6} А.

З формули $q = It$ встановлюють одиницю кількості електрики – кулон $1 Кл = 1 А \cdot с$. Якщо потрібно знати розподіл струму по поперечному перерізу провідника, то користуються векторною фізичною величиною, що називається густиною струму \vec{j} . Середня за модулем (по перерізу провідника) густина струму дорівнює відношенню сили струму до площі поперечного перерізу провідника:

$$j = \frac{I}{S}. \quad (9.3)$$

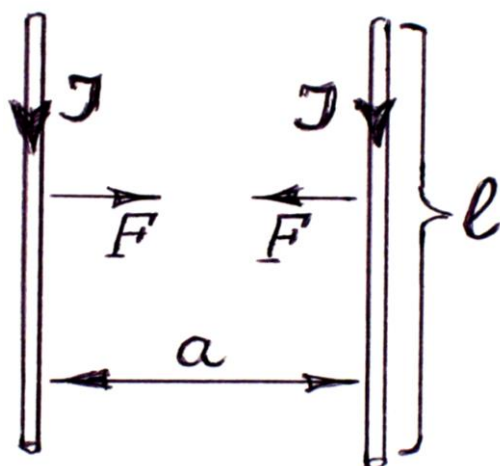


Рис. 9.5

Густина струму вимірюється в A/m^2 . Силу струму вимірюють приладом, що називається амперметром. Амперметр – це гальванометр із дуже малим внутрішнім опором. При вимірі великих струмів паралельно до нього підключають резистор з малим опором (шунт). *Амперметр завжди включають в електричний ланцюг послідовно зі споживачем (навантаженням).*

9.2.1. Закон Ома

Німецький учений Георг Ом (1787–1854) експериментально встановив, що *сила струму в металевому провіднику прямо пропорційна різниці потенціалів на його кінцях:*

$$I = k(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (9.4)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від властивостей провідника.

Досліди свідчать, що при зміні різниці потенціалів на кінцях провідника відношення різниці потенціалів до сили струму $\frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{I}$ є постійна величина для кожного провідника. Цей постійний параметр провідника називається електричним опором провідника і позначається буквою R . Закон Ома для однорідної ділянки кола записується так:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}, \quad (9.5)$$

де U – напруга на провіднику.

Опір провідника – це фізична величина, що характеризує здатність провідника перешкоджати проходженню струму. Фізична природа опору пояснюється зіткненнями носіїв струму з атомами і іонами провідника.

За одиницю опору приймають опір провідника, у якому, при різниці потенціалів один вольт, сила струму дорівнює одному амперу. Одиниця опору одержала назву Ом: $[R] = \frac{1B}{1A} = 1Ом.$

Інші одиниці опору: $1МОм = 10^3 kОм = 10^6 Ом.$

9.2.2. Залежність опору провідника від розмірів і температури

Відомо, що причина електричного опору металевих провідників – взаємодія електронів з іонами кристалічної решітки. Експерименти показали, що опір провідника прямо пропорційний довжині провідника l , зворотно пропорційний площі поперечного переріза S і залежить від матеріалу провідника:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (9.6)$$

де ρ – питомий опір провідника.

З формули (9.6) одержимо одиницю виміру питомого опору:

$$[\rho] = \frac{Ом \cdot м^2}{м} = Ом \cdot м.$$

Питомий опір є постійною величиною для даної речовини, тому його значення можна знайти в таблицях. Опір провідників залежить від температури.

9.2.3. Залежність електричного опору від температури

При температурах поблизу кімнатної залежність електричного опору металів від температури – лінійна:

$$R = R_0(1 + \alpha t^0C), \quad (9.7)$$

де R_0 – опір при $t = 0^0C$, α - температурний коефіцієнт опору.

З формули (9.7) можна знайти температурний коефіцієнт опору і його розмірність:

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot t^0C}; \quad [\alpha] = \frac{Ом}{Ом \cdot град} = град^{-1}.$$

Електричний опір металів при нагріванні збільшується, а опір розчинів солей, кислот, лугів (електролітів) і графіту навпаки зменшується. Залежність електричного опору графіту від температури має вигляд: $R = R_0(1 - \alpha t^{\circ}C)$. Зі зниженням температури нижче кімнатної опір металів спочатку різко спадає, а потім, при

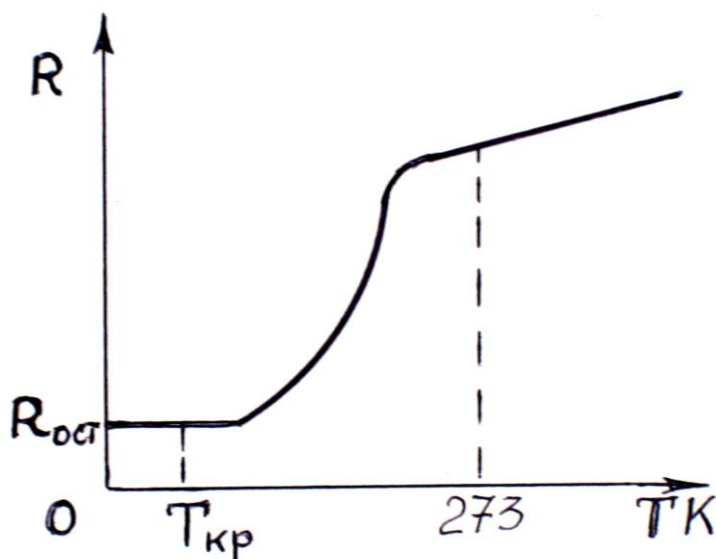


Рис. 9.6

температурах близьких до абсолютного нуля, фактично не залежить від температури (рис.9.6).

У деяких металах і сплавах при температурах близьких до абсолютного нуля електричний опір може стати рівним нулю. Явище **надпровідності** металів було виявлено

Г. Камерлінг-Оннесом у 1916 р. Останнім часом були отримані сплави, у яких температура

переходу в надпровідний стан $T_{кр} \sim 90\text{K}$. При проходженні електричного струму по надпровіднику в ньому не виділяється теплота.

Електричний опір діелектриків і напівпровідників дуже великий і швидко зменшується з підвищенням температури.

Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Сформулюйте закон Ома і запишіть його формулу.
2. Що таке сила струму?
3. Що таке електричний опір?
4. У яких одиницях вимірюється опір?
5. Як опір залежить від розмірів і форми провідника?
6. Як опір залежить від температури?
7. У яких одиницях вимірюється питомий опір?
8. Від чого залежить питомий опір?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Довжина мідних проводів $l_1 = 60\text{см}$, $l_2 = 3\text{м}$. У якого з проводів опір більше і у скільки разів, якщо площі перетину проводів $S_2 = 2S_1$?

Відповідь: $R_2 = 2,5 R_1$.

Задача 2. Площі поперечного перерізу мідних проводів одного $S_1 = 0,1\text{ см}^2$, другого $S_2 = 2\text{ мм}^2$. Опір першого провідника $R_1 = 2\text{ Ом}$. Знайдіть опір R_2 другого провідника.

Відповідь: $R_2 = 10\text{ Ом}$.

Задача 3. Чому дорівнює опір мідного провідника вагою $P = 40\text{ Н}$ і діаметром $D = 1,4\text{ мм}$? ($d = 8,9 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$, $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Відповідь: $R = 3\text{ Ом}$.

Задача 4. Складіть електричне коло з джерела струму, лампочки, вимикача і змінного резистора.

Задача 5. Який заряд q пройде через резистор за час $t = 1\text{ год}$, якщо сила струму в електричному колі $I = 250\text{ мА}$?

Відповідь: $q = 900\text{ Кл}$.

9.3. Сполука провідників і джерел струму

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>Французька</i>
уникнути	to avoid	éviter
зображення	the image	l'imagér
загальний, -а, -е, -і	the general	général
окремо	separately	à part
паралельний, -а, -е, -і	parallel	parallèle
послідовний, -а, -е, -і	consecutive	en série
розгалуження	branch	la bifurcation,
розрив (ч. р.)	break, gap	la rupture
сплука провідників	connection of conductors	la jonction des conducteurs
сприяти	to promote	contribuer à qch, favoriser qch

9.3.1 Послідовна сполука провідників

Для регулювання сили струму в електричному колі використовують постійні і змінні резистори (рис. 9.7) а також реостати з ковзним контактом.

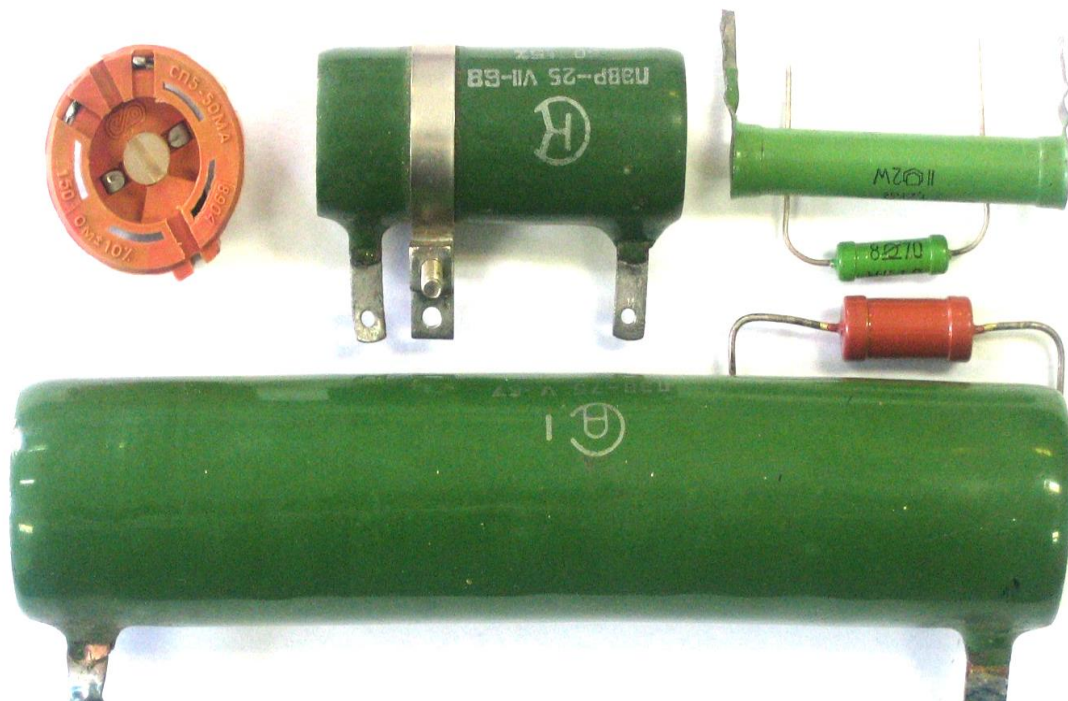


Рис. 9.7

Резистори в електричному колі з'єднують як послідовно так і паралельно (рис. 9.8; 9.9). На рис. 9.8 показана послідовна сполука двох провідників. При такій сполуці сила струму в провідниках на всіх ділянках кола однакова.

При послідовному з'єднанні провідників різниця потенціалів (напруга) у колі дорівнює сумі падінь напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2. \quad (9.8)$$

Із закону Ома для ділянки кола випливає: $U = IR$; $U_1 = IR_1$; $U_2 = IR_2$.

Підставивши значення напруг у формулу (9.8) і скоротивши на I , одержимо

$$R = R_1 + R_2. \quad (9.9)$$

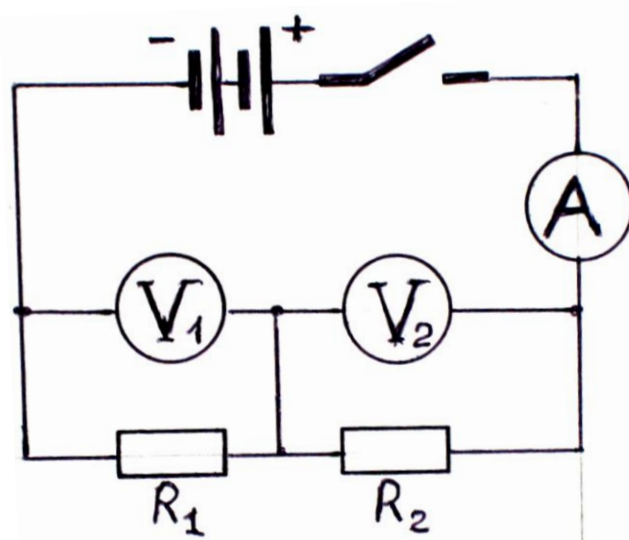


Рис. 9.8

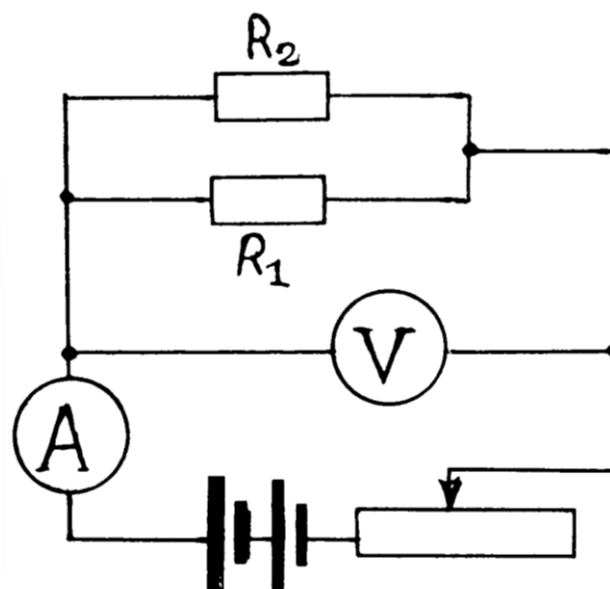


Рис. 9.9

Отже (9.9), загальний опір кола дорівнює сумі опорів окремих провідників (споживачів електроенергії).

При послідовному з'єднанні провідників (резисторів) падіння напруг на окремих провідниках прямо пропорційно опорам провідників:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (9.10)$$

9.3.2. Паралельна сполука провідників

При паралельному з'єднанні провідників (резисторів) падіння напруги на них однакове (рис. 9.5):

$$U_1 = U_2. \quad (9.11)$$

Електричний струм розділяється на паралельні струми:

$$I = I_1 + I_2. \quad (9.12)$$

Якщо виразити струми у формулі (9.12) через падіння напруги, то одержимо

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}. \quad (9.13)$$

Скоротивши праву і ліву частини рівняння на U , одержимо формулу для загального електричного опору при паралельній сполуці резисторів:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (9.14)$$

Струми в паралельних провідниках обернено пропорційні опорам провідників тому що $I_1 R_1 = I_2 R_2$ (падіння напруги однакові), тоді

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (9.15)$$

9.3.3. Закон Ома для неоднорідної ділянки і повного кола

Розглянемо ділянку електричного ланцюга, що складається із джерела струму із внутрішнім опором r і резистора опором R . Нехай на кінцях провідника підтримується різниця потенціалів $(\varphi_1 - \varphi_2)$ зовнішнім джерелом струму (рис. 9.10). За законом Ома **сила електричного струму в неоднорідному колі дорівнює сумі (або різниці) ЕРС джерела струму і різниці потенціалів діленої на загальний опір ділянки ланцюга.**

$$I = \frac{\varepsilon \pm (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}. \quad (9.16)$$

Тут сума $\varepsilon \pm (\varphi_1 - \varphi_2)$ називається напругою (або спаданням напруги) на неоднорідній ділянці ланцюга. Вона дорівнює роботі електричного поля і сторонніх сили (джерела струму) на цій ділянці ланцюга.

З'єднаємо провідником точки В і С електричного кола, показаного на рис. 9.10. Такий електричний ланцюг показаний на рис. 9.11. Тоді різниця потенціалів між точками В і С $(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$. **Закон Ома для повного (замкненого) кола в математичній формі:**

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (9.17)$$

Сформулюємо закон Ома для неоднорідної ділянки електричного кола: **електричний струм прямо пропорційний електрорушійній силі джерела струму і обернено пропорційний електричному опору всього кола.**

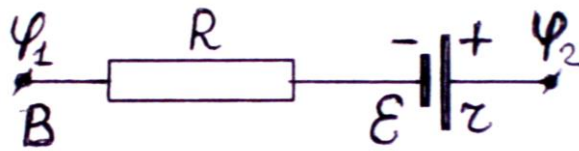


Рис. 9.10

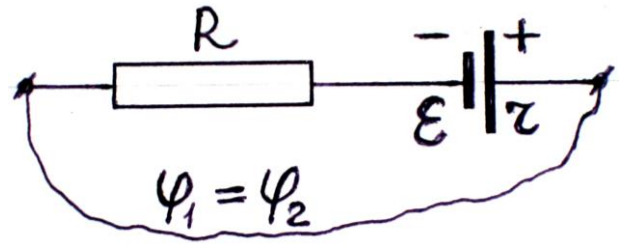


Рис. 9.11

9.3.4 Сполука джерел струму

Джерела струму з'єднують між собою послідовно і паралельно. *При послідовній сполуці ЕРС батареї дорівнює сумі ЕРС всіх джерел, а внутрішній опір батареї дорівнює сумі опорів всіх джерел струму.*

Якщо n однакових джерел струму з'єднати послідовно (рис.9.12), то ЕРС батареї $n\varepsilon$, внутрішній опір nr . Відповідно до закону Ома сила струму для цього кола з зовнішнім опором R :

$$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}. \quad (9.18)$$

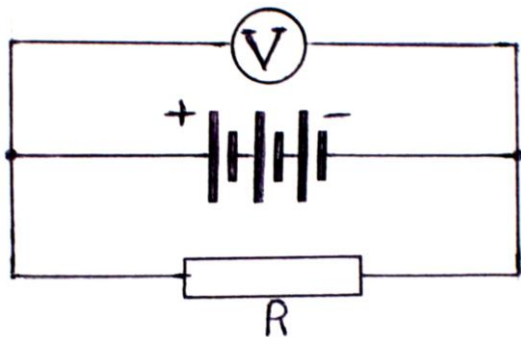


Рис. 9.12

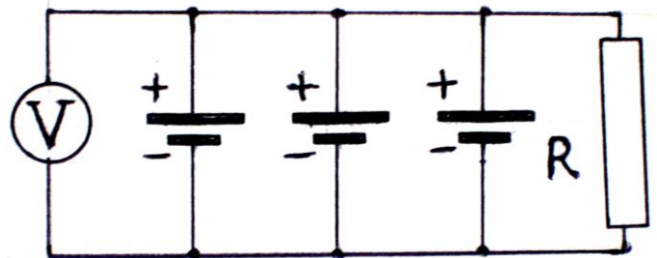


Рис. 9.13

При паралельній сполуці n однакових джерел струму (рис. 9.13) ЕРС батареї дорівнює ЕРС одного елемента, а внутрішній опір зменшується в n раз. Силу струму в колі з зовнішнім опором R можна обчислити за формулою:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r/n}. \quad (9.19)$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Які сполуки провідників ви знаєте?
2. Чому при послідовній сполуці провідників сили струмів рівні на всіх ділянках електричного кола?
3. Чому дорівнює загальна напруга при послідовній сполуці провідників?
4. Чому дорівнює загальний опір ланцюга при послідовній сполуці провідників?
5. Як залежать падіння напруг на ділянках ланцюга від опорів при послідовній сполуці провідників?
6. Чому дорівнює сила струму у всьому ланцюзі при паралельній сполуці провідників?
7. Чому рівні падіння напруг на всіх ділянках ланцюга при паралельній сполуці провідників?
8. Як залежать струми в галузях ланцюга від опору галузей при паралельній сполуці провідників?
9. Сформулюйте закон Ома для неоднорідної ділянки ланцюга і запишіть формулу.
10. Сформулюйте закон Ома для повного ланцюга і запишіть формулу закону.

Задачі для розв'язання

Задача 1. Чому дорівнює довжина l мідного провідника діаметром $d = 0,8$ мм, якщо при різниці потенціалів $U = 1,4$ В по ньому іде струм силою $I = 0,8$ А.

Відповідь: $l = 50$ м.

Задача 2. Опір $R_1 = 9$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 3$ Ом з'єднані послідовно. Чому дорівнює струм у ланцюга і спадання напруги на кожному, якщо напруга $U = 120$ В.

Відповідь: $I = 5$; $U_1 = 45$ В; $U_2 = 60$ В; $U_3 = 15$ В.

Задача 3. Опір мідного проведення при температурі $t_1 = 15^\circ\text{C}$ дорівнює $R_1 = 58$ Ом. Визначіть його опір при температурі $t_2 = 30^\circ\text{C}$.

Відповідь: $R_2 = 70$ Ом.

Задача 4. Підключений клемми до джерела струму вольтметр показує $U_1 = 10$ В при зовнішньому опорі $R_1 = 5$ Ом, а при опорі

$R_2 = 12 \text{ Ом}$ напруга $U_2 = 12 \text{ В}$. Чому дорівнює EPC і внутрішній опір r джерела струму?

Відповідь: $\varepsilon = 14 \text{ В}$; $r = 2 \text{ Ом}$.

Завдання 5. Який резистор R_2 потрібно з'єднати паралельно із провідником $R_1 = 300 \text{ Ом}$, щоб загальний опір стало рівним 120 Ом .

Відповідь: $R_2 = 200 \text{ Ом}$.

Завдання 6. Чому дорівнює маса m мідного провідника довжиною $l = 10 \text{ км}$, якщо його опір $R = 29 \text{ Ом}$.

Відповідь: $m = 521 \text{ кг}$.

9.4. Робота і потужність постійного струму

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
витрачена (повна робота)	the spent (full) work	le travail dépensé
коротке замикання	short circuit	le court circuit
переміщати	transferred	transporte
корисна робота	useful work	le travail utile
корисне навантаження	useful charge	la charge utile
перетворення	transmutation	la transformation
резистор	the resistor	le résisteur
еквівалентний	equivalent	equivalent

9.4.1. Робота постійного електричного струму

У будь-якому електричному ланцюзі енергія електричного струму перетворюється в еквівалентну кількість іншого виду енергії (внутрішню енергію провідників, електромагнітну і т.д.). Мірою перетворення електричної енергії є робота з переміщення електричних зарядів. Робота з переміщення заряду в електричному полі дорівнює добутку заряду на різницю потенціалів:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (9.20)$$

Виразивши заряд через силу струму й час, одержимо:

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t. \quad (9.21)$$

Повна робота, що робить джерело струму із внутрішнім опором r :

$$A_{нов} = q \cdot \varepsilon = I\varepsilon t = I^2(R + r), \quad (9.22)$$

де ε – ЕРС джерела струму.

9.4.2. Закон Джоуля-Ленца

При проходженні електричного струму по провіднику впорядкований рух заряджених часток порушується. Енергія струму перетворюється у внутрішню, тобто теплову енергію. На початку 40-х рр. ХІХ століття Дж. Джоуль і Е. Ленц незалежно один від одного експериментально встановили закон, за яким можна розрахувати кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику при проходженні електричного струму. Сформулюємо закон Джоуля-Ленца: *кількість теплоти, що виділяється в електричному ланцюзі, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору ділянки ланцюга і часу проходження струму:*

$$Q = I^2 R t. \quad (9.23)$$

Корисна робота, що виконує джерело струму на деякому елементі ланцюга, визначається формулою $A = IUt$. Якщо розділити корисну роботу на роботу, що робить джерело струму, одержимо коефіцієнт корисної дії джерела струму:

$$\eta = \frac{A}{A_{нов}} = \frac{IUt}{I\varepsilon t} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}. \quad (9.24)$$

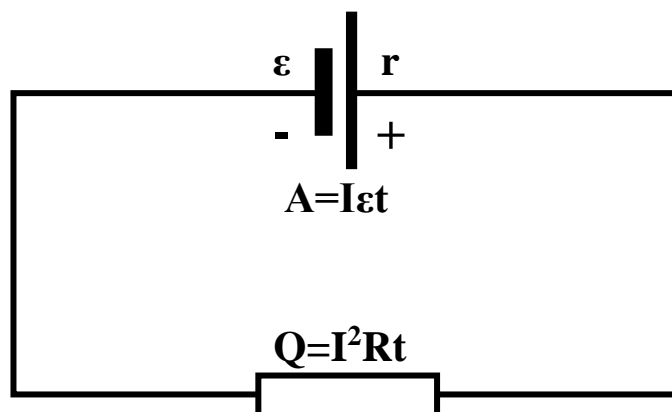


Рис. 9.14

З формули (9.24) видно, що η тим більше, чим менше внутрішній опір джерела струму. При короткому замиканні ($R = 0$), $\eta = 0$.

9.4.3. Потужність постійного струму

Потужність постійного електричного струму визначається роботою, що виконується за одиницю часу:

$$N = \frac{IUt}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \quad (9.25)$$

Одиницею потужності в СІ є ват. 1 Вт – це робота в 1 Дж, що виконується за 1 с. На практиці і у побуті широко застосовуються несистемні одиниці: $1\text{Вт} \cdot \text{с} = 3600\text{Дж}$, $1\text{кВт} \cdot \text{год} = 3,6\text{МДж}$.

9.5. Електричний струм в електролітах і газах

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
1	2	3
дисоціація	dissociation	la dissociation
виділяється	to distinguished	se dégager
виривання	to pull out, escape	l'émission
газовий розряд	gas discharged	la décharge dans le gaz
промінь (ч. р.)	beam (ray)	le rayon
накладати	to impose	superposer
звичайний, - а, -е, -і	usual	orbinaire, habituel
переносити	to transfer	transférer
радіоактивні речовини	radioactive substances	les substances radioactives
розпад (ч. р.)	decay	la gésintégration
рекомбінація (ж.р.)	recombination	la recombinaison
рентгенівські промені	x-rays	les rayons-x
струм насичення	saturation current	le courant de la saturation
ультрафіолетові промені	ultraviolet rays	les rayons ultraviolets

1	2	3
еквівалент	equivalent	l'équivalent
електроліз (ч. р.)	electrolysis	l'électrolyse
електроліт (ч. р.)	by electrolyte	l'électrolyte
електрохімічний еквівалент	electrochemical equivalent	l'équivalent électrochimique

9.5.1. Електричний струм в електролітах

Електролітами називаються розчини й розплави солей, кислот і лугів. У водяних розчинах молекули солей, кислот і лугів дисоціюють (розпадаються) на іони. Явище електролітичної дисоціації відбувається внаслідок сильного зменшення електростатичної взаємодії між іонами (діелектрична проникність води $\epsilon = 81$) і зіткнень молекул. Іони протилежного знака можуть поєднуватися (рекомбінувати), відтворюючи нейтральні молекули. *Між процесами електролітичної дисоціації й рекомбінації при постійній температурі встановлюється динамічна рівновага.*

Якщо в електроліт занурити два електроди й приєднати їх до джерела струму (рис. 9.15), то позитивно заряджені іони водню й металів будуть рухатися до катода, а негативні іони до анода.

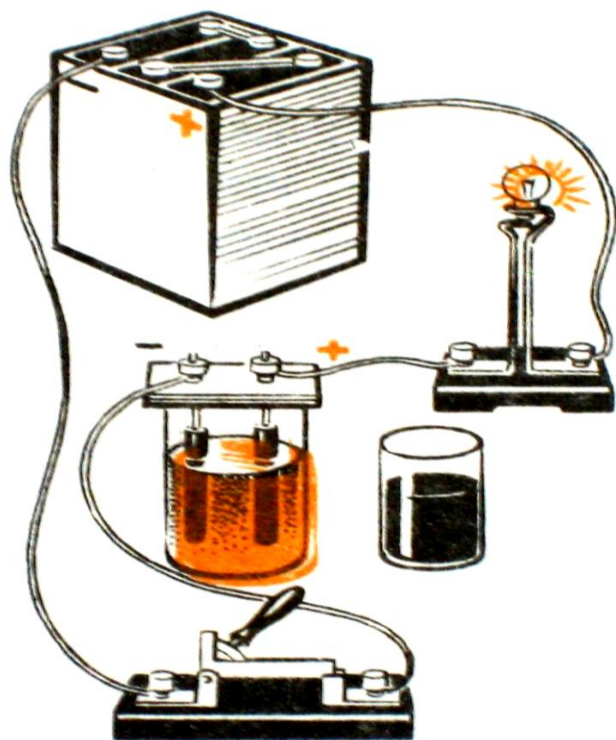


Рис. 9.15

Віддаючи заряд електродам іони виділяються на них у вигляді нейтральних атомів.

Явище виділення речовини на електродах при проходженні струму через електроліт називається електролізом. Електричний струм в електролітах являє собою впорядкований рух іонів.

Пропускаючи електричний струм через різні електроліти і вимірюючи масу речовини, що виділилося на електродах, англійський учений Майкл

Фарадей установив закони електролізу.

Перший закон Фарадея

- *Маса речовини, що виділилася на електродах, прямо пропорційна заряду, що пройшов через електроліт:*

$$m = kq = kIt, \quad (9.26)$$

де k – електрохімічний еквівалент даної речовини (значення k наведені в таблицях). Електрохімічний еквівалент чисельно дорівнює масі речовини, що виділяється на електроді при проходженні через електроліт 1 кулона електричного заряду.

Другий закон Фарадея

- *Електрохімічні еквіваленти речовини прямо пропорційний їхнім кілограм-еквівалентам:*

$$k = \frac{1}{F} x, \quad (9.27)$$

де кілограм-еквівалент (інакше хімічний еквівалент дорівнює відношенню атомної маси (у кілограмах) до валентності $x = A/n$, F – кількість електрики, яка необхідна для виділення одного кілограм-еквівалента будь-якої речовини. F – універсальна стала, що одержала назву **число Фарадея**:

$$F = 9,65 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{екв}}. \quad (9.28)$$

Число Фарадея – загальний заряд всіх іонів, які втримуються в одному кілограм-еквіваленті речовини. Через число Фарадея і число Авогадро визначається заряд одновалентного іона, тобто мінімальний електричний заряд:

$$q_0 = \frac{F}{N_A} = \frac{9,65 \cdot 10^7}{6025 \cdot 10^{26}} = 1,601 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Об'єднаний закон електролізу

Поєднуючи перший і другий закони Фарадея, можна одержати загальний закон електролізу:

$$m = \frac{1}{F} \cdot q = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t. \quad (9.29)$$

9.5.2. Електричний струм у газах

У нормальних умовах газ є гарними діелектриками. Для того, щоб газ проводив електричний струм його необхідно іонізувати. Іонізувати газ можна за допомогою:

- високої температури;
- ультрафіолетового, рентгенівського випромінювання;
- радіоактивного, лазерного випромінювання.

Процес іонізації полягає у вириванні електронів з атомів, у результаті якого утворюються позитивно заряджені іони й електрони. При взаємодії електронів з нейтральними атомами можуть утворюватися негативні іони. Позитивні іони можуть з'єднуватися з електронами утворюючи нейтральні атоми. Цей процес називається **рекомбінацією**. Під дією іонізатора в об'ємі газу встановлюється рухлива рівновага між процесами іонізації й рекомбінації.

При підвищенні різниці потенціалів між обкладинками повітряного конденсатора струм спочатку росте (рис.9.16)

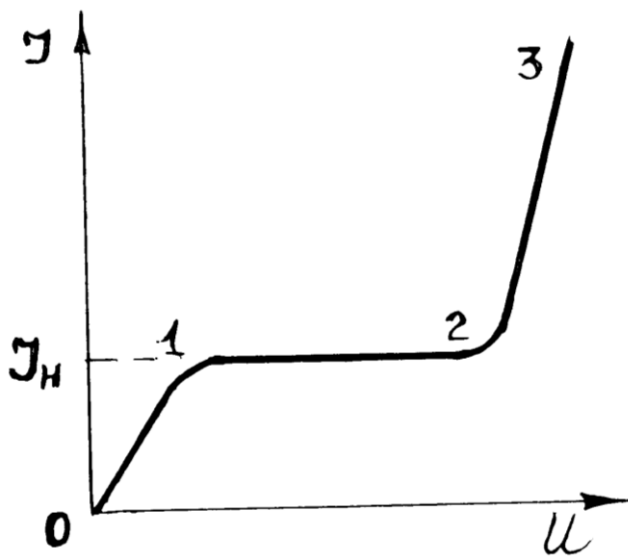


Рис. 9.16

досягаючи насичення. Існування струму насичення I_n пояснюється тим, що всі іони, які виникають при дії іонізатора, переносять електричний струм. Збільшити струм насичення можна збільшивши інтенсивність іонізатора. На рис. 9.15 ділянка 0–1 відповідає області, де приблизно виконується закон Ома. Ділянка 1–2 – область насичення струму. При подальшому збільшенні різниці потенціалів (ділянка

2–3) відбувається ударна іонізація атомів прискореними електронами. Такий розряд називається **самостійним**. Він триває навіть після припинення дії іонізатора.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Напишіть формулу роботи постійного електричного струму.

2. Напишіть формулу роботи джерела струму.
3. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії джерела струму?
4. Напишіть формулу потужності постійного електричного струму.
5. Що таке коротке замикання?
6. Чому провідник нагрівається при проходженні через нього електричного струму?
7. Сформулюйте закон Джоуля-Ленца? Напишіть його формулу.
8. Якими електронагрівальними приладами ви користуєтесь?
9. Що називається електролізом?
10. Що називається електролітичною дисоціацією?
11. Що називається рекомбінацією?
12. Що являє собою електричний струм в електролітах?
13. Сформулюйте перший закон Фарадея. Напишіть його формулу.
14. Сформулюйте другий закон Фарадея. Напишіть його формулу.
15. Чому дорівнює число Фарадея?
16. Напишіть формулу об'єднаного закону Фарадея.
17. Що являє собою електричний струм у газах?
18. Що називається газовим розрядом? Які газові розряди ви знаєте?

Приклад розв'язання задачі

Задача 1. Провідники з опорами $R_1 = 10 \text{ Ом}$ і $R_2 = 20 \text{ Ом}$ з'єднані паралельно і підключені до джерела постійного струму. У першому провіднику виділилася кількість теплоти $q_1 = 100 \text{ Дж}$. Яка кількість теплоти q_2 виділиться за той самий час t у другому провіднику?

Дано:

$$R_1 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$q_1 = 100 \text{ Дж}.$$

$$q_2 = ?$$

Аналіз і розв'язання:

1. Падіння напруги на провіднику при паралельній сполуці однакове. Кількість теплоти, що виділилася, обчислимо за формулами:

$$q_1 = \frac{U^2 t}{R_1}; \quad q_2 = \frac{U^2 t}{R_2}.$$

2. Розділивши ліві і праві частини першої рівності на другу, одержимо:

$$q_2 = \frac{q_1 R_1}{R_2} = \frac{100 \cdot 5}{10} = 50 \text{ Дж}.$$

Відповідь: $q_2 = 50 \text{ Дж}$.

Задачі для розв'язання

Задача 1. ЕРС джерела струму $\varepsilon = 3,5\text{В}$, внутрішній опір $r = 0,8\text{ Ом}$. У коло послідовно включені резистори $R_1 = 3,0\text{ Ом}$ і $R_2 = 3,2\text{ Ом}$. Опір проводів, що підводять струм, $R = 0,8\text{ Ом}$. Визначіть силу струму I у колі.

Відповідь: $I = 0,5\text{ А}$.

Задача 2. ЕРС джерела струму $\varepsilon = 3\text{В}$, внутрішній опір $r = 0,8\text{ Ом}$. У ланцюг паралельно включені резистори $R_1 = 3\text{ Ом}$, $R_2 = 6\text{ Ом}$. Опір проводів, що підводять струм, $R = 1,2\text{ Ом}$. Визначіть силу струму I_2 у другому опорі.

Відповідь: $I_2 = 0,25\text{ А}$.

Задача 3. По провіднику опором $R = 6\text{ Ом}$ за час $t = 2\text{ хв}$. Пройшло $q = 200\text{ Кл}$ електрики. Скільки виділилося теплоти?

Відповідь: $Q = 2\text{ кДж}$.

Задача 4. Два провідники з однаковими опорами підключили до джерела постійного струму спочатку паралельно, а потім послідовно. У якому випадку споживається більша потужність і в скільки разів?

Відповідь: при паралельному в 4 рази.

Задача 5. При електролізі розчину сірчаноокислого срібла протягом $t = 10\text{ хв}$ виділилося $m = 3,5\text{ г}$ срібла. Визначіть величину опору, включеного послідовно з ванною, у якій відбувається електроліз, якщо спадання напруги на цьому опорі $U = 10\text{ В}$. Електрохімічний еквівалент міді $k = 0,34\text{ мг/Кл}$.

Відповідь: $R = 0,6\text{ Ом}$.

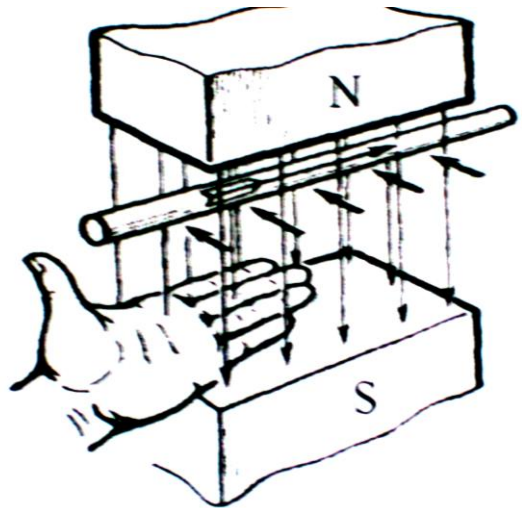
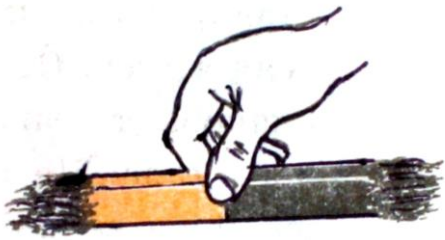
Задача 6. Який додатковий опір необхідно приєднати до вольтметра, внутрішній опір якого 5 кОм , щоб граничне значення вимірюваного вольтметром напруги збільшилося в 5 разів?

Відповідь: 20 кОм .

Задача 7. По провіднику опором $R = 6\text{ Ом}$ за час $t = 4\text{ хв}$. Пройшло $q = 200\text{ Кл}$ електрики. Скільки виділилося теплоти?

Відповідь: $Q = 4\text{ кДж}$.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ



Магнітне поле - вид матерії, що передає взаємодію між електричними зарядами, що рухаються

10. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

10.1. Постійні магніти

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
полюс магніту	magnet pole	le pôle de l'aimant
правило буравчика	ampere's rule	la règle de tire-bouchon
прямий магнат	direct magnet	l'aimant direct
рукоятка буравчика	the handle of a gimlet	levier de tire-bouchon
північ	nord	le nord
північний полюс	north pole	pôle nord
соленоїд	the solenoid	le solénoïde
тесла	tesla	le tesla
вказувати	to indicate	indiquer
південь	the south	le sud
південний полюс	south pole	le pole sud
магнітна стрілка	magnetic arrow	l'aiguille aimantée
виток соленоїда	coil of the solenoid	la spire du solénoïde
вистягнуті пальці	prolate fingers	les doigts tendus
залізні обпилювання	iron raspings	la limaille de fer
індукція магнітного поля	induction of a magnetic field	l'induction du champ magnétique
долоня	palm	la paume
магніт	magnet	l'aimant
магнітна силова лінія	magnetic line of force	la ligne magnétique de force
намагнічування	magnetization	la magnetization, l'aimentation
намагнічувати	to magnetize	magnétiser
однорідне магнітне поле	homogeneous magnetic field	le champ homogène magnétique
палець	finger	le doigt
підковоподібний магніт	horseshoe magnet	l'aimant en fer à cheval

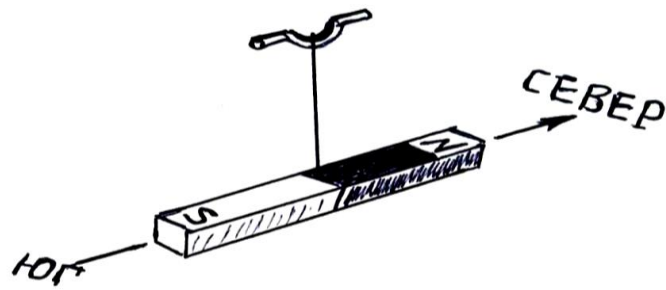


Рис. 10.1

Магнітні явища були відомі людям багато століть тому назад. У природі існує залізна руда – магнетит, що має властивість притягати до себе дрібні сталеві предмети. Шматки такої руди є природними постійними магнітами. Якщо постійний магніт у вигляді легкого тонкого стрижня підвісити на нитці, то магніт установиться так, що один його кінець буде спрямований на північ, а інший на південь.

Кінець магніту, що спрямований на північ, називають *північним полюсом* (N), а протилежний – *південним полюсом*. Досліди показують, що однойменні полюси відштовхуються, різнойменні притягаються (рис.10.2 а,б). У XVIII ст. електрика і магнетизм вважалися схожими, але все-таки мають різну природу явищами. Зв'язок між цими явищами вперше виявив датський фізик Х.К. Ерстед в 1820 р. Якщо над провідником зі струмом, спрямованим уздовж земного меридіана, помістити магнітну стрілку, то стрілка повернеться перпендикулярно напрямку струму (рис.10.3).

10.2. Взаємодія провідників зі струмом

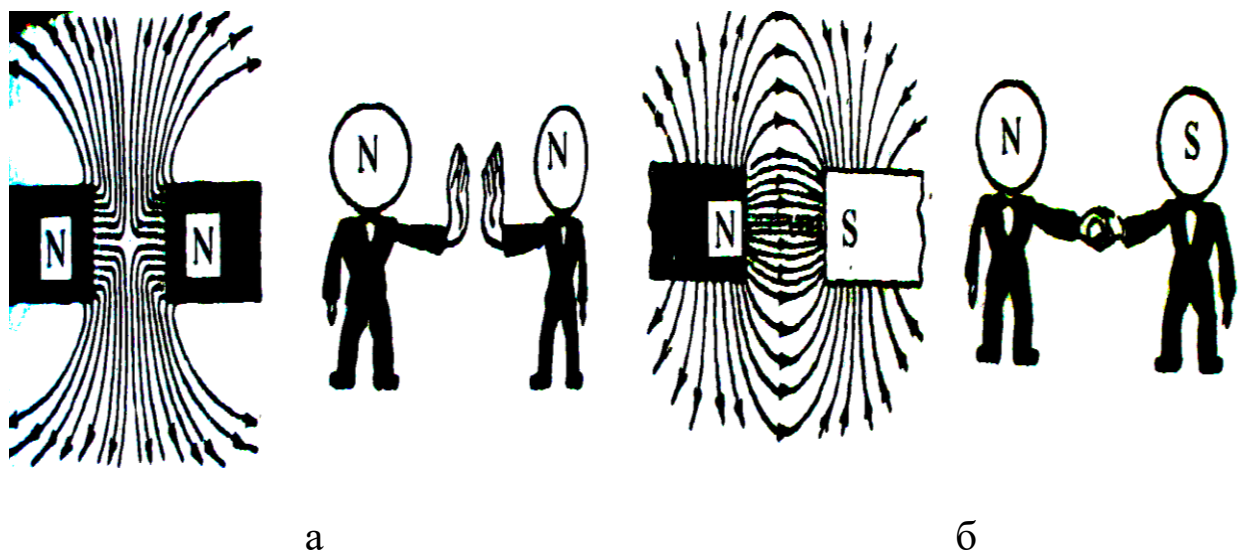


Рис.10.2

Якщо по двох плоских паралельних проводах пропустити постійний струм в одному напрямку, то проведення притягаються.

При пропущенні струму в протилежних напрямках проведення відштовхуються (рис.10.4).

Кількість позитивних і негативних зарядів у провіднику однакова, тому взаємодія провідників зі струмом не є електростатичною.

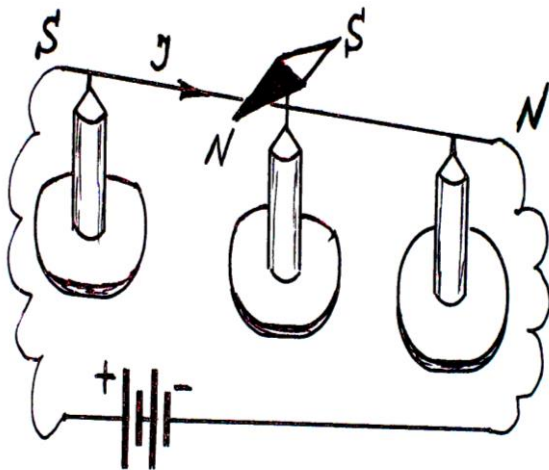


Рис. 10.3

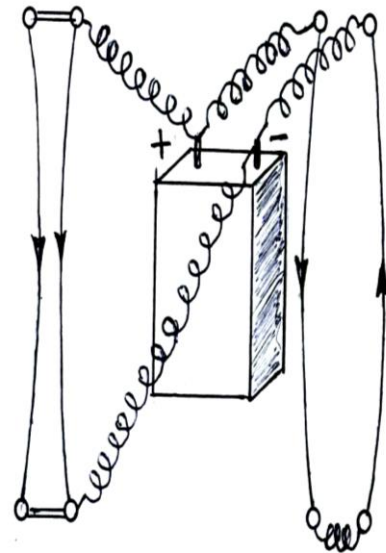


Рис. 10.4

10.3. Магнітне поле

Навколо провідника зі струмом (навколо електричних зарядів, що рухаються) виникає особливий стан простору, що назвали магнітним полем. Магнітне поле матеріальне, тому що воно має такі основні властивості:

- *створюється зарядами, що рухаються, або струмами;*
- *діє на електричні заряди, що рухаються, і струми;*
- *виявляється за допомогою провідника зі струмом.*

Наочно (графічно) магнітне поле описують за допомогою силових ліній.

Силова лінія магнітного поля – це лінія, напрямком дотичної до якої в кожній точці збігається із силою, що діє на північний полюс магнітної стрілки.

Зображення силових ліній провідників зі струмом різної форми можна моделювати за допомогою залізних обпилювань (рис. 10.5). На рис. 10.6 видно, що усередині соленоїда силові лінії магнітного поля паралельні. Таке поле називається однорідним. Однорідне магнітне поле існує також між різнойменними полюсами постійних магнітів, якщо розміри полюсів більше, ніж відстань між ними.

Силові лінії магнітного поля завжди замкнені, тому що магнітних зарядів, на відміну від електричних, у природі не існує. Напрямок силових ліній магнітних полів визначають за допомогою правила буравчика (правого гвинта).

У випадку прямолінійного провідника напрямок силових ліній (рис.10.5 а) збігається з напрямком обертання рукоятки буравчика, якщо його поступальний рух збігається з напрямком струму.

У разі колового струму (рис.10.5б) і соленоїда (рис.10.5в) напрямок силових ліній магнітного поля збігається з напрямком поступального руху буравчика, якщо обертання рукоятки буравчика збігається з напрямком колового струму. На рис. 10.6а, б видно, що магнітне поле прямого постійного магніту і соленоїда дуже схожі.

У природі не існує однополюсних магнітів. Магнітне поле, на відміну від потенційного електростатичного поля, є вихровим (соленоїдальним).

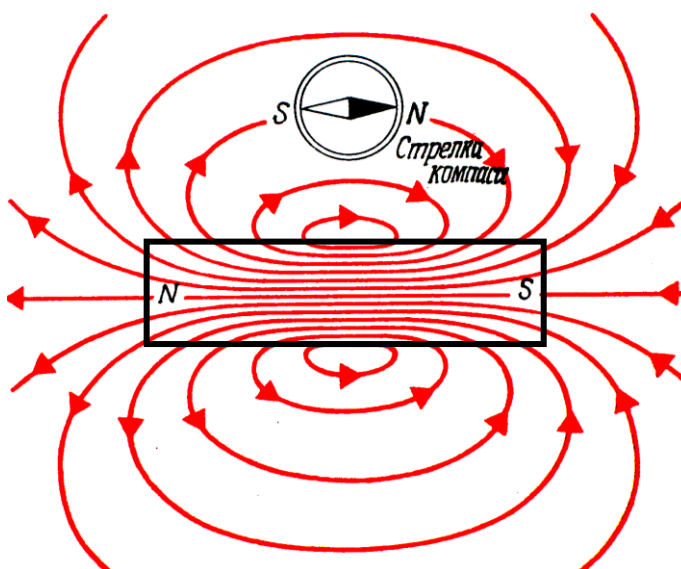


Рис. 10.5

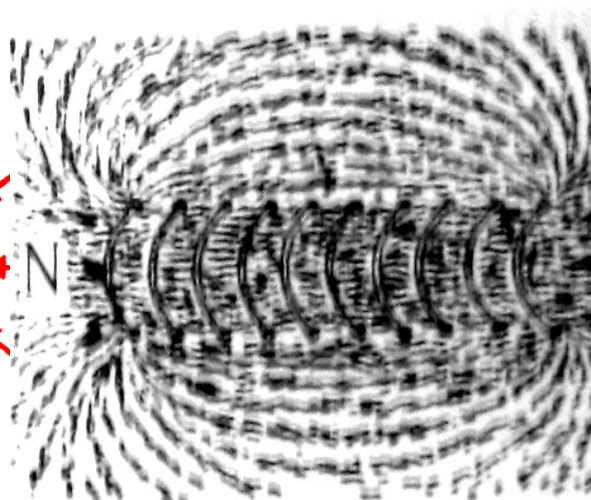


Рис. 10.6

10.4. Сила Ампера. Вектор магнітної індукції

На провідник зі струмом, поміщений у магнітне поле, діє сила, що одержала назву – сила Ампера. Експерименти свідчать, що сила діюча на провідник зі струмом прямо пропорційна силі струму, довжині провідника, інтенсивності магнітного поля і синусу кута між напрямком струму і напрямком магнітного поля (рис.10.7):

$$F_A = I\ell B \sin \alpha. \quad (10.7)$$

Напрямок сили Ампера визначають за допомогою правила лівої руки (рис. 10.8): *якщо ліву руку розташувати так, щоб силові лінії магнітного входили в долоню перпендикулярно, а чотири витягнутих пальці вказували напрямок струму, тоді відігнутий на 90° великий палець покаже напрямок сили, що діє на провідник зі струмом.*

Напрямок сили Ампера можна визначити за правилом буравчика: *якщо обертати рукоятку буравчика від напрямку струму до напрямку магнітного поля, то поступальний рух буравчика покаже напрямок сили Ампера* (рис. 10.7).

Силу характеристику магнітного поля (магнітну індукцію) можна встановити із закону Ампера, якщо прийняти кут $\alpha = 90^\circ$. У цьому разі відношення сили Ампера до довжини провідника і сили струму є постійна величина для даної області простору

$$\frac{F_A}{I\ell} = const. \quad (10.8)$$

Таким чином, *модуль магнітної індукції чисельно дорівнює силі, з якої магнітне поле діє на прямолінійний провідник довжиною $l = 1\text{м}$ зі струмом $I = 1\text{А}$, який поміщено перпендикулярно силовим лініям магнітного поля*

$$B = \frac{F_A}{I\ell \sin 90^\circ}. \quad (10.9)$$

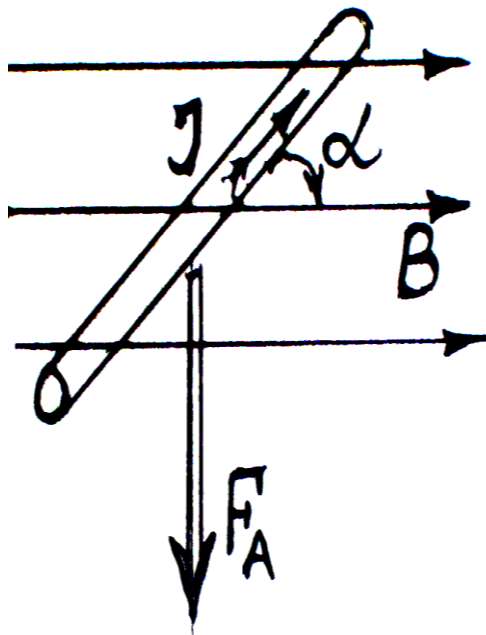


Рис. 10.7

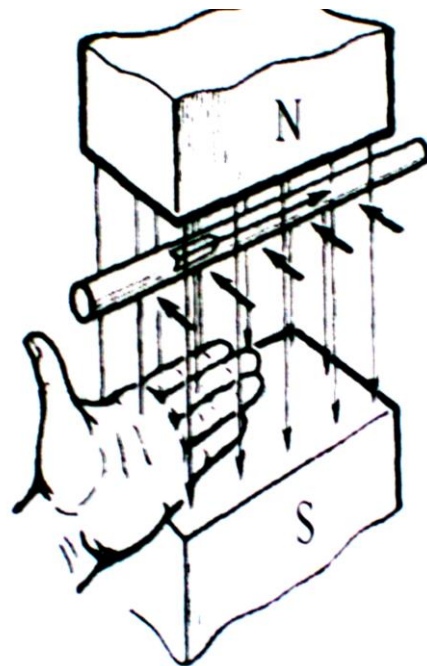


Рис. 10.8

За одиницю магнітної індукції в СІ приймають індукцію магнітного поля, що діє на кожний метр провідника зі струмом 1 А, що розташований перпендикулярно полю, із силою 1 Н. Одиниця називається тесла (Тл).

$$1\text{Тл} = \frac{1\text{Н}}{1\text{А} \cdot 1\text{м}} = 1 \frac{\text{Нм}}{\text{Ам}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Ам}} = 1 \frac{\text{А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = 1 \frac{\text{Вс}}{\text{м}^2} \dots$$

10.5. Рамка зі струмом у магнітному полі

Виготовимо провідник у вигляді квадратної рамки (рис. 10.9 а) зі стороною l і помістимо в магнітне поле. Сила Ампера буде прагнути повернути рамку так, щоб перпендикуляр (нормаль) до її поверхні був орієнтований уздовж напрямку магнітного поля (10.9в). Для характеристики рамки зі струмом вводять магнітний момент контуру зі струмом $P_m = I \cdot S$, де I - сила струму, S - площа контуру. Напрямок вектора магнітного моменту визначають

за допомогою правила буравчика. Момент пари сил, які обертають рамку, дорівнює подвоєному добутку сили Ампера на плече:

$$M = 2F_A \cdot \frac{d}{2} \sin \alpha = F_A d \sin \alpha. \quad (10.10)$$

Підставивши у формулу (10.10) силу Ампера, одержимо:

$$M = I \ell B d \sin \alpha = p_m B \sin \alpha. \quad (10.11)$$

З формули (10.11) випливає, що *модуль вектора магнітної індукції дорівнює відношенню максимального обертаючого механічного моменту ($\alpha = 0$) до магнітного моменту*:

$$B = \frac{M_{max}}{p_m} = \frac{M_{max}}{I \cdot S}. \quad (10.12)$$

За напрямок вектора магнітної індукції приймається напрямок позитивної нормалі до контуру який вільно встановився у магнітному полі (рис. 10.9 в).

Силу характеристику магнітного поля B можна встановити також як відношення максимального механічного моменту пари сил M_{max} , який діє на рамку площею S зі струмом I до магнітного моменту p_m за формулою (10.12).

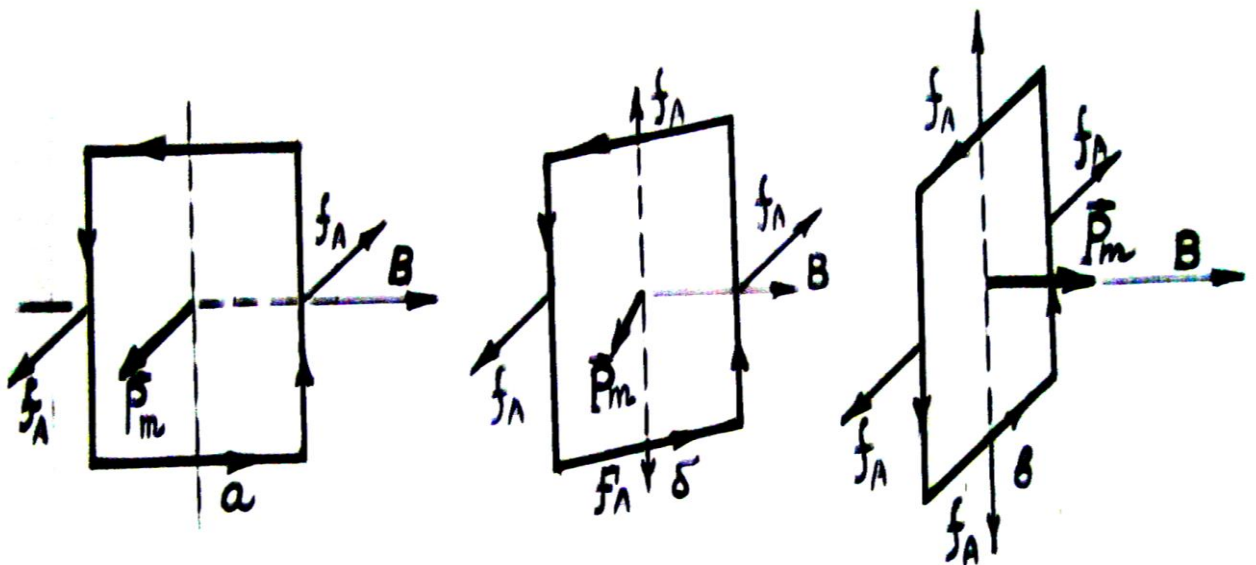


Рис. 10.9

Вправа 1. Напишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Які постійні магніти ви знаєте?
2. Як взаємодіють однойменні полюси магнітів?
3. Як взаємодіють різнойменні полюси магнітів?
4. Чим створюється магнітне поле?
5. Які характеристики магнітного поля ви знаєте?
6. Чи діє магнітне поле на заряди, які рухаються?
7. Як графічно зображують магнітні поля?
8. Що називається силовою лінією магнітного поля?
9. Покажіть на рисунку силові лінії для постійних магнітів.
10. Сформулюйте правило буравчика для прямого провідника зі струмом?
11. Для чого застосовується правило буравчика?
12. Сформулюйте правило буравчика для кругового провідника зі струмом і соленоїда?
13. На відміну від електростатичного (потенційного) поля, яким є магнітне поле?
14. Напишіть формулу закону Ампера.
15. Що називається вектором магнітної індукції? Напишіть одиницю виміру цієї величини в СІ.
16. Сформулюйте правило лівої руки.
17. Яке магнітне поле називається однорідним.

10.6. Магнітний потік. Магнітне поле в речовині. Сила Лоренца

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
густіше	more richly (density)	plus dense
індукція	induction	l'induction
магнітний потік	magnetic flux	le flux magnétique
діамагнетик	diamagnet	le diamagnétique
послабляти	to attenuate	affaiblir
парамагнетики	paramagnetics	le paramagnétique
ферромагнетики	ferromagnetics	le ferromagnétique
відносна магнітна проникність середовища	relative permeability of medium	la perméabilité relative magnétique du milieu

10.6.1. Магнітний потік

Силкові лінії магнітного поля проводять так, щоб через одиничну площину, перпендикулярну вектору магнітної індукції, проходило число силових ліній, пропорційне модулю магнітної індукції. Число силових ліній, які проходять через площину S під кутом α до нормалі (рис.10.10) можна знайти за формулою:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha. \quad (10.13)$$

За одиницю магнітного потоку в СІ – вебер приймають потік магнітного поля з індукцією 1 Тл, що пронизує площину $S = 1 \text{ м}^2$ нормально ($\alpha = 0$) до цієї площини:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2 = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

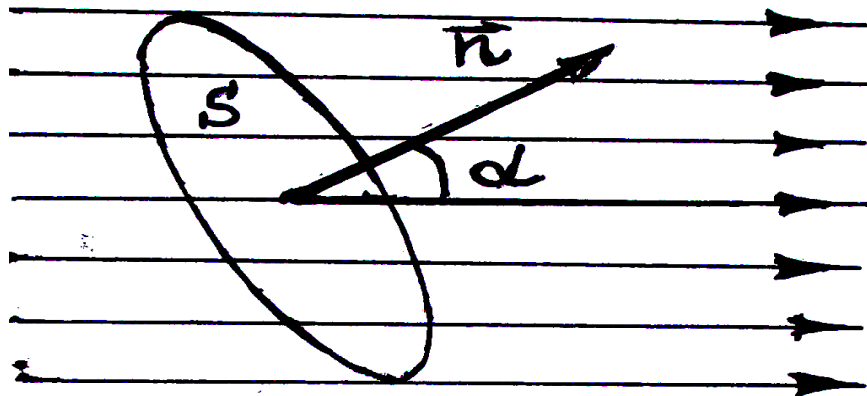


Рис. 10.10

10.6. 2. Магнітне поле у речовині

Магнітне поле дуже залежить від властивостей навколишнього середовища. Наприклад, якщо в котушку зі струмом (соленоїд) помістити залізо, кобальт або нікель, то магнітне поле значно підсилюється. Вектор магнітної індукції \vec{B} характеризує магнітне поле в речовині.

Магнітне поле у вакуумі характеризується вектором напруженості магнітного поля \vec{H} (вимірюється в А/м). Зв'язок між ними описується формулою:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H}, \quad (10.14)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнітна стала; μ – відносна магнітна проникність середовища.

Відносна магнітна проникність середовища показує, у скільки разів магнітне поле у речовині більше або менше магнітного поля у вакуумі $\mu = B/(\mu_0 \cdot H)$. Магнітне поле у речовині складається з поля струму і магнітного поля, яке виникає в речовині.

Електрони, які обертаються навколо ядер атомів, створюють елементарні магнітні поля, які взаємодіють із зовнішнім магнітним полем. Унаслідок цієї взаємодії всі речовини прийнято ділити на три групи:

1. **Діамагнетики** ($\mu < 1$) – речовини, у яких магнітне поле дещо послаблюється. Це мідь, золото, скло, інертні гази.
2. **Парамагнетики** ($\mu > 1$) – речовини, у яких магнітне поле дещо підсилюється. Це алюміній, платина, кисень.
3. **Феромагнетики** ($\mu \gg 1$) – речовини, у яких магнітне поле підсилюється в десятки і сотні разів. Це залізо, кобальт, нікель, перехідні метали, ферити.

У феромагнетиків у разі відсутності магнітного поля є невеликі області самовільного (спонтанного) намагнічування – домени. Вони подібні маленьким постійним магнітам, які розташовані хаотично. У магнітному полі феромагнітні домени орієнтуються уздовж поля й значно підсилюють його.

10.6.3. Сила Лоренца

Електричний струм – це впорядкований, спрямований рух зарядів. Отже, на кожний заряд, що рухається в магнітному полі, діє сила, що одержала назву сила Лоренца. Використовуючи закон Ампера, знайдемо цю силу:

$$F_n = \frac{F_A}{N} = \frac{I \cdot \ell \cdot B \cdot \sin \alpha}{N}, \quad (10.15)$$

де $I = q \cdot n \cdot v \cdot S$ – сила струму, n – концентрація зарядів, $N = n \cdot V = n \cdot S \cdot \ell$ – число зарядів в об'ємі V . Підставивши значення I і N у формулу (10.15), одержимо силу Лоренца:

$$F_{\text{л}} = \frac{q \cdot v \cdot n \cdot S \cdot \ell \cdot B \cdot \sin \alpha}{n \cdot S \cdot \ell} = qvB \sin \alpha. \quad (10.16)$$

Напрямок сили Лоренца визначають за правилом лівої руки або правилом буравчика (рис. 10.11). Сила Лоренца завжди

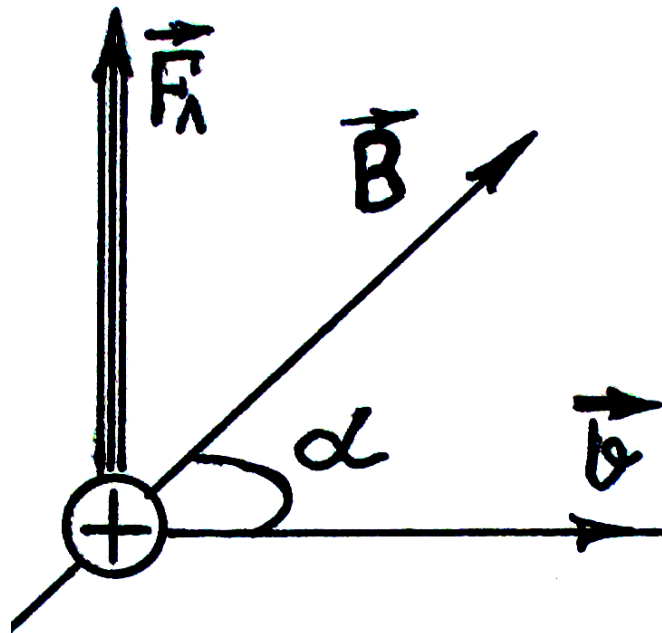


Рис. 10.11

спрямована перпендикулярно швидкості і змушує заряджену частинку рухатися по колу. Знайдемо радіус цього кола, з огляду на те, що сила Лоренца відіграє роль нормальної (доцентрової) сили:

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = qvB \sin 90^\circ; \quad R = \frac{mv}{qB}. \quad (10.17)$$

Якщо кут $\alpha = 90^\circ$ – заряджена частка рухається по колу, якщо $\alpha < 90^\circ$ – частинка рухається по спіралі. Період обертання зарядженої частинки в магнітному полі:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}. \quad (10.18)$$

З формули (10.18) видно, що період обертання часток не залежить від радіуса, величини і напрямку швидкості. Ця обставина дозволила створити циклотрон – прилад для прискорення заряджених часток.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Що таке магнітний потік? Напишіть формулу.
2. У яких одиницях вимірюється магнітний потік у СІ?
3. Які речовини належать до феромагнетиків?
4. Магнітна проникність феромагнетиків менше одиниці?
5. Які речовини належать до діамагнетиків?
6. Магнітна проникність діамагнетиків більше або менше одиниці?
7. Які речовини належать до парамагнетиків?
8. Магнітна проникність парамагнетиків більше одиниці?
9. Чому дорівнює числове значення μ_0 ?
10. Що таке сила Лоренца? Напишіть формулу сили Лоренца.
11. Сформулюйте правило лівої руки. :

Задачі для розв'язання

Задача 1. Знайдіть індукцію B магнітного поля в точці, що перебуває у повітрі на відстані $r = 9,2$ см від прямолінійного провідника зі струмом силою $I = 13,8$ А.

Відповідь: $B = 3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Задача 2. По двох прямолінійних паралельних провідниках великої довжини течуть струми силою $I_1 = 24$ А и $I_2 = 16$ А. Провідники перебувають у повітрі на відстані $r = 0,2$ м один від іншого. Знайдіть геометричне місце точок, у яких індукція магнітного поля дорівнює нулю: а) для однакових напрямків струмів у провідниках; б) для протилежних напрямків струмів у провідниках.

Відповідь: а) між провідниками на відстані 0,08 м від струму в 16 А; б) з боку струму в 16 А на відстані 0,4 м.

Задача 3. На прямолінійний провідник довжиною $l = 0,4$ м, що розташований під кутом $\alpha = 23^\circ$ до ліній індукції магнітного поля,

діє сила $F = 8H$. визначите індукцію магнітного поля, якщо по провіднику тече струм силою $I = 20A$.

Відповідь: $B = 2,56 \text{ Тл}$.

Задача 4. На провідник довжиною $l = 0,15\text{м}$ в однорідному магнітному полі напруженістю $H = 1000 \text{ А/м}$ діє сила $F = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$. Визначите кут між напрямком магнітного потоку і напрямком струму в провіднику, якщо по провіднику тече струм $I = 50 \text{ А}$.

Відповідь: $\sin\alpha = 0,21$; $\alpha = \arcsin 0,21 \approx 120$.

Задача 5. Паралельні провідники перебувають у повітрі на відстані $r = 6,4 \text{ см}$, один від іншого і притягуються із силою $F = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. Визначите силу струму I у провідниках, якщо довжина кожного з них $l = 3,2 \text{ м}$.

Відповідь: $I = 50 \text{ А}$.

Задача 6. З якою силою магнітне поле з індукцією 10 мТл діє на провідник, у якому сила струму 50 А , якщо довжина активної частини провідника $0,1 \text{ м}$? Поле і струм взаємно перпендикулярні.

Відповідь: 50 мН .

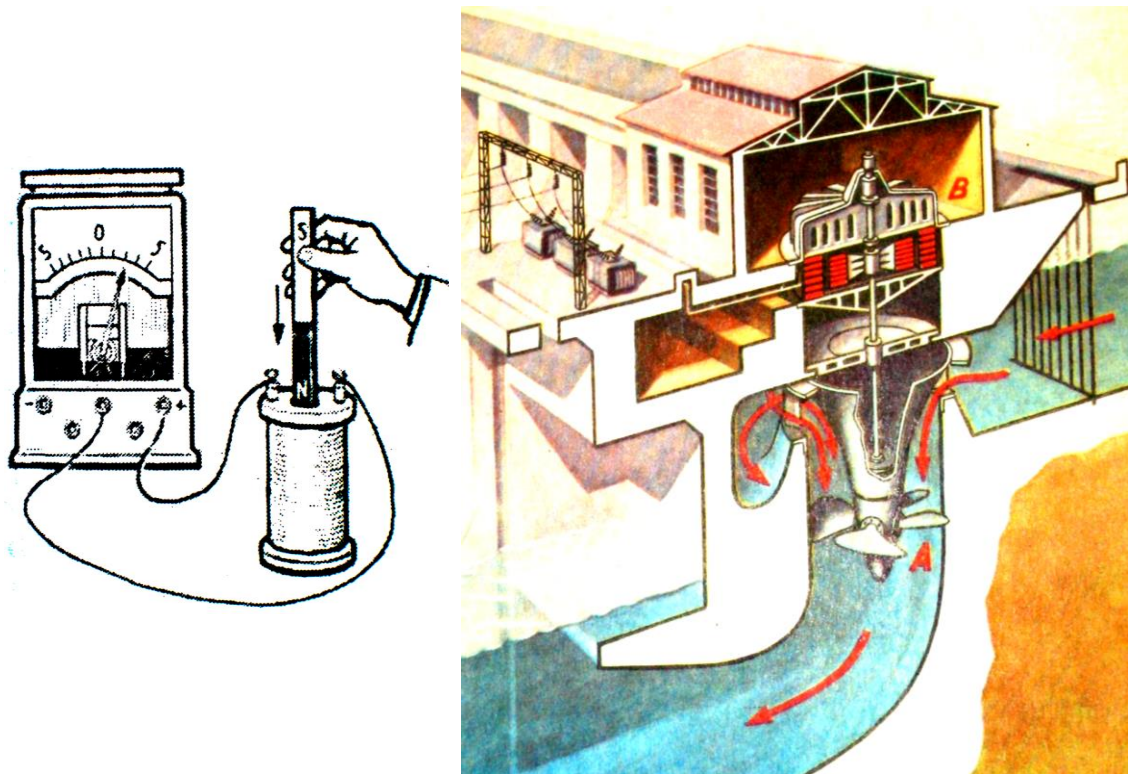
Задача 7. Магнітний потік усередині контуру, площа поперечного перерізу якого 60 см^2 , дорівнює $0,3 \text{ мВб}$. Знайдіть індукцію поля усередині контуру. Поле вважати однорідним.

Відповідь: 50 мТл .

Задача 8. Яка величина магнітного потоку, що пронизує плоску поверхню площею 50 см^2 при індукції поля $0,4 \text{ Тл}$, якщо поверхня перпендикулярна вектора B ?

Відповідь: 2 мВб .

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ



Явище електромагнітної індукції полягає у тому, що при всякій зміні магнітного потоку, що перетинає провідник, у ньому виникає електрорушійна сила

11. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
електромагнітна індукція	electromagnetic induction	l'induction électromagnétique
увести	to enter	introduire
спалахнути	to spark	eclater, senflammes, jaillir
зухвалий, - а, - е, - і	calling	induisant
дуговий розряд	arc discharge	la décharge d'are
закріпити	to fix	fixer
замикання	short (closing)	le court circuit, le défaut
індуктивність	inductance	l'inductance
індукційний струм	inductive current	le courant induit
іскра	spark	l'étincelle
надягати	to put on	mettre, revêtir
обумовлений, - а, - е, - і	stipulated	conditionné
перегоріти	to fuse	brûler, être grille
дозволяти	to allow	permettre de f'qch
подолання	overcoming	l'élimination de'qch
перешкода	precludes	empêcher, entraver
розмикання	disconnection	la bisjonctier, la coupure
самоіндукція	selfinduction	l'autoinduction
сердечник	the core	lâme, le noyau
створити	to create	créer, fofmer
число витків	number of coils	le nombre des spires

11.1. Явище електромагнітної індукції

У 1820 р. Ерстед виявив, що електричний струм породжує магнітне поле. Помістивши над провідником, спрямованим уздовж земного меридіана, магнітну стрілку й пропустивши по провіднику електричний струм він побачив, що стрілка відхиляється (рис.11.1). Розмірковуючи над відкриттям Ерстеда, М. Фарадей дійшов висновку, що якщо *«електрика створює магнетизм»*, то і

навпаки, «магнетизм повинен створювати електрику». Довгий час Фарадея переслідували невдачі, і, нарешті, в 1831 р. намотавши дві котушки на один залізний стрижень, він виявив явище електромагнітної індукції. Якщо в одній котушці виникав або пропадав електричний струм у результаті підключення до неї або відключення від неї гальванічної батареї, то в іншій котушці виникав короткочасний струм. Цей струм виявлявся гальванометром, що приєднаний до другої котушки.

Фарадей також виявив індукційний струм у котушці, коли до неї наближали або видаляли іншу котушку, по якій протікав електричний струм, або коли до неї наближали або видаляли магніт

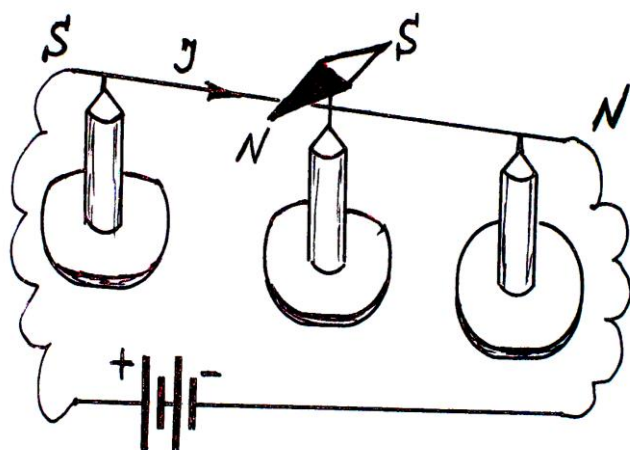


Рис. 11.1

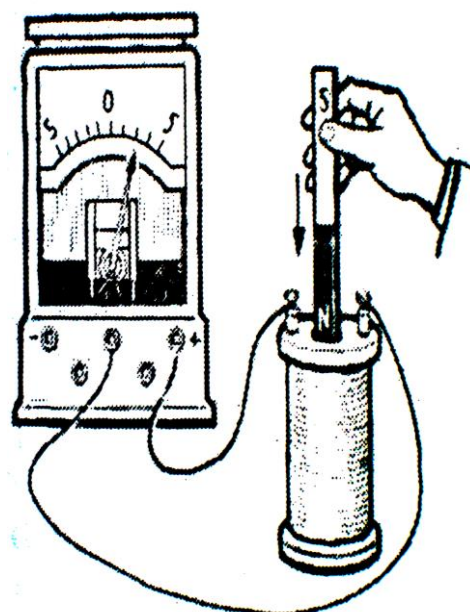


Рис. 11.2

(рис. 11.2).

Відкриття Фарадея привернуло увагу багатьох фізиків. Необхідно було встановити загальний закон електромагнітної індукції. Потрібно було з'ясувати, як і від чого залежить сила індукційного струму у провіднику і величину електрорушійної сили індукції. Це завдання було вирішено Фарадеєм і Максвеллом пізніше. Сформулюємо закон електромагнітної індукції Фарадея: *при будь-якій зміні магнітного потоку, що пронизує контур провідника, в ньому виникає електрорушійна сила електромагнітної індукції. ЕРС індукції прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку:*

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (11.1)$$

Зміну магнітного потоку можна визначити за площею, що перетинає провідник за час t (рис.11.3):

$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha. \quad (11.2)$$

Якщо провідник рухається під кутом α до напрямку силових ліній магнітного поля, ЕРС індукції можна також обчислити за формулою:

$$\varepsilon_i = -\frac{Blv\Delta t \cos\alpha}{\Delta t} = -Blv \cos\alpha. \quad (11.3)$$

Якщо контур провідника замкнути, то в електричному колі виникає струм. Напрямок індукційного струму визначають за правилом (законом) Ленца: *Індукційний струм у замкненому провіднику має такий напрямок, при якому його власне магнітне поле протидіє змінам зовнішнього магнітного поля, які збуджують індукційний струм* (рис. 11.4).

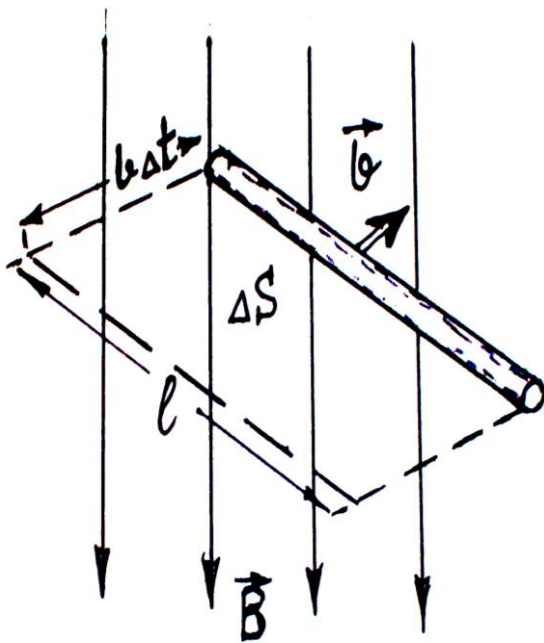


Рис. 11.3

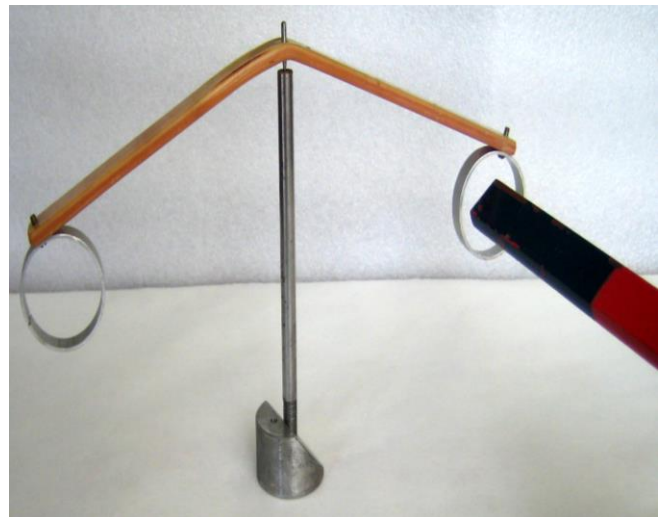


Рис. 11.4

Індукційні струми, що виникають у масивних провідниках, називаються струмами Фуко. Для зменшення струмів Фуко сердечники трансформаторів набирають із тонких пластин. Струми

Фуко використовують також для плавки і поверхневого загартування сталей.

11.2. Явище самоіндукції. Індуктивність

При будь-якій зміні електричного струму виникає магнітне поле, що змінюється в часі. Магнітне поле, що змінюється, повинно викликати появу індукційного електричного поля. У цьому випадку індукційне електричне поле повинно зменшувати швидкість зміни струму в колі. Розглянемо процеси замикання і розмикання кола постійного струму (рис.11.5). Нехай електричне коло, що складається із джерела струму і послідовно з'єднаних: вимикача, котушки і лампочки розімкнено. При замиканні кола лампочка загоряється з деяким запізненням – струм наростає (збільшується) поступово (рис. 11.6) досягаючи деякого значення I_0 .

Якщо тепер закоротити джерело струму вимикачем, то світіння

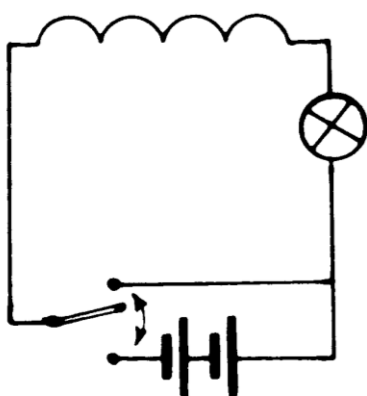


Рис. 11.5

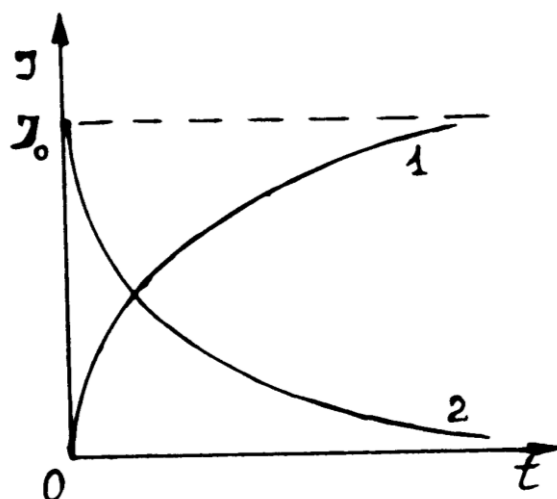


Рис. 11.6

лампочки буде зменшуватися поступово – струм у колі буде підтримуватися магнітним полем. Якщо котушка з великим числом витків містить феромагнітний сердечник, то при замиканні або розмиканні кола сила струму може збільшитися до такої величини, що лампочка може перегоріти.

Виникнення ЕРС індукції в ланцюзі при зміні сили струму в ній називається явищем самоіндукції. Зміна магнітного потоку прямо пропорційна зміні сили струму, тому можна записати $\Delta\Phi = \Delta(L \cdot I)$, де коефіцієнт пропорційності L називається індуктивністю. У разі діамагнітного або парамагнітного

середовища коефіцієнт $L = \text{const}$, тоді $\Delta\Phi = L \cdot \Delta I$ і електрорушійна сила самоіндукції буде визначатися за формулою:

$$\varepsilon_c = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (11.4)$$

З формули (11.4) видно, що *індуктивність – це коефіцієнт пропорційності між швидкістю зміни струму в ланцюзі і ЕРС самоіндукції*. Знак «мінус» у формулі впливає з правила Ленца. Одиницю індуктивності генрі одержимо за формулою:

$$L = \frac{\varepsilon_c \cdot \Delta t}{\Delta I}. \quad (11.5)$$

Підставивши $\varepsilon_c = 1\text{В}$, $\Delta t = 1\text{с}$, $\Delta I = 1\text{А}$, одержимо:

$$[L] = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = 1\text{Гн(генрі)}.$$

Генрі – індуктивність провідника, у якому при швидкості зміни струму 1А в секунду індукується ЕРС самоіндукції 1В . На практиці використовують менші одиниці індуктивності – мілігенрі і мікрогенрі: $1\text{Гн} = 10^3\text{мГн} = 10^6\text{мкГн}$.

Індуктивність провідника залежить від його розмірів, форми і навколишнього середовища. Індуктивність котушки збільшується при збільшенні числа витків і поміщенні усередину сердечника (стрижня) з феромагнітного матеріалу.

11.3. Енергія магнітного поля

При розмиканні ланцюга (рис. 11.5) через лампочку якийсь час буде текти убутний струм, підтримуваний виникаючою в соленоїді ЕРС самоіндукцією. Робота, чинена струмом за малий час Δt , дорівнює:

$$A = \varepsilon_c \cdot I_{cp} \cdot \Delta t = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot I_{cp} \cdot \Delta t = L \cdot I_{cp} \cdot \Delta I. \quad (11.6)$$

Струм у ланцюзі убуває від I до 0 , звідки $I_{cp} = I/2$, а зміна струму $\Delta I = I - 0 = I$. Робота іде на збільшення внутрішньої енергії лампочки, звідки впливає, що енергія магнітного поля становить:

$$W = A = \frac{LI \cdot I}{2} = \frac{LI^2}{2}. \quad (11.7)$$

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. У чому полягає явище електромагнітної індукції?
2. Запишіть формулу ЕРС електромагнітної індукції.
3. Сформулюйте правило Ленца.
4. У чому полягає явище самоіндукції?
5. Запишіть формулу ЕРС самоіндукції.
6. Що таке індуктивність?
7. У яких одиницях вимірюється індуктивність?
8. Які одиниці індуктивності ви знаєте?
9. Від чого залежить індуктивність котушки?
10. Запишіть формулу енергії магнітного поля.

Задачі для розв'язання

Задача 1. Визначіть ЕРС індукції, що виникає на кінцях провідника довжиною $l = 0,2$ м, що рухається зі швидкістю $v = 0,5$ м/с під кутом $\alpha = 30^\circ$ до силових ліній магнітного поля з індукцією $B = 0,1$ Тл.

Відповідь: $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-3}$ В.

Задача 2. Визначіть індукцію магнітного поля в котушці довжиною $l = 0,3$ м, що містить $n = 50$ витків проводу, при силі струму $I = 2$ А.

Відповідь: $B = 4,2 \cdot 10^{-4}$ Тл.

Задача 3. Провідник рухається в сталому магнітному полі з індукцією $B = 4 \cdot 10^{-2}$ Тл із швидкістю $v = 15$ м/с під кутом 90° до силових ліній. Визначите довжину провідника, якщо на його кінцях виникає ЕРС індукції 30 мВ.

Відповідь: $l = 0,05$ м.

Задача 4. Літак летить горизонтально зі швидкістю $v = 900$ км/год. Відстань між кінцями крил $l = 50$ м, вертикальна складова магніт-

ного поля Землі $B = 5 \cdot 10^{-5} \text{Тл}$. Визначити різницю потенціалів між кінцями крил.

Відповідь: $U = 0,625 \text{ В}$.

Задача 5. Якою повинна бути швидкість зміни струму в обмотці електромагніту з індуктивністю $L = 0,2 \text{ Гн}$, щоб середнє значення ε_c дорівнювало 20 В ?

Відповідь: $\Delta I / \Delta t = 10 \text{ А/с}$.

Задача 6. За 5 мс у соленоїді, що містить 500 витків проводу магнітний потік рівномірно зменшується з 7 до 9 мВб . Знайдіть ЕРС індукції в соленоїді.

Відповідь: 400 В .

Задача 7. Через соленоїд, індуктивність якого $0,4 \text{ Гн}$ і площа поперечного перерізу 10 см^2 , проходить струм $0,5 \text{ А}$. Яка індукція поля усередині соленоїда, якщо він містить 100 витків? Поле вважати однорідним.

Відповідь: 2 мТл .

Задача 8. Знайдіть ЕРС індукції у провіднику довжиною активної частини $0,25 \text{ м}$, що переміщається в однорідному магнітному полі з індукцією 8 мТл зі швидкістю 5 м/с під кутом 30° до вектора магнітної індукції.

Відповідь: 5 мВ .

Задача 9. У котушці з індуктивністю $0,6 \text{ Гн}$ сила струму дорівнює 20 А . Яка енергія магнітного поля цієї котушки? Як зміниться енергія поля, якщо сила струму зменшиться вдвічі?

Відповідь: 120 Дж ; зменшиться в 4 рази.

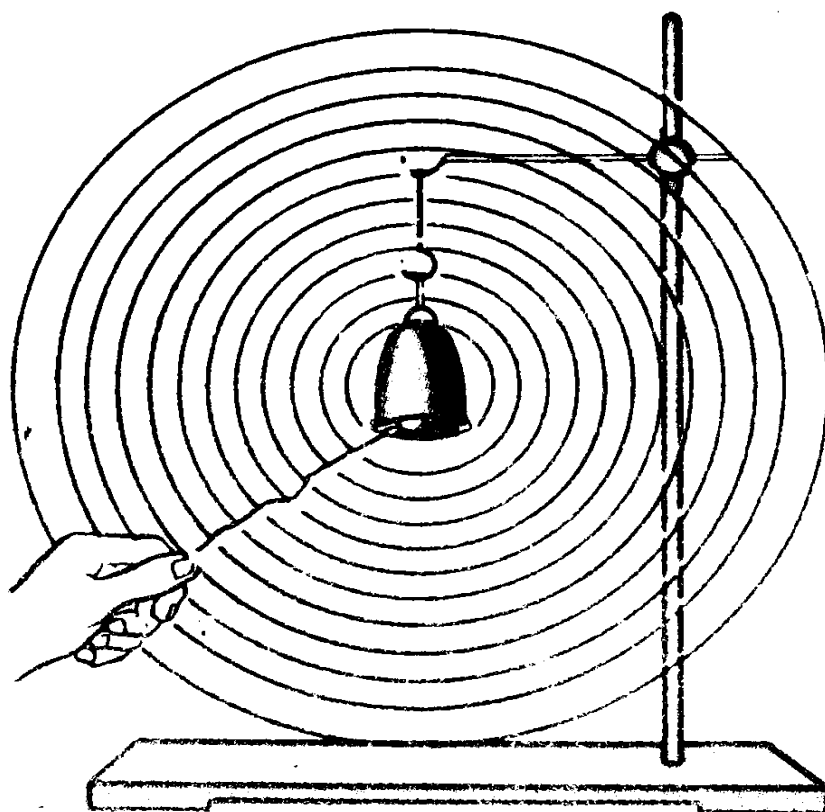
Задача 10. Знайдіть ЕРС індукції в провіднику довжиною $0,25 \text{ м}$, що переміщується в однорідному магнітному полі з індукцією 8 мТл із швидкістю 5 м/с під кутом 30° до вектора магнітної індукції.

Відповідь: 5 мВ .

Задача 11. Знайдіть ЕРС індукції у провіднику довжиною активної частини $0,5 \text{ м}$, що переміщається в однорідному магнітному полі з індукцією 8 мТл зі швидкістю 5 м/с під кутом 30° до вектора магнітної індукції.

Відповідь: 10 мВ.

МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ



Колівальним називається рух, при якому значення фізичної величини повторюються.

12. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
амплітуда	amplitude	l'amplitude
вібрація	vibration	la vibration
сила, що повертає	returning force	la force de retour
змушені коливання	the compelled fluctuations	les oscillations forcées (contraintes)
деталі машин	details of machines	les details des machines
загасаючі коливання	fading fluctuations	les oscillations décroissantes
класифікація	classification	la classification
коливання	oscillations	les oscillations
коливальний рух	oscillatory movement	le mouvement vibratoire (oscillatoire)
незатухаючі коливання	not fading fluctuations	les oscillations entretenues
необмежено	beyond all bounds	sans restriction d'une façon illimitée
однотипний, - а,-е,-і	same	du même type
відхилення	deviation (rejection)	l'écart, la diviation
періодичність	periodicity	la périodicité
по черзі	serially	alternativement
витрачати	to spend	se dépenser, consommer
вільні коливання	free fluctuations	les oscillations libres
зсув	displacement	le déplacement
власні коливання	own fluctuations	les oscillations propres
фаза	phase	la phase
цикл	cycle	le cycle

12.1. Коливальний рух

Коливальним називається будь-який рух, при якому значення фізичної величини повторюються. *Коливальний рух, при якому значення фізичної величини повторюються через однакові*

проміжки часу називається періодичним. Коливальний рух – один з найпоширеніших рухів у природі. Коливаються молекули, атоми, маятники годин, вода в морях і океанах, величина магнітного поля Землі, струни музичних інструментів і т.д. Механічними коливаннями називаються повторювані в часі рухи тіл або їхніх частин. Найцікавішими коливальними рухами є гармонійні коливання.

12.2. Гармонійні коливання

Гармонійним називається коливальний рух, що відбувається за законом синуса або косинуса, наприклад:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \alpha), \quad (12.1)$$

де x – зсув від положення рівноваги, A – максимальний зсув (амплітуда), ω_0 – циклічна частота коливання, α – початкова фаза коливання, $(\omega_0 t + \alpha)$ – фаза коливання.

Розглянемо коливання проєкцій радіуса-вектора точки, що рухається по колу радіуса A проти часової стрілки (рис.12.1).

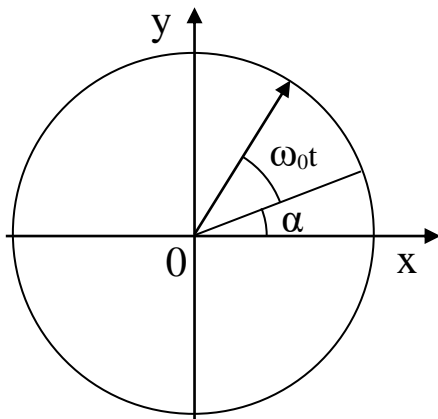


Рис. 12.1

У момент часу $t = 0$ радіус – вектор становить із віссю Ox кут α . За час t радіус-вектор описує кут $\omega_0 t$. У будь-який довільний момент часу $x = A \cos(\omega_0 t + \alpha)$, отже, **фаза коливань – кут між амплітудою і довільно обраним у просторі напрямком (віссю).** Знайдемо період коливань. Період коливань – це час одного повного коливання. Періодичність гармонійної функції 2π тому період

коливань знайдемо із співвідношення:

$$\omega_0(t + T) + \alpha = \omega_0 t + \alpha + 2\pi.$$

Після скорочень одержимо формулу періоду будь-яких коливань:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (12.2)$$

Циклічна частота пов'язана з періодом і частотою ν такими співвідношеннями:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \nu. \quad (12.3)$$

Фазу коливання можна записати так:

$$\omega_0 t = \frac{2\pi}{T} \cdot t. \quad (12.4)$$

З формули (12.4) видно, що **фаза коливання показує, яка частина періоду пройшла від початку коливання.**

Визначимо швидкість і прискорення при гармонійному коливанні. Швидкість дорівнює похідній за часом від зсуву (12.5):

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) = v_{max} \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha). \quad (12.5)$$

Прискорення дорівнює похідній за часом від швидкості:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \alpha) = -a_{max} \cdot \sin(\omega_0 t + \alpha) = -\omega_0^2 x. \quad (12.6)$$

Нехай матеріальна точка рухається під дією пружної сили $F = kx$. Запишемо рівняння руху:

$$ma = -kx, \quad (12.7)$$

де прискорення точки буде дорівнювати:

$$a = \frac{dv}{dt} = -\frac{k}{m}x = -\omega_0^2 x, \quad (12.8)$$

де $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ — циклічна частота.

Будь-яка сила, що прямо пропорційна величині зсуву і спрямована убік рівноваги називається квазіпружньою.

Система, що рухається під дією квазіпружньої сили здійснює гармонійний коливальний рух.

12.3. Пружний, математичний і фізичний маятник

Пружний маятник – це тіло масою m , що підвішене на пружині і здійснює гармонійні коливання під дією пружної сили $\vec{F} = -kx$, де k – коефіцієнт пружності (рис. 12.2). Період коливань пружного маятника не залежить від амплітуди (12.9)

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (12.9)$$

Математичний маятник – це матеріальна точка, яка здійснює малі коливання на довгій, невагомій і нерозтяжній нитці (рис. 12.3) під дією сили ваги. Складова сили тяжіння, яка повертає маятник у положення рівноваги пропорційна відхиленню від положення рівноваги і напрямлена у бік рівноваги. Така сила називається **квазіпружньою**. Таким чином сила, що повертає маятник у положення рівноваги, є квазіпружньою. Період коливань математичного маятника не залежить від амплітуди (12.11).

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (12.10)$$

Фізичний маятник – будь-яке тверде тіло, що здійснює коливання під дією сили ваги навколо горизонтальної осі, що не проходить через центр його ваги (рис.12.4). Період коливань фізичного маятника можна визначити за формулою (12.10), де

l – наведена довжина фізичного маятника.

Повна енергія коливань маятника пропорційна масі, квадрату амплітуди і квадрату частоти коливань:

$$W = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}. \quad (12.11)$$

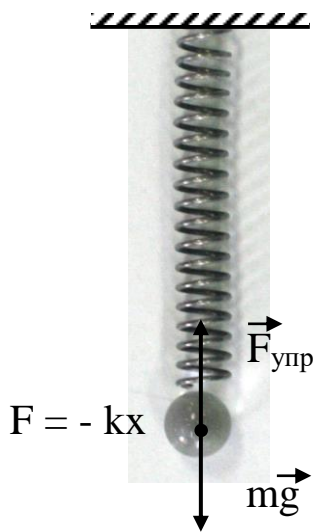


Рис. 12.2

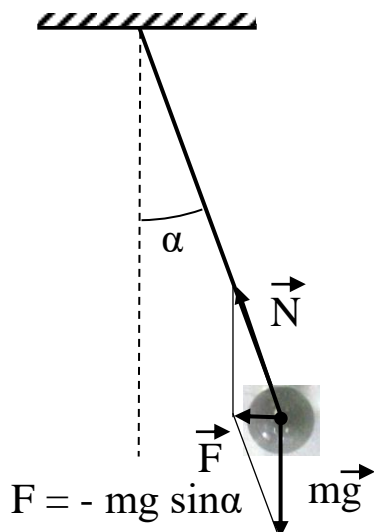


Рис. 12.3

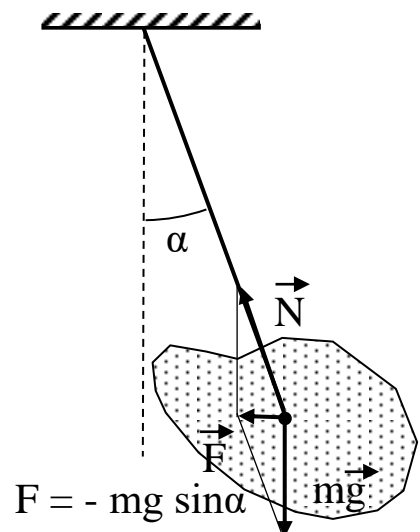


Рис. 12.4

12.4. Механічний резонанс

Якщо на будь-яку коливальну систему діяти періодичною силою з частотою ω , то вона буде поповнювати коливальну систему енергією і вона буде коливатися із цією ж частотою. Якщо частота коливань зовнішньої змушуючої сили близька до власної частоти коливань системи ω_0 – спостерігається явище резонансу.

Резонанс – явище різкого (великого) збільшення амплітуди коливань при збігу частоти власних коливань, із частотою сили, що змушує. На рис.12.5 показаний графіки залежності амплітуди коливань від частоти.

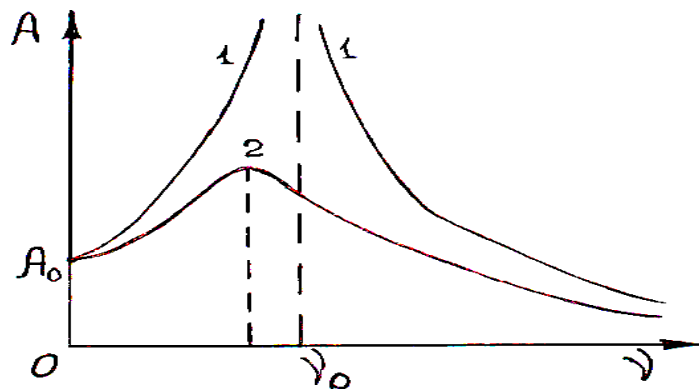


Рис.12.5

Якщо сили тертя незначні – амплітуда коливань зростає до дуже великої величини (крива 1). При великому опорі коливанням резонансна крива згладжується (крива 2), а резонансна частота зменшується. Явище резонансу широко використовується в промисловості, наприклад, для ущільнення бетонної суміші, ґрунту і т.д. Явище резонансу іноді завдає великої шкоди, руйнуючи мости, різні спорудження, машини і механізми.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. Який рух називається коливальним? Наведіть приклади коливального руху.
2. Які умови необхідні для виникнення коливального руху?
3. Які коливання називаються власними?
4. Які коливання називаються змушеними?
5. Запишіть характеристики коливального руху.
6. Що називається періодом коливань?
7. Що називається частотою коливань?
8. Що називається фазою коливань?
9. Який рух називається гармонійним коливанням?
10. Запишіть формулу зсуву при гармонійному коливанні.
11. Що таке математичний маятник?
12. Чому дорівнює період коливань математичного маятника?
13. Що таке фізичний маятник?
14. У чому полягає явище резонансу?
15. Запишіть формулу кінетичної енергії маятника.
16. Запишіть формулу потенційної енергії маятника.

Задачі для розв'язання

Задача 1. Запишіть рівняння коливань маятника з амплітудою $A = 1\text{ см}$, циклічною частотою $\omega_0 = 2\pi/T$, якщо в момент часу $T = 0$ зсув точки $x = A$.

Задача 2. Середня швидкість руху поршня парової машини $4,0\text{ м/с}$. Хід поршня 50 см . Визначте частоту коливань поршня.

Відповідь: $\nu = 8\text{ с}^{-1}$.

Задача 3. Матеріальна точка здійснює коливання за законом $x = A \cos(\omega_0 t + 0,5\pi)$ м. Визначите амплітуду, період і початкову фазу коливання.

Відповідь: $A = 1$ м, $T = 2$ с, $\alpha = 0,5\pi$.

Задача 4. У який найближчий момент часу t від початку гармонійного коливання зсув буде дорівнювати половині амплітуди?

Відповідь: $t = 4$ с.

Задача 5. За однаковий час один маятник зробив п'ять коливань, а другий – три. Чому дорівнює довжина кожного маятника, якщо різниця довжин $\Delta l = 0,48$ м.

Відповідь: $l_1 = 0,27$ м, $l_2 = 0,75$ м.

Задача 6. У скільки разів зміниться період коливань математичного маятника на Місяці? Прискорення вільного падіння на Місяці $a = 1,6$ м/с².

Відповідь: зміниться \approx у 2,5 рази.

12.5. Механічні хвилі в пружному середовищі

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
1	2	3
акустика (ж.р.)	acoustics	l'acoustique
у свою чергу	in turn	a son tour
хвиля (ж.р.)	wave	l'onde
хвильовий рух	wave movement	le mouvement on du la toire
западина (ж.р.)	hollow	le creux
опуклість (ж.р.)	camber	la proéminence
високий тон	high tone	le haut ton
гладь озера	smooth surface of lake	la surface du lac
гучність	loudness	le volume sonore
звук	sound	sonore
звуковий діапазон	sound range	la gamme sonore

Продовження таблиці

1	2	3
земна кора	earth's crust	l'écorce terrestre
картина (ж.р.)	picture	l'image, la figure
коливання струни	oscillation of a string	l'oscillation de la corde
багаторазовий, -а, -е, -і	repeated	multiple
музичні звуки	musical sounds	les sons musicaux
музичні інструменти	musical instruments	les instruments de musique
натягнутий гумовий шнур	the tense rubber cord	le cordon tendu de caoutchouc
низький тон	low tone	le ton bas
відбиватися – відбитися	to be reflected	se réfléchir
відчувати – відчути	to feel – feel	sentir
поглинути	to be absorbed	s'adsorber
підрозділяють на:	are subdivided on:	se sibdiviser
поперечна хвиля	crosssection ware	l'onde transversale
перешкода	barrier	la barrière
поздовжня хвиля	longitudinal wave	l'onde longitudsnale
розрідження (с. р.)	underpressure	la raréfication,
згущення (с. р.)	condensation	la concentration, la condensation
сейсмічна станція	seismis station	la station séismique
сейсмічні хвилі	seismis waves	les ondes séismiques
сила звуку	force of a sound	la force du son
слухове відчуття	acoustical sensation	la sensation auditive
штовхнути – штовхати	to push-push	pousser-pousser
захоплювати	to carry away	passionner
удар (ч. р.)	impact	le coup
ущільнення (с. р.)	condensation	la condensation
шум (ч. р.)	noise	le bruit
енергія звукової хвилі	energy of a sound wave	l'énergie de l'onde sonore

12.5.1. Поширення коливань у пружному середовищі

Якщо в ставок зі спокійною поверхнею води кинути невеликий камінь, то від точки його падіння будуть розходитися кола. Таке збурювання називається хвилею. Можна переконатися, що хоча вода і колишеться, вона не переміщається разом із хвилею. При проходженні хвилі частки води рухаються лише вверх і вниз. Приклади хвиль ми можемо спостерігати повсюди. Спільними між ними є те, що в кожному випадку збурювання поширюється в деякому пружному середовищі, але середовище при цьому є нерухомим.

Хвиля – процес розповсюдження коливань (збурень) у пружному середовищі. На рис. 12.6 показаний процес збудження хвилі, яка біжить вздовж струни

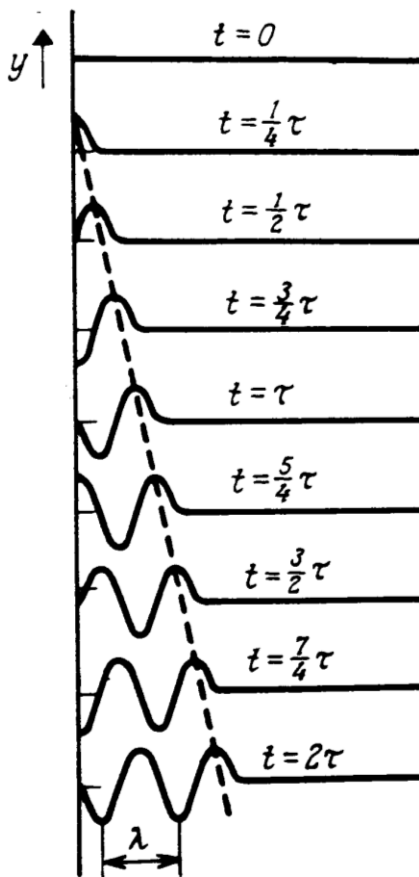


Рис. 12.6

музичного інструменту. Лівий кінець струни коливається вгору і вниз за гармонійним законом.

Хвилі, у яких коливання частинок середовища відбуваються перпендикулярно напрямку руху (поширення), називаються поперечними. Вони являють собою опуклості і западини, що чергуються. Поперечні хвилі можливі в тому разі, коли зміна форми супроводжується появою квазіпружних сил. Поперечні хвилі виникають у твердих тілах і на поверхні рідини. Хвилі на поверхні рідини є гравітаційними. Якщо глибина рідини менше довжини хвилі – виникають капілярні хвилі.

Хвилі, в яких коливання частинок середовища відбуваються уздовж напрямку поширення хвилі, називаються поздовжніми. Якщо взяти довгу

пружину і різко вдарити по одному з її кінців, то по ній побіжать згущення і розрядження її витків. Поздовжні хвилі можуть поширюватися у твердих, рідких, газоподібних середовищах, плазмі. Поздовжні хвилі пов'язані з об'ємною пружною деформацією, тому можуть виникати в будь-якому середовищі.

12.5.2. Швидкість поширення й довжина хвилі

Процес поширення коливань у пружному середовищі відбувається не миттєво, а з деякою швидкістю. Швидкість хвилі залежить від пружних властивостей і щільності середовища. Відстань, на яку поширюються коливання за час одного періоду коливання, називається довжиною хвилі. На рис. 12.7 показана залежність зсуву часток середовища від відстані до джерела коливань l для заданого моменту часу. Виразимо довжину хвилі через швидкість, період і частоту коливань:

$$\lambda = \vartheta \cdot T = \frac{\vartheta}{\nu}. \quad (12.12)$$

На рис 12.8 показана залежність зсуву частки середовища від часу для даної точки середовища.

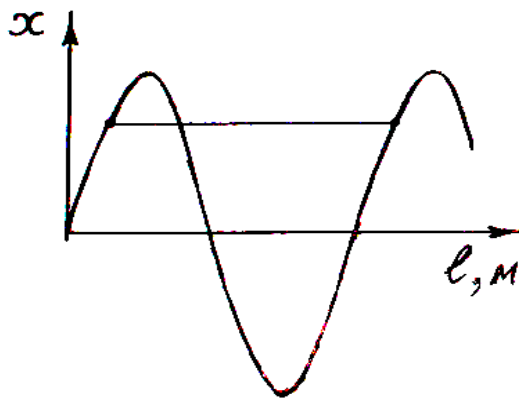


Рис.12.7

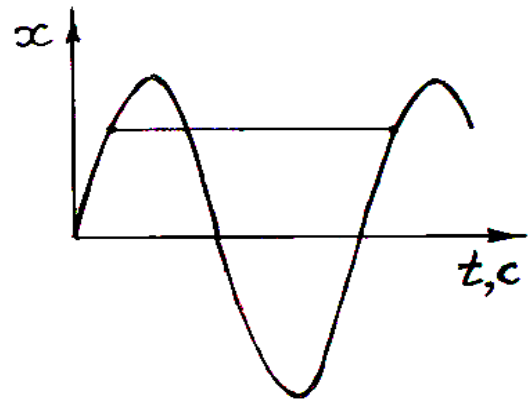


Рис.12.8

На цих рисунках видно, *що довжина хвилі – це відстань між точками середовища, що коливаються в однаковій фазі, а період – це час одного повного коливання.*

При переході хвиль із одного середовища в інше частота коливань не змінюється, а довжина хвилі і швидкість залежать від властивостей середовища. Швидкість поздовжніх хвиль у твердих тілах

$$\sigma = \sqrt{E/\rho}, \quad (12.13)$$

де E – модуль пружності або модуль Юнга, ρ – густина середовища. Швидкість поперечних хвиль у твердих тілах

$$\sigma = \sqrt{G/\rho}, \quad (12.14)$$

де G - модуль зрушення.

Швидкість пружних (звукових) хвиль у газах або рідинах можна обчислити за формулою

$$\sigma = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}. \quad (12.15)$$

де p – тиск у газі або рідині, ρ – густина середовища, γ – числовий коефіцієнт. Для повітря коефіцієнт γ при кімнатній температурі дорівнює 1,4. Швидкості звуку в повітрі залежить від температури: при $0^{\circ}C$ – 332м/с ; $15^{\circ}C$ – 342м/с ; $100^{\circ}C$ – 386м/с .

Швидкість звуку в різних середовищах при $t = 0^{\circ}C$ така: у повітрі $0^{\circ}C$ – 332м/с ; кисні – 260м/с ; водні – 1280м/с ; воді – 1450м/с ; сталі – 4900м/с ; у склі – 5600м/с .

Відзначимо, що повздовжні хвилі поширюються швидше ніж поперечні, тому що модуль Юнга більше модуля зрушення. Ця різниця використовується для визначення відстані до епіцентру землетрусу, тому що при землетрусах від епіцентру поширюються хвилі деформації земної кори (сейсмічні хвилі).

12.5.3. Звукові хвилі

Звук являє собою механічні хвилі в пружних середовищах. Звукові хвилі в повітрі – поздовжні. Джерелом звуку завжди є тіла, які роблять коливання. Звук сприймається спеціальним органом почуттів людини і тварин – вухом. Необхідна умова сприйняття звуку – пружне середовище між джерелом звуку й вухом. Інтервал звукових частот, які чує людина 16 – 20000Гц. Вивченням звукових коливань займається акустика.

Звукові коливання із частотами нижче 16 Гц називаються інфразвуками. Коливання низької частоти досить великої потужності викликають хворобливі відчуття в людей і тварин.

Звукові коливання частотою більше 20000 Гц називаються ультразвуковими. За допомогою ультразвукової локації дельфіни, кити, кажани, деякі інші тварини, і навіть птаха гуахаро знаходять їжу. Ультразвук використовується для очищення деталей після виливки виробів, прання тощо.

Розрізняють такі види звукових хвиль:

- 1) **удар** – виникає при одиничній короткочасній дії джерела звуку;
- 2) **шум** – неперіодичні звукові коливання в широкому інтервалі частот. Наприклад, шум вуличного руху, шум дощу, шум моря;
- 3) **музичні звуки** – періодичні, модульовані коливання, створювані музичними інструментами. Музичні звуки характеризуються висотою тону, гучністю і тембром. Коливання більшої частоти відповідають більше високому тону.

Сила звуку – об'єктивна характеристика звуку, що вимірюється звуковою енергією яка проходить перпендикулярно площині 1 м^2 за 1 с :

$$I = \frac{W}{St} S \cdot t, \quad (12.16)$$

де W – енергія хвилі, S – площа, t – час. Сила звуку вимірюється у $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Гучність звуку – суб'єктивна характеристика. Сила звуку тим більше, чим більше амплітуда звукових коливань.

Тембр звуку – своєрідний «колір» звуку, спектр звукових коливань, що дозволяє розрізнити голосу людей, різні музичні інструменти і т.д.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання.

1. Що таке механічна хвиля?
2. Які види хвиль ви знаєте?
3. Яка хвиля називається поздовжньою?
4. У яких середовищах поширюються поздовжні хвилі?
5. Яка хвиля називається поперечною?
6. У яких середовищах поширюються поперечні хвилі?
7. Що називається довжиною хвилі? Запишіть формулу.
8. Від чого залежить швидкість поширення хвиль?
9. Яка фізична величина не змінюється при переході хвилі з одного середовища в інше?
10. Напишіть формулу швидкості хвилі.

11. Що таке звук? Як називається розділ фізики, що вивчає звукові явища?
12. Що таке інфразвук?
13. Що таке ультразвук?
14. Від чого залежить швидкість звуку?
15. Що таке сила звуку?
16. Що таке гучність звуку?
17. Що таке тембр звуку?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Визначіть швидкість океанської хвилі довжиною $\lambda = 270$ м і періодом 13,5 с.

Відповідь: $v = 20$ м/с.

Задача 2. Звук дійшов до спостерігача через 6с після спалаху блискавки. Яка відстань від спостерігача до блискавки?

Відповідь: 2 км.

Задача 3. Швидкість хвиль на поверхні води $v = 2,4$ м/с, частота коливань $\nu = 3$ Гц. Чому дорівнює різниця фаз $\Delta\varphi$ двох точок, які перебувають на відстані $\Delta x = 0,2$ м.

Відповідь: $\Delta\varphi = \pi/2$.

Задача 4. Якій довжині хвилі відповідає частота звукових коливань $\nu = 20$ Гц? Швидкість звуку 330 м/с.

Відповідь: $\lambda = 16,5$ м.

Задача 5. Скільки часу поширюється звук між залізничними станціями ($S = 16,6$ км) по повітрю? По рейках? Швидкість звуку в сталі $v_c = 5,5$ км/с. Температура повітря 0° С.

Відповідь: $t_e = 50$ с; $t_c = 3$ с.

Задача 6. Чому дорівнює глибина моря, якщо імпульс сонара повернувся через 0,2с після відправлення? Швидкість ультразвуку в морській воді прийняти рівній 1500 м/с.

Відповідь: 150 м.

Задача 7. У скільки разів зміниться частота коливань автомобіля на ресорах після прийняття вантажу, рівного масі порожнього автомобіля?

Відповідь: Зменшиться у $\sqrt{2}$ разів.

Задача 8. Швидкість хвиль на поверхні води $v = 2,4\text{ м/с}$, частота коливань $\nu = 3\text{ Гц}$. Чому дорівнює різниця фаз $\Delta\varphi$ двох точок, які перебувають на відстані $\Delta x = 0,4\text{ м}$.

Відповідь: $\Delta\varphi = \pi$.

Задача 9. Як співвідносяться довжини математичних маятників, якщо за той самий час один з них робить 10, а другий – 30 коливань?

Відповідь: 9:1.

Задача 10. Вантаж масою 400 г здійснює коливання на пружині жорсткістю 250 Н/м . Амплітуда коливань 15 см. Знайдіть повну механічну енергію коливань і найбільшу швидкість руху вантажу.

Відповідь: 2,8 Дж; 3,8 м/с.

Задача 11. За той самий час один математичний маятник здійснює 50 коливань, а другий 30. Знайдіть їхні довжини, якщо один з них на 32 см коротше іншого.

Відповідь: 18 см; 50 см.

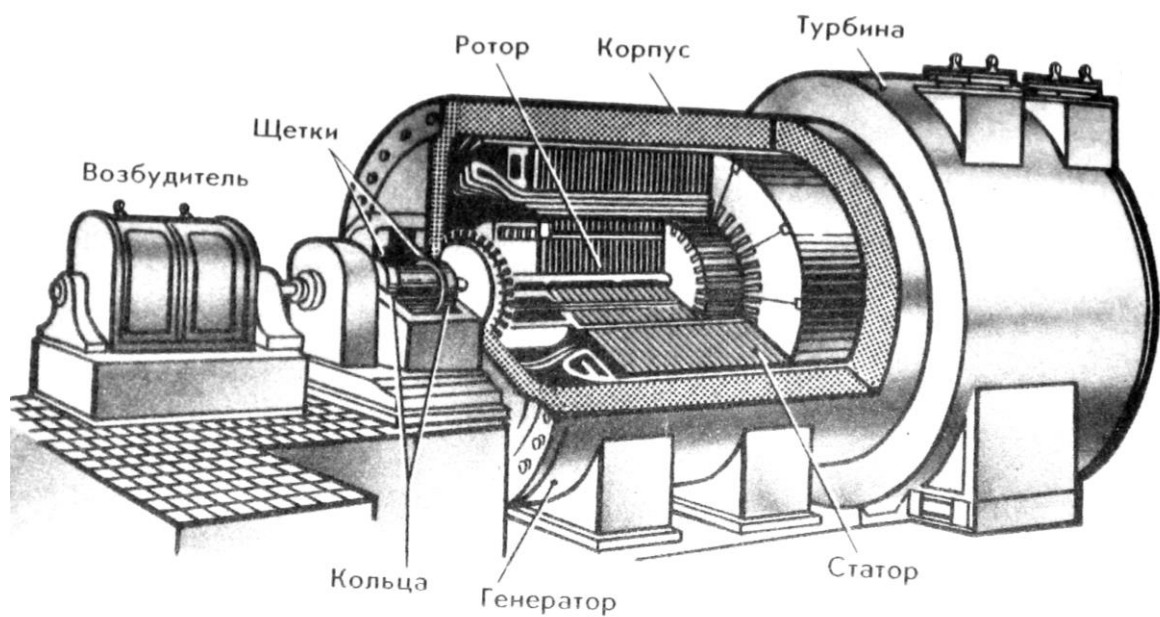
Задача 12. Скільки часу поширюється звук між залізничними станціями ($S = 33,2\text{ км}$) по повітрю? По рейках? Швидкість звуку в повітрі $v_n = 332\text{ м/с}$; сталі $v_c = 5,5\text{ км/с}$. Температура повітря 0° C .

Відповідь: $t_n = 100\text{ с}$; $t_c = 6\text{ с}$.

Задача 13. Як співвідносяться довжини математичних маятників, якщо за той самий час один з них робить 20, а другий – 60 коливань?

Відповідь: 9:1.

ЗМІННИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ



В основі сучасних уявлень про природу електромагнетизму лежить теорія електромагнітного поля Максвелла

13. ЗМІННИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

13.1. Одержання змінного електричного струму

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
активний опір	active resistance	la résistance active
вторинна обмотка	secondary winding	l'enroulement de sortie
випрямляч	the rectifier	le redresseur
генератор	the generator	le générateur, la génératrice
ємнісний опір	capacitance resistance	la reactance capacitive
залізний сердечник	the iron core	le noyau de fer
індуктивний опір	inductive resistance	la reactance inductive
коефіцієнт трансформації	factor of transformation	le coefficient de la transformation
навколишнє середовище	surrounding medium	l'environnement
первинна обмотка	primary winding	l'enroulement primaire
змінний струм	alternating current	le courant alternatif
підвищувальний трансформатор	step-up transformer	le transformateur élévateur
повний опір	full resistance	l'impédance
понижуючий трансформатор	reducing transformer	le transformateur abaisseur
втрати енергії	losses of energy	les pertes de l'énergie
дротова рамка	wire framework	le cadre de fil
рамка (ж.р.)	framework	le cadre
реєструвати	to register	enregistrer
стандартна частота	standard frequency	la résistance active
струм холостого ходу	current of idling	le redresseur
трансформатор	the transformer	le générateur
цикл	cycle	la capacitance
ефективне (діюче)	effective (working)	l'inverseur

Змінний електричний струм – це змушені електромагнітні коливання. Сила струму і напруга в електричному колі змінюються за гармонійним законом. Стандартна частота змінного струму – 50 Гц. Звичайно для одержання змінного струму використовується обертовий рух плоскої котушки (рамки) у магнітному полі (рис.13.1). Машини для генерування змінного струму називаються електрогенераторами. Такий генератор змінного струму показаний на рис.13.2.

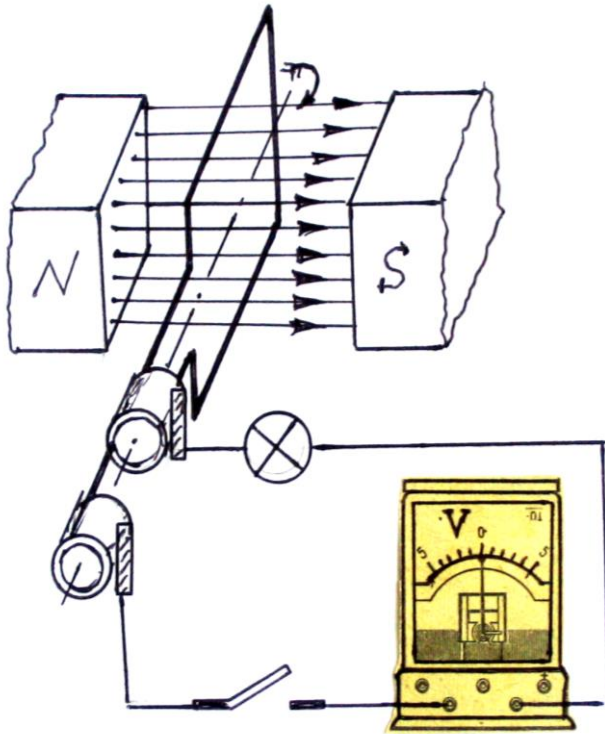


Рис. 13.1

При рівномірному обертанні рамки електричного

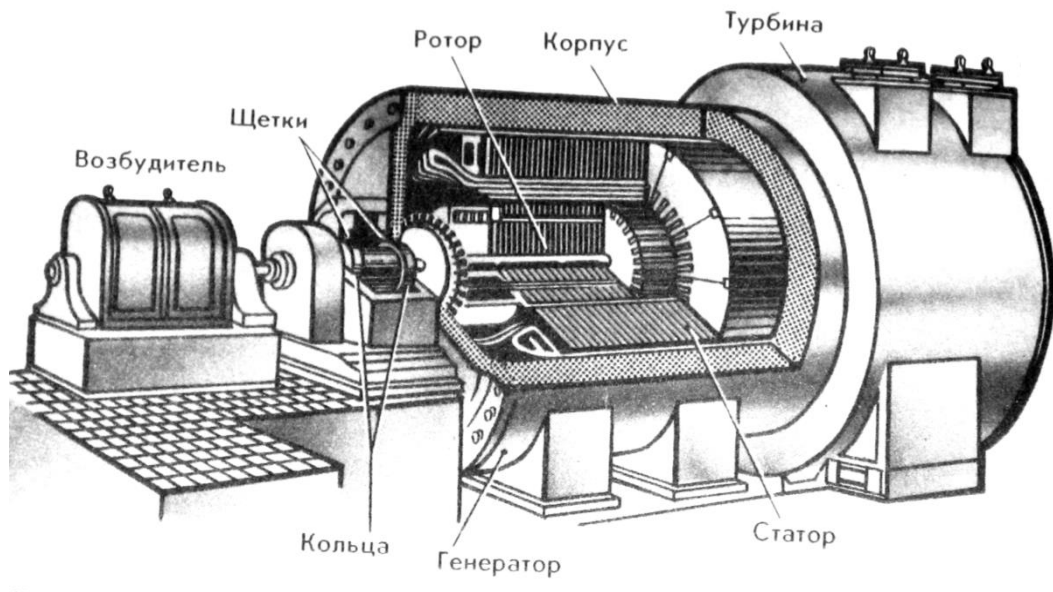


Рис. 13.2

генератора магнітний потік, що пронизує її площу, буде змінюватися за гармонійним законом:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t, \quad (13.1)$$

де S – площа, ωt – фаза, що змінюється в часі.

За законом електромагнітної індукції ЕРС дорівнює похідній від магнітного потоку за часом:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(B \cdot S \cdot \cos \omega t) = BS\omega \sin \omega t, \quad (13.2)$$

де $BS\omega = \varepsilon_m$ – максимальне значення ЕРС. Напруга на клеммах генератора також змінюється за законом синуса:

$$U = U_m \cdot \sin \omega t. \quad (13.3)$$

Якщо в електричне коло включити навантаження або резистор з активним опором R , то в колі піде струм:

$$I = \frac{U}{R} = I_m \cdot \sin \omega t. \quad (13.4)$$

Для виміру сили струму і напруги змінного струму використовують прилади, показання яких не залежать від напрямку струму. *Значення постійного струму, що виділяє в провіднику таку саму кількість теплоти, що і змінний струм (за однаковий час) називається ефективним (діючим) значенням змінного струму.*

Ефективне значення сили струму і напруги в $\sqrt{2}$ разів менше їх максимальних значень :

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (13.5)$$

Електровимірювальні прилади змінного струму градуують в ефективних значеннях.

13.2. Опір у електричному колі змінного струму

Якщо в колі змінного струму є тільки активний опір R , то струм і напруга коливаються у фазі, а уся електроенергія переходить у теплову енергію в електроплитах, лампах накаливання. Котушки індуктивності і ємності (конденсатори)

збільшують опір кола. У колі з індуктивним опором (рис.13.3) виникає ЕРС самоіндукції, що частково компенсує напругу в колі. **Струм відстає за фазою від напруги** (рис. 13.4). Індуктивний опір прямо пропорційний індуктивності і циклічній частоті:

$$X_L = \omega L. \quad (13.6)$$

У колі з ємкісним опором (рис. 13.5) **струм випереджає за фазою напругу** (рис. 13.6). Ємнісний опір обернено пропорційний ємності і циклічній частоті струму:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (13.7)$$

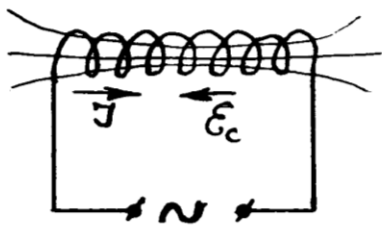


Рис. 13.3

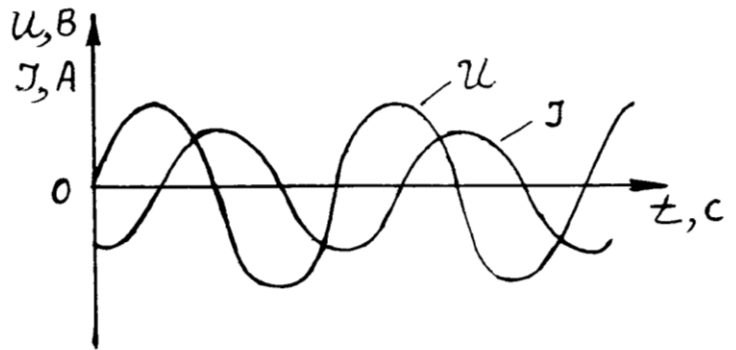


Рис. 13.4

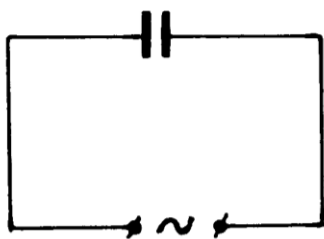


Рис. 13.5

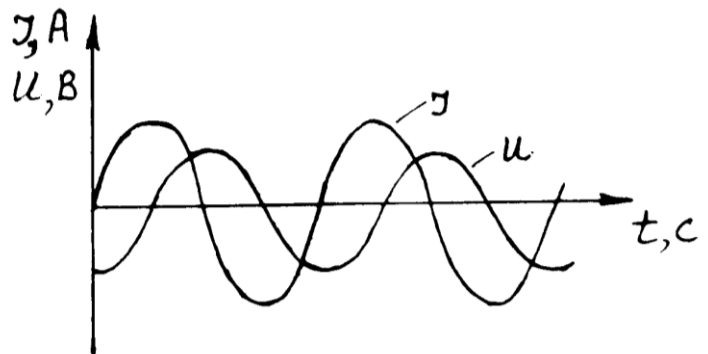


Рис. 13.6

Якщо коло складається з активного опору R і реактивного $(\omega L - 1/\omega C)$ (рис. 13.7), то повний опір кола (імпеданс) Z обчислюють за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (13.8)$$

Якщо індуктивний опір дорівнює ємнісному в електричному ланцюзі, то спостерігається резонанс ($Z = R$). Повний опір ланцюга змінного струму можна знайти за допомогою векторної діаграми (рис.13.8).

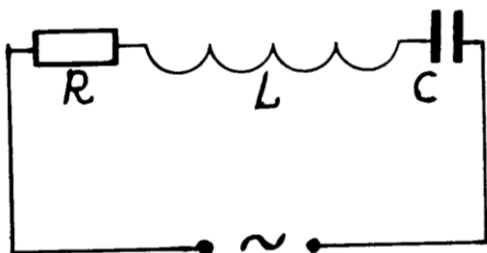


Рис. 13.7

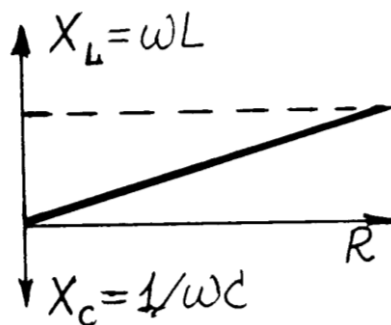


Рис. 13.8

Зрушення фаз між струмом і напругою в колі змінного струму знаходять за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}. \quad (13.9)$$

Для цього кола закон Ома має вигляд:

$$I = \frac{U}{Z}. \quad (13.10)$$

Потужність змінного струму обчислюють за формулою:

$$P = I_{\text{ef}} \cdot U_{\text{ef}} \cdot \cos \varphi,$$

де φ – зрушення (різниця) фаз між струмом і напругою.

13.3. Передача і використання електроенергії

При передачі електроенергії потрібні високі напруги, а при практичному застосуванні – низькі. Для перетворення змінного струму високої напруги у низьку застосовують трансформатори. **Трансформатор – пристрій для перетворення електричного струму і напруги.** Найпростіший трансформатор складається з двох або декількох котушок (обмоток) на загальному замкненому залізному сердечнику (рис. 13.9; 13.10).

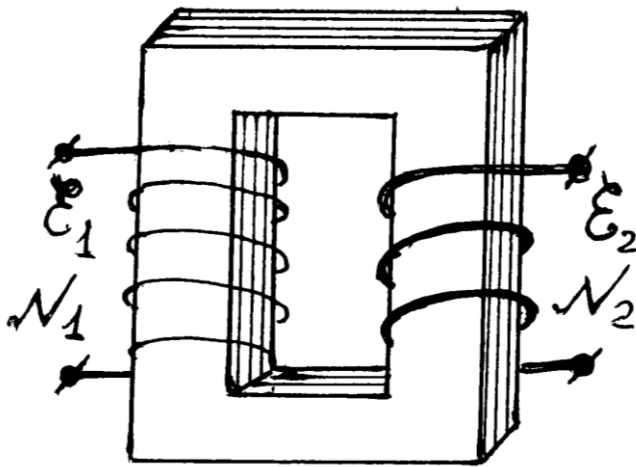


Рис. 13.9

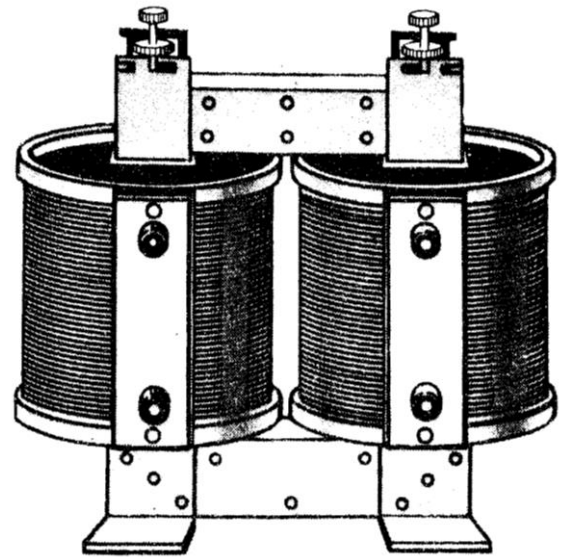


Рис. 13.10

Якщо через первинну обмотку іде струм, то в ній виникає ЕРС самоіндукції:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (13.11)$$

де N_1 - число витків первинної обмотки.

Магнітний потік пронизує витки всіх обмоток, тому у вторинній обмотці виникає ЕРС взаємної індукції:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (13.12)$$

Якщо вторинна обмотка розімкнена (режим холостого ходу), то в ній також виникає ЕРС самоіндукції, яка протилежна по напрямку напруги: $\varepsilon_2 = -U$.

Миттєві значення ε_1 і ε_2 змінюються у фазі (одночасно), звідки відношення $\varepsilon_1/\varepsilon_2$:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K. \quad (13.13)$$

Величина K називається коефіцієнтом трансформації. Якщо коефіцієнт $K > 1$ – трансформатор підвищувальний. **Коефіцієнт трансформації – фізична величина, що дорівнює відношенню числа витків первинної обмотки до числа витків вторинної.**

Сердечники трансформаторів виготовляють з тонких пластин м'якого заліза, ізольованих один від одного шаром лаку для зменшення індукційних вихрових струмів (струмів Фуко), які виникають у сердечниках трансформаторів. Коефіцієнт корисної дії трансформаторів більше 90 %, тому можна вважати, що потужності в первинній і вторинній обмотці рівні $\varepsilon_1 \cdot I_1 = \varepsilon_2 \cdot I_2$. Із цієї формули видно, що струми в ланцюгах обернено пропорційні числу витків.

При передачі електричної енергії на велику відстань відбуваються більші втрати енергії, що йде на нагрівання проводів. Для зменшення втрат енергії необхідно:

- зменшувати силу струму за рахунок збільшення напруги;
- зменшувати опір проводів у електричних мережах;
- використовувати надпровідникові провода.

Схема передачі електроенергії показана на рис. 13.11. На електростанції встановлюють трансформатор, що підвищує напругу

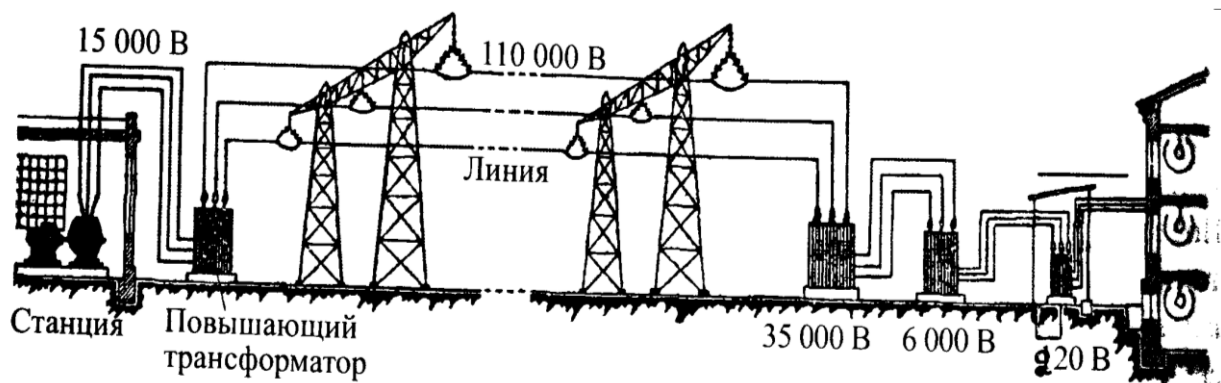


Рис. 13.11

до 100-500 тис. вольтів. Електроенергія струму при високій напрузі передається на велику відстань. Перед споживачами енергії встановлюють понижуючі трансформатори, від яких електроенергія через розподільні пристрої подається споживачам.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Який електричний струм називається змінним?
2. Намалюйте графік залежності сили і напруги змінного струму.
3. Як змінюється ЕРС і струм при рівномірному обертанні рамки в однорідному магнітному полі?
4. Як називається найбільше значення I_0 і ε_0 ?
5. Що таке період змінного струму?
6. Що таке частота змінного струму?
7. Напишіть формули для миттєвого значення сили струму, ЕРС і напруги.
8. Що таке ефективне (діюче) значення сили змінного струму?
9. Напишіть формули ефективних значень сили струму, ЕРС і напруги.
10. Від чого залежить індуктивний опір? Напишіть формулу.
11. Від чого залежить ємнісний опір? Напишіть формулу.
12. Напишіть формулу повного опору кола змінного струму.
13. Напишіть закон Ома для кола з трьох послідовно з'єднаних опорів R , X_L , X_C .
14. Що таке електричний генератор?
15. Що таке трансформатор?
16. Який трансформатор називається підвищувальним?
17. Який трансформатор називається понижуючим?
18. Що таке коефіцієнт трансформації?
19. Яке явище лежить в основі роботи трансформатора?

Задачі для розв'язання

Задача 1. (Приклад розв'язання). Чому дорівнює максимальний магнітний потік Φ_m через рамку, що обертається в однорідному магнітному полі зі швидкістю $n = 20$ об/с. Рамка містить 50 витків проводу. Амплітудне значення ЕРС дорівнює 30 В.

Дано:

$$n = 20 \text{ об/с}$$

$$N = 50 \text{ витків.}$$

$$\varepsilon_0 = 25 \text{ В}$$

$$\Phi_0 = ?$$

Аналіз і розв'язання:

За законом електромагнітної індукції ЕРС:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin \omega t = B \cdot S \cdot \omega \sin \omega t = \Phi_0 \cdot \omega \sin \omega t.$$

Тут $\Phi_0 = BS$ – максимальний магнітний

потік, $\varepsilon_0 = 2\pi n \cdot N \cdot B \cdot S$.

Максимальний магнітний потік: $\Phi_0 = \frac{\varepsilon_0}{2\pi n N}$.

Зробимо обчислення:

$$\Phi_0 = \frac{15}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 50} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вб.}$$

Відповідь: $\Phi_0 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вб.}$

Задача 2. В однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0,1 \text{ Тл}$ рівномірно обертається рамка розміром $20 \times 30 \text{ см}$, яка має 100 витків дроту. Чому дорівнює амплітудне значення ε , якщо число обертів $n = 120 \text{ об/хв}$?

Відповідь: $\varepsilon \approx 7,5 \text{ В.}$

Задача 3. Визначіть ємнісний електричний опір конденсатора ємністю $C = 40 \text{ мкФ}$ при частоті змінного струму 1 кГц і 50 Гц .

Відповідь: $X_C = 25 \text{ Ом}; 500 \text{ Ом.}$

Задача 4. Визначіть індуктивний опір котушки, якщо її індуктивність $L = 2,0 \text{ Гн}$, а частота струму $\nu = 50 \text{ Гц}$.

Відповідь: $X_L = 628 \text{ Ом.}$

Задача 5. Миттєве значення ЕРС змінюється за законом $U = 50 \cos 800\pi t$. Знайти частоту ν , період T та фазу?

Відповідь: $U_0 = 50 \text{ В}; \nu = 400 \text{ Гц};$

$$T = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \varphi = 800\pi t.$$

Задача 6. Ефективна напруга в мережі $U = 120 \text{ В}$. Чому дорівнює час, протягом якого горить неоновіа лампа в кожний напівперіод, якщо напруга запалювання $U_I = 84 \text{ В}$.

Відповідь: $t = T/3.$

13.4. Електровакуумні прилади

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
випрямляч	the rectifier	la rectifier
випускати	emission	émettre
розжарення	heat	l'incandescence
відкачати	to pump	pomper
подати	to submit	donner
напівпровідник	the semiconductor	le demiconducteur
потенційний бар'єр	hotential barrier	la barrière potentielle
сітка (ж.р.)	grid	la grille
підсилювач (ч. р.)	the amplifier	l'amplificfteur
електронна лампа	electronic lamp	la lampe électronique

13.4.1. Явище термоелектронної емісії

Термоелектронною емісією називається явище вибивання електронів твердими тілами. Явище термоелектронної емісії пояснюється тим, що при досить високій температурі вільні електрони можуть перебороти потенційний бар'єр сил електричного притягання на границі метал – вакуум. При низьких температурах кінетичної енергії електронів виявляється недостатньо.

При високій температурі внаслідок емісії негативно заряджених електронів метал здобуває позитивний заряд. На границі метал – вакуум як би з'являється подвійний електричний шар, який перешкоджає подальшій емісії електронів з металу.

Найменша енергія, яку необхідно повідомити електрону для подолання потенційного бар'єра (вильоту з металу), називається роботою виходу:

$$A = eU,$$

де e – заряд електрона, U – гранична різниця потенціалів (стрибок потенціалу) на границі метал – вакуум. Робота виходу залежить від металу, з якого вилітають електрони, від обробки його поверхні. Для зменшення роботи виходу на метали наносять різні покриття.

13.4.2. Електронні вакуумні лампи

Явище термоелектронної емісії лежить в основі роботи електровакуумних приладів таких, як вакуумний діод, тріод, електронно-променева трубка та ін.

Вакуумний діод являє собою металевий або скляний балон, з якого відкачане повітря, усередині якого є два електроди – анод *A* і катод *K*, що нагрівається струмом (рис. 13.11). Катод виготовляють у формі тонкої прямої нитки або тонкого циліндра, усередині якого міститься нитка розжарення катода, а анод має форму циліндра (рис.13.11). Діод застосовується для випрямлення змінного струму, тому що він пропускає струм одного напрямку – від анода до катода (має однобічну провідність).

Вакуумний тріод – лампа, у балоні якої розміщується три електроди – катод, сітка і анод (рис.13.12). Третій (керуючий) електрод – сітка має вигляд спіралі, що оточує катод. Якщо на сітку

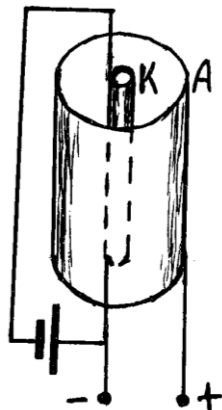


Рис. 13.12

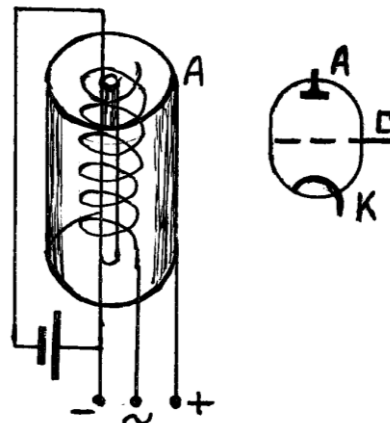


Рис. 13.13

подавати невеликий позитивний потенціал – анодний струм підсилюється. При подачі негативного потенціалу лампа «закривається» – струм не йде. Подаючи на сітку невелику змінну напругу можна одержати значні зміни анодного струму. Для більшого підсилення струму в балоні поміщають три сітки. Такі лампи називаються пентодами.

У сучасній електротехніці замість вакуумних застосовуються напівпровідникові діоди і тріоди (транзистори). Як матеріали для виготовлення сучасних напівпровідникових приладів застосовують монокристали германію, кремнію і деяких сполук, які легують

миш'яком і індієм. У сучасних напівпровідникових приладах на монокристалічні пластинки розмірами 10х10 мм поміщають сотні і навіть тисячі діодів і тріодів. Такі пристрої називаються мікросхемами або чипами. Напівпровідникові прилади мають такі переваги перед електронними лампами:

- *малі розміри і маса;*
- *малі й більші потужності;*
- *великий строк роботи;*
- *досить високу механічну міцність.*

До недоліків напівпровідникових приладів варто віднести наявність «зворотного» струму, сильний вплив підвищених температур і радіоактивних випромінювань.

13.4.3. Електронно-променева трубка

Електронно-променева трубка являє собою скляну посудину, з якої відкачано повітря, набір електродів і екран, покритий люмінофором (рис. 13.13).

Основні елементи трубки – «електронна гармата», що має катод, одну або дві діафрагми, що прискорюють електроди, електростатичну або магнітну систему керування пучком електронів і екран. Сконцентрований електронний пучок викликає світіння екрана. Прикладаючи на обкладки конденсатора змінну напругу або змінюючи силу струму в магнітній системі відхилення променя, змушують переміщатися світлову точку на екрані.

В осцилографі – приладі для вивчення змінних струмів

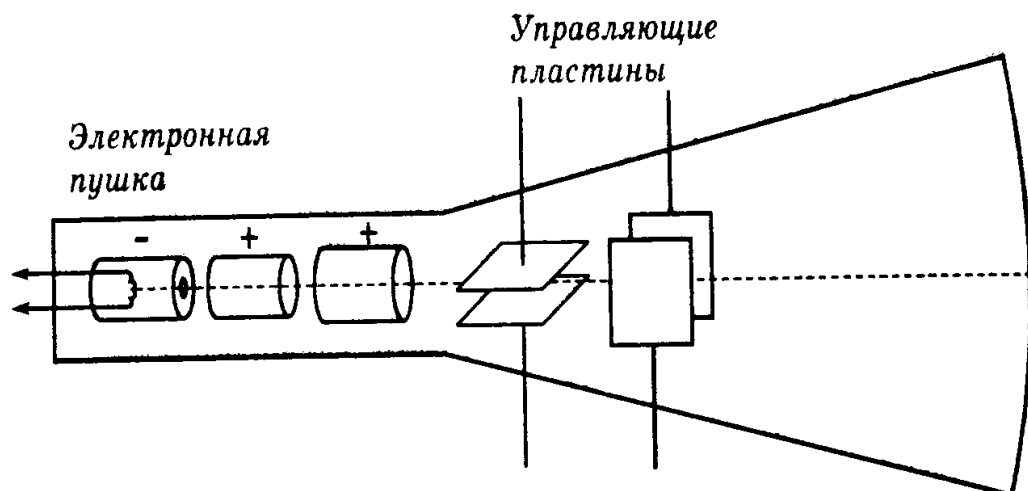


Рис. 13.13

використовується електростатична система керування електронним променем (рис. 13.14).



Рис. 13.14

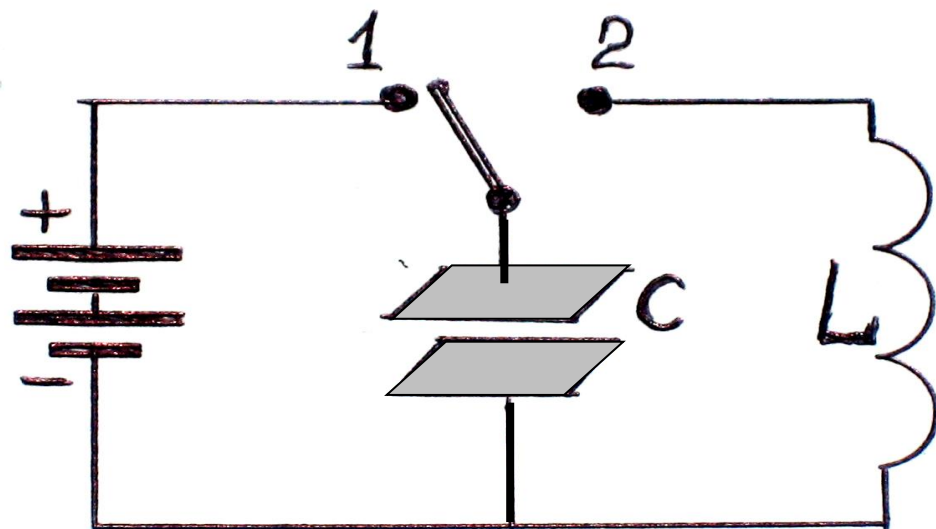
При вивченні різних електричних коливань на пластини осцилографа, що відхиляють електрони горизонтально, подають напругу, яка прямо пропорційна часу, а на пластини осцилографа, що відхиляють електрони вертикально, – досліджувані електричні коливання.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповіді на запитання:

1. У чому полягає явище термоелектронної емісії?
2. Що таке робота виходу електрона з металу?
3. Від чого залежить робота виходу електронів з металу?
Напишіть формулу.
4. Що являє собою діод?
5. Для чого використовують діод?
6. Що являє собою тріод?
7. Для чого використовують тріод?
8. Намалюйте схеми діода й тріода.
9. Що являє собою електронно-променева трубка?
10. Для чого використовують електронно-променеву трубку?

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ



Електричними коливаннями називаються періодичні (або майже періодичні) зміни заряду, сили струму або напруги.

14. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

Нові слова

українська	англійська	французька
антена	the aerial	l'antenne
відтворення	reproduction	la reproduction
випромінювання	radiation	l'irradiation
індикаторний пристрій	the display device	le dispositif d'indicateur
коливальний контур	oscillatory contour	le contour vibratoire
ламповий генератор	the lamp generator	l'oscillateur de lampe
виявити	to find out	decouvrir
передавач	the transmitter	la transmetteur
прийом	reception	la reception
приймач	the reception	le reception
радіолокатор	radar	le radar
радіотелеграфування	radiotelegraphy	le radiotelegraphe
розповсюдження	distribution	la diffusion
сигнал	signal	le signal
ультракороткі хвилі	ultrashort waves	les onder ultracourtes
електромагнітні хвилі	electromagnetic waves	les ondes electromagnetiques

14.1. Коливальний контур

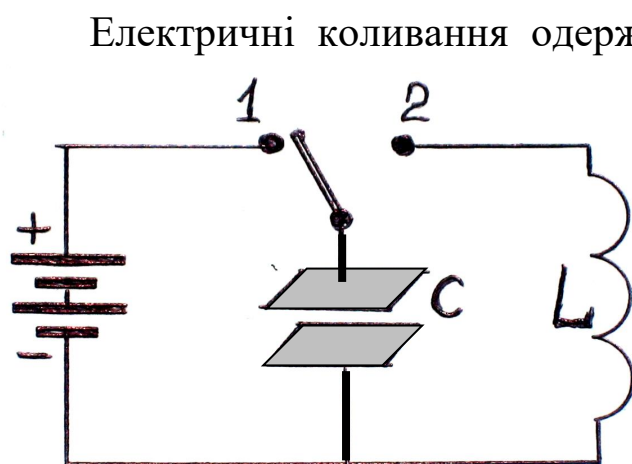


Рис. 14.1

Електричні коливання одержують в електричному колі, що містить послідовно з'єднані конденсатор і котушку індуктивності (рис. 14.1). Таке електричне коло має назву – коливальний контур. Чому в такому коливальному контурі виникають коливання? Зарядимо конденсатор, з'єднавши його на короткий час із джерелом струму за

допомогою перемикача. Конденсатор одержить енергію:

$$W_c = \frac{q^2}{2C}, \quad (14.1)$$

де q_m – повний заряд конденсатора, C – електроємність. При перемиканні в положення 2 (рис.14.1) конденсатор розряджається й у ланцюзі з'являється електричний струм. Сила струму збільшується не відразу, що викликано явищем самоіндукції. Виникаюче магнітне поле, що змінюється, породжує вихрове електричне поле, що спрямовано проти напрямку струму й перешкоджає його миттєвій зміні. При розрядці конденсатора енергія електричного поля зменшується, але одночасно зростає енергія магнітного поля, що визначається формулою:

$$W_L = \frac{LI^2}{2}, \quad (14.2)$$

де I – сила струму, L – індуктивність.

У той момент, коли конденсатор повністю розрядиться ($q = 0$) енергія магнітного поля буде максимальною ($I = I_m$). Електричні коливання в контурі аналогічні вільним механічним коливанням. При пружних коливаннях тіла на пружині періодично змінюється координата тіла x і його швидкість, а при електричних коливаннях міняються заряд конденсатора q і сила струму в ланцюзі (рис.14.2).

14.2. Рівняння коливань у контурі

Повна енергія коливального контуру в будь-який момент часу дорівнює сумі енергій електричного і магнітного полів:

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2c}. \quad (14.3)$$

Якщо опір проводів у контурі R дорівнює нулю, повна енергія контуру зберігається. Тому похідна за часом від повної енергії дорівнює нулю. Отже, швидкість зміни (похідні за часом) від енергій електричного і магнітного полів за модулем рівні (14.4).

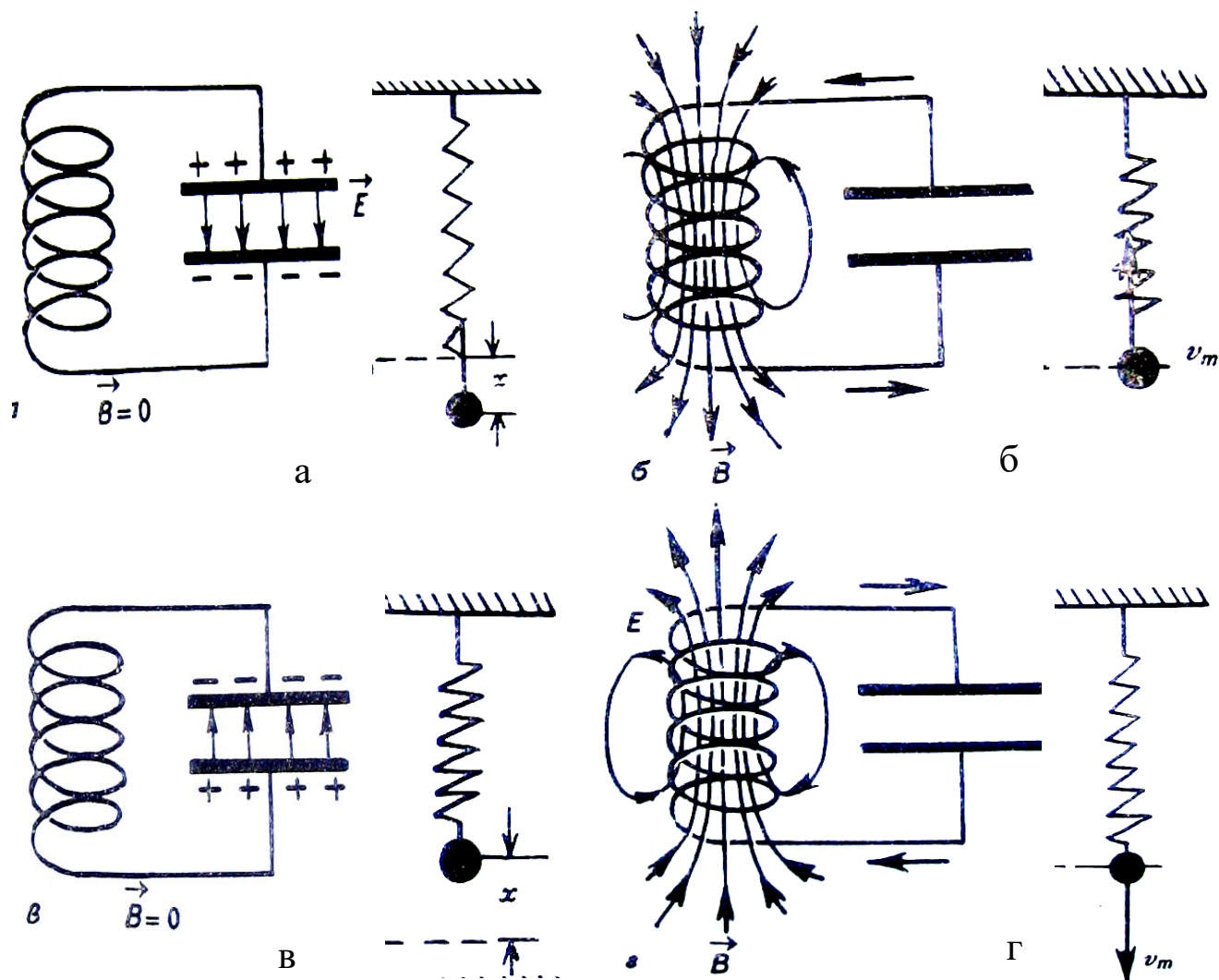


Рис. 14.2

$$\left(\frac{LI^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)' \quad (14.4)$$

Знак мінус вказує, що, коли енергія магнітного поля збільшується, енергія електричного зменшується і навпаки. Обчисливши похідні в рівнянні (14.4) одержимо залежність заряду конденсатора від часу:

$$q = q_m \cos \omega_0 t, \quad (14.5)$$

де q_m – амплітудне значення заряду конденсатора. Сила струму також буде здійснювати гармонійні коливання за законом:

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_m \omega_0 \sin \omega_0 t = I_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right), \quad (14.6)$$

де $I_m = q_m \omega_0$ – амплітуда сили струму. Коливання сили струму випереджають за фазою коливання заряду на $\pi/2$. Період вільних коливань у контурі визначається за формулою Томсона:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (14.7)$$

За допомогою коливального контуру можна одержувати електромагнітні коливання високої частоти. Реальний коливальний контур завжди має омичний опір, тому коливання в ньому загасають.

14.3. Одержання незатухаючих електромагнітних коливань

Незатухаючі електричні коливання одержують за допомогою генераторів. На рис. 14.3 показана спрощена схема генератора на

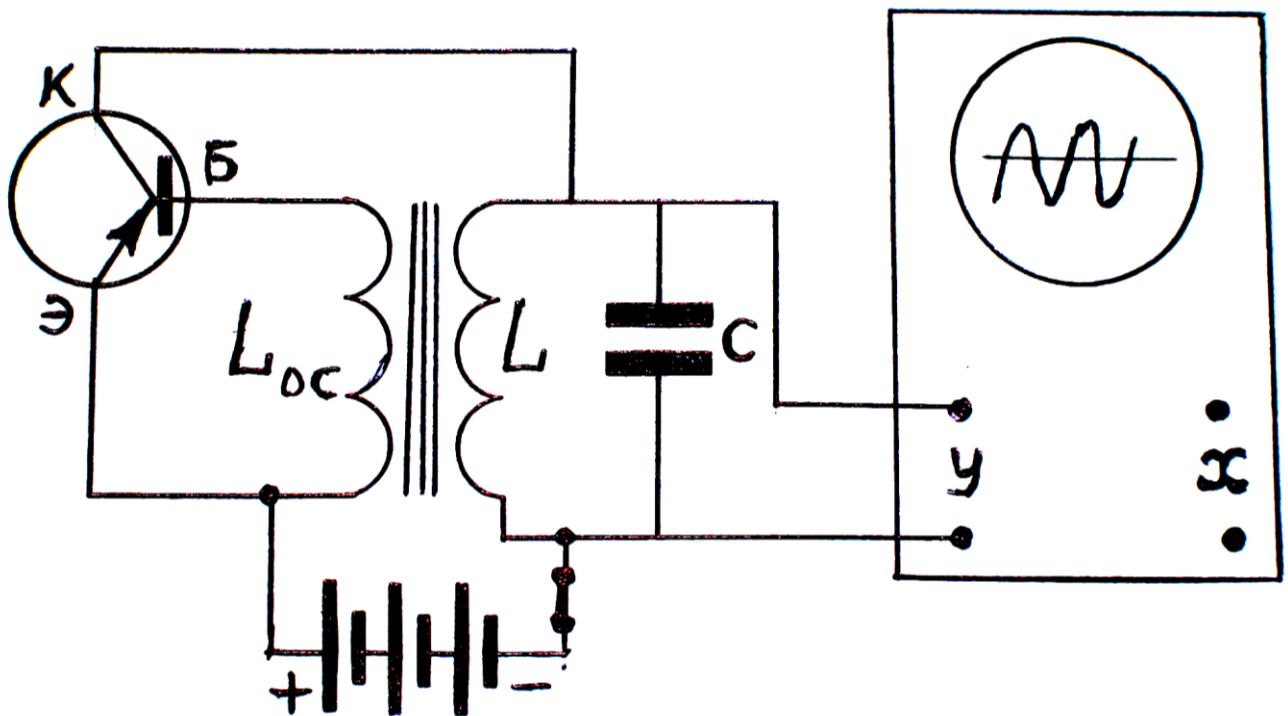


Рис. 14.3

транзисторі. Коливальний контур LC підключений до джерела постійної напруги послідовно із транзистором. В емітер – базове коло (е-б) транзистора включена котушка зворотного зв'язку L_{oc} , що індуктивно пов'язана з коливальним контуром. Для спостереження коливань паралельно контуру включений

осцилограф. При підключенні джерела живлення через транзистор пройде імпульс струму, що зарядить конденсатор і в контурі виникнуть коливання. На кінцях котушки зворотного зв'язку виникає змінна напруга. Ця напруга подається на емітер і через транзистор проходять імпульси струму. Роль транзистора – включення і вимикання джерела постійної напруги, за рахунок енергії якого в коливальному контурі підтримуються незатухаючі коливання.

14.4. Електромагнітні хвилі

Аналізуючи електромагнітні явища, англійський учений Майкл Фарадей висловив два припущення:

- *при зміні електричного поля виникає змінне магнітне поле;*
- *при зміні магнітного поля виникає змінне електричне поле.*

У дослідах Фарадея котушка потрібна тільки для його виявлення. Якщо заряджений конденсатор замкнути провідником (котушкою), то при розряді конденсатора навколо провідників і в котушці виникне магнітне поле (рис.14.4).

З теорії Максвелла випливало, що у просторі де нема струмів і зарядів(у вакуумі) електромагнітне поле повинно існувати у вигляді поперечних хвиль, які повинні розповсюджуватися зі швидкістю

$3 \cdot 10^8$ м/с (рис. 14.5).

Уперше в експерименті у 1888 р. німецький учений Генріх Герц одержав електромагнітні хвилі за допомогою розрядника та індукційної котушки. А передачу умовних сигналів (точки і тире азбуки Морзе) на відстань до 250 м уперше вдалося здійснити російському вченому

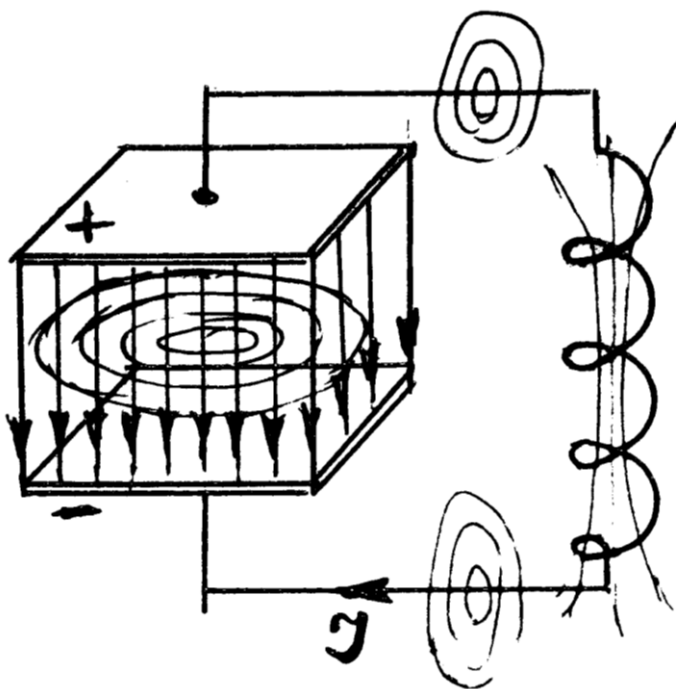


Рис. 14.4

А. С. Попову у 1895 році. Основна ідея радіозв'язку, що винайшов Попов – *керування джерелом струму прийнятими слабкими сигналами*. Пізніше, незалежно від Попова, аналогічні дослідження були проведені італійським інженером Г. Марконі. Велика заслуга Марконі полягає у широкому впровадженні електромагнітних хвиль для розвитку радіозв'язку.

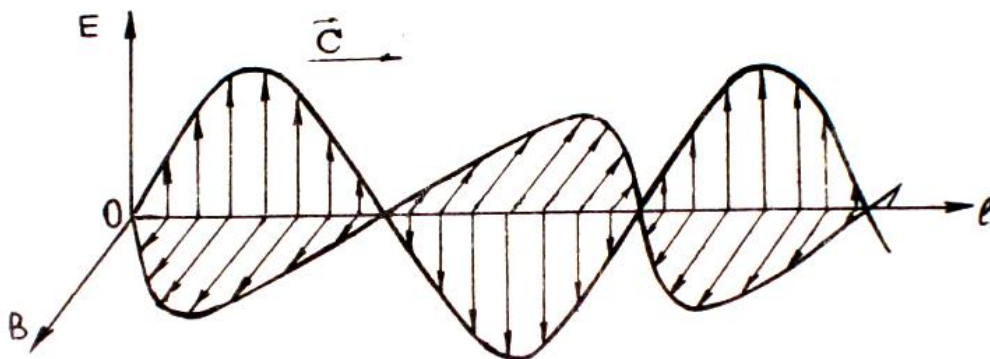


Рис. 14.5

14.5. Випромінювання і прийом електромагнітних хвиль

Електричне поле звичайного (закритого) коливального контуру концентрується між обкладками конденсатора, а магнітне – усередині котушки індуктивності. Для випромінювання електромагнітних хвиль у простір необхідно розсунути обкладки конденсатора (рис.14.6). Такий контур називається відкритим.

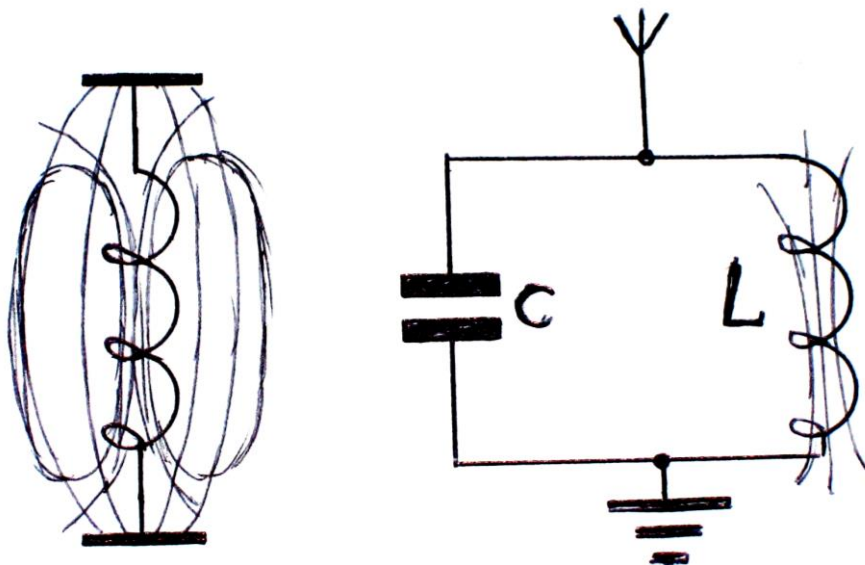


Рис. 14.6

А. С. Попов виявив, що для збільшення потужності випромінювання необхідно одну обкладку конденсатора заземлити, а до іншої приєднати довгий провідник. Такий провідник назвали антеною. Після винаходу

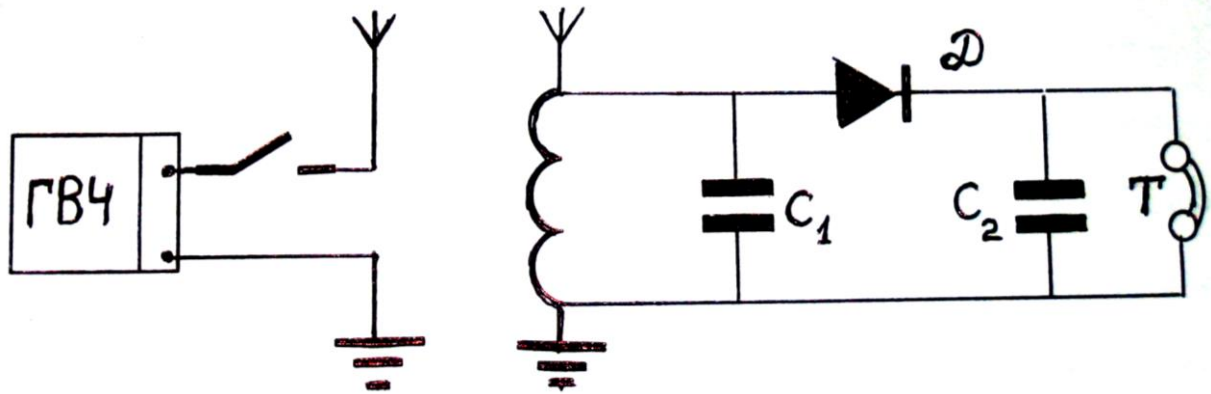


Рис. 14.7

лампового генератора вдалося значно збільшити дальність радіозв'язку і передавати не тільки точки і тире азбуки Морзе, але й звуки. Простий радіозв'язок можна здійснити так. *Коливання високої частоти, створювані генератором, модулюються коливаннями звукової частоти й випромінюються за допомогою антени. Електромагнітні хвилі індукують коливання в приймальному контурі, що настроєний у резонанс передавальної станції* (рис. 14.7).

Високочастотні коливання передаються на детектор (випрямляч) Д. Паралельно навушникам Т підключений конденсатор C_2 , через який проходить струм високої частоти, а через навушники іде струм звукової частоти. Радіохвилі з різною довжиною хвилі по різному поширюються в атмосфері Землі. Довгі хвилі огинають Землю, але швидко загасають, короткі та ультракороткі поширюються прямолінійно і відбиваються іонізованими шарами атмосфери.

14.6. Телебачення і радіолокація

Телебачення – передача зображень, що рухаються, на відстань. На телевізійному центрі за допомогою спеціальних електронно - променевих трубок – відиконів – зображення об'єкта і звук перетворюється в систему відеосигналів, які модулюють несучу ультрависоку частоту (УВЧ). Передане зображення розбивається на сотні тисяч окремих елементів, кожному з яких відповідає окремий сигнал. Ультракороткі хвилі ($\lambda = 0,1 - 10$ м) сильно поглинаються поверхнею Землі й іоносферою, тому прийом

телепередач можливий тільки на відстані прямої видимості. У цей час у телебаченні використовують супутники – ретранслятори.

Радіолокація – виявлення різних об'єктів і визначення їхнього положення в просторі. Радіолокація заснована на явищі відбиття ультракоротких хвиль від об'єктів, що опромінюють. Практична радіолокація і телебачення стали можливі після винаходу у 1924 р. в Харкові А.А. Слуцкіним магнетрона. **Магнетрон** – вакуумна лампа, у якій обертовим пучком електронів управляють за допомогою магнітного поля. Магнетрон дозволяє генерувати коливання ультрависокої частоти великої потужності.

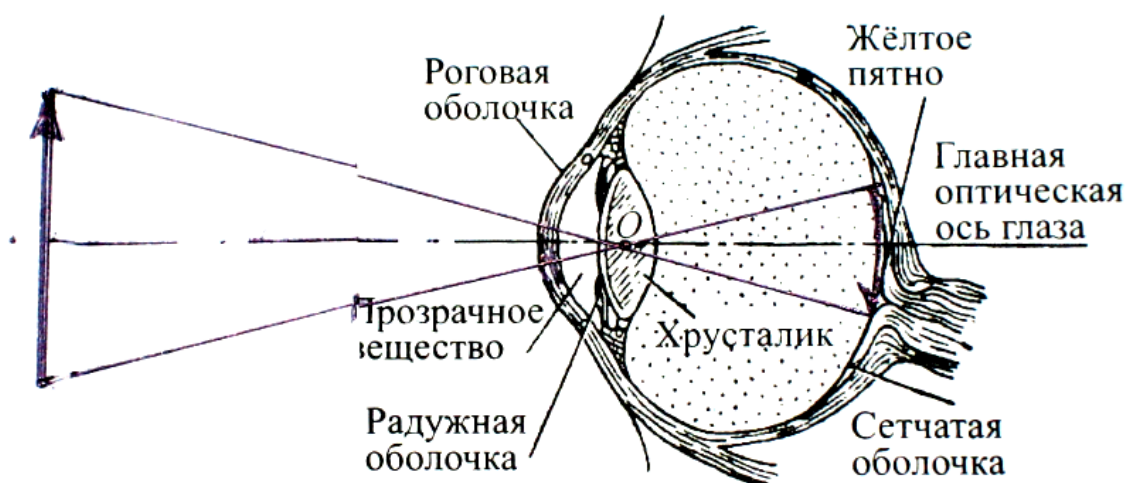
Радіолокатор складається з потужного імпульсного передавача, спрямованої антени, приймача, настроєного на частоту передавача, і індикаторного пристрою. Для точного визначення положення об'єкта крім відстані потрібно знати кут у горизонтальній площині між напрямком на об'єкт і на північ і кут від горизонтальної площини до напрямку на об'єкт.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Хто пророчив існування електромагнітних хвиль?
2. Хто експериментально одержав електромагнітні хвилі?
3. Електромагнітна хвиля позовжня чи поперечна?
4. Що таке коливальний контур?
5. Що коливається в коливальному контурі?
6. Проведіть аналогію між механічними коливаннями і електричними коливаннями.
7. Напишіть формулу Томсона.
8. Для чого застосовується генератор?
9. Який коливальний контур називається відкритим?
10. Яка взаємозв'язок між швидкістю, частотою і довжиною хвилі?
11. Чому дорівнює швидкість світла у вакуумі?
12. Хто вперше передав умовні сигнали за допомогою електромагнітних хвиль?
13. Намалуйте схему простого радіоприймача.
14. Що таке модуляція?
15. Що таке телебачення?
16. Що таке радіолокація?

ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА



Геометрична оптика розглядає світло на основі уявлень про світло як сукупність світлових променів – ліній, уздовж яких розповсюджується енергія світлових електромагнітних хвиль

15. ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

15.1. Розвиток поглядів на природу світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
збуджений стан	the excited state	l'état excité
висунути	to put forward	avancer, tirer
двоїста природа (дуалізм)	the dual nature (dualism)	le dualisme
дисперсія світла	dispersion of light	la dispersion de la lumière
дифракція (ж.р.)	diffraction	la diffraction
випромінювання	radiation	la radiation
інтерференція (ж.р.)	interference	l'interférence
випускати	to emit	émettre
квант(ч. р.)	quantum	le quantum
промінь світла	ray of light	le rayon de la lumière
монохроматичне світло	monochromatic light	la lumière monochromatique
невидимий світовий ефір	invisible world ether	l'éther invisible mon-diale
обґрунтувати	to prove	argumenter
що огинає	bending around	contournant
він висловив гіпотезу	It {he} has stated a hypothesis	il a exprimé l'hypothèse
оптика (ж.р.)	optics	l'optique
відбиття світла	reflections of light	la réflexions de lumière
потік корпускул	stream of corpuscles	le flux des corpusculaire
протиріччя (с. р.)	the contradiction	la contradiction
поширення (с. р.)	propagation	propagation
тінь (ж.р.)	shadow	l'ombre
півтінь (ж.р.)	penumbra	la pénombre
фотон (ч. р.)	photon	photon
фотоефект (ч. р.)	photoeffect	le photoeffet

Світло – одне з дивних явищ природи. Під дією світла і тепла розвивається і підтримується життя на Землі. Світло дає можливість одержати інформацію про навколишній світ. Що ж таке світло? Перша наукова теорія світла була створена Ньютоном. **За теорією Ньютона світні тіла випускають дрібні частки – корпускули, які летять із великою швидкістю.**

Гіпотеза Ньютона пояснила широко відомі в той час світлові явища, наприклад, прямолінійне поширення, відбиття і заломлення світла.

Майже одночасно з Ньютоном Гюйгенс висунув хвильову гіпотезу про природу світла. **Відповідно до цієї гіпотези Гюйгенса, світло – це поперечна хвиля.** Такі хвилі можуть існувати тільки в пружному середовищі. Тому Гюйгенс припустив, що Всесвіт заповнений невидимим пружним середовищем – світловим ефіром. Пізніше цю гіпотезу уточнив Френель.

Теорія Френеля пояснила такі явища, як прямолінійність поширення і дифракція світла. Однак ця теорія також мала ряд протиріч. У середині 19 ст. на зміну теорії Гюйгенса приходять електромагнітна теорія Максвелла.

За теорією Максвелла, світло – електромагнітна хвиля яка розповсюджується у вакуумі зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с. Світло однієї частоти називається монохроматичним. Таке світло наші очі сприймають як певні кольори. Наприклад, частота світла $4 \cdot 10^{14}$ Гц викликає відчуття червоних кольорів, а частота $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц – фіолетового.

Наприкінці ХІХ на початку ХХ ст. був відкритий ряд таких явищ, як фотоефект, ефект Комптона, у яких світло проявляло корпускулярні властивості. Електромагнітна теорія Максвелла не могла пояснити природи теплового випромінювання.

Німецький учений М. Планк для пояснення природи теплового випромінювання у 1900 р. висунув «гіпотезу» про те, що атоми випромінюють світло порціями – **квантами**. Енергія кванта світла визначається формулою Планка. Гіпотеза Планка була розвинена А. Ейнштейном.

Ейнштейн показав, що світло випромінюється, поширюється і поглинається порціями (квантами) – фотонами. Сучасна квантово-хвильова теорія враховує ці властивості світла. Для пояснення процесу поширення пружних хвиль Гюйгенс висунув загальний принцип, що одержав назву принципу Гюйгенса.

Принцип Гюйгенса: кожна точка середовища, до якого дійшла хвиля стає джерелом вторинних сферичних хвиль, а обвідна цих хвиль указує нове положення фронту хвилі (рис. 15.1).

Геометричне місце точок, які коливаються в однакових фазах, називається хвильовою поверхнею, а передня поверхня називається фронтом хвилі. Напрямок поширення хвилі називають променем.

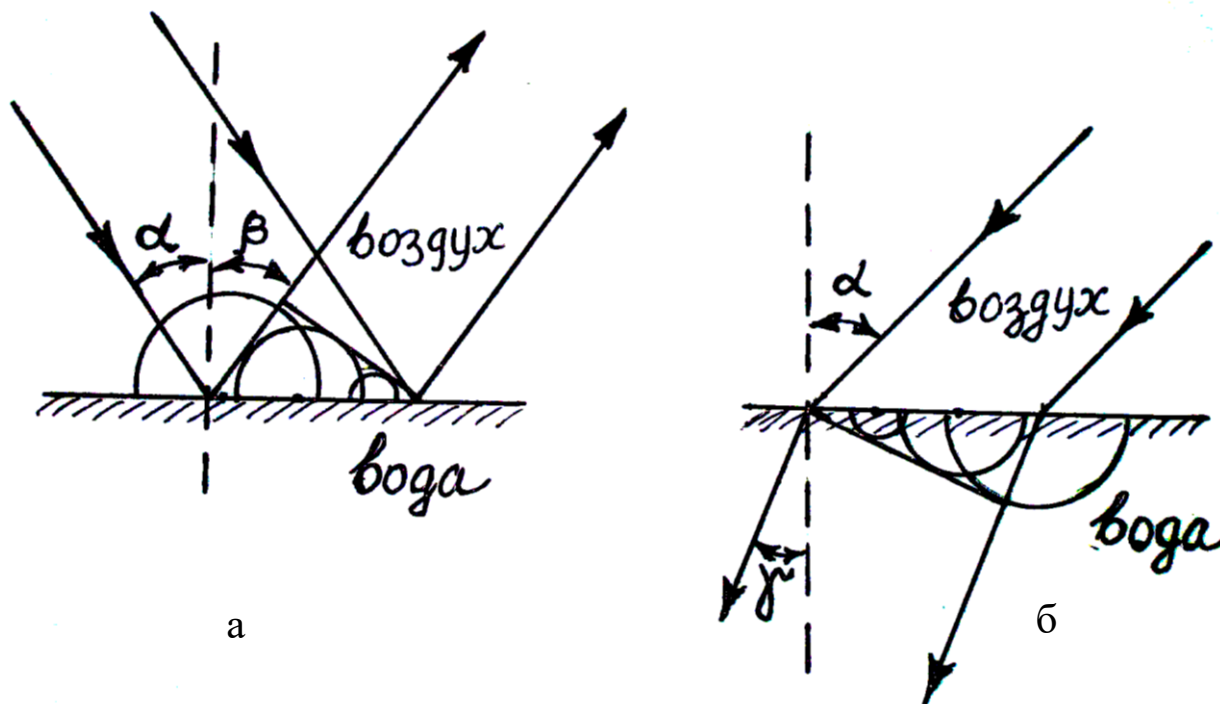


Рис. 15.1

Оптика є геометрична, хвильова і квантова. Якщо зневажити малою величиною довжини світлової хвилі, то ряд явищ можна пояснити з погляду геометричної оптики. Основні закони геометричної оптики:

- 1) закон прямолінійного поширення;
- 2) закон незалежності світлових пучків;
- 3) закони відбиття світла;
- 4) закони заломлення світла.

Швидкість світла у вакуумі вперше була обмірювана датським астрономом Рьомером у 1675 р. при спостереженні затьмарення одного із супутників Юпітера. Перші досліди з визначення швидкості світла на Землі провів Фізо у 1849 р., а більш точні виміри були виконані американським ученим Майкельсоном за допомогою інтерферометра. Сучасні виміри швидкості світла базуються на дуже точних вимірах частоти випромінювання лазера.

Використовуючи закони відбиття світла побудуємо зображення предмета в плоскому дзеркалі. На рис. 15.2 показаний хід променів від предмета АВ. Промені світла відбиваються від дзеркала, формуючи уявне зображення А'В'.

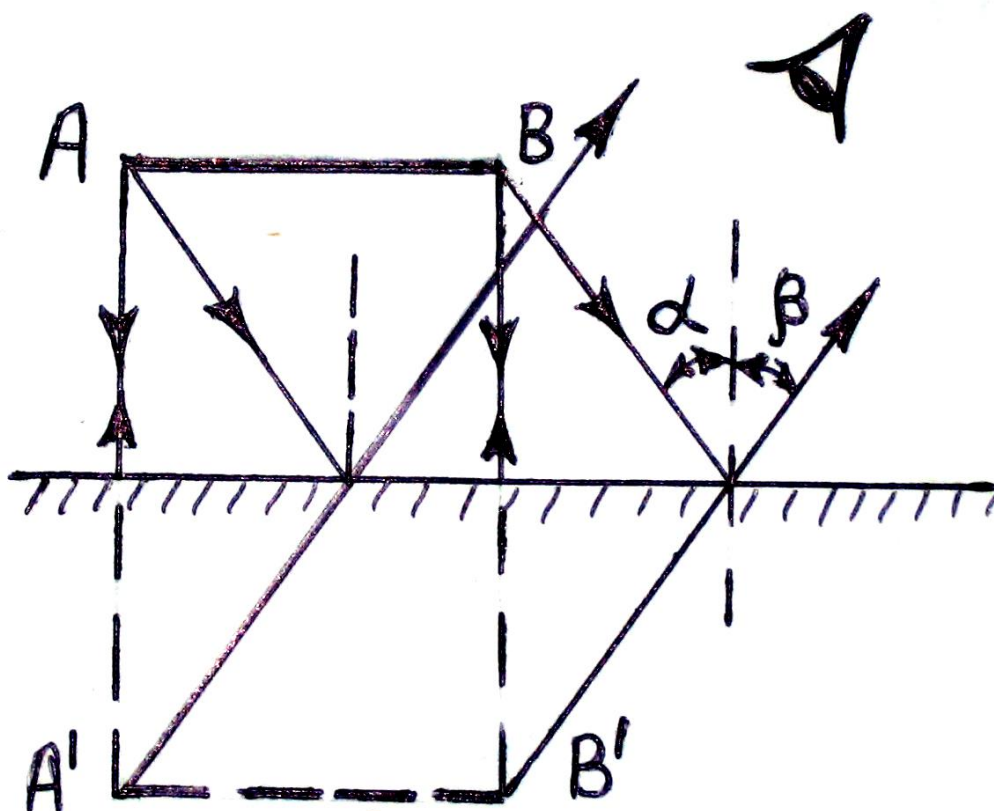


Рис. 15.2

15.2. Відбиття світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
1	2	3
дійсний, -а, -е, -і	real	valable, réel
дифузійне відбиття	diffusion reflection	la réflexion, diffuse
дзеркальне відбиття	mirror reflection	la réflexion spéculaire
зображення (с. р.)	the image	l'image
уявний, -а, -е, -і	imaginary	imaginaire
оборотність (ж.р.)	convertibility	la convertibilité, la réversibilité

1	2	3
висвітлення (с. р.)	illumination	l'éclairage
відбиття світла	reflection of light	la réflexion de la lumière
перевернений, , -а, - е, -і	turned	culbuté, renversé
перетинання (с. р.)	crossing	l'intersection, le croisement
пучок променів	sheaf of rays	le faisceau des rayons
дзеркало, що розсіює	scattering mirror	le miroir de dispersion
розбіжний пучок	missing bunch {beam}	le faisceau divergent
світловий потік	light stream	le flux lumineux
дзеркало, що збирає	collecting mirror	le miroir collecteur
сферичне дзеркало	spherical mirror	le miroir sphérique
шорсткувата поверхня	rough surface	la surface rugueuse

Якщо світловий потік падає на поверхню будь-якого тіла, то частина падаючого світла відбивається. Закони відбиття світла були встановлені експериментально.

15.2.1. Закони відбиття світла

1. Відбитий промінь лежить у тій же площині, у якій лежать падаючий промінь і перпендикуляр, відновлений у точці падіння променя.

2. Кут відбиття дорівнює куту падіння $\alpha = \beta$ (рис. 15.2).

Таким чином, падаючий і відбитий промені оборотні. Якщо падаючий промінь направити по шляху відбитого, то відбитий промінь піде по шляху падаючого. Бачити предмети ми можемо тільки в тому разі, коли від них до нас в око попадає світло. Якщо промені, що падають на поверхню, паралельні і залишаються паралельними після відбиття, то таке відбиття є дзеркальним. Якщо поверхня шорсткувата – відбиття дифузне.

Швидкість світла у вакуумі є максимально можливою швидкістю в природі. Швидкість світла в різних середовищах зменшується. Вона залежить від оптичної щільності середовища.

Мірою оптичної щільності є абсолютний показник переломлення. При переході світла з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється прямо пропорційно швидкості світла в даному середовищі:

$$\lambda_2 / \lambda_1 = \mathcal{D}_2 / \mathcal{D}_1. \quad (15.1)$$

Вправа 1. Напишіть нові слова і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Хто дав перше наукове пояснення світла?
2. Що являє собою світло відповідно до цієї теорії?
3. Хто перший запропонував хвильову гіпотезу про природу світла?
4. Хто створив електромагнітну теорію світла?
5. Електромагнітні хвилі якої частоти можна віднести до видимого світла?
6. Яке світло називається монохроматичним?
7. Що таке довжина світлової хвилі? Напишіть формулу.
8. Чому дорівнює швидкість світла у вакуумі?
9. Що змінюється при переході світлової хвилі з одного середовища в інше?
10. Напишіть формулу Планка. Поясніть її.
11. Яка природа світла?
12. Як поширюється світло в однорідному середовищі?
13. Сформулюйте принцип Гюйгенса.
14. Що таке промінь?
15. Сформулюйте основні закони геометричної оптики.
16. Які вчені вимірювали швидкість світла?

15.2.2. Побудова зображень у сферичних дзеркалах

Сферичним дзеркалом називається дзеркальна поверхня кульової або параболоїдної форми. Якщо світло відбивається від внутрішньої поверхні, то дзеркало – увігнуте, якщо від зовнішньої поверхні – дзеркало опукле. Центр кульової поверхні називається **оптичним центром дзеркала**. Пряма лінія, що проходить через полюс дзеркала Π і оптичний центр ПФО, називається **головною оптичною віссю дзеркала** (рис. 15.3, 15.4). Будь-яка пряма, що проходить через оптичний центр і будь-яку точку дзеркала, називається **побічною оптичною віссю**. Промені, що йдуть

паралельно головній оптичній осі, після відбиття в дзеркалі перетинаються в точці, що називається **фокусом дзеркала**. Відстань між фокусом і полюсом дзеркала PF називається **фокусною відстанню**. У увігнутого дзеркала фокус дійсний, у опуклого уявний і зображення в ньому завжди уявне. Пучок променів, які падають на опукле дзеркало, розсіюється, а їхні уявні продовження (показані пунктиром) перетинаються в точці, що називається уявним фокусом. Площина, що проходить через фокус перпендикулярно головній оптичній осі, називається **фокальною площиною**. Фокусна відстань для променів, що йдуть паралельно на невеликій відстані від головної оптичної осі, дорівнює половині радіуса сфери $PF = R/2$. Для побудови зображення в дзеркалі необхідно накреслити хід будь-яких двох променів. Сформулюємо правила побудови зображень у дзеркалах:

- *промінь, що йде паралельно головній оптичній осі, після відбиття проходить через фокус;*
- *промінь, що йде через оптичний центр дзеркала, після відбиття йде уздовж тієї ж прямої;*
- *промінь, що йде через фокус, після відбиття йде паралельно головній оптичній осі.*

На рис. 15.3 і рис. 15.4 показаний хід променів, що падають на увігнуте і опукле дзеркала паралельно головній оптичній осі. Як приклад побудуємо зображення в увігнутому і опуклому дзеркалах (рис.15.5; 15.6).

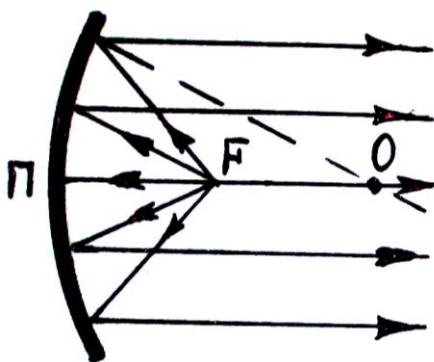


Рис. 15.3

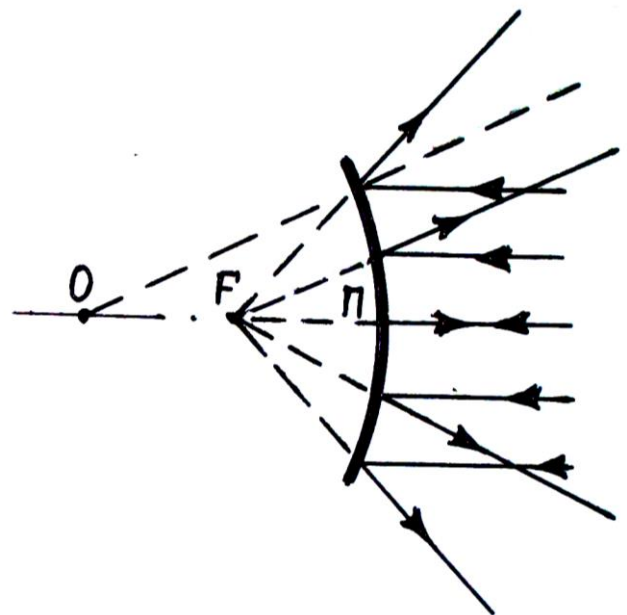


Рис. 15.4

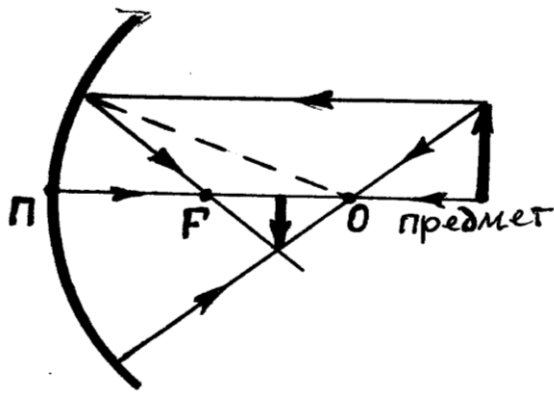


Рис. 15.5

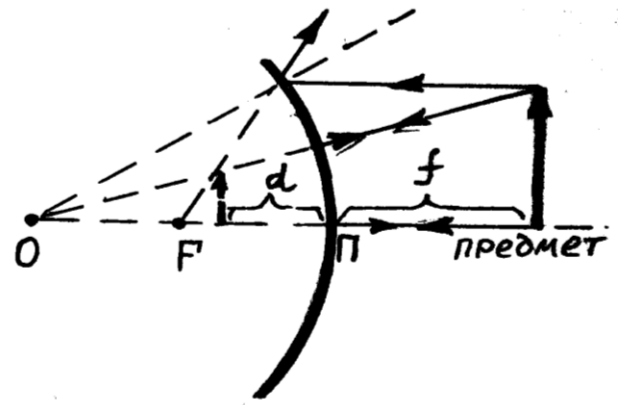


Рис. 15.6

Фокусна відстань F пов'язана з відстанями від дзеркала до зображення предмета f і відстанню від дзеркала до предмета d (рис. 15.5; 15.6) такою формулою:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (15.2)$$

Для опуклого дзеркала f і F беруть із знаком «мінус».

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Яке відбиття називається дзеркальним?
2. Яке відбиття називається дифузним?
3. Сформулюйте закони відбиття світла.
4. Що таке сферичне дзеркало?
5. Які сферичні дзеркала ви знаєте?
6. Що таке фокус дзеркала?
7. Що таке оптичний центр дзеркала?
8. Напишіть формулу сферичного дзеркала.

15.3. Заломлення світла

Нові слова

українська	англійська	французька
1	2	3
відновлення	restoration	la restauration
границя розподілу	interface	l'interface
плоскопаралельна пластинка	plane-parallel plate	la lame a faces paralléls

1	2	3
показник переломлення	index of refraction	l'indice de réfraction
граничний кут переломлення	limiting corner refraction	l'angle limite
прозоре середовище	the transparent environment	le milieu transparent
тригранна призма	trihedral prism	le prisme triédre

15.3.1. Закони заломлення світла

При падінні пучка світла на границю розділу двох прозорих середовищ частина світла відбивається, а частина переходить у друге середовище – заломлюється (рис. 15.7). На границі розділу двох середовищ змінюється швидкість і довжина світлової хвилі. Частота світла і її зорове відчуття (кольори) не змінюються.

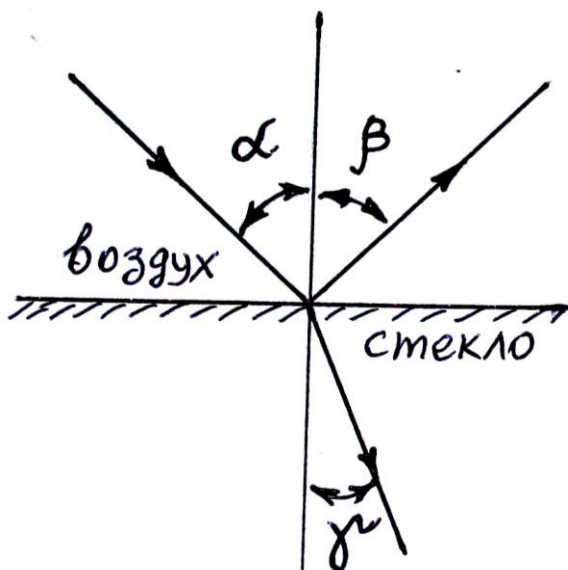


Рис. 15.7

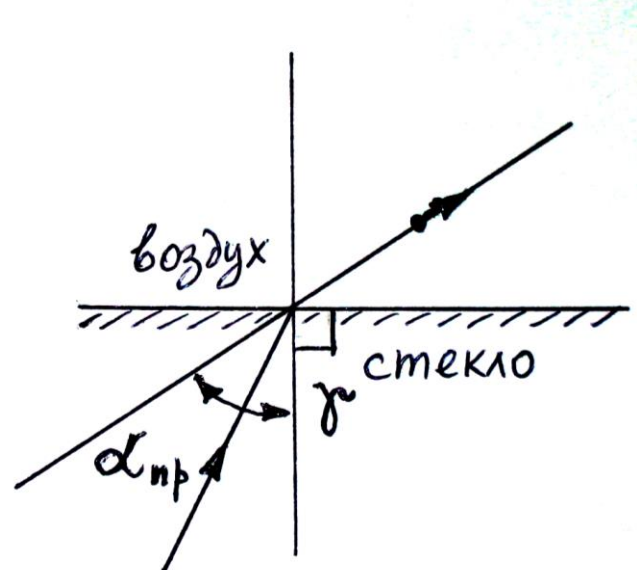


Рис. 15.8

Зміна напрямку променя світла при перетинанні границі розділу двох середовищ називається заломленням світла.

Сформулюємо закони заломлення:

- Заломлений і падаючий промені лежать в одній площині з перпендикуляром, відновленим у точці падіння променя.
- Відношення синуса кута падіння променя α до синуса кута заломлення γ не залежить від кута падіння.

$$n_{\text{від}} = \sin \alpha / \sin \beta. \quad (15.3)$$

Це відношення називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого. *Абсолютний показник заломлення середовища n* (перше середовище – вакуум) *показує, у скільки разів швидкість світла у вакуумі більше, ніж у даному середовищі:*

$$n = c / v, \quad (15.4)$$

де c – швидкість світла у вакуумі.

15.3.2. Повне внутрішнє відбиття

При переході променя світла з оптично більш щільного середовища в менш щільне, кут заломлення більше кута падіння. При досягненні деякого граничного значення кута падіння α_{gp} , кут переломлення буде дорівнює $\frac{\pi}{2}$ (рис. 15.9). При $\alpha > \alpha_{gp}$ падаючий промінь повністю відбивається. Це явище називається повним внутрішнім відбиттям. При граничному куті падіння зі скла у повітря показчик заломлення:

$$n_{\text{відн}} = \frac{\sin \alpha_{np}}{\sin \gamma} = \frac{1}{n_1}, \quad (15.5)$$

де n_1 – показник переломлення скла відносно повітря, $\sin \gamma = \sin 90^\circ = 1$, тоді:

$$\sin \alpha_{np} = 1 / n_1. \quad (15.6)$$

Знаючи показник заломлення середовища можна знайти граничний кут повного внутрішнього відбиття. Явище повного внутрішнього відбиття використовується при передачі якісного зображення.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Сформулюйте закони заломлення світла.
2. Що таке абсолютний показник заломлення?
3. Що таке відносний показник заломлення?
4. Що таке повне внутрішнє відбиття?
5. Що таке граничний кут?
6. Як обчислити граничний кут?

Задачі для розв'язання

Задача 1. На якій відстані від увігнутого дзеркала з радіусом кривизни $R = 0,3\text{ м}$ зберуться відбиті паралельні промені?

Відповідь: $f = 0,15\text{ м}$.

Задача 2. На якій відстані f від увігнутого дзеркала $R = 30\text{ см}$ вийде зображення предмета, якщо він перебуває на відстані $d = 20\text{ см}$ від дзеркала?

Задача 3. Визначите кут падіння світлових променів на поверхню води з повітря, якщо кут переломлення $\gamma = 45^\circ$, а показник переломлення води $n = 1,33$. Чому дорівнює кут відбиття?

Відповідь: $\beta = 70^\circ$.

Задача 4. При переході світла з повітря у воду кут відбиття $\beta = 60^\circ$, а кут заломлення $\gamma = 40^\circ$. Визначите швидкість світла у воді.

Відповідь: $v = 230000\text{ км/с}$.

Задача 5. На скляну пластинку з показником переломлення $n = 1,5$ падає промінь світла. Який кут падіння α променя, якщо кут між відбитим і переломленим променями дорівнює 90° ?

Відповідь: $\alpha = 56^\circ 24'$

Задача 6. Знайдіть граничний кут α_{np} повного відбиття для речовини з показником $n = 1,33$.

Відповідь: $\alpha_{np} = 48,5^\circ$.

15.4. Оптичні прилади

Нові слова:

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
короткозорий, -а, -е, -і	short-sighted	myope
увігнута лінза	concave lens	la lentille concave
волокно (с. р.)	fibre	la fibre
опукла лінза	convex lens	la lentille convexe
око (с. р.)	eye	de l'oeil
очне яблуко	eyeball	la globev oculaire
очний нерв	optic nerve	le nerf optique
далекозорий, -а, -е, -і	far-sighted	presbyte
дійсне зображення	the valid image	la représentation valable
діафрагма (ж. р.)	diaphragm	la diaphragme
жовта пляма	yellow stain	la tache jaune
зіниця (ж. р.)	pupil	la pupille
лупа (ж. р.)	magnifier	la loupe
м'яз (ж. р.)	muscle	le muscle
найкращий зір	the best sight	la vue la meilleur
що облягає	fitting	moulant
зворотне	the return	l'inverse
окуляр (ч. р.)	eyepiece	l'oculaire
отвір (с. р.)	aperture	l'orifice
плівка (ж. р.)	film	la pellicule
побічна вісь	lollateral axis	l'axe marginal
проекційний апарат	projector	l'appareil a projection
прозора речовина	transparent substance	la substance transparente
радужна оболонка	iris of the eye	l'iris
розгалуження (с. р.)	branching	la ramification
рогова оболонка	cornea	l'environnement de corne
сітчаста оболонка	mesh environment	l'environnement réticulaire

15.4.1. Лінзи. Побудова зображень у лінзах

Лінзою називається прозоре для світла тіло, що обмежене поверхнями сферичної, циліндричної або параболічної форми. Розглянемо сферичні лінзи. На рис. 15.9 наведені схематичні малюнки двоопуклої, плоско-опуклої, двоввігнутої, плоско-вгнутої і опукло-вгнутої форм. Радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називаються *радіусами кривизни* лінзи. Далі будемо розглядати ідеальні тонкі лінзи. Центр лінзи O називається *оптичним центром* лінзи. Будь-яка пряма, що проходить через оптичний центр лінзи, називається *оптичною віссю* лінзи. Оптична вісь, що проходить через центр лінзи і центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називається *головною оптичною віссю*. Точка, у якій перетинаються переломлені лінзою промені (або їхнього продовження), які йшли паралельно головній оптичній осі, називається *фокусом лінзи* F . Відстань від фокуса до оптичного центра FO називається фокусною відстанню. Якщо у фокусі перетинаються промені, які вийшли з лінзи, фокус називається *дійсним*. Якщо у фокусі перетинаються продовження переломлених променів – фокус *уявний* (рис. 15.10). Для побудови зображення в лінзі необхідно накреслити хід будь-

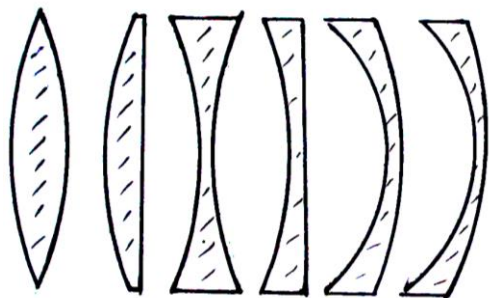


Рис. 15.9

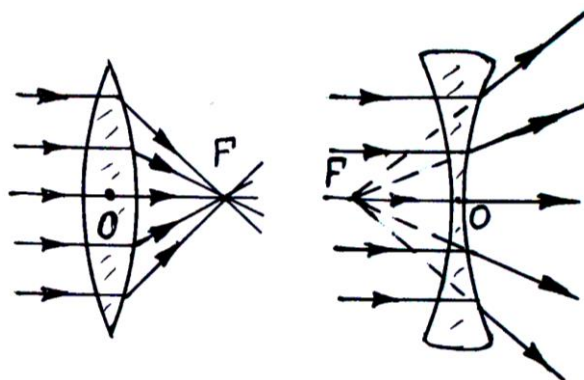


Рис. 15.10

яких двох променів. Сформулюємо правила побудови зображення в лінзах:

- *промінь, що йде паралельно головній оптичній осі лінзи, після заломлення у лінзі йде крізь фокус;*
- *промінь, що йде через оптичний центр (тонкої) лінзи, не змінює напрямку;*
- *промінь, що йде через фокус, після заломлення у лінзі йде*

паралельно головній оптичній осі;

• промені, що ідуть паралельно побічній оптичній осі, після заломлення у лінзі сходяться у фокальній площині.

На рис. 15.11 показані приклади побудови зображень в опуклій лінзі.

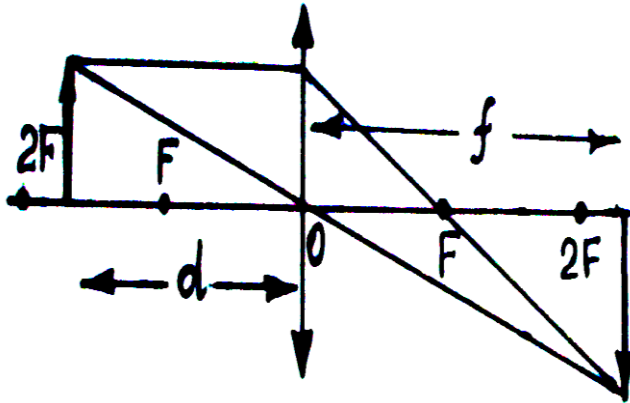


Рис. 15.9

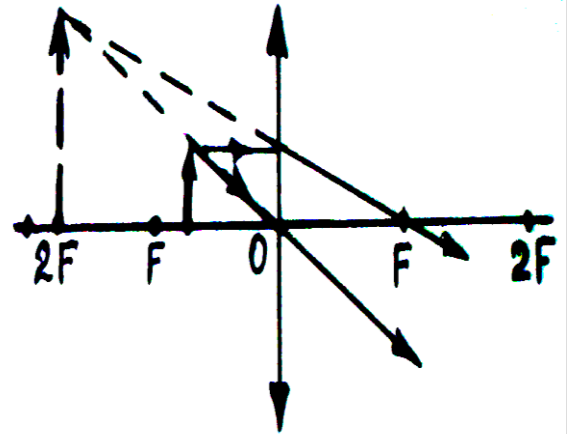


Рис. 15.10

Між відстанню від предмета до лінзи d , відстанню від зображення до лінзи f і фокусною відстанню OF існує залежність, що називається **формулою лінзи** (рис. 15.12)

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (15.7)$$

У разі ввігнутої лінзи значення F і f – негативні.

Оптичні прилади призначені для перетворення світлових променів і являють собою набір лінз, дзеркал і призм.

На рис. 15.12 показаний хід променів у лупі.

Луна – збиральна лінза використовується для розгляду збільшеного зображення предмета. При розгляді предмета його поміщають між фокусом і лінзою. На рис. 15.12 показаний хід променів у лупі.

Мікроскоп – призначений для розгляду дрібних предметів. У мікроскопі збільшене об'єктивом дійсне зображення предмета розглядають через окуляр.

Телескоп – прилад для спостереження небесних тіл. Телескоп збільшує не зображення, а кут, під яким ідуть промені від вилучених небесних тіл.

Фотоапарат – прилад, що дозволяє фіксувати оптичні зображення на фотоплівці або в цифровому вигляді. Основні частини фотоапарата – камера і об'єктив.

Проекційний апарат – призначений для одержання збільшеного зображення на екрані. У проекційному апараті світло лампи, відбите увігнутим дзеркалом, потрапляє на конденсор, що являє собою дві плоско-опуклі лінзи. Конденсор направляє паралельний пучок променів на діапозитив. Зображення діапозитива за допомогою об'єктива проектується на екран.

Око – природний оптичний прилад. Людське око (рис. 15.14) має кулясту форму діаметром близько 2,5 см. Зовні око покрите міцною оболонкою. Передня прозора частина оболонки називається **роговицею**.

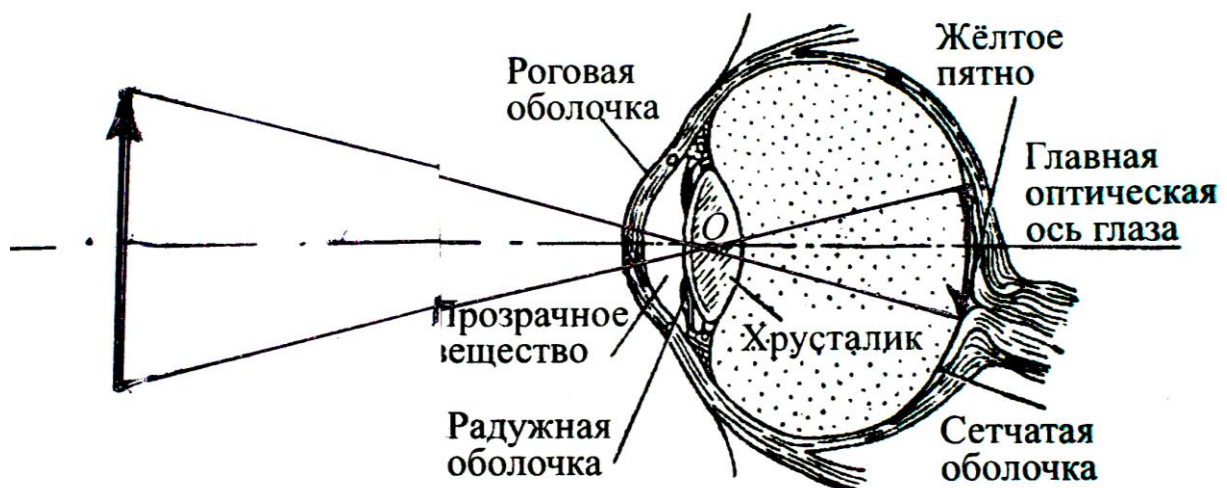


Рис. 15.13

За прозорою роговицею перебуває райдужна оболонка, що у людей має різні кольори. Посередині райдужної оболонки є отвір – зіниця. Зіниця відіграє роль діафрагми, діаметр якої залежить від освітленості.

Простір між роговицею і райдужною оболонкою заповнено прозорою речовиною. За райдужної оболонки перебуває лінза – кришталік. За кришталіком внутрішня частина ока заповнена прозорою речовиною. На задній частині ока розташована сітчаста оболонка – сітківка. Сітківка складається із чутливих «датчиків» – паличок і колбочок очного нерва.

Світлові промені, що йдуть від предмета, переломлюючись у кришталіку, утворюють на сітківці дійсне, зменшене і зворотне зображення предмета. Зображення фокусується за допомогою м'яза,

що деформує (змінює опуклість) кришталик. У деяких людей зображення фокусується не на сітківці, а перед нею (короткозорість) або за нею (далекозорість). Для усунення короткозорості використовують окуляри з увігнутими лінзами, а для усунення далекозорості – з опуклими.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке лінза?
2. Які види лінз ви знаєте?
3. Що така фокусна відстань лінзи?
4. Який фокус називається дійсним?
5. Який фокус називається уявним?
6. Які промені вибирають для побудови зображення предмета в лінзі?
7. Побудуйте зображення предмета в увігнутій лінзі.
8. Напишіть формулу лінзи.
9. Що змінюється у формулі лінзи, якщо зображення уявне?
10. Що таке оптична сила? Напишіть її формулу.
11. У яких одиницях вимірюється оптична сила лінзи?
12. Які оптичні прилади ви знаєте?
13. Як називається отвір у райдужній оболонці ока?
14. Що таке кришталик?
15. Яку роль в оці виконує зіниця?
16. Що таке кут зору?
17. Яке око називають короткозорим?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Зображення предмета перебуває на відстані $f = 10,2$ см від лінзи, що збирає, з фокусною відстанню $F = 10$ см. На якій відстані від лінзи перебуває предмет?

Відповідь: $d = 5$ м.

Задача 2. Оптична сила лінзи 5 дптр. Чому дорівнює фокусна відстань?

Відповідь: $F = 0,2$ м.

Задача 3. Зображення предмета на фотоплівці має розмір 2см. Фокусна відстань об'єктива фотоапарата $F = 13,5\text{см}$, відстань від плівки до оптичного центру об'єктива $l = 15\text{см}$. Яка величина предмета?

Відповідь: 18см.

Задача 4. Відстань від зображення до лінзи $f_1 = 0,3\text{м}$, а від предмета до лінзи $d_1 = 0,4\text{м}$. У скільки разів збільшиться зображення, якщо предмет розташувати на відстані $d_2 = 0,2\text{м}$ від лінзи?

Відповідь: в 8 разів.

Задача 5. Граничний кут повного внутрішнього відбиття на границі з повітрям для деякої речовини виявився рівним 30° . Знайдіть показник переломлення цієї речовини.

Відповідь: $n = 2$.

Задача 6. На всю поверхню збиральної лінзи, що має діаметр d і фокусна відстань F , спрямований пучок променів, паралельних головній оптичній осі. На якій відстані L від лінзи треба поставити екран, щоб на ньому вийшло світле коло діаметром D ?

Відповідь: $L = \frac{(D \pm d) \cdot F}{D}$.

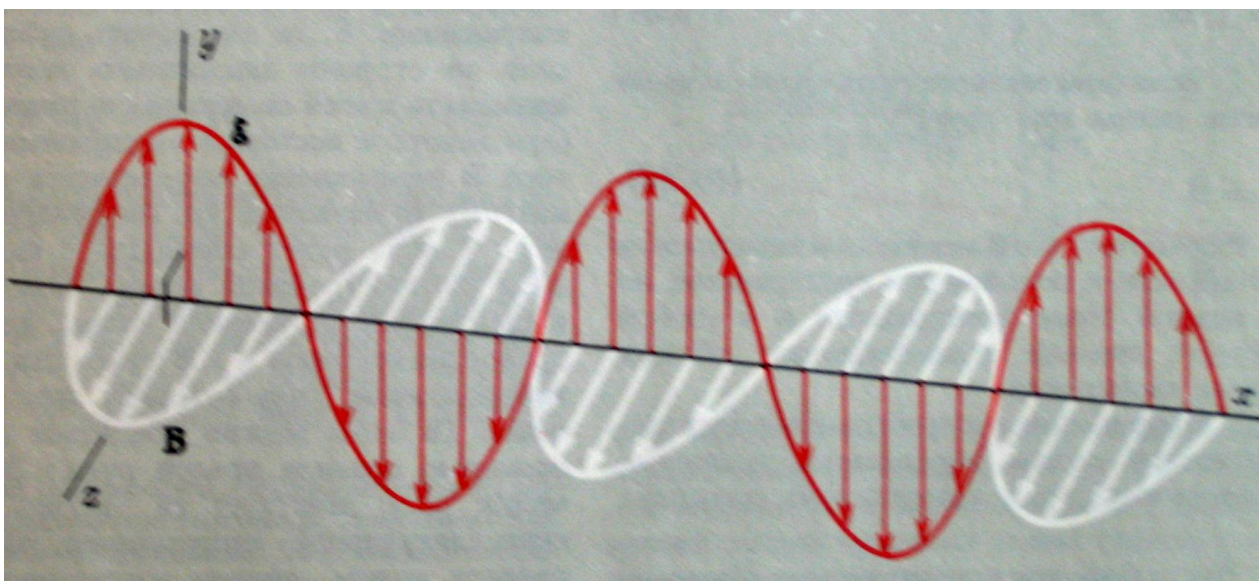
Задача 7. Лампочка перебуває на відстані 12,5см від лінзи, що збирає, оптична сила якої дорівнює 10 дптр. На якій відстані від лінзи вийде зображення і яким воно буде?

Відповідь: 50 см; збільшене в 4 рази.

Задача 8. На якій відстані від лінзи з фокусною відстанню 12 см треба поставити предмет, щоб його дійсне зображення було втричі більше самого предмета?

Відповідь: 16см.

ХВИЛЬОВА ОПТИКА



Хвильова оптика розглядає світлове випромінювання як електромагнітну хвилю, що поширюється у вакуумі зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с

16. ХВИЛЬОВА ОПТИКА

16.1. Дисперсія світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
бічна грань	lateral side	la face latérale
дисперсія (ж.р.)	dispersion	la dispersion
зорова труба	visual tube	la lunette à longue vue
інтенсивність випромінювання	intensity of radiation	l'intensité du rayonnement
інфрачервоні промені	infrared beams	les rayons infrarouges
кварцова призма	quartz prism	le prisme de quartz
назовні	outside	à l'extérieur
смугастий спектр	striped spectrum	le spectre cannelé
смуги поглинання	strips of absorption	les bandes d'absorption
проникаюча здатність	penetrating ability	le pouvoir de pénétration
розріджений газ	rarefied gas	le gaz raréfié
реєструвати	to register	enregistrer
рентгенівські промені	x-rays	les rayons-x
світло розкладається призмою	light is decayed by a prism	la lumière est décomposée par le prisme
сукупність (ж.р.)	assembly	l'ensemble, la totalité
спектральний аналіз	the spectral analysis	l'analyse spectrale
суцільний спектр	continuous spectrum	le spectre continu
ультрафіолетові промені	ultra – violet beams	les rayons ultra-violets
фіолетові промені	violet beams	les rayons violets
функція (ж.р.)	function	la fonction
щілина	slot	la fente, la lumière, l'interstice

Дисперсією світла називається явище залежності швидкості світла в речовині від частоти, тобто $\mathcal{G} = f(\nu)$. Показник заломлення даної речовини залежить від частоти (або довжини хвилі) тому, що абсолютний показник переломлення речовини дорівнює відношенню швидкості світла у вакуумі до швидкості світла в речовині $n = c/\nu$:

$$n = f(\lambda). \quad (16.1)$$

Наслідок дисперсії – розкладання білого світла в спектр при його проходженні через тригранну призму (рис.16.1). Такий досвід

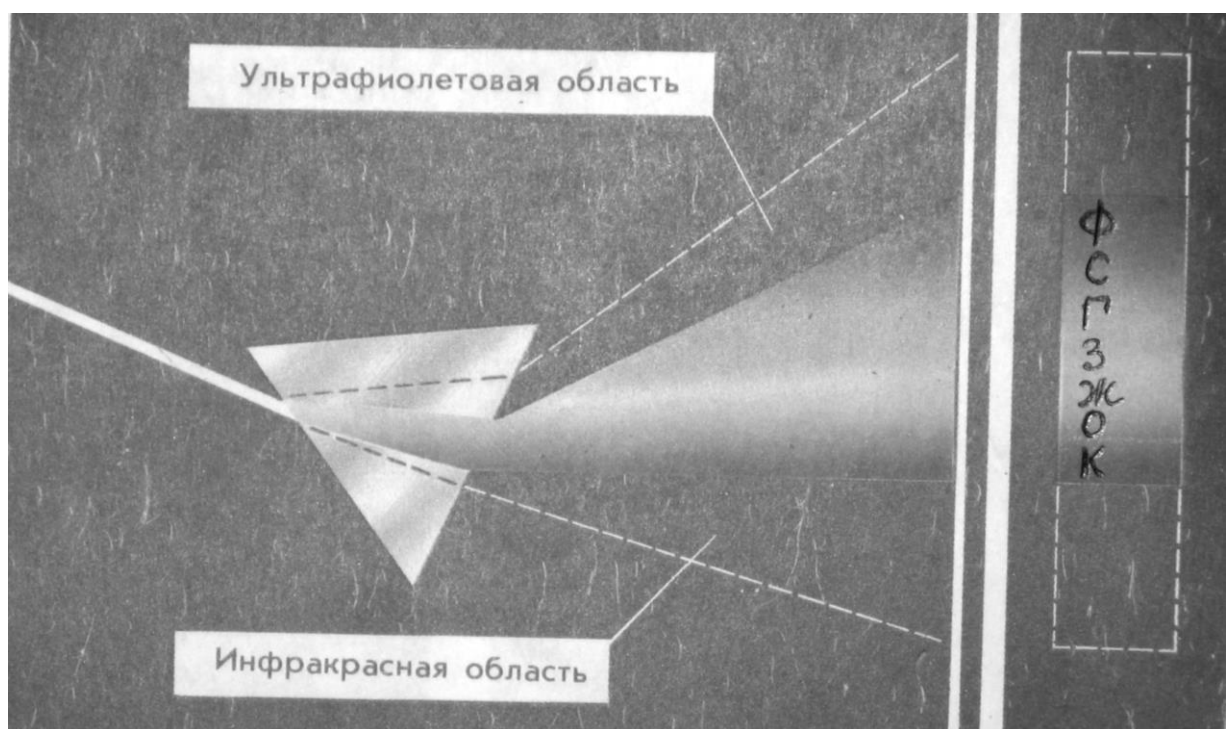


Рис. 16.1

уперше провів Іссак Ньютон в 1672 р.: промінь сонячного світла проходив через малий отвір у віконниці вікна, заломлювався в скляній призмі і падав на екран. Зображення отвору розтягувалося в кольорову смугу, яку Ньютон назвав спектром (від латинського слова «spectrum» – бачення).

Розподіл енергії будь-якого виду випромінювання по довжинах хвиль (частотах) називається спектром.

Дисперсія світла у речовині пояснюється взаємодією електромагнітної хвилі з електронами, які змушені коливатись з частотою хвилі. Електрони випускають електромагнітні хвилі, які

складаються з хвилею, що прийшла. У результаті цієї взаємодії швидкість результуючої хвилі зменшується. Якщо частоти цих хвиль рівні, то спостерігається резонансне поглинання падаючої хвилі – речовина стає непрозорою. Звичайно в прозорих речовинах показник переломлення поступово зростає зі зменшенням довжини хвилі. Це область так званої *нормальної дисперсії*.

16.2. Спектральний аналіз

Явище дисперсії використовується для визначення сполуки речовини. *В основі спектрального аналізу лежить вивчення спектра світла, що випромінюється або поглинається речовиною.* Спектр досліджуваної речовини порівнюють із спектром еталонної речовини. Для вивчення спектрів використовують прилади, які називаються *спектроскопами* і *спектрофотометрами*. На рис.16.2 наведена оптична схема найпростішого спектрофотометра, у якому використовується тригранна призма.

У більш якісних приладах для розкладання світла в спектр використовують дифракційні решітки.

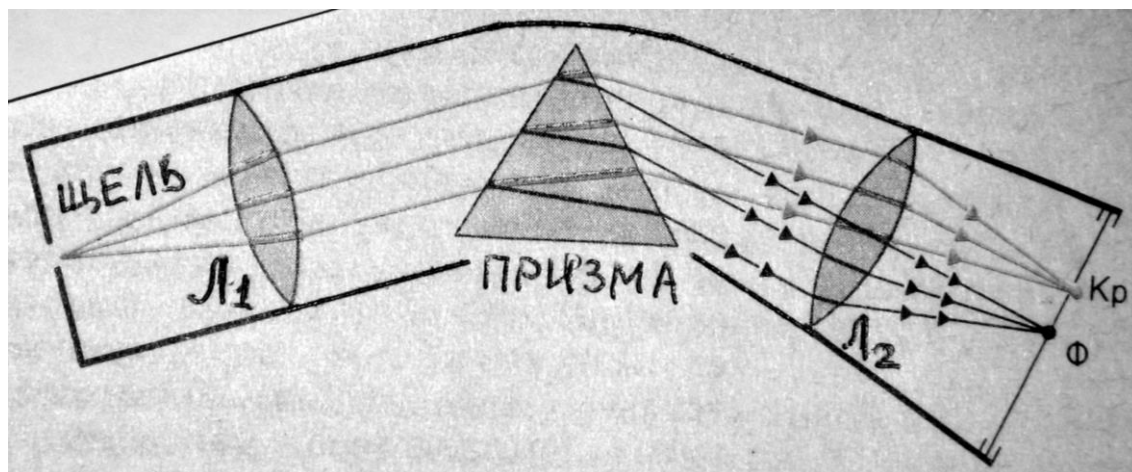


Рис. 16.2

Спектр, у якому довжина хвилі змінюється безупинно, називається суцільним. *Суцільний спектр дають розпечені тверді тіла і рідина.* У спектрі білого світла умовно розрізняють сім основних кольорів: червоний, жовтогарячий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий. Між цими кольорами різкої границі немає. Довжини хвиль видимого світла лежать в інтервалі довжин хвиль 0,4 – 0,75 мкм.

Речовина в атомарному стані (у вигляді пару або газу) **випускає лінійчатий спектр**, тобто спектр, який складається з окремих кольорових смужок.

Речовина в молекулярному стані випускає смугастий спектр. Такий спектр складається з великого числа дуже близько розташованих ліній, які зливаються в смуги, чіткі з одного краю і нечіткі з іншого.

Прозора речовина частково поглинає падаюче на неї світло і у спектрі білого світла, що пройшло дану речовину, з'являються темні лінії або смуги поглинання. Згідно з законом Кірхгофа, атоми і молекули поглинають світло тих самих довжин хвиль, які вони випускають. Спектри, які являють собою темні лінії на фоні суцільного спектра, називаються **спектрами поглинання**.

У спектральних апаратах досліджувану речовину переводять у пароподібний стан, нагріваючи в електричній дузі або опромінюючи світлом лазера. Світло від випромінюваної речовини через щілину попадає на лінзу L_1 . Пройшовши через лінзу, світло прямує до призми паралельним пучком. У призмі світловий пучок розкладається на кілька кольорових паралельних пучків. Лінза L_2 дає кольорові зображення щілини (спектр) у фокальній площині. Зображення спектра можна спостерігати на екрані або фотографувати.

При вивченні різних частин суцільного спектра за допомогою термопар було виявлено, що за червоним краєм спектра лежать невидимі оком **інфрачервоні промені**, а за фіолетовим – **ультрафіолетові промені**. Виявити ці промені можна застосовуючи призму із кварцового скла.

16.3. Рентгенівське випромінювання

Довжини хвиль ультрафіолетових променів лежать в інтервалі 0,4 – 0,05 мкм. В 1895 р. німецький фізик В. Рентген, проводячи досліди з вакуумними двоелектродними трубками, виявив електромагнітне випромінювання з ще меншою довжиною хвиль (0,1 – 0,001 мкм). Це випромінювання мало велику проникливу здатність, а його поглинання залежало від густини речовини. Так, м'які тканини організму людини поглинали рентгенівські промені слабкіше, ніж кістки. Це дозволило Рентгену зробити першу фотографію кісток кисті руки.

Природа рентгенівського випромінювання була з'ясована в 1912 р., коли німецькому вченому М. Лауе вдалося спостерігати дифракцію рентгенівських променів на кристалічній решітці. Рентгенівське випромінювання виникає при гальмуванні заряджених часток (електронів, протонів і т.д.) з великою енергією у речовині. Спектр рентгенівського випромінювання – суцільний. Мінімальну довжину хвилі рентгенівського випромінювання можна знайти за умови, що енергія фотона повинна дорівнювати енергії електричного поля:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU ; \lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} . \quad (16.2)$$

Рентгенівське випромінювання широко застосовується в медицині і різних галузях науки і техніки.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке дисперсія?
2. Що таке спектр?
3. Які речовини випускають суцільний спектр?
4. Які речовини дають лінійчатий спектр?
5. Назвіть основні кольори білого світла.
6. Які промені називають інфрачервоними?
7. Які промені називають ультрафіолетовими?
8. Які речовини дають смугастий спектр?
9. Як виникають рентгенівські промені?
10. Які властивості рентгенівських променів ви знаєте?

16.4. Інтерференція світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
1	2	3
інтерференція світла	interference of light	l'interférence de la lumière
картина	picture	la figure

1	2	3
когерентна хвиля	coherent wave	l'onde cohérente
послабляти	weaken	atténuer
різниця ходу	path length	la différence de marche
посилення	amplification	l'amplification
умова максимуму	condition of a maximum	la condition de maximum

Інтерференцією називається явище перерозподілу інтенсивності світла в просторі при накладенні когерентних хвиль. У результаті такого накладення виникає стійка картина максимумів і мінімумів інтенсивності світла.

Когерентними називаються хвилі однакової частоти, які в точках накладення мають постійну різницю фаз коливань. Явище інтерференції спостерігається за таких умов:

- **однакові частоти (довжини хвиль) коливань;**
- **постійна різниця фаз коливань;**
- **однаковий напрямок коливань.**

Світло – це електромагнітна хвиля, тому повинна спостерігатися інтерференція світла. З повсякденного досвіду відомо, що при накладенні світла від двох лампочок інтерференція світла не спостерігається. Таким чином, світло, яке випромінювано незалежними джерелами, не є когерентним. Атоми випромінюють світло порціями (квантами) за дуже короткий час ($\Delta t \approx 10^{-8}$ с). У процесі випромінювання напрямок коливань і початкові фази коливань у різних атомів не однакові.

Спостерігати інтерференцію світла можна, якщо розділити світлову хвилю від одного джерела на дві і накласти ці хвилі. Ці хвилі будуть приходити в різні точки простору маючи постійну різницю фаз. Якщо оптична різниця ходу променів Δ чисельно дорівнює цілому числу довжин хвиль, то хвилі підсилюють одна одну. **Умова максимуму інтерференції хвиль:**

$$\Delta = k\lambda, \quad (16.3)$$

де k – ціле число (0,1,2,3,...) $\Delta = nl$; n – показник переломлення l – геометрична довжина шляху. **Умова мінімуму інтерференції хвиль:**

$$\Delta = (2k + 1) \cdot \lambda / 2. \quad (16.4)$$

У природі інтерференцію світла можна спостерігати у тонких плівках бензину на поверхні води. Якщо плівка освітлюється білим світлом, то вона офарблюється в райдужні кольори. Інтерференцію світла можна спостерігати, якщо плоско - опуклу лінзу покласти опуклою стороною на рівнобіжну плоско-паралельну пластинку і освітити монохроматичним світлом, що падає нормально до поверхні лінзи. У відбитому світлі будуть видні темні і світлі кільця (кільця Ньютона). Кільця Ньютона утворюються при накладанні світла від опуклої поверхні лінзи і верхньої поверхні пластинки. Явище інтерференції світла широко використовується при дуже точних вимірах довжин світлових хвиль, розмірів, відстаней, дефектів поверхні і т. ін.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке інтерференція?
2. Які хвилі називаються когерентними?
3. Які умови спостереження інтерференції?
4. Запишіть умови максимуму інтерференції?
5. Які умови мінімуму інтерференції?
6. Що таке кільця Ньютона?

16.5. Дифракція світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
дифракція світла	diffraction of light	la diffraction de la lumière
дифракційна решітка	diffraction grating	le réseau de diffraction
обгинання	deviation	la déviation
перешкода	obstacle	l'obstacle
умови	conditions	les conditions
вузька щілина	narrow slot	la fente étroite

Дифракцією називається сукупність явищ, які спостерігаються при поширенні світла в середовищі з неоднорідностями. Дифракцією пояснюється явище обгинання

хвилями перешкод і проникнення хвиль в область геометричної тіні. Повсякденний досвід показує, що світло, яке іде від точкового джерела, дає чітку тінь. Тобто, у звичайних умовах дифракція світла непомітна. Дифракцію світла можна спостерігати, якщо розміри отвору або екрана порівнянні з довжиною хвилі світла.

Явище дифракції просто пояснюється за допомогою принципу Гюйгенса–Френеля. Френель доповнив принцип Гюйгенса ідеєю інтерференції вторинних хвиль: *коливання в якій-небудь точці середовища є результатом накладання когерентних хвиль, що приходять від великої кількості вторинних хвиль*, тобто є результатом інтерференції вторинних хвиль.

Френель експериментально показав, що в центрі геометричної тіні від непрозорого диска невеликого розміру завжди розташовується світлова пляма (рис. 16.3). Цей експеримент довів справедливність хвильової теорії світла.

Великий практичний інтерес являє дифракція світла на системі, що складається з великої кількості паралельних щілин. *Сукупність великої кількості щілин, розділених непрозорими смугами, називається дифракційною решіткою* (рис. 16.4). Загальна ширина щілини і непрозорої смуги називається періодом (постійною) дифракційної решітки d . Якщо нормально до решітки направити пучок світла з довжиною хвилі λ , то промені, які ідуть під кутом φ до первісного напрямку від відповідних місць сусідніх щілин, мають оптичну різницю ходу $\Delta = d \sin \varphi$.

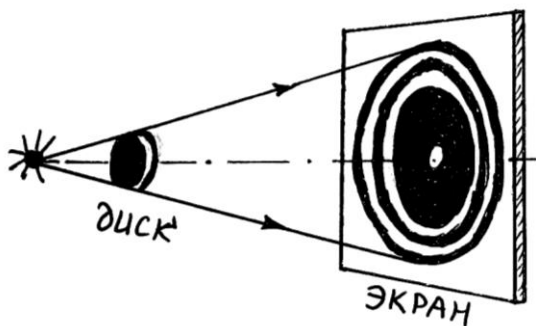


Рис. 16.3

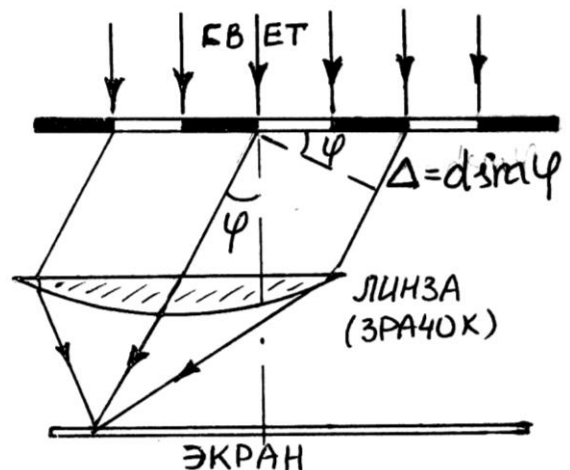


Рис. 16.4

Світло підсилюється в даному напрямку, якщо різниця ходу дорівнює цілому числу довжин хвиль $\Delta = k\lambda$. Умова головних максимумів для дифракційної решітки:

$$d \cdot \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad (16.5)$$

де $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ називається порядком дифракційного спектра.

Якщо на решітку падає біле світло, то положення максимумів для хвиль з різною довжиною хвилі зміщуються на різні кути. У результаті утвориться система дифракційних спектрів першого, другого і т.д. порядків. Це дозволяє використовувати дифракційні решітки з малим періодом для отримання спектрів різних речовин.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке дифракція?
2. Як можна спостерігати дифракцію світла?
3. Сформулюйте принцип Гюйгенса.
4. Що таке дифракційна решітка?
5. Запишіть умову дифракційного максимуму?

16.6. Поляризація світла

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
орієнтація	orientation	l'orientation
поляризатор	polarizer	le polarisateur
поляризація світла	polarization of light	la polarisation de la lumière
поперечна хвиля	crosssection wave	l'onde transversale

У природному світлі електромагнітні хвилі накладаються і вектори напруженості електричного поля \vec{E} коливаються в різних напрямках. Однак у деяких явищах напрямок цих коливань відіграє велику роль. У цьому можна переконатися, якщо повернути телевізійну антену на 90° – зображення на екрані зникне. **Електромагнітну хвилю, у якій площини коливань векторів \vec{E} і вектора напруженості магнітного поля \vec{B} зберігають орієнтацію в просторі, називають плоскополяризованою.**

Плоскополяризоване світло можна одержати, наприклад, пропускаючи його через кристали ісландського шпату, турмаліну або кварцу. Пристрої, за допомогою яких одержують поляризоване світло, називаються поляризаторами.

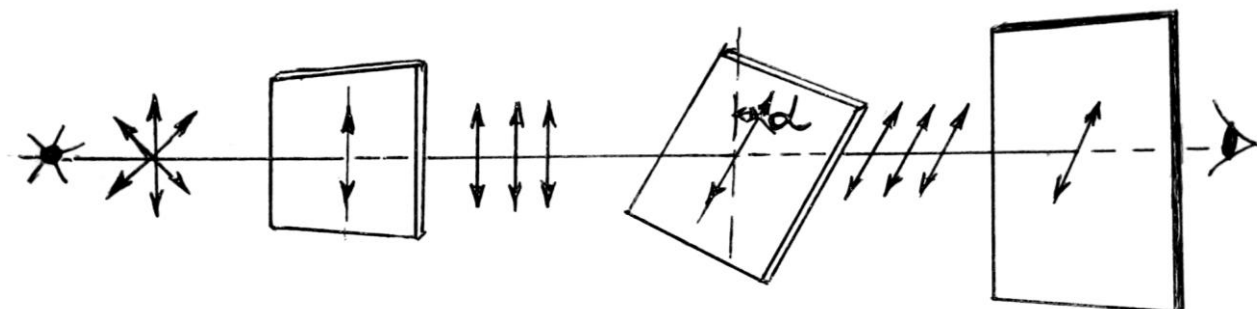


Рис. 16.5

Пропустимо природне світло крізь дві пластинки, вирізані певним чином із кристала турмаліну (рис. 16.5). Повертаючи один з кристалів навколо осі, можна побачити, що освітленість екрана в місці перетинання зображень буде змінюватися і при певному положенні кристала, що повертає, екран стане темним – світло не проходить. Результат цього експерименту можна пояснити так. Пройшовши крізь перший кристал (поляризатор) світло стає плоскополяризованим. Другий кристал служить аналізатором: він майже повністю пропускає поляризоване світло тільки при певній орієнтації кристала щодо площини поляризації. При повороті аналізатора на 90^0 поляризоване світло не проходить.

Площина, що проходить через вектор напруженості електромагнітної хвилі і напрямок її поширення, називається площиною поляризації. Як поляризатори і аналізатори часто використовують прозорі поляроїдні плівки. Слід зазначити, що поздовжні хвилі поляризованими бути не можуть, тому що коливання в них відбуваються уздовж напрямку поширення хвиль.

Поляризація світла є доказом хвильової природи і поперечності світлових хвиль. Поляризоване світло знаходить широке застосування в наукових дослідженнях і в техніці.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Які хвилі називаються поляризованими?

2. Як у природному світлі коливається вектор напруженості?
3. Що таке поляризатор?
4. Що таке площина поляризації?
5. Доказом чого служить явище поляризації світла.
6. Світло є поздовжньою або поперечною хвилею?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Довжина хвилі жовтого кольору, що випускають пари натрію у вакуумі, дорівнює 0,588 мкм. Якою буде довжина хвилі в склі? Показник заломлення скла $n = 1,8$.

Відповідь: $\lambda_c = 0,326$ мкм.

Задача 2. Перший дифракційний максимум, отриманий за допомогою дифракційної решітки, період якої $d = 0,02$ мм, перебуває на відстані 3,6 см від центру зображення. Визначте довжину світлової хвилі, якщо відстань від дифракційної решітки до екрана $l = 1,8$ м.

Відповідь: $\lambda = 0,4$ мкм.

Задача 3. На яку спектральну лінію λ_2 у спектрі третього порядку накладається червона лінія гелію ($\lambda_1 = 670$ нм) спектра другого порядку.

Відповідь: $\lambda_2 = 447$ нм.

Задача 4. Знайдіть найбільший порядок k спектра для жовтої лінії натрію ($\lambda = 0,589$ нм), якщо стала решітки $d = 2$ мкм.

Відповідь: $k = 3$.

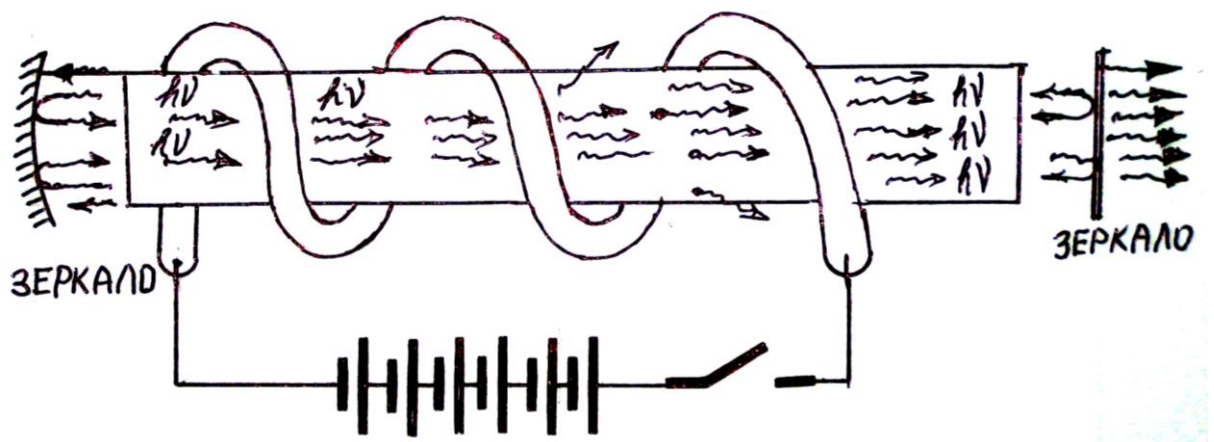
Задача 5. Показник заломлення води для світла з довжиною хвилі у вакуумі $\lambda_1 = 0,76$ мкм дорівнює 1,329, а для світла з довжиною хвилі $\lambda_2 = 0,4$ мкм він дорівнює 1,344. Для яких променів швидкість світла у воді більше?

Відповідь: більше для $\lambda_1 = 0,76$ мкм.

Задача 6. Вода освітлена червоним світлом, для якого довжина хвилі в повітрі 0,7 мкм. Якою буде довжина хвилі у воді? Які кольори бачить людина, що відкрила очі під водою?

Відповідь: 0,53 мкм.

КВАНТОВА ОПТИКА



Світло випромінюється, розповсюджується і поглинається порціями – квантами. Хвильові і корпускулярні властивості електромагнітного випромінювання не виключають, а доповнюють один одного

17. КВАНТОВА ОПТИКА

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
вакуумний фотоелемент	vacuum photo cell	la cellule photo - électrique a vide
зовнішній фотоефект	external photo effect	l'effect photo- électrique a vide
вириватися- вирватися	to pull out	s'arracherer
довгохвильова границя	long- wave boundary	la limite a ondes longues
червона границя фотоефекту	red border of a photo effect	la seuit rouge photo- électrique
люмінесценція	luminescence	
поглинена енергія	the absorbed energy	l'energie absorbee
теплове випромінювання	heat radiation	
випромінювання з вузького отвору	cavity radiation	
фотоефект	photo effect	l'effect photo- électrique
фотоелемент	photo cell	la cellule photo- électrique

17.1. Теплове випромінювання

Тіла випромінюють електромагнітні хвилі (світяться) за рахунок різних видів енергії. Найпоширенішим видом випромінювання в природі є випромінювання тіл, які нагріті до високої температури.

Теплове випромінювання – це явище випромінювання світла за рахунок внутрішньої енергії тіл. Інші види світіння тіл – це люмінесценція (хемілюмінесценція, фотолюмінесценція, електролюмінесценція, рентгенолюмінесценція). Теплове випромінювання відбувається при будь-якій температурі, однак при низьких температурах випромінюються більш довгі (інфрачервоні) електромагнітні хвилі.

Виникнення квантової фізики пов'язане із проблемою вивчення теплового випромінювання. Наприкінці 19 ст. стало зрозуміло, що теплове, видиме і ультрафіолетове випромінювання випускаються атомами. З класичної електродинаміки Максвелла випливало, що заряд, який знаходиться у коливальному (обертальному) русі, повинен випромінювати електромагнітні хвилі і губити енергію.

Видатні вчені: Кирхгоф, Стефан, Больцман, Він, Релей, Джинс сформулювали ряд законів випромінювання, однак пояснити розподіл енергії в спектрі нагрітих тіл у рамках класичної теорії їм не вдалося.

У 1900 р. німецький учений Макс Планк висунув гіпотезу, що **атоми випромінюють не безупинно, а порціями – квантами, енергія яких пропорційна частоті коливань:**

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (17.1)$$

де E – енергія кванта, ν – частота, c – швидкість світла, λ – довжина хвилі, h – стала, котру назвали сталою Планка. Її чисельне значення визначене з високою точністю: $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$ Дж. с.

Значення гіпотези Планка для фізики в 1900 р. не були зрозумілі навіть великим ученим. Тільки **А. Ейнштейн побачив у кванті реально існуючу частку електромагнітного поля – фотон.** Фотон існує тільки в русі, зупинити фотон не можна, він або рухається зі швидкістю світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, або не існує. За законом Ейнштейна про пропорційність маси і енергії, фотон повинен мати електродинамічну масу:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (17.2)$$

Маси спокою у нього немає. Тому що фотон рухається, **то** він має імпульс:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c}. \quad (17.3)$$

Наявність у фотона імпульсу підтверджується існуванням тиску світла. *За теорією Ейнштейна світло випромінюється, розповсюджується і поглинається квантами.* Свою теорію Ейнштейн застосував для пояснення явища фотоелектричного ефекту.

17.2. Фотоелектричний ефект

Зовнішнім фотоефектом називається явище виривання електронів з металу під дією світла. Фотоефект був відкритий Генріхом Герцом в 1887 р. при вивченні електричної дуги. Докладно явище було досліджено А. Г. Столетовим в 1887 р. На рис.17.1 наведена схема установки, за допомогою якої він вивчав явище фотоефекту.

Перед ретельно очищеною цинковою пластинкою містилася металева сітка, через яку пластинка висвітлювалася світлом від електричної дуги. Якщо пластинку з'єднати з негативним полюсом джерела струму, то в колі виникає струм, якою можна виміряти гальванометром. Якщо пластинку з'єднати з позитивним полюсом, то при напрузі більше декількох вольтів струм не виникає.

Столетов виявив, що струм виникає одночасно з висвітленням фотокатода (цинкової пластинки) для світла, довжина хвилі якого менше деякої мінімальної величини. Ця мінімальна довжина хвилі одержала назву – «червона границя фотоефекту». На рис.17.2 наведена вольт – амперна характеристика фотоефекту. Видно, що

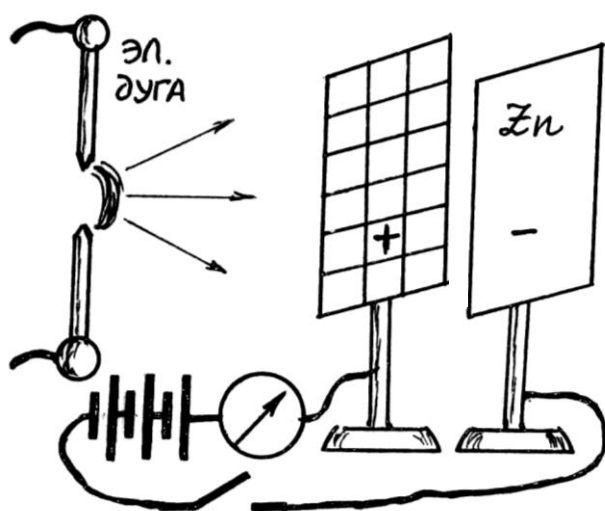


Рис. 17.1

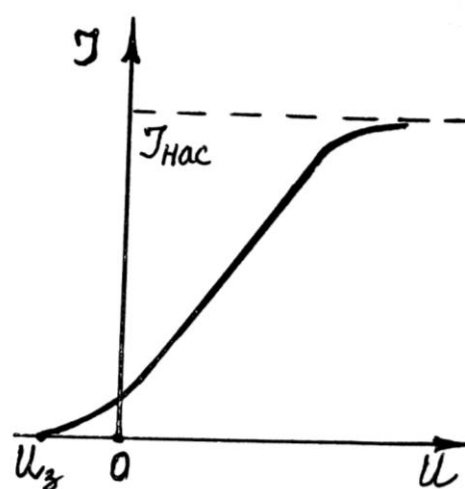


Рис. 17.2

фотоефект спостерігається навіть при невеликому позитивному потенціалі на цинковій пластинці (фотокатоді). Пізніше були встановлені всі три закони фотоефекту:

- *сила струму насичення прямо пропорційна світловому потоку;*
- *швидкість електронів, що вилітають, залежить від частоти (довжини хвилі) світла й не залежить від світлового потоку;*
- *фотоефект спостерігається при опроміненні світлом із частотою більше критичної.*

За теорією Ейнштейна енергія поглиненого кванта світла (фотона) іде на здійснення роботи виходу з даного металу і одержання електроном кінетичної енергії. **Рівняння Ейнштейна (закон збереження енергії при фотоефекті):**

$$h\nu = A + W_{\text{кін}}, \quad (17.4)$$

де h – постійна Планка, ν – частота світла, A – робота виходу електрона з металу, $W_{\text{кін}} = \frac{m\mathcal{G}^2}{2}$ – кінетична енергія електрона.

Критичну довжину хвилі світла, що відповідає червоній границі фотоефекту, можна знайти з рівняння Ейнштейна, якщо прийняти, що кінетична енергія електрона дорівнює нулю:

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} = A; \quad \lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{A}. \quad (17.5)$$

Пізніше в напівпровідниках був виявлений внутрішній фотоефект. Він відбувається при переходах електронів між енергетичними рівнями в кристалах при поглинанні фотонів.

Явище фотоефекту використовується у вакуумних і напівпровідникових фотоелементах, які перетворюють енергію випромінювання в електричний струм. Вакуумний фотоелемент являє собою скляний балон, частина внутрішньої поверхні якого покрита шаром речовини (фотокатод) з малою роботою виходу. У центрі балона розташована металева петля, що служить анодом. Якщо між анодом і фотокатодом прикласти різницю потенціалів і опромінювати світлом, то в електричному ланцюзі піде струм. Для збільшення сили струму іноді балон заповнюють інертним газом. Фотоелементи і прилади на їхній основі широко використовуються

в науці і техніці для контролю технологічних процесів, запису телевізійного зображення, перетворення сонячної енергії в електричну тощо.

17.3. Двоїста природа (дуалізм) світла

Більша група явищ: інтерференція, дифракція, поляризація та інші свідчать про те, що світло – електромагнітна хвиля. У таких явищах, як теплове випромінювання, фотоефект, ефект Комптона і інші проявляються квантові властивості. Світло одночасно володіє і корпускулярними і хвильовими властивостями. Квантові властивості електромагнітного випромінювання підсилюються зі зменшенням довжини хвилі (збільшенням частоти коливань). Шкала електромагнітних хвиль наведена у таблиці.

Шкала електромагнітних хвиль

Назва випромінювання	Частота, Гц	Властивості
Змінний струм	50	хвильові
Струм високої частоти	$4 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4$	хвильові
Довгі і середні радіохвилі	$2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^6$	хвильові
Короткі радіохвилі	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	хвильові
Метрові радіохвилі	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	хвильові
Дециметрові радіохвилі	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	хвильові
Сантиметрові радіохвилі	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	хвильові
Міліметрові радіохвилі	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	хвильові
Інфрачервоне випромінювання	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$	хвильові і квантові
Видиме випромінювання	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$	хвильові і квантові
Ультрафіолетове випромінювання	$8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$	хвильові і квантові
Рентгенівське випромінювання	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$	хвильові і квантові
Гамма випромінювання	$> 3 \cdot 10^{20}$	квантові

Всі спостережувані оптичні явища доводять, що при проходженні фотонів через оптичну систему відбувається **перерозподіл** фотонів у просторі і може виникати дифракційна

картина. *Хвильові і корпускулярні властивості електромагнітного випромінювання не виключають, а доповнюють один одного.*

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке зовнішній фотоефект?
2. Хто відкрив явище фотоефекту?
3. Сформулюйте закони фотоефекту?
4. Запишіть рівняння Ейнштейна для фотоефекту.
5. Що таке червона границя фотоефекту?
6. Що таке фотоелемент?
7. Які явища є доказом хвильової природи світла?
8. Які явища доводять квантову природу світла?
9. Поток яких частинок є світло?
10. Які властивості фотона ви знаєте?

Задачі для розв'язання

Задача 1. Визначіть роботу виходу A електронів з вольфраму і швидкість фотоелектронів для монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-5}$ см. Червона границя фотоефекту для вольфраму $\lambda = 2,75 \cdot 10^{-5}$ см.

Відповідь: $A = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж; $v = 0,91 \cdot 10^6$ м/с.

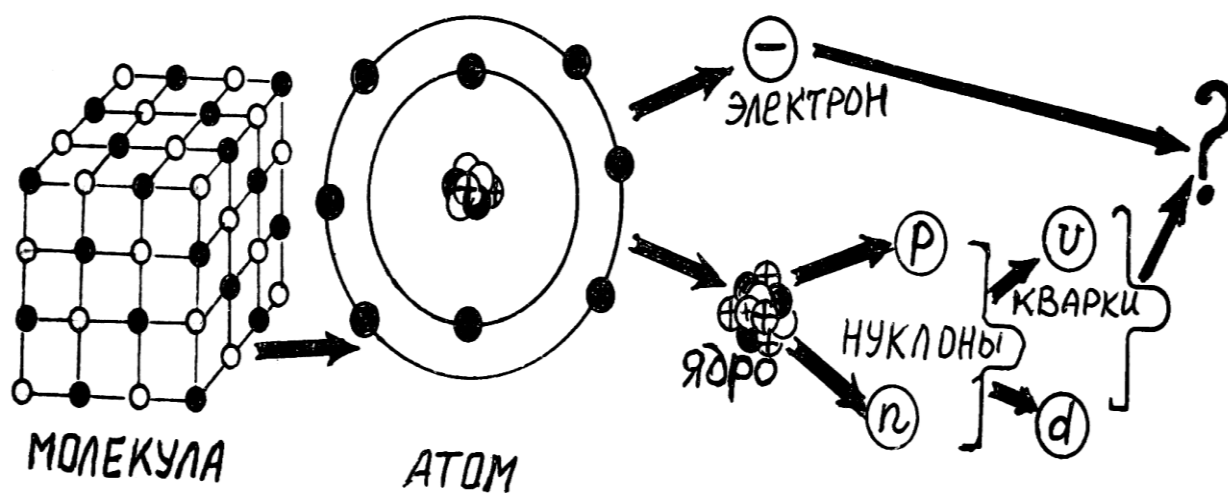
Задача 2. Визначіть червону границю фотоефекта для калію, якщо робота виходу $A = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Відповідь: $\lambda_{\text{кр}} = 0,62$ мкм.

Задача 3. Чи буде спостерігатися фотоефект у вольфрамі, якщо опромінювати його поверхню зеленим світлом з довжиною хвилі $\lambda = 0,5$ мкм. Робота виходу електронів з вольфраму $A = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Відповідь: буде.

АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА



Атомна і ядерна фізика вивчають структуру матерії.

18. АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА

Нові слова

<i>українська</i>	<i>англійська</i>	<i>французька</i>
збуджений стан	the excited condition	l'etat d'excitation
випромінювання	radiation	la raliation
вихідне ядро	Initial nucleus	le noyau de base
кругова орбіта	circular orbit	l'orbite circulaire
особливі промені	special beams	les rayons speciaux
відкачувати	to pump out	pomper
відхилення	deviation	la deviation
поглинання (с. р.)	absorption	l'absorption
радіоактивність	radioactivity	la radioactivite
радіоактивність штучна	artifical radioactivity	la radioactivite artificielle
радіоактивність природна	natural radioactivity	la radioactivite naturelle
радіоактивні перетворення	radioactive transformation	les transformations radioactives
реєстрація (ж.р.)	registration	lenregistrement
світлонепроникний папір	lightproof paper	le papier opaque
своєрідний, -а, -е, -і	original	original
слід (ч.р.)	trace	la trace, la frainee
зосереджений	It is concentrated	etre concentre
спіраль (ж.р.)	spiral	la spirale
стаціонарний стан	stationary state	l'etat stationaire
стійкий стан	steady state	l'etat stable

18.1. Складна будова атома

Дві тисячі років тому з'явилася гіпотеза про те, що речовина складається з атомів – дрібних часток, які не можна розкласти на більш дрібні складові. Вивчення електричних струмів у металах, електролітах і газах, відкриття рентгенівських променів, радіоактивності, а також першої елементарної частки – електрона, показали, що атоми мають складну внутрішню структуру.

Перша модель атома була запропонована Дж. Дж. Томсоном в

1903 р. У моделі Томсона атом являв собою кулю радіусом приблизно 10^{-10} м, у якій рівномірно розподілений позитивний електричний заряд. Усередині кулі перебувають електрони, які знаходяться у коливальному русі. Електрони, що коливаються, збуджують електромагнітне випромінювання атома.

18.2. Досліди Резерфорда з розсіювання α – частинок

Значну роль у розвитку знань про будову атома відіграли досліди з розсіювання ядер атома гелію (α -частинок) тонкою золотою фольгою, які були проведені Резерфордом, Гейгером і Марсденом у 1911 р. У свинцевий ящик з невеликим отвором вони помістили шматочок уранової руди, що випускала α -частинки (рис. 18.1а). На шляху α -частинок вони розмістили фольгу. При проходженні через фольгу α -частинки відхилялися на різні

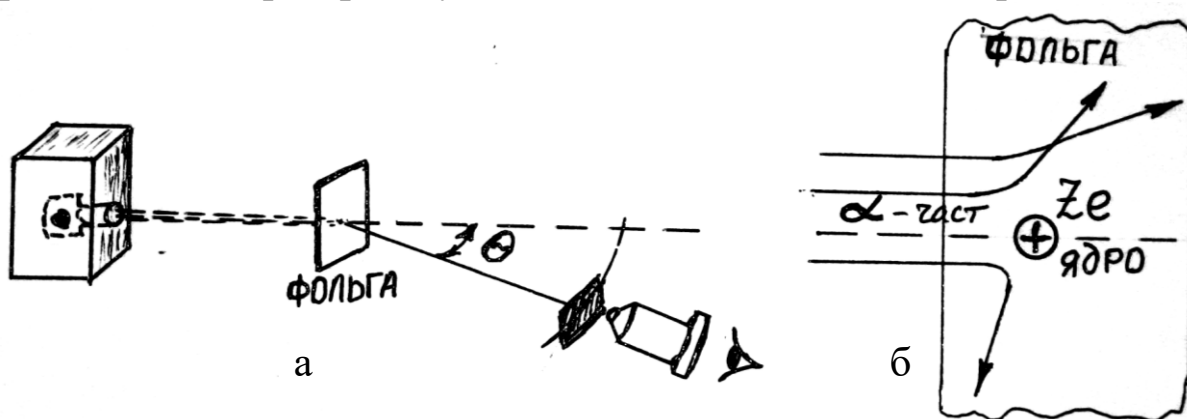


Рис. 18.1

кути θ і попадали на екран, покритий флуоресціюючою речовиною. За допомогою мікроскопа вони спостерігали місця влучення α -частинок по світінню (сцинтиляціям) екрана. Виявилось, що α -частинки відхилялися як на невеликі кути, так і на кути $130 - 180^\circ$ (рис. 18.2). На підставі цих експериментів Резерфорд запропонував ядерну модель атома:

- атом складається з ядра, у якому зосереджений весь позитивний заряд ядра $+Ze$ і фактично вся маса атома. Лінійні розміри ядра $\approx 10^{-15}$ м;

- навколо ядра в області діаметром $\approx 10^{-10}$ м по замкнутих орбітах обертаються Z електронів, утворюючи електронну оболонку атома.

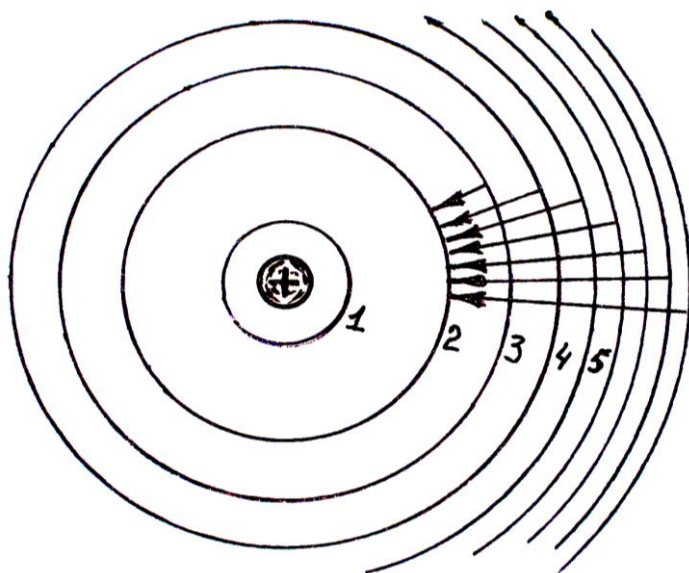


Рис. 18.2

Ядерна модель Резерфорда нагадувала Сонячну систему. Тому модель назвали планетарною. електрон обертовий навколо ядра із прискоренням $a_n = v^2/R$ електрон, повинен випромінювати електромагнітні хвилі, губити енергію і зрештою впасти на ядро. Отже, відповідь на питання про стійкість атома модель Резерфорда не давала.

18.3. Теорія воднеподібного атома за Бором

В 1913 р. датський учений Нільс Бор зв'язав ядерну модель Резерфорда і квантовий характер випромінювання атома. Ключем до розшифровки будови атома послужила робота швейцарського фізика Бальмера, що в 1885 р. встановив, що довжини хвиль, відомих у той час спектральних ліній атома водню у видимій частині спектра, описуються простою формулою (формулою Бальмера):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (18.1)$$

де $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ - постійна Ридберга; $n = 2$; $k = 3, 4, 5, 6, 7, 8$.

Пізніше в ультрафіолетовій і інфрачервоній областях спектра атома водню були виявлені ще декілька (рис. 18.2) спектральних серій, які також описуються формулою Бальмера при значеннях $n = 1, 3, 4, 5$. В основу теорії воднеподібного атома Бор поклав постулати:

- існують стаціонарні енергетичні стани атома. У стаціонарному стані атом не випромінює енергію;

• *атом випускає або поглинає квант енергії при переході з одного стаціонарного стану в інший. Енергія кванта дорівнює різниці енергій стаціонарних станів:*

$$h\nu = E_k - E_n. \quad (18.2)$$

Використовуючи другий закон Ньютона і умови квантування енергії, Н. Бор теоретично розрахував енергії станів і радіуси стаціонарних орбіт електронів в атомі водню. За теорією Бора в нормальному, стаціонарному стані електрон рухається по найближчій до ядра дозволений орбіті, радіус якої $r \approx 0,53 \cdot 10^{10}$ м. У збудженому стані атом довго перебувати не може. Через проміжок часу близько 10^{-8} с атом спонтанно переходить у незбуджений стан, випромінюючи фотон.

Теорія Бора виявилася непридатною для атомів, у яких два і більше електрони. На зміну «напівквантовій» теорії Бора прийшла квантова теорія, що враховує хвильові властивості електронів. Квантова теорія повністю не виключає теорію Бора, а включає її, указуючи на границі її застосовності.

18.4. Явище радіоактивності

Радіоактивністю називається здатність деяких атомних ядер мимовільно розпадатися з випускненням елементарних часток і електромагнітних випромінювань. Природна радіоактивність спостерігається у важких хімічних елементах. Радіоактивність елементів, отриманих за допомогою ядерних реакцій, називається штучною.

Явище радіоактивності було відкрито в 1896 р. А. Беккерелем, що проводив досліди з люмінесценції (світіння) солей урану під дією сонячного світла. Він вирішив перевірити: чи не випускають солі урану рентгенівські промені після опромінення світлом? Одного разу, через хмарну погоду дослід провести не вдалося. Беккерель забрав фотопластинку, загорнену в чорний папір, поклав у ящик стола а на нього – мідний хрест, покритий сіллю урану. Проявивши про всяк випадок фотопластинку через два дні, він виявив на ній почорніння у формі хреста. Солі урану без зовнішнього впливу випускали випромінювання великої проникаючої здатності.

Було виявлено, що в електричному і магнітному полях це випромінювання розділяється на три частини, які отримали назви альфа-, бета- і гамма-промені. Альфа-промені мають позитивний заряд, бета-промені негативний, а гамма-промені не відхиляються в електричному і магнітному полях.

Дослідження показали, що: α -промені – це пучок двічі іонізованих атомів гелію; β -промені це пучок електронів високої енергії; γ -промені – це тверде електромагнітне випромінювання, що має велику проникну здатність. У результаті радіоактивного розпаду вихідне (материнське) ядро перетворюється в ядро іншого елемента (дочірнє ядро). У свою чергу дочірнє ядро теж може розпадатися. У природі існує три ряди радіоактивних перетворень, у яких наступний хімічний елемент виникає з попереднього в результаті альфа- або бета-розпаду. **Радіоактивний розпад – властивість самих атомних ядер, що не залежить від зовнішніх умов:** температури, тиску, агрегатного стану, електричних і магнітних полів. Існують такі види розпаду:

- α – розпад важких ядер ($A > 200$);
- β – розпад;
- спонтанний (мимовільний) розпад важких ядер;
- протонна (або двопротонна) радіоактивність.

При різних видах розпаду дочірнє ядро, що утворилося, перебуває в збудженому стані, тому всі види розпаду супроводжуються γ -випромінюванням. Радіоактивний розпад описується законом розпаду: число ядер N , що не розпалися, зменшується за експонентним законом:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (18.3)$$

де N_0 – вихідна кількість атомів, e – підстава натуральних логарифмів, λ – стала розпаду даного хімічного елемента. Швидкість розпаду характеризують періодом напіврозпаду. **Період напіврозпаду $T_{0,5}$ виміряється часом, протягом якого число ядер зменшується у два рази.** Підставивши у формулу (18.3) $N = N_0 / 2$ і час $t = T_{0,5}$, одержимо:

$$T = \ln 2 / \lambda. \quad (18.4)$$

Усі види радіоактивного випромінювання в більшому або

меншому ступені іонізують речовину, засвічують фотоплівку, збуджують флуоресценцію деяких твердих тіл і рідин.

18.5. Реєстрація радіоактивних випромінювань

• Сцинтиляційні лічильники

При бомбардуванні зарядженими частками деяких речовин (нафталіну, сірчастого цинку, йодистого калію) в них виникають спалахи світла (сцинтиляції). Методом сцинтиляцій Резерфорд вивчав розсіювання α -часток.

Головною частиною сучасного сцинтиляційного лічильника є люмінесцентний екран **1** (рис. 18.3), що за допомогою світловоду **2**, з'єднаний з фотоелектронним помножувачем (ФЕП). Спалах на екрані, викликаний влученням частки, через світловід передається на фотокатод **3**. Фотони вибивають із фотокатода електрони, які направляються на перший електрод. Електрони вибивають із електрода вторинні електрони, які попадають на другий електрод і т.д. Це дозволяє одержати посилення до 10^8 разів.

• Напівпровідниковий лічильник

Напівпровідниковий лічильник – це плоский напівпровідниковий діод, що включений в електричне коло у зворотному напрямку. Якщо через р-п перехід пролетить заряджена частка, то носії струму, що утворилися, (електрони і дірки) створять імпульс струму, що буде зафіксований приладом. Такий лічильник не фіксує α – частинки, у яких дуже низька проникна здатність.

• Лічильник Гейгера – Мюллера

Лічильник Гейгера – Мюллера складається з порожнього металевого циліндра (камери), по осі якого натягнута тонка металева нитка (рис. 18.4). Між негативно зарядженим циліндром і

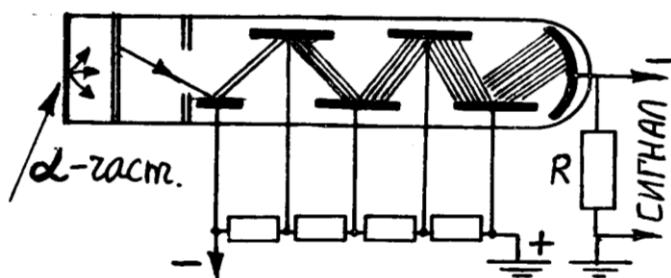


Рис. 18.3

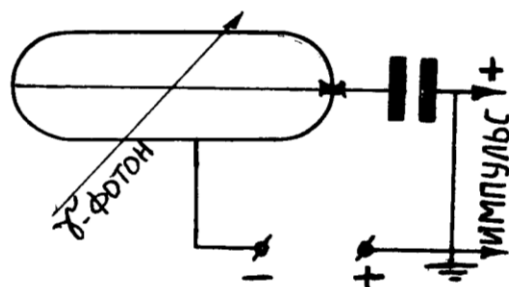


Рис. 18.4

ниткою прикладають напругу 800 – 1000 В. Нитка заземлена через великий опір. Усередині циліндра перебуває інертний газ під невеликим тиском. Частина, що попадає у камеру лічильника, іонізує газ і між циліндром і ниткою виникає імпульс струму. Камеру підключають до автоматичного лічильника імпульсів.

• *Камера Вільсона*

Камера Вільсона являє собою циліндр, заповнений парами спирту або чотирихлористого вуглецю, з рухливим поршнем. При швидкому (адіабатичному) розширенні пари температура знижується і пара стає пересиченою. Якщо усередину циліндра потрапляє заряджена частина, то на своєму шляху вона іонізує пересичену пару, що конденсується у вигляді ланцюжка крапель. Ці ланцюжки можна фотографувати. Для визначення характеристик часток камеру Вільсона поміщають у магнітне поле.

• *Пузиркова камера*

Пузиркова камера – своєрідна модифікація камери Вільсона. У пузирковій камері робочою речовиною є зріджений газ під тиском. При зниженні тиску рідина переходить у перегрітий стан. Частина, яка влетіла в перегріту рідину, викликає закипання рідини і уздовж її траєкторії утворюється ланцюжок пухирців газу. Існують і інші методи реєстрації радіоактивних випромінювань: іскрова камера, черенківський лічильник, метод товстошарових фотоемульсій.

18.6. Сполука і будова атомного ядра

Наукою встановлено, що ядро атома складається з нуклонів (протонів і нейтронів). Загальне число нуклонів у ядрі називається масовим числом A . До складу ядра входять Z протонів і N нейтронів, тому $A = Z + N$. Ядро позначають ${}_Z X^A$, де X – символ хімічного елемента. Заряд ядра $+Ze$, де $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл. Важливою характеристикою нуклонів і ядра є маса. В 1962 році була прийнята вуглецева шкала атомних мас.

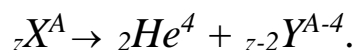
За одиницю маси прийнята 1/12 маси ядра ізотопу вуглецю ${}^{12}\text{C}$, що умовно позначають $a.e.m.$ ($1a.e.m. = 1,6603 \cdot 10^{-27}$ кг).

Протон – має позитивний елементарний заряд $+e$, масу спокою $m_p \approx 1836 m_e$. Протон є дуже стабільною частинкою.

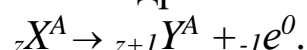
Нейтрон – немає заряду, маса спокою $m_n \approx 1839 m_e$. У вільному стані (поза ядром) нейтрон швидко розпадається.

Процеси перетворення ядер зручно записувати за допомогою зарядового і масового чисел.

При α -розпаді усередині важкого ядра ($A > 200$) з двох протонів і двох нейтронів формується α -частинка, що вилітає з ядра:



При β -розпаді нейтрон усередині ядра перетворюється в протон і електрон, що вилітає з ядра:



При різних ядерних перетвореннях виконуються закони збереження енергії, імпульсу, масового й зарядового чисел.

Атомні ядра з однаковими Z , але різними A називаються ізотопами. У середньому на кожне значення Z доводиться близько трьох стабільних ізотопів. Наприклад, Si^{28} , Si^{29} , Si^{30} є стабільними ізотопами кремнію. Крім стабільних ізотопів, більшість елементів мають і нестабільні ізотопи, для яких характерно обмежений час життя. Більшість хімічних елементів у природі – це суміш ізотопів. Ядра з однаковим масовим числом називаються **ізобарами**, а з однаковим числом нейтронів – **ізононами**.

Вправа 1. Напишіть нові слова і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Що таке радіоактивність?
2. Яка радіоактивність називається природною?
3. Яка радіоактивність називається штучною?
4. Які ядра називаються материнськими?
5. Які ядра називаються дочірніми?
6. Що таке період напіврозпаду?
7. Яка будова атомного ядра? Що таке ізотопи?
8. Що таке *a.e.m.*?
9. Що таке протон? Що таке нейтрон?
10. Напишіть рівняння α -і β -розпадів.

18.7. Ядерні сили. Дефект маси

Стійкість атомних ядер показує, що між нуклонами діють більші сили взаємного притягання – ядерні сили. Ядерні сили – короткодійчі. На відстані близько 10^{-15} м вони в 137 разів більше сил електричного відштовхування нуклонів. Ядерні сили мають властивість насичення, тобто нуклони взаємодіють тільки з найближчими сусідами. Ядерні сили не залежать від заряду нуклона, тобто мають зарядову незалежність.

Точні мас-спектрометричні виміри показали, що маса ядра завжди менше суми мас нуклонів, що входять до складу ядра. Різниця мас одержала назву *дефект маси*.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_y, \quad (18.5)$$

де m_y – маса ядра. У цій формулі масу протона можна замінити на масу атома водню, а масу ядра на масу атома:

$$\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - m_a. \quad (18.6)$$

При зміні маси, відповідно до співвідношення Ейнштейна, повинна змінюватися енергія:

$$\Delta m = \Delta mc^2 = (Zm_H + (A - Z)m_n - m_a) \cdot c^2. \quad (18.7)$$

Енергія ΔE , що виділяється при утворенні ядра у вигляді випромінювання, називається енергією зв'язку ядра. Для поділу ядра на нуклони необхідно затратити таку саму енергію. Дефект маси є мірою енергії зв'язку ядра.

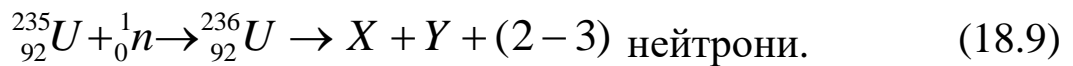
18.8. Ядерні реакції

Ядерна реакція – це явище перетворення атомних ядер при їхній взаємодії з елементарними частками або іншими ядрами. При ядерних реакціях виконуються закони збереження заряду, енергії, імпульсу і числа нуклонів. Перша штучна ядерна реакція була проведена Резерфордом в 1919 р. При опроміненні газоподібного азоту альфа-частками утворювалися кисень і водень.



Найбільш перспективними «снарядами» для одержання нових елементів були нейтрони, що не володіють електричним зарядом.

Наприкінці 1938 р. німецькі вчені О. Ган і Ф. Штрассман точними хімічними дослідями встановили, що в опромінену нейтронами шматку урану утримуються барій і церій, що перебувають у середині періодичної системи елементів. Правильне пояснення дослідів було дано О. Фрішем і Лізе Мейтнер: ядро урану захоплює нейтрон, стає нестійким і розпадається на дві частини. Реакція розподілу (рис. 18.5) відбувається за схемою:



У результаті цієї реакції можуть утворитися до 80 дочірніх ядер. Найбільш імовірним виявляється розподіл на осколки, маси

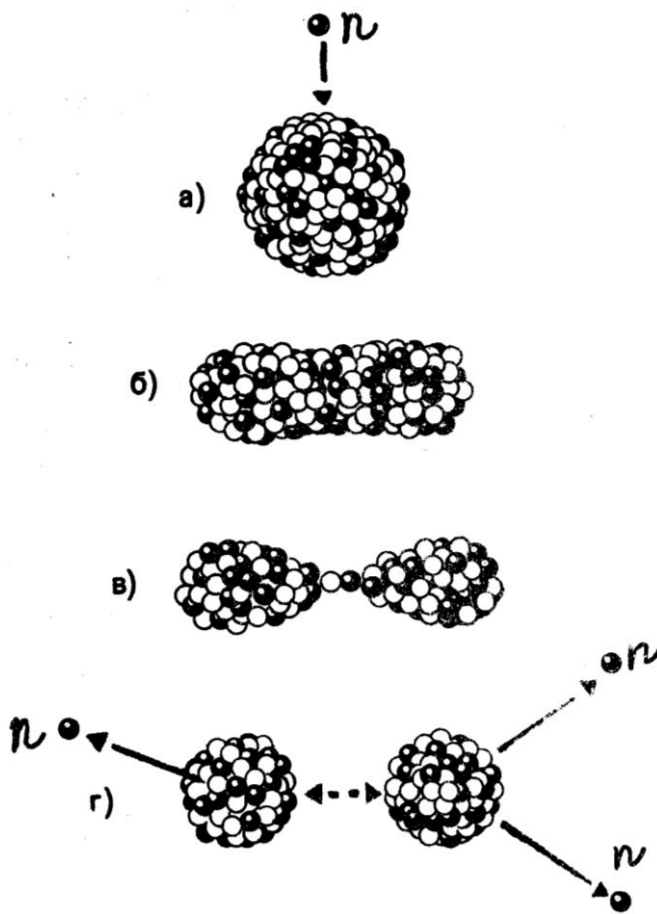


Рис. 18.5

яких відносяться приблизно як 2/3. При розподілі ядер урану виділяється величезна енергія (зв'язку) $\approx 208 \text{ MeV}$ на кожне ядро, а виліт вторинних нейтронів уможливорює ланцюгову ядерну реакцію. Ланцюгова реакція розподілу важких ядер характеризується коефіцієнтом розмноження нейтронів k , що дорівнює відношенню кількості нейтронів у даному поколінні до їхнього числа в попередньому. Ланцюгові реакції поділяють на керовані і некеровані. Вибух атомної бомби — некерована ядерна реакція.

Для одержання керованої ланцюгової ядерної реакції необхідно створити такі

умови, щоб кожне ядро, що поглинуло нейтрон, при розподілі виділяло в середньому один нейтрон, що йде на розподіл другого важкого ядра ($k = 1$).

Ядерним реактором називають пристрій, у якому здійснюється і підтримується керована ланцюгова реакція розподілу важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція в реакторі може здійснюватися тільки при певній кількості ядер, що діляться, які можуть ділитися при будь-якій енергії нейтронів. З матеріалів, що діляться, найважливішим є ізоотоп ${}^{235}_{92}\text{U}$, частка якого в природному урані становить усього 0,714 %. Хоча ${}^{238}_{92}\text{U}$ і ділиться нейтронами, енергія яких перевищує 1,2 МеВ, однак ланцюгова реакція, що самопідтримується, на швидких нейтронах у природному урані неможлива через високу ймовірність поглинання нейтронів ядрами ${}^{238}_{92}\text{U}$. Використання сповільнювача (як сповільнювач використовують матеріали з малим масовим числом і невеликим перетином поглинання: важка вода, берилій, графіт) приводить до зменшення резонансного поглинання в ${}^{238}_{92}\text{U}$.

На рис. 18.6 наведена схема енергетичного ядерного реактора, у якому теплова енергія, що виділяється, переноситься теплоносієм і використовується для виробництва електроенергії.

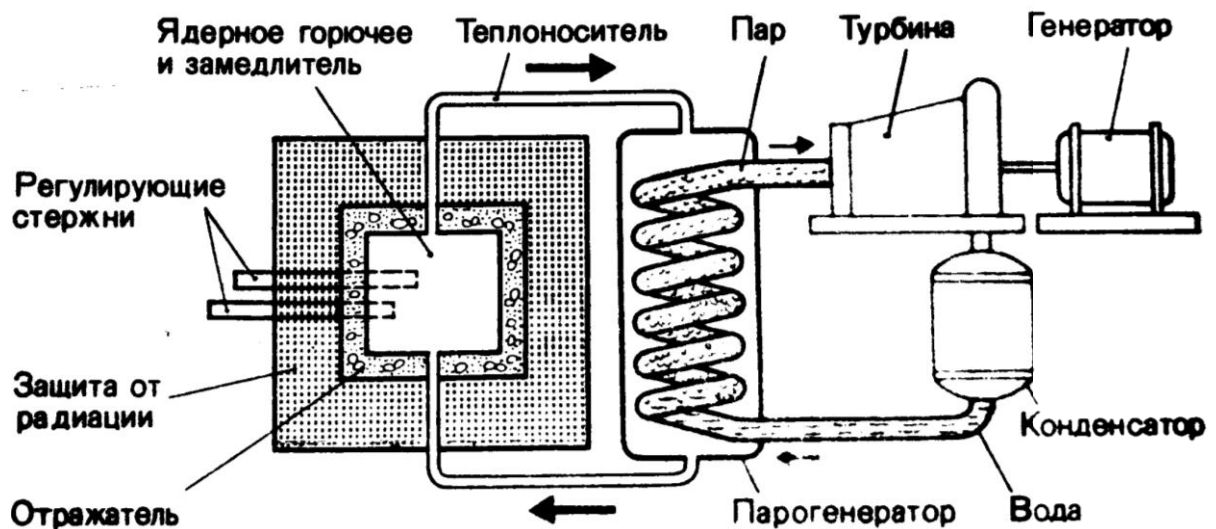


Рис. 18.6

Важливу інформацію про властивості ядер містить залежність питомої енергії зв'язку від масового числа (рис. 18.7). Питомою енергією зв'язку називається енергія зв'язку, що припадає на один

нуклон. З рис. 18.7 видно, що ця залежність має максимум.

Максимальну енергію зв'язку мають елементи з масовими числами від 50 до 60. З цієї залежності випливає, що легкі ядра можуть зливатися з виділенням енергії. Для злиття необхідно, щоб ядра перебороли сили електростатичного відштовхування і зблизилися на відстань близько 10^{-14} м, тобто, щоб вони потрапили в сферу дії ядерних сил.

Термоядерна реакція – це реакція синтезу (злиття) легких ядер при дуже високій температурі. Для одержання енергії дуже перспективною є реакція злиття дейтерію і тритію, у якій виділяється енергія 17,6 Мев:



У цей час ведуться роботи із створення промислового термоядерного реактора для виробництва електроенергії.

18.9. Біологічна дія і захист від випромінювань

Радіоактивні випромінювання великої інтенсивності впливають на всі живі організми. Характер впливу залежить від поглиненої дози випромінювання і його виду. Про дозу випромінювання роблять висновок за поглиненою енергією, а за експозиційною дозою роблять висновок про іонізуючу здатність.

Дозою поглиненого випромінювання називається величина, рівна енергії ΔW випромінювання, яка поглинена одиницею маси:

$$D = \Delta W/m. \quad (18.11)$$

За одиницю поглиненої дози в системі СІ прийнятий **1грей (Гр)**:

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж}/1 \text{ кг}. \quad (18.12)$$

Експозиційною дозою випромінювання (ЕДВ) називається величина, рівна сумарному заряду іонів одного знака, що утворилися в 1 м^3 сухого повітря при нормальних умовах. Експозиційна доза в СІ вимірюється в $\text{Кл}/\text{кг}$. На практиці часто використовується несистемна одиниця – **рентген** ($1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}/\text{кг}$) і її часткові одиниці.

При опроміненні живих організмів дія випромінювання залежить від виду випромінювання. Тому дію різних випромінювань порівнюють із дією рентгенівського і гамма-випромінювань. Із цією метою вводиться **коефіцієнт біологічної ефективності (КОБЕ)**. Для рентгенівського, гамма- і бета-випромінювання КОБЕ дорівнює 1, для альфа-частинок, протонів і швидких нейтронів він дорівнює 10. Для повільних нейтронів коефіцієнт біологічної ефективності дорівнює 3.

Для оцінки біологічної дії випромінювань уведена еквівалентна доза. **Еквівалентна доза поглиненого випромінювання (ЕДПВ) – величина, рівна добутку поглиненої дози на КОБЕ:** $D_{екв} = КОБЕ \cdot D$.

За одиницю ЕДПВ в СІ прийнято **1 зиверт (Зв)**. Ця одиниця відповідає поглиненій дозі в **1 грей** при КОБЕ, рівному одиниці. На практиці для виміру впливу випромінювань на біологічні об'єкти використовують одиницю **бер** (біологічний еквівалент рентгена):

1 бер = 0,01 Зв. Людина безупинно піддається дії природного радіоактивного випромінювання і опроміненню при рентгенівських обстеженнях. У середньому за рік людина одержує дозу близько 400-500 мбер. Небезпечними прийнято вважати дози більше 35 бер за рік, тому при роботі з радіоактивними речовинами потрібно проявляти обережність.

Вправа 1. Випишіть нові слова в зошит і вивчіть їх.

Вправа 2. Дайте відповідь на запитання:

1. Чому атомні ядра стабільні (не розпадаються)?
2. На яких відстанях діють ядерні сили?
3. Що таке дефект маси?
4. Що таке енергія зв'язку?
5. Запишіть співвідношення між масою і енергією?
6. Що таке ядерна реакція?
7. Яка ядерна реакція називається ланцюговою?
8. За якою схемою відбувається розподіл урану?
9. Що таке коефіцієнт розмноження нейтронів?
10. Що таке ядерний реактор?

ДОДАТОК

Таблиця 1

Умовні позначки основних фізичних величин і їхні одиниці вимірювання у міжнародній системі одиниць СІ

Символи фізичних величин	Назва фізичної величини	Одиниці вимірювання фізичних величин
1	2	3
\vec{v}	швидкість	м/с
$\Delta \vec{r}$	переміщення	м
l	довжина	м
\vec{a}	прискорення	м/с ²
\vec{g}	прискорення вільного падіння	м /с ²
φ	кут повороту	рад
ω	кутова швидкість	рад /с
n	число обертів	-
T	період	с
m	маса	кг
\vec{F}	сила	Н
μ	коефіцієнт тертя	-
k	коефіцієнт пружності	Н /м
\vec{N}	сила реакції опори	Н
\vec{P}	вага тіла	Н
\vec{R}	рівнодіюча сила	Н
M	момент сили	Н·с
A	робота	Дж
E, W	енергія	Дж
N, p	потужність	Вт
P	тиск	Па
S	площа	м ²
V	об'єм	м ³
η	коефіцієнт корисної дії	%
ρ	густина	кг/м ³
ν	частота	с ⁻¹ , Гц
μ	молярна маса	кг/моль
A	атомна маса	кг
N_A	стала Авогадро	моль ⁻¹

<i>Продовження табл. 1</i>		
1	2	3
N_A	стала Авогадро	моль ⁻¹
T	абсолютна температура	К
U	внутрішня енергія	Дж
Q	кількість теплоти	Дж
θ	температура	К
C	теплоємність	Дж /К
c	питома теплоємність	Дж / кгК
λ	питома теплота плавлення	Дж /кг
r	питома теплота паротворення	Дж /кг

Таблиця 2

Деякі фізичні сталі

Фізичні величини	Наближені значення для розв'язання задач
Абсолютний нуль температури	-273 ⁰ С
Атомна одиниця маси (а.о.м.)	1,66 10 ⁻²⁷ кг
Гравітаційна стала	6,67·10 ⁻¹¹ кг ⁻¹ м ³ з ²
Заряд електрона	1,6 10 ⁻¹⁹ Кл
Магнітна стала	4π·10 ⁻⁷ Гн/м
Маса Землі	6·10 ²⁴ кг
Маса електрона	9·10 ⁻³¹ кг
Молярна газова стала	8,31 Дж/(моль·К)
Молярна маса повітря	29·10 ⁻³ кг/моль
Нормальний атмосферний тиск	10 ⁵ Па
Стала Авогадро	6,02 10 ²³ моль ⁻¹
Стала Планка	6,6·10 ⁻³⁴ Дж с
Стала Фарадея	9.65·10 ⁴ Кл/моль
Швидкість звуку у повітрі при 0 ⁰ С	332 м/с
Швидкість світла у вакуумі	3 10 ⁸ м/с
Середній радіус Землі	6400 км
Середня відстань Землі від Сонця	15·10 ¹⁰ м
Прискорення вільного падіння	9,8 м/с ²
Електрична стала	8,85·10 ⁻¹² Ф/м

Таблиця 3

Множники і префікси

Множник	Префікс	Позначення префікса	Множник	Префікс	Позначення префікса
10^{18}	екса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	санти	(с)
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	мілі	(м)
10^9	гіга	Г	10^{-6}	мікро	(мк)
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	(н)
10^3	кіло	к	10^{-12}	піко	(п)
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	(ф)
10^1	дека	так	10^{-18}	атто	(а)

Таблиця 4

Густина твердих тіл ($\rho \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$)

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Алюміній	2,7	Нікель	8,8
Антрацит	1,5	Олово	7,3
Береза (суха)	0,7	Платина	21,5
Бетон	2,2	Пробка	0,2
Вольфрам	19,0	Свинець	11,4
Граніт	2,6	Срібло	10,5
Дуб (сухий)	0,8	Сосна	0,9
Залізо	7,8	Сталь	7,9
Золото	19,3	Скло	2,5
Кам'яне вугілля	1,8	Порцеляна	2,3
Цегла	1,8	Цемент	1,4
Латунь	8,5	Цинк	7,1
Лід	0,9	Чавун	7,0
Мідь	8,9	Ебоніт	1,8

Таблиця 5

Коефіцієнт об'ємного розширення рідин β (K^{-1})

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Вода	0,00018	Ртуть	0,00018
Гліцерин	0,0005	Скипидар	0,00067
Гас	0,001	Спирт	0,0011

Таблиця 6

Густина рідин ($\rho \cdot 10^3$ кг/м³)

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Бензин	0,7	Нафта	0,76
Вода (4 ⁰ C)	1,0	Ртуть (0 ⁰ C)	13,6
Гліцерин	1,26	Сірчана кислота	1,84
Гас	0,8	Спирт	0,8
Масло	0,92	Ефір	0,72

Таблиця 7

**Густина газів (кг/м³) при нормальних умовах
($T = 273$ К; $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па)**

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Азот	0,00125	Гелій	0,00018
Аміак	0,00077	Кисень	0,00143
Водень	0,00009	Неон	0,00090
Повітря	0,00129	Вуглекислий газ	0,00198

Таблиця 8

Коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл α (K^{-1})

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Алюміній	0,000024	Свинець	0,000029
Залізо	0,000012	Срібло	0,000019
Латунь	0,000019	Сталь	0,000011
Кварц	0,0000004	Скло	0,000009
Мідь	0,000017	Цинк	0,000029
Олово	0,000027	Чавун	0,000010

Таблиця 9

Питома теплоємність твердих тіл і рідин c (Дж/кг·К)

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Алюміній	$9,2 \cdot 10^2$	Свинець	$1,2 \cdot 10^2$
Залізо	$4,6 \cdot 10^2$	Срібло	$2,5 \cdot 10^2$
Цегла	$7,5 \cdot 10^2$	Золото	$1,25 \cdot 10^2$
Латунь	$3,8 \cdot 10^2$	Цемент	$8 \cdot 10^2$
Лід	$2,1 \cdot 10^3$	Цинк	$4 \cdot 10^2$
Мідь	$3,8 \cdot 10^2$	Чавун	$5,5 \cdot 10^2$
Парафін	$3,2 \cdot 10^3$	Вода	$4,18 \cdot 10^3$
Олово	$2,5 \cdot 10^2$	Гас	$2,14 \cdot 10^3$
Пісок	$9,7 \cdot 10^2$	Ефір	$2,3 \cdot 10^3$
Ртуть	$1,25 \cdot 10^2$		

Таблиця 10

Питома теплота згоряння палива q (МДж /кг)

Назва речовини	Числове значення	Назва речовини	Числове значення
Бензин	46	Спирт	27
Дерево	15	Торф	15
Гас	43	Вугілля буре	9,3
Нафта	46	Вугілля деревне	30
Порох	30	Вугілля кам'яне	20-30

Таблиця 11

Температура плавлення $t_{пл}$ і питома теплота плавлення λ

Назва речовини	t °С	λ , (кДж /кг)	Назва речовини	t °С	λ , (кДж /кг)
Алюміній	658	380	Ртуть	-39	12,5
Залізо	1520	270	Свинець	327	2,5
Лід	0	335	Цинк	419	118
Мідь	1084	180	Чавун білий	1200	130
Олово	232	58	Чавун сірий	1150	97
Нафталін	80	15			

УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКИЙ ФІЗИЧНИЙ СЛОВНИК

Українська	Англійська
А-а	
абсолютна вологість	absolute humidity
абсолютний нуль	absolute zero
адіабатичний процес	process adiabatic
аеростатика	aerostatics
аморфне тіло	amorphous of a body
аналізувати (що?)	to analyze (what)
анізотропія	anisotropy
атмосфера Землі	Earth's atmosphere
атмосфера нормальна	standard atmosphere
атомна одиниця маси (а.о.м)	atomic mass unit (a.m.u)
Б-б	
байдужий, -жа, -же, -жі	indifferent
барометр	barometer
барометр ртутний	mercurial barometer
барометр-анероїд	barometer aneroid
безладний, -на, -не, -ні	chaotic? random
броунівський рух	brownian motion
В-в	
вага	weight
вакуум	vacuum.
вал	the shaft
ват	watt
вектор переміщення	displacement vector
величина	quantity
вертикаль	vertical
вертикальний, -на, -не, -ні	vertical
взаємодія	interaction
вигин	bend
вид розпаду	mode of decay
використати (що, кого?)	to use
вимикач	switch, cutout
виникати – виникнути (де?)	to arise, to appear

випар	evaporation
вирахування векторів	subtraction of vectors
витікає (чому?)	to follow (that)
виявлятися – проявлятися (у чому?)	to be shown (in what?)
відбуватися	to make, to make (what)
відносна вологість	relative humidity
відносно (чого?)	relative to
відрізок	piece
вісь	axe
включати	to switch jn
властивість	property
вниз	downwards
внутрішній, -я, -е, -і	internal
внутрішня енергія	internal energy
вологість	humidity
втрата (чого?)	loss, waste
Г-г	
газова стала	gas constant
гарячий, -ча, -че, -чі	hot
генератор електричний	electric generation
гігрометр	hydrometer
гідравлічний прес	hydraulic press
гідродинаміка	hydrodynamics
гідростатика	hydrostatics
глибина	dehth
годинна стрілка	hour arrow, hour hand
головний, -на, -не, -ні	main
гора	mountain
горіння палива	combustion of fuel
гравітаційне тяжіння	gravitational attraction
гравітація	gravitation
границя пружності	elastic limit
граничні умови	boundary cjndition
грань	facet
гучність звуку	volume of sound

Д-д	
дальність польоту	distance of flight
двигун	mover
дефект маси	mass excess
деформація	deformation
деформувати (що?)	to deform
джерело живлення	power supply
джоуль	joule
динаміка	dynamics
динамічна рівновага	dynamic balance
динамометр	dynamometer
дискретний, -на, -не, -ні	discrete
дифузія	diffusion
діагональ	diagonal
діелектрична проникність	permittivity
дія	action
доказ	proof
дотичний, -на, -не, -ні	tangent
доцентровий, -ва, -ве, -ві	centripetal
дуга	arc
Е-е	
експеримент	experiment
електроємність	pervittance
електромагнітний, -на, -не, -ні	electromagnetic
З-з	
загальний, -на, -не, -ні	general
закон	the law
закон збереження імпульсу	law of conservation of pulse
закон радіоактивного розпаду	decay law
закріплена вісь обертання	fixed axis of rotation
залежати (від кого? від чого?)	to depend (on what)
замкнений, -на, -не, -ні	closed
занурений, -на, -не, -ні	shipped
запах	smell
зберігати – зберегти	to conserve, to keep
збігатися – збігтися	to coincide

збільшуватися – збільшитися	to be increased – to increase
зворотний, - на, - не, - ні	opposite, reverse
обернено пропорційно (чому)	inversely proportional
згоріти – горіти	to burn – to burn down
здатність	ability, capacity
здобути	to get (what)
ззовні	from the outside
зменшувати – зменшитися	to decrease – to decrease
змінний, -на, - не, - ні	variable
змочування	wetting
зникнути – зникати	to disappear
зовнішній, -ня, -не, -ні	external,
зруйнувати – руйнувати	collapses, is blasted
зсув	displacement
зсув за фазою	out of phase
зчеплення	coupling
I-i	
ідеальний газ	ideal gas
ізобара	isobar
ізобаричний, -на, -не, -ні	isobaric
ізопроеес	isoprocess.
ізотерма	isoterm
ізотермічний, -на, -не, -ні	isothermal
ізотропія	isotropy
ізохора	isohore
ізохоричний, -на, -не, -ні	isohorical
імовірність	probability
імпульс	pulse
імпульс тіла	body pulse
індукційна котушка	spark inductor
інертність	inertness
інерціальна система відліку	inertial reference system
інерція	inertia
інтенсивність	intensity
інфразвук	infrasound
інфрачервоний	infrared
іонізований, - на, -не, -ні	ionized

К-к	
канат	rope, cable
капіляр	capillary
кипіння	boiling
кількість	quantity
кінематика	kinematics
коефіцієнт корисної дії	efficiency
коефіцієнт підсилення	coefficient of amplification
коефіцієнт пружності	coefficient of elasticity
коефіцієнт тертя	coefficient of friction
колектор	header
коливальний, -на, -не, -ні	oscillatory
компенсація	indemnification
компенсувати	to compensate
конвекція	convection
консервативний, -на, -не, -ні	conservative
контакт	contact
концентрація	concentration
корисний, -на, -не, -ні	useful
короткозорий, -ра, -ре, -рі	nearsighted
космічна швидкість	space speed
космонавт	cosmonaut
кристалічна решітка	crystal lattice
кристалічний, -на, -не -ні	crystal
крутіння	torsion
куля	globule, orb
кут	angle
кутовий, -ва, -ве, -ві	angular
Л-л	
ланцюгова реакція розподілу	chain fission
лінза ввігнута	concave lens
лінза опукла	convex lens
лінза тонка	thin lens
збиральна лінза	convergent lens
лінійний, -на, -не, -ні	linear
ліфт	lift

М-м	
магніт стрижневий	ball-ended magnet
магнітний потік	magnetic flux
манометр	manometer
матеріальне середовище	material medium
мережа (електрична)	distribution main
механічна робота	mechanical work
миттєва швидкість	instantaneous velocity
миттєвий, -ва, -ве, -ві	instant
мікроскопічний, -на, -не, -ні	microscopic
мікрохвилі	microwave
міра інертності	measure of inertness
міст	the bridge
молекулярна маса	molar mass
молярний об'єм	molar volume
моль	mol
момент сили	the moment of force
мотор	the motor
Н-н	
навколишнє середовище	ambient medium, environment
нагрівач	heater
напруженість поля	field intensity
натяг	tension
натяг нитки	tension of a string
наукова теорія	the scientific theory
незмочування	nonwetting
ненасичена пара	non-saturated pairs
необоротність	irreversibility
неподільний, -на, -не, -ні	indivisible
непружний, -на, -не, -ні	non elastic
нерівномірний, -на, -не, -ні	nonuniform
нерозтяжний, -на, -не, -ні	inextensible
нерухомий, -ма, -ме, -мі	immovable, motionless
нескінченно мала величина	infinitesimal
нестабільне ядро	unstable nucleus
нестійкий, -ка, -ке, -кі	unstable
нитка	string, hair

нитка розжарення	incandescent figure
нормаль	normal
нормальний, - на, - не, - ні	normal
нормальні умови	standard conditions
нуль Кельвіна	zero Kelvin
О-о	
оберт	revolution
обмін енергією	energy excess
обрій, горизонт	horizon
однорідний, - на, - не, - ні	homogeneous
одночасно	simultaneously
окремий, - на, - не, - ні	separate
окружність	circle
окуляр	eyepiece
осі координат	axes of reference
отже	hence
П-п	
падіння	fall
паливо	fuel
паливо ядерне	nuclear fuel
насичена пара	saturant of vapour
параметр	parameter
паротворення	vaporization
перешкоджати	to interfere, obstacle
період	the period
період коливань	oscillation period
період напіврозпаду	half-life (decay) period
період обертання	period of revolution
питома теплоємність	specific heat
питома теплота плавлення	heat of fusion, latent heat of fusion
питомий електричний опір	specific resistance
підвищуватися	to rise
підвіс	suspension
підведена потужність	energy input
підйом	rise, lifting

плавати	to float
плавлення	melting, fusion
плазма	plasma
пластичний, - на, - не, - ні	moldable
плече сили	force arm, shouder of force
плинність	fluidity
плоскополяризоване світло	plane-polarized light
площа опори	the area of a support
повертатися – повернутися	to come back
поверхня	surface
повітряна куля	balloon
повний, - на, - не, - ні	complete, total
поворот	turn
подовження поздовжнє	longitudinal extension
показник заломлення	index of refraction
показувати – показати (що?)	to show (what)
поле вихрове	circuital field
поле внутрішнє	intrinsic field
поле потенціальне	potential field
поле тяжіння	field of gravitation
полікристал	polycrystal
полюсний наконечник	pole terminal
помістити – поміщати	to place
понизитися – знижуватися	to lower, to falle
порушити – порушувати	to break
поршень	the piston
постійна Больцмана	Bolzmanns constant
постійний, - на, - не, - ні	constant
поступальний рух	headway
поступальний, - на, -не, - ні	forward
поступово	gradually
посудина	vessel
потік	flow
потонути – тонути	to sink
потужність	power
потужність корисна	net power
похилий, -ла, -ле, -лі	inclined
похідна	differential quotient

похідна за часом	time rate of change
поширюватися	propagate, to expand
правило моментів	rule of moments
правило паралелограма	rule of parallelogram
прагнути (до чого?)	to aspire (to what)
прикласти (що?)	application
припинення	cessation, interruption
припинити – припиняти	to stop, to cease
природа	nature
притягання	attraction
притягтися – притягатися (до чого?)	to be attracted (to what)
причина	reason
продукт горіння	product of combustion
пройдений шлях	which have passed
промінь зору	line of sight
проникнення	penetration
протилежний, - на, - не, - ні	opposite
пружний, - ня, - не, - ні	elastic
пружність	elasticity
прямо пропорційно	directly proportional
психрометр	psychrometer
пухирець, бульбашка	bubble
P-p	
радіан	radian
радіус	radius
ракета	rocket
реактивний, - на, - не, - ні	reactive
реальний газ	real gas
результуючий, - ча, - че, - чі	resulting
решітка	grate
рівновага	balance
рівнозмінний, - на, - не, - ні	uniformly variable
рівномірний рух по колу	uniform motion in a circle
рівномірний, - на, - не, - ні	uniform
рівноприскорений, - на, - не, - ні	Uniformly accelerated
рівносповільнений, - на, - не, - ні	uniformly retarded

рідка фаза	liquid phase
робота	work
робота виходу	work of exit
розвити – розвивати	to develop - develop
розжарення, світіння	glow
розмірність	dimension
розтягання	extension, stretching
розширення	expansion
розширення теплове	heat expansion
рости	to grow
ртуть	mercury
С-с	
середній, - ня, - не, - ні	average
сила	force
сила ваги	force of gravitation
складний, - на, - не, - ні	complex
сковзати	glide
співвідношення	relation
справедливо	fairly
стан	state
стан спокою	state of rest
статика	statics
створитися – створювати (що?)	to create (what?)
стикатися – стикнутися	adjoin
стиск	compression
стійкий, - ка, - ке, - кі	stable
стійкість	stability
стовп рідини	pole of a liquid
стрілка	needle
сучасний, - на, - не, - ні	modern
сформулювати – формулювати	to formulate (what)
Т-т	
твердість	rigidity, hardness
теплова машина	heat machine
тепловий баланс	thermal balance
тепловий ефект реакції	heat of reaction

теплові коливання	temperature vibration
теплопередача	transfer of heat
теплотворність	calorific value
термодинаміка	thermodynamics
термодинамічна система	thermodynamic sistem
тертя внутрішнє	internal friction
тертя зовнішнє	external friction
тертя катання	friction of rolling
тертя ковзання	friction of sliding
течія	current
тиск	pressure
торкнутися – торкатися	concerns
точка прикладання	point of application
точка роси	dew point
тривати – продовжуватися	to continue – to continue
трубка	tube
тужавіння	solidification
тяжіння	gravitation
У-у	
увігнутий міст	the concave bridge
угору	upwards
уздовж (чого?)	along (that)
ультразвук	supersound
ультрафіолетові промені	rayons ultraviolets
умова	condition
умова рівноваги	equilibrium balance
упасти – падати	to fall
установити – встановлювати	To establish, to state
учинитися	to take place – to occur
уявити собі (що?)	to imagine (what)
Ф-ф	
фаза	phase
фізична величина	physical quantity
фольга	metal paper
форма	habitus
фотоелектричний елемент	element photo - electrique

фотопомножувач	photoelectric multiplicity
фотострум	photocurrent
Х-х	
хаотичний, -на, -не, -ні	random nature
хвильовий рух	undulation
холодний, -на, -не, -ні	cold
Ц-ц	
центр ваги тіла	centre of gravity of a body
центр симетрії	centre of symmetry
циклічна частота	circular frequency
Ч-ч	
частина	part
частота	frequency
Ш-ш	
шар	layer
швидкість (вектор)	velocity
швидкість (скаляр)	speed
швидко	rapidity
шкала	scale
штучний, -на, -не, -ні	artificial
Я-я	
явище	phenomenon
ядерна взаємодія	nuclear interaction

УКРАЇНСЬКО-ФРАНЦУЗЬКИЙ ФІЗИЧНИЙ СЛОВНИК

Українська	Французька
A-a	
абсолютна вологість	humidité f. absolue
абсолютний нуль	zéro m. absolu
адіабатичний процес	processus m. adiabatique
аеростатика	aérostatique f.
аморфне тіло	corps m. amorphe
аналізувати (що?)	analyser
анізотропія	anisotropie f.
атмосфера Землі	atmosphère f. de la Terre
атмосфера нормальна	atmosphère f. normale
атомна одиниця маси	unité f. atomique de masse
Б-б	
байдужий, -жа, - же, - жі	indifférent(e)
барометр	baromètre m.
барометр ртутний	baromètre m. à mercure
барометр-анероїд	baromètre m. anéroïde
безладний, - на, - не, - ні	en désordre; au hasard; sans ordre
броунівський рух	movement m. brownien
В-в	
вага	poids m.
вакуум	vide <i>m.</i> , vacuum m.
вал	arbre m., axe m.
ват	watt m, W
вектор переміщення	vecteur m. de déplacement
величина	grandeur f., valeur f., quantité f.
вертикаль	verticale f.
вертикальний, - на, - не, - ні	vertical (e)
взаємодія	interaction f.
вид розпаду	mode m. de dégradation
використати (що, кого?)	utiliser; exploiter
вимикач	interrupteur m.
виникати –виникнути (де?)	apparaître; surgir; prendre
випаровування, випар	evaporisation f

впливати (чому?)	dérouler; suivre; convenir
вирахування векторів	soustraction f. des vecteurs
проявлятися (у чому?)	se manifester; se faire sentir
відбуватися	avoir lieu; se dérouler; se passer
відбувається	accomplir; exécuter; réaliser
відносна вологість	humidité f. relative
відносно (чого?)	relativement;
відрізок	tronçon m; segment m.
вісь	axe m
включати	connecter;brancher;insérer
властивість	propriété f; caractéristique f.
внутрішній, -ня, - не, - ні	intérieur
внутрішня енергія	energie f. intérieure
вологість	humidité f.; teneur f. en eau
втрата (чого?)	perte f; chute f;
Г-г	
газова постійна	constante f.des gaz
гарячий, - ча, - че, - чі	chaud(e)
генератор електричний	génératrice f. électrique
гігрометр	hydromètre m.
гідравлічний прес	presse f. hydraulique
гідродинаміка	hydrodynamique f.
гідростатика	hydrostatique f.
глибина	profondeur f.
годинна стрілка	aiguille f. des heures
головний, - на, - не, - ні	principal(e); majeur
гора	montagne f.
горіння палива	combustion f. du carburant
гравітаційне тяжіння	attraction f. universelle
гравітація	gravitation f.
границя пружності	limite f.d'élasticité; limite élastique
граничні умови	conditions aux limites
грань	face f; facette f
гучність звуку	force de son; intensité de son
Д-д	
дальність польоту	distance f. de vol

двигун	moteur m.; groupe- moteur m.
дефект маси	défaut à la masse
деформація	deformation f.
деформувати (що?)	deformer; fausser
джерело живлення	source f. d'alimentation
джоуль	joule m.
динаміка	dynamique f.
динамічна рівновага	equilibre m. dynamique
динамометр	dynamometre m.
дискретний, - на, - не, - ні	discret(e); digital(e)
дифузія	diffusion f.
діагональ	diagonale f.
діелектрична проникність	perméabilité f. diélectrique
дія	action f.
доказ	preuve f.
дотичний, - на, - не, - ні	tangent; tangentiel
доцентровий, -ва, -ве, -ві	centripète;
дуга	arc m
E-e	
експеримент	expérience f; expériment m
електроємність	capacité électrique
електромагнітний, -на, -не, -ні	electromagnétique
З-з	
загальний, - на, - не, - ні	commun; général; unique; total
закон	loi f.
закон збереження імпульсу	loi f. de la conservation de l'impulsion
закон радіоактивного розпаду	loi f. de désintégration radio-active
закріплена вісь обертання	axe m. de rotation fixée
залежати (від кого? від чого?)	dépendre (de quoi, que)
замкнений, - на, - не, - ні	fermé(e)
занурений, - на, - не, - ні	engagé(e); immergé(e)
запах	odeur f.
зберігати – зберегти	conserver
збігатися – збігтися	coïncider; concorder; converger

збільшуватися – збільшитися	s'agrandir; s'augmenter
зворотний, - на, - не, - ні	inverse
згин	flexion <i>f</i> ; cambrure <i>f</i> ; courbure <i>f</i> .
згоріти – згорати	brûler; flamber
здатність	capacité <i>f</i>
здобувати	acquérir; affecter
ззовні	de dehors
зменшувати-зменшитися	diminuer; se réduire
змінний, - на, - не, - ні	variable
змочування	mouillage <i>m</i> ; humectage <i>m</i>
зникнути – зникати	disparaître; s'en aller
зовнішній, - ня, - не, - ні	extérieur
зруйнувати – руйнувати	détruire
зсув	déplacement <i>m</i> .; glissement <i>m</i> ;
зсув за фазою	courant <i>m</i> . déphasé
зчеплення	adhésion <i>f</i> ; engrènement <i>m</i>
I-i	
ідеальний газ	gaz <i>m</i> . idéal
ізобара	isobare <i>f</i> .
ізобаричний, - на, - не, - ні	isobarique
ізопроцес	isoprocesus <i>m</i> .
ізотерма	isotherme <i>f</i> .
ізотермічний, - на, - не, - ні	isothermique
ізотропія	isotropie <i>f</i> .
ізохора	isochore <i>f</i> .
ізохоричний, - на, - не, - ні	isochorique
імовірність	probabilité <i>f</i> .
імпульс	impulsion <i>f</i> .
імпульс тіла	impulsion <i>f</i> . du corps
індукційна котушка	bobine <i>f</i> . à induction
інертність	inertie <i>f</i>
інерціальна система відліку	système <i>m</i> . inertial de référence
інерція	inertie <i>f</i> .
інтенсивність	intensité <i>f</i> .
інфразвук	infrason <i>m</i> ; infra-son
інфрачервоний	infrarouge
іонізований, - на, - не, - ні	ionisé

К-к	
канат	câble m.
капіляр	tube m. capillaire
кипіння	ebullition f; bouillonnement m
кількість	quantité f; nombre m
кінематика	cinématique f.
ковзати	glisser;
коефіцієнт корисної дії	rendement m; coefficient d'efficacité
коефіцієнт підсилення	coefficient d'amplification
коефіцієнт пружності	coefficient m. d'élasticité
коефіцієнт тертя	coefficient m. de frottement
колектор	collecteur m.
коливальний, - на, - не, - ні	oscillatoire; vibratoire
компенсація	compensation f.
компенсувати	compenser
конвекція	convection f.
консервативний, - на. - не, - ні	conservateur; conservatif
контакт	contact m;
концентрація	concentration f.
корисний, - на, - не.- ні	utile à ; valable
короткозорий, ра, - ре, - рі	myope
космічна швидкість	vitesse f. cosmique
космонавт	astronaute <i>m</i> ; cosmonaute <i>m</i>
кристалічна решітка	réseau m. cristallin
кристалічний, - на, - не, - ні	cristallin(e)
крутіння	torsion f.; moulinage m.
куля	boule <i>f</i> ; sphère <i>f</i>
кут	angle <i>m</i>
кутовий, - ва, - ве, - ві	angulaire
Л-л	
ланцюгова реакція розподілу	fission f. en chaîne
лінза ввігнута	lentille f.convexe
лінза опукла	lentille concave
лінза тонка	lentille f. mince
лінза збиральна	lentille f.convergente
лінійний, - на, - не, - ні	linéaire; de ligne;

ліфт	elevator
М-м	
магніт стрижневий	barreau m.aimanté; aimant m. droit
магнітний потік	flux magnétique
манометр	manomètre m
матеріальне середовище	milieu m. matériel
мережа (електрична)	circuit m. électrique; réseau m. électrique
механічна робота	travail m. mécanique
миттєва швидкість	mouvement instantané
миттєвий, - ва, - ве, - ві	instantané(e)
мікроскопічний, - на, - не, - ні	microscopique
мікрохвилі	micro-ondes m.
міра інертності	mesure f. d'inertie
міст	pont m.
молекулярна маса	masse f. moléculaire
молярний об'єм	volume m. moléculaire
моль	mole f., molécule-gramme f.
момент сили	moment m. d'une force
мотор	moteur m.
Н-н	
навколишнє середовище	ambiance f; milieu m. ambient
нагрівач	réchaud <i>m</i> ; réchauffeur <i>m</i>
напруженість поля	intensité de champ
натяг	mise f. en tension; tention f.
натяг нитки	tention f. du fil
наукова теорія	theorie f. scientifique
незмочування	non-mouillabilité f.
ненасичена пара	vapeur f.insaturée
необоротність	irréversibilité f.
неподільний, - на, - не, - ні	indivisible
непружний, - ня, - не, - ні	non élastique; inélastique
нерівномірний, - на, - не, - ні	irrégulier; non uniforme
нерозтяжний, - на, - не, - ні	inextensible
нерухомий, - ма, - ме, - мі	immobile; statique, fixe
нескінченно мала величина	quantité f. négligeable

нестабільне ядро	instabilité f. du noyau
нестійкий, - ка, - ке, - кі	instable
нитка	fil m.
нитка розжарення	filament d'incandescence
нормаль	norme f . normes f.
нормальний, - на, - не, - ні	normal(e)
нормальні умови	conditions f. normales
нуль Кельвіна	zéro m. Kelvin
О-о	
оберт	révolution f; tour m; circulation f.
обмін енергією	echange m. énergétique
обрій, горизонт	horizon m.
однорідний, - на, - не - ні	homogène
одночасно	en même temps; en parallèle
окремий, - ма, - ме, - мі	isolé. séparé
окружність	circonférence f; cercle m.
окуляр	oculaire m.
осі координат	axes m des coordonnées
отже	donc; partant
П-п	
падіння	chute f; baisse f; pendage m.
паливо	carburant <i>m</i> ; combustible <i>m</i>
насичена пара	vapeur f. saturant
параметр	paramètre m.
паротворення	de vapeur; vaporisation f.
перешкоджати	empêcher; enrayer; entraver
період	période f.
період коливань	période f. d'oscillations
період напіврозпаду	demi-période f; période de demi-vie
період обертання	période f. de rotation;
питома теплоємність	chaleur f.spécifique
питома теплота плавлення	energie f.spécifique de chaleur de fusion
питомий електроопір	résistance électrique spécifique
підвищуватися	hausser; monter; être en hausse
підвіс	main <i>f</i> ; suspension <i>f</i>

підйом	montée f; elevation f; ascension f;
плавати	flotter; nager
плавлення	fonte f; fusion f
плазма	plasma m.
пластичний, - на, - не, - ні	plastique; ductile
плече сили	bras du levier d'une force
плоскополяризоване світло	lumière f. polarisée rectilignement
площа опори	surface de portage
повертатися – повернутися	rejoinder; reprendre; revenir
поверхня	aire f; champ m; écorce f; surface f
повітряна куля	ballon m.
повний, - на, - не, - ні	plein(e)
поворот	virage m; tournant m
подовження	extension f. longitudinale
показник заломлення	coefficient m. de réfraction
показувати – показати (що?)	accuser démontrer; indiquer
поле вихрове	champ m. rotationnel
поле внутрішнє	champ m. intérieur
поле потенціальне	champ m. de potentiel
поле тяжіння	champ m. de gravité
полікристал	polycristal m
полюсний наконечник	pièce f. polaire
помістити – поміщати	placer; replacer
понизити	s'abaisser; tomber; baisser
порушити – порушувати	manquer; violer
поршень	piston m.
постійна Больцмана	constante f. de Boltzmann
постійний, - на, - не, - ні	constant; continu; continuuel
поступальний	progressif(ve)
поступальний рух	mouvement m. progressif
поступово	graduellement
посудина	réservoir m; container m
потік	courant m; flot m; flux m
потонути – тонути	s'engloutir; sombrer; se noyer
потужність	puissance f.; pouvoir m; capacité f.
потужність корисна	puissance f. utile
похилий, - ла, - ле, - лі	incliné(e)
похідна	dérivé m (функція); dérivée f.

похідна за часом	dérivée f. du temps
поширюватися	se propager; se répandre; diffuser
правило моментів	règle f. des moments
правило паралелограма	règle f. du parallélogramme
прагнути (до чого?)	aspirer (a quoi); tendre à qch
прикласти (що?)	faire un effort; solliciter (force);
припинення	arrêt <i>m</i> ; cessation <i>f</i>
припинити – припиняти	arrêter ; faire cesser; interrompre
природа	nature f.
притягання	attraction <i>f</i>
притягатися (до чого?)	s'attirer
причина	cause f; raison f; motif m.
продукт горіння	produit m. de combustion
пройдений шлях	parcours <i>m</i> ; trajet du vol (<i>літака</i>); chemin parcouru
промінь зору	rayon m. visuel
проникнення	introduction <i>f</i>); pénétration <i>f</i> ; <i>m</i>
протилежний, - на, - не, - ні	antagonique; antipodal; inverse
пружний, -на, -не, -ні	elastique
пружність	élasticité <i>f</i> ; tension <i>f</i>
прямо пропорційно	directement proportionnel
психрометр	psychromètre <i>m</i>
пухирець, бульбашка	bulle f; soufflure f.
P-p	
радіан	radian m.
радіус	radius m.
ракета	rocket <i>m</i>
реактивний, - на, - не, - ні	réactif(ve); à réaction
реальний газ	gaz m. réel
результуючий, - ча, - че, - чі	résultant
решітка	grille f; réseau m; reticule f.
рівновага	balance <i>f</i> ; équilibre <i>m</i>
рівнозмінний, - на, - не, - ні	uniformement varie
рівномірний рух по колу	mouvement m. circulaire uniforme
рівномірний, - на, - не, - ні	uniforme
рівноприскорений, - на, - не, - ні	uniformement accelere

рівносповільнений, -на, -не, - ні	equidifféré; equiretardé; uniformement retarde
рідка фаза	phase f.liquide
робота	travail m
робота виходу	travail de sortie; travail d'extraction
розвити – розвивати	développer;
розжарення, світіння	chauffage <i>m</i> ; incandescence <i>f</i>
розмірність	dimension <i>f</i> ; dimension de grandeur
розтягання	traction <i>f</i> ; extention <i>f</i> ; distention <i>f</i>
розширення	dilatation <i>f</i> ; expansion <i>f</i>
розширення теплове	dilatation <i>f</i> . thermique
рости	grandir
ртуть	mercure m. Hg
C-c	
середній, -ня, -не, -ні	médial; moyen; intermédiaire
сила	force <i>f</i> .
сила ваги	force de pesanteur <i>f</i> .
складний, - на, - не, - ні	complexe; composé
співвідношення	corrélacion <i>f</i> ; proportion <i>f</i> ; relation <i>f</i>
справедливо	equitablement; justement
стан	condition <i>f</i> ; état <i>m</i>
стан спокою	état de repos
статика	statique <i>f</i>
створити – створювати (що?)	construire; enfanter; faire
стикатися – стикнутися	etre en contact; se toucher; talonner
стиск	compression <i>f</i>
стійкий, - ка, - ке, - кі	stable
стійкість	constance <i>f</i> ; persistance <i>f</i> ; stabilité <i>f</i>
стовп рідини	colonne <i>f</i> . de liquide
стрілка	aiguille <i>f</i> ; baguette <i>f</i> ; languette <i>f</i>
сучасний, - на, - не, - ні	actuel; moderne
T-t	
твердіння	durcissement <i>m</i> ; solidification <i>f</i> .
твердість	rigidité <i>f</i> .; dureté <i>f</i> .
текучість	fluage ; fluctuation <i>f</i> ; fluidité <i>f</i>
теплова машина	machine thermique

тепловий баланс	balance (bilan) thermique
тепловий ефект реакції	effet thermique de la réaction
теплові коливання	oscillations f. thermiques
теплопередача	transmission f. de la chaleur
теплота питома плавлення	energie spécifique de chaleur; chaleur f. spécifique de la fusion
теплотворність	thermogénie <i>f</i> ; pouvoir calorifique; puissance thermique
термодинаміка	thermodynamique <i>f</i>
термодинамічна система	systeme m. thermodynamique
тертя внутрішнє	friction <i>f</i> intérieure
тертя зовнішнє	friction <i>f</i> extérieure
тертя катання	frottement m. de roulement
тертя ковзання	frottement m. de glissement
течія	courant <i>m</i> ; fil <i>m</i> ; flux <i>m</i>
тиск	pression <i>f</i> .
торкнутися – торкатися	etre tangent(e)
точка прикладання	point d'application
точка роси	point m. de rosée
тривати – продовжити	continuer; prolonger; faire suite
трубка	tube <i>m</i>
тяжіння	gravitation <i>f</i>
У-у	
увігнутий міст	pont m. concave
угору	en haut
уздовж (чого?)	le long de; au large de
ультразвук	ultra-son <i>m</i> ; ultrason <i>m</i>
ультрафіолетові промені	rayons ultra-violets; ultra-violet <i>m</i>
умова	condition <i>f</i> .
умова рівноваги	condition <i>f</i> . d'équilibre
униз	en bas
упасти – падати	tomber
установлювати	établir
уявити собі (що?)	se figurer; s'imaginer
Ф-ф	
фаза	phase <i>f</i> .

фізична величина	grandeur f. physique
фольга	feuille <i>f</i> ; papier d'aluminium
форма	forme f.
формулювати	formuler
фотоелемент	photoélément <i>m</i> ; élément photoélectrique
фотопомножувач	photomultiplicateur <i>m</i>
фотострум	photocourant <i>m</i>
Х-х	
хаотичний, -на, -не, -ні	chaotique
хвильовий рух	mouvement m. ondulatoire
холодний, -на, -не, -ні	froid(e); glacé; pincé; glacial(e)
Ц-ц	
центр ваги тіла	centre m.de gravité du corps
центр симетрії	centre m. de balancement <i>m</i>
циклічна частота	fréquence f.angulaire
Ч-ч	
частина	part f.; partie <i>f</i>
частота	fréquence <i>f</i>
Ш-ш	
швидкість	rapidité f.
швидкість (вектор)	vecteur m. de vitesse
швидкість (скаляр)	scalaire m; grandeur f. scalaire
шкала	graduation <i>f</i> ; échelle <i>f</i>
штучний, - на, - не, - ні	artificiel(le)
Я-я	
явище	phénomène <i>m</i>
ядерна взаємодія	interaction f. nucléaire

Література

1. Яворский Б.М. Справочное пособие по физике для поступающих в вузы и самообразования / Б.М. Яворский, Ю.А.Селезнев. – 3-е изд.– М.: Наука, 1984. – 365 с.
2. Корочкина Л.С. Физика: учеб. пособие для студ.- иностр. подгот. ф-та /Л.С. Корочкина, А.С. Каурова, Л.Д. Шутенко, Б.Н. Стасюк. – М.: Высш. шк., 1983. – 391 с.
3. Троицкая В.В. Фізика / В.В. Троицкая, Т.П. Цапко. – Х: НФАУ, 2006. – 132 с.
4. Авотин С.С. Физика. –ч.1. Механика и молекулярная фізика /С.С. Авотин, Н.Я. Рохманов, В.В. Троицкая, Е.С. Авотина. – Х: ХНАУ, 2008. – 94 с.
5. Рохманов М.Я. Фізика. – ч.1. Механіка і молекулярна фізика / М.Я. Рохманов С.С. Авотін. – Х: ХНАУ, 2010. – 127 с.
6. Авотин С.С. Физика. Контрольные тестовые задания /С.С. Авотин, Н.Я. Рохманов. – Х: ХНАУ, 2010. – 127 с.
7. Авотин С.С. Физика. Для студ.- иностр. подгот . отд. /С.С. Авотин, Н.Я. Рохманов, В., Е.А.Пивовар. – Х: ХНАУ, 2011. – 248 с.
8. Рохманов Н.Я. Лабораторный практикум по физике/ Н.Я. Рохманов С.С., Авотин, Е.А. Пивовар. – Х: ХНАУ, 2012. – 78 с.