



Складовська гімназія
Кабінет фізики



Довідки
із шкільного
курсу фізики

2011 р

Зміст

1	Кінематика	3
2	Динаміка	7
3	Статика	10
4	Закони збереження	11
5	Основи молекулярно-кінетичної теорії	13
6	Термодинаміка	18
7	Електричне поле	21
8	Електричний струм	26
9	Електричний струм у різних середовищах	28
10	Магнітне поле	31
11	Електромагнітна індукція	34
12	Електромагнітні коливання	36
13	Електромагнітні хвилі	41
14	Світлові хвилі	42
15	Квантова фізика	49
16	Квантова механіка	52
17	Атомна фізика	57
18	Основні формули з шкільного курсу фізики	68
19	Таблиці	79

Кінематика

Механіка – це розділ фізики, який вивчає механічний рух матеріальних тіл і взаємодії, які відбуваються при цьому, між тілами.

Механічний рух - це зміна положення тіла відносно інших тіл або одних його частин відносно інших тіл.

Основне завдання механіки - знайти положення тіла в просторі в будь-який момент часу. Механічний рух відбувається у просторі і часі. Поняття простору і часу - фундаментальні поняття, які неможливо визначити через якісь більш прості.

$$x = x_0 + S_x$$

Координата – це найкоротша відстань від тіла відліку до матеріальної точки в даний момент часу

Поступальний рух – це рух тіла, при якому всі його точки описують однакову траєкторію.

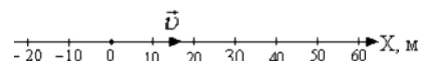
Система відліку - це сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат (декартової або іншої) і приладу для відліку часу.

Матеріальна точка – це тіло, що рухається поступально і розмірами якого можна знехтувати в умовах реальної задачі.

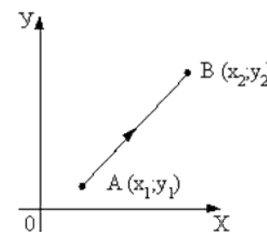
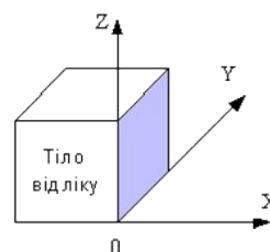
Прямолінійний рух - це рух матеріальної точки по прямій лінії траєкторія

Рівномірний рух – це рух матеріальної точки, при якому за однакові проміжки часу матеріальна точка проходить однакові відстані.

Усі рухи можуть здійснюватися в просторі, площині і по прямій. Найпростіший вид механічного руху - це рух матеріальної точки по прямій лінії (мал. 1) або прямолінійний рух в площині (мал. 2):



Мал. 1



Мал. 2

Рівняння рівномірного прямолінійного руху

$$x = x_0 + v_x t$$

Траєкторія - це лінія руху, яку описує кінець вектора \vec{r} , або уявну лінію, вздовж якої рухається тіло;

Шлях S – це відстань, яку проходить тіло вздовж траєкторії, вимірюється в метрах;

Переміщення – це вектор $\Delta \vec{S}$, проведений з початкової точки траєкторії в кінцеву.

Швидкість – це фізична величина, що характеризує переміщення тіла за одну одиницю часу.

$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t} \quad [v] = 1 \frac{m}{c}$$

Для перетворення км/год в м/с і навпаки:

$$A \frac{км}{год} = A \frac{1000m}{3600c} = A \frac{m}{3,6c}$$

$$A \frac{m}{c} = \frac{1км}{1000} \cdot \frac{3600}{1год} = A \cdot 3,6 \frac{км}{год}$$

Закон додавання швидкостей: швидкість руху тіла відносно нерухомої системи відліку дорівнює геометричній сумі швидкості цього тіла відносно рухомої системи відліку і швидкості самої рухомої системи відліку відносно нерухомої системи.

$$\vec{v}_{внс} = \vec{v}_{врс} + \vec{v}_{рс}$$

Закон додавання переміщень: переміщення тіла відносно нерухомої системи відліку дорівнює геометричній сумі переміщення цього тіла відносно рухомої системи відліку і переміщення самої рухомої системи відліку відносно нерухомої системи.

$$\vec{S}_{внс} = \vec{S}_{врс} + \vec{S}_{рс}$$

Тіло відліку – це тіло, відносно якого розглядається зміна положення тіла.

Відносність руху означає, що координати тіла, швидкість, вид траєкторії залежать від того, відносно якої системи відліку розглядається рух.

Середня швидкість є скалярною величиною і дорівнює відношенню пройденого шляху до часу:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{S}{t} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Миттєва швидкість – це фізична величина, що характеризує швидкість матеріальної точки в даний момент часу дотичний до траєкторії вектор, що визначається за формулою:

$$\vec{v}_{\text{мит}} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

де $\Delta \vec{S}$ - нескінченно мале переміщення матеріальної точки;

Δt нескінченно малий проміжок часу, за який це переміщення здійснено.

Рівноприскорений рух - це рух, при якому швидкість за будь-які однакові проміжки часу збільшується на ту саму величину.

Прискорення - це фізична векторна величина, що характеризує зміну швидкості за одиницю часу і дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до часу, протягом якого ця зміна відбулась:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - v_0}{t} \quad [a] = \frac{1 \frac{M}{c}}{1c} = 1 \frac{M}{c^2}$$

Швидкість тіла при прямолінійному рівноприскореному русі:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

Переміщення тіла при прямолінійному рівноприскореному русі:

$$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad v^2 - v_0^2 = 2aS$$

Вільне падіння - це рух тіл у вакуумі під дією однієї сили - сили тяжіння

Прискорення вільного падіння

$$\vec{g} = G \frac{M_{\text{планети}}}{R_{\text{планети}}^2}$$

Рух під піє сили тяжіння

Землею і під кутом α до горизонту з початковою швидкістю.

Такі рухи складаються з двох незалежних один від одного рухів: рівномірного в горизонтальному напрямі (рух за інерцією) і рівноприскореного у вертикальному напрямі (вільне падіння внаслідок притягання до Землі).

Рівняння руху в горизонтальному напрямі:

$$x = v_x t$$

Рух тіла у вертикальному напрямі (вздовж осі Oy) є вільним падінням, тому рівняння руху по осі Oy :

$$y = \frac{gt^2}{2}$$

Вилучивши час з рівнянь руху, можна отримати рівняння траєкторії, яке виражає зв'язок між координатами X і Y :

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

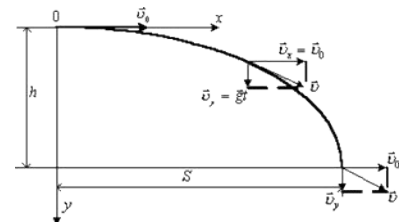
Отже, траєкторією руху тіла, кинутого горизонтально є парабола.

У будь-який момент часу швидкість напрямлена по дотичній до траєкторії. Модуль горизонтальної складової швидкості у будь-який момент часу залишається сталим:

$$v_x = v_0$$

Модуль вертикальної складової лінійно зростає з часом:

$$v_y = gt$$



. Оскільки $v_x \perp v_y$, модуль швидкості у будь-який момент польоту дорівнює:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

Час падіння до поверхні Землі

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

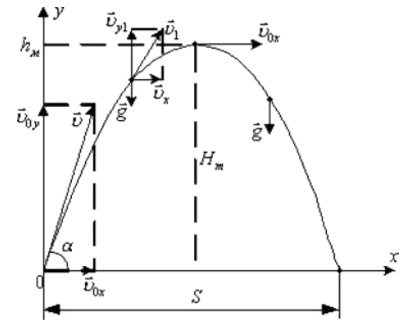
Дальність польоту

$$S = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Модуль швидкості падіння поблизу поверхні Землі

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

Якщо тілу надати початкову швидкість під кутом до горизонту, то його рух буде криволінійним. При куті 45° до горизонту дальність найбільша (якщо не враховувати опір повітря). Зі збільшенням кута дальність зменшується. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, є результатом складання двох рухів: рівномірного прямолінійного зі швидкістю в горизонтальному напрямі та рівнозмінного з початковою швидкістю, напрямленою вертикально вгору. Модуль незмінної горизонтальної складової швидкості



$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

Модуль вертикальної складової весь час змінюється і визначається із рівняння:

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt$$

Вектор результуючої швидкості:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y.$$

Числове значення результуючої швидкості:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + (v_0 \sin \alpha - gt)^2}$$

Час t_1 від початку руху тіла до точки максимального підняття

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

Висота, на яку підніметься тіло за довільний проміжок часу польоту,

$$h = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$$

Максимальна висота підйому тіла:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Повний час польоту по параболі

$$t_{\text{пльоту}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

Дальність польоту в горизонтальному напрямі:

$$S = (v_0 \cos \alpha) \cdot t_{\text{пльоту}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Дальність польоту S буде найбільшою за умови, що $\sin \alpha = 1$, тобто коли $\alpha = 45^\circ$. За наявності опору повітря траєкторія польоту тіла, кинутого під кутом до горизонту, буде не параболою, а балістичною кривою.

Рівномірним рухом по колу називають рух, під час якого тіло (матеріальна точка) за будь-які рівні проміжки часу проходить однакові відрізки дуг.

Період – це фізична величина, що характеризує час одного повного оберту

$$T = \frac{t}{N} \quad [T] = 1c$$

Частота – це фізична величина, що характеризує кількість обертів за одну одиницю часу.

$$n = \frac{N}{t} \quad [n] = \frac{1}{1c} = 1c^{-1} = 1Гц$$

Лінійна швидкість напрямлена по дотичній до траєкторії руху.

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rn$$

Кутова швидкість матеріальної точки – це фізична величина, що характеризує кут на який повертається радіус вектор за одну одиницю часу і чисельно дорівнює відношенню кута, на який повертається радіус-вектор, до часу і залишається сталою:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad [\omega] = 1 \frac{рад}{с}$$

А формула для одного оберту по колу набуде вигляду

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$$

Співвідношення лінійної і кутової швидкостей

$$v = \omega R$$

Доцентрове прискорення – прискорення, що виникає при криволінійному русі і напрямлене до центру кола.

$$a_{\partial} = \frac{v^2}{R} \quad a_{\partial} = v \cdot \omega \quad a_{\partial} = R \cdot \omega^2 \quad a_{\partial} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad a_{\partial} = 4\pi^2 n^2 R$$

Динаміка

Інерція – це явище збереження тілом швидкості за відсутності зовнішніх дій на нього з боку інших тіл.

Принцип відносності Галілея: ніякими механічними дослідами, що проводяться всередині інерціальної системи відліку (для пасажера нею є каюта корабля), неможливо встановити, перебуває ця система в спокої чи рухається рівномірно і прямолінійно.

Інерціальна система – це система, для яких єдиним джерелом прискорення є сила, тобто взаємодія з іншими тілами.

Неінерціальна система - це системи відліку, які рухаються відносно інерціальних систем із прискоренням (поступально чи обертально).

Перший закон Ньютона: в інерціальній системі відліку матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дія зовнішніх тіл скомпенсована.

Маса - це скалярна фізична величина, що є мірою інертних і гравітаційних властивостей тіл.

Густина речовини – це фізична величина, що характеризує масу тіла, взятого в одиниці об'єму і дорівнює відношенню маси тіла до його об'єму, тобто

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\rho] = \frac{1\text{кг}}{1\text{м}^3} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Сила - це фізична векторна величина, що є мірою дії на деяке тіло інших тіл (або полів), яка може викликати прискорення і деформацію тіла.

Сила характеризується модулем, напрямком, точкою прикладання

Принцип незалежності дії сил: якщо на тіло діють одночасно декілька сил, дію кожної з них можна розглядати незалежно від дії інших.

Прилади для вимірювання сил **називають** динамометрами

Другий закон Ньютона: геометрична сума сил, діючих на дане тіло дорівнює добутку маси тіла на його прискорення.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$$

$$1\text{Н} = 1\text{кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$$

Виразу $\vec{F} = m\vec{a}$ Ньютон надав такої форми, що він став застосовним і для тіл змінної маси:

$$m\vec{a} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{m(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)}{\Delta t} = \frac{m\vec{v}_1 - m\vec{v}_2}{\Delta t} = \frac{\Delta m\vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}$$

Добуток $m\vec{v}$ називають **імпульсом тіла**;

$\Delta\vec{p} = \Delta(m\vec{v})$ - зміна імпульсу тіла, яка відбулася за час Δt під впливом сили \vec{F} . Таким чином, нова форма запису другого закону Ньютона має вигляд

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta\vec{p}$$

Добуток сили на час її дії називають **імпульсом сили**.

Найбільш загальне формулювання **другого закону Ньютона:** імпульс сили дорівнює зміні імпульсу тіла

Третій закон Ньютона: тіла взаємодіють одне з одним із силами, однаковими за модулем і протилежними за напрямком та напрямленими вздовж однієї прямої.

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

Вага тіла - це сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору чи розтягує підвіс, на якій його підвішено, внаслідок притягання Землі

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Невагомість - стан механічної системи, при якому дія на систему зовнішніх сил не викликає взаємного тиску частинок цієї системи.

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$$

Перевантаження – це збільшення ваги тіла, викликане його прискореним рухом.

$$\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a})$$

Закон всесвітнього тяжіння: будь-які дві матеріальні точки притягуються одна до одної із силою, прямо пропорційною добутку їх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} \quad G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{\kappa z^2}$$

Перша космічна швидкість – це швидкість, яку потрібно надати тілу для того, щоб воно стало штучним супутником Землі.

$$v_I = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} = \sqrt{gR}$$

Друга космічна швидкість – це швидкість, яку потрібно надати тілу для того, щоб воно стало штучним супутником Сонця.

$$v_{II} = 2\sqrt{v_I} = \sqrt{2gR}$$

Силу, з якою тіло притягується до Землі під дією поля тяжіння Землі, називають **силою тяжіння**.

Прискорення вільного падіння

$$\vec{g} = G \frac{M_{\text{планети}}}{R_{\text{планети}}^2}$$

Силою пружності називають силу, яка виникає у разі деформації тіл під час їх взаємодії

Деформація – це зміна форми або об'єму тіла під дією зовнішньої сили

Типи деформацій:

- **Пружні** – це деформації, які зникають після припинення дії зовнішньої сили
- **Пластичні** – це деформації, які не зникають після припинення дії зовнішньої сили

Види деформацій:

- Стиск;
- Розтяг;
- Зсув;
- Згин;
- Кручення

Закон Гука: сила, що виникає під час пружної деформації прямопропорційна абсолютному видовженню тіла.

$$F = -k\Delta x$$

k - коефіцієнт пропорційності, що характеризує жорсткість пружини, $\frac{H}{M}$.

Абсолютне видовження

$$\Delta l = l - l_0$$

де Δl - абсолютне видовження (стиснення); l_0 - початкова довжина тіла

Механічною напругою розтягу чи стиску називають фізичну величину, що характеризує силу пружності, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу і дорівнює відношення сили пружності до площі поперечного перерізу тіла, перпендикулярної до сили.

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

У разі малих деформацій механічна напруга прямо пропорційна відносному видовженню. Цю залежність, яка називається законом Гука, записують таким чином:

$$\sigma = E|\varepsilon|$$

E - модуль пружності чи модуль Юнга, визначений експериментально для всіх речовин.

Модуль Юнга – це коефіцієнт, який характеризує опірність матеріалу

Здатність деформованого тіла відновлювати початкову форму і об'єм після закінчення дії сили деформації називають **пружністю**.

Межа пропорційності – це максимальна напруга, за якої ще справедливий закон Гука.

Межа пружності – це гранична деформація, за якої тіло ще зберігає пружні властивості.

Межа міцності – це механічна напруга при якій руйнується тверде тіло.

Пластичні матеріали – це матеріали, в яких незначні навантаження сприяють пластичній деформації.

Сила зовнішнього тертя – це сила взаємодії дотичних поверхонь двох тіл під час їх відносного руху.

Тертя спокою – це тертя, що виникає між нерухомими одна відносно одної поверхнями.

Сила тертя спокою пропорційна силі тиску, або, що одне й те саме, силі реакції опори максимальна сила тертя спокою залежить також від матеріалу стичних поверхонь.

$$F_{\text{тер}} = \mu_0 N$$

Види тертя:

- ✓ тертя ковзання
- ✓ тертя кочення
- ✓ тертя спокою
- ✓ внутрішнє тертя

Закон Бернуллі. При стаціонарному перебігу ідеальної рідини сума статичного і динамічного тиску (кінетичної енергії, віднесеної до одиниці об'єму) постійна

$$p_1 - \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 - \rho \frac{v_2^2}{2}$$

Величина $\rho \frac{v^2}{2}$ називається **динамічним тиском**

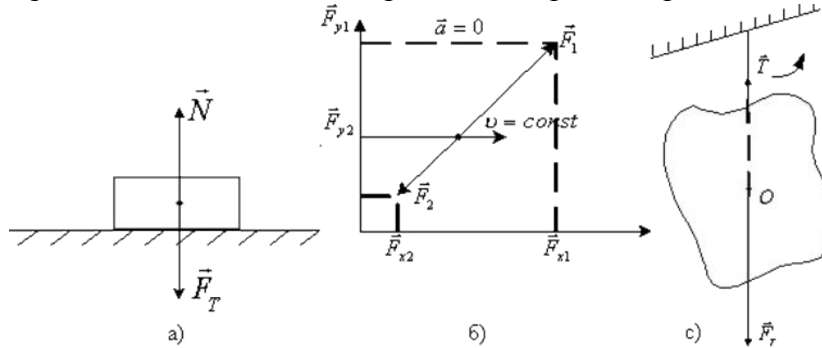
При збільшенні швидкості статичний тиск зменшується, а при зменшенні швидкості – збільшується.

Статика

Рівновагою тіла називають такий стан, коли будь-яке прискорення тіла дорівнює нулю, тобто всі дії на тіло сил і моментів сил зрівноважені.

При цьому тіло може:

- знаходитись у стані спокою
- рухатись рівномірно і прямолінійно
- рівномірно обертатись навколо осі, яка проходить через центр його тяжіння, $\sum \vec{F} = 0$



Умовами рівноваги тіл є:

- 1) геометрична сума всіх сил, прикладених до тіла дорівнює нулю:

$$\sum \vec{F} = 0.$$

- 2) алгебраїчна сума моментів сил дорівнює нулю:

$$\sum M = 0 \quad (M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0)$$

Правило моментів сил: сума моментів сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, має дорівнювати сумі моментів сил, які обертають його проти годинникової стрілки.

Моментом сили називають взятий зі знаком "+" або "-" добуток модуля сили на плече:

$$M = \pm Fd$$

Момент сили додатний, якщо тіло обертається під дією цієї сили проти годинникової стрілки, від'ємний, якщо тіло обертається за годинниковою стрілкою.

Одиниця вимірювання в СІ Н·м.

Плече сили d - це найкоротша відстань від осі обертання до лінії дії цієї сили.

Важелем називають тверде тіло з нерухомою віссю обертання, на яке діють сили, що намагаються повернути його навколо цієї осі.

Умови рівноваги важеля: важіль знаходиться в рівновазі, якщо сили, що діють на тіло будуть обернено пропорційні плечам.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Види рівноваги тіл, що мають точку опори.

✓ **стійка рівновага**, якщо тіло, будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє найближче положення і залишене в спокої, повернеться в це положення;

✓ **нестійка рівновага**, якщо тіло будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє положення і залишене в спокої, буде ще більше відхилятися від цього положення.

✓ **байдужа рівновага** - якщо тіло, будучи виведеним в сусіднє положення і залишене в спокої, залишиться в новому своєму положенні.

Центром тяжіння тіла називають точку всередині тіла (або поза ним), відносно якої сума моментів сил тяжіння, які діють на окремі частини тіла, дорівнює нулю.

Закони збереження

Імпульсом (кількістю руху) тіла або кількістю руху тіла називають добуток маси тіла і швидкості його руху.

Імпульс тіла — векторна величина. Напрямок імпульсу збігається з напрямком швидкості.

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad [\vec{p}] = 1\text{кг} \cdot 1\frac{\text{м}}{\text{с}} = 1\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

Зміна імпульсу тіла дорівнює, як видно з формули

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

Величину Ft називають **імпульсом сили**.

Зміна імпульсу (кількості руху) тіла дорівнює імпульсу сили

Закон збереження імпульсу: у замкнутій системі геометрична сума імпульсів залишається незмінною. Геометрична сума імпульсів тіл, що є складовими замкнутої системи, залишається сталою при будь-яких взаємодіях тіл цієї системи між собою.

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

Замкнута система – це група тіл, які не взаємодіють ні з якими іншими тілами, що не входять до цієї групи

Реактивний рух - це рух тіла, який виникає при відділенні від тіла з певною швидкістю деякої його частини.

$$m_n(v_n) + m_{об}(v_{об}) = 0 \quad \text{або} \quad m_{об}v_{об} = m_nv_n$$

$$v_{об} = \frac{m_nv_n}{m_{об}}$$

Механічною роботою називають скалярну фізичну величину, яка характеризує переміщення тіла під дією деякої сили і дорівнює добутку модулів сили і переміщення на косинус кута α між векторами \vec{F} і \vec{S}

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} \cos \alpha$$

$$[A] = 1\text{Н} \cdot 1\text{м} = 1\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1\text{м} = 1\text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 1\text{Дж}$$

Робота сили пружності

$$A_{пр} = \frac{kx^2}{2}$$

Робота сили тяжіння:

$$A_{тяж} = mgh$$

Робота сили тертя

$$A_{тр} = -F_{тр}S$$

Корисно пам'ятати, що робота сил тяжіння і пружності:

- не залежить від форми траєкторії, а залежить від початкового і кінцевого положення тіл;
- робота по замкнутому контуру дорівнює нулю.

Робота ж сили тертя залежить від форми траєкторії і по замкнутому контуру не дорівнює нулю.

Енергія - це скалярна фізична характеристика всіх форм руху матерії і варіантів їх взаємодій.

Механічна енергія - це скалярна фізична величина, яка характеризує здатність тіла виконувати роботу.

Розрізняють два види механічної енергії: **кінетичну і потенціальну**.

Кінетичною енергією називають енергію обумовлену рухом тіла.

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Кінетична енергія - величина відносна; вона залежить від вибору системи відліку.

Теорема про кінетичну енергію: зміна енергії тіла (системи) ΔE дорівнює роботі A , яку виконала система, або роботі, яку виконали над системою:

$$\Delta E = A \Rightarrow A = E_2 - E_1 \quad A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

Потенціальною енергією називають енергію обумовлену взаємодією між тілами. Потенціальна енергія залежить від взаємного розташування тіл або частин одного й того самого тіла.

Потенціальна енергія тіла, піднятого над землею:

$$E_n = mgh$$

Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

Корисно пам'ятати, що робота сил тяжіння і пружності:

- не залежить від форми траєкторії, а залежить від початкового і кінцевого положення тіл;
- робота по замкненому контуру дорівнює нулю.
- Робота ж сили тертя залежить від форми траєкторії і по замкненому контуру не дорівнює нулю.
- якщо сила $F = 0$, а $S \neq 0$, то тіло рухається по інерції і робота сили $A = 0$
- якщо тіло знаходиться над поверхнею Землі на висоті h_1 , а потім під дією сили тяжіння опустилось до висоти h_2 , то виконана робота $A = F\Delta h = mg(h_1 - h_2)$, де Δh - зміщення тіла.

Закон збереження і перетворення енергії: повна механічна енергія замкненої системи тіл, які взаємодіють силами тяжіння або пружності, залишається незмінною за будь-яких взаємодій тіл між собою.

Потужність – це скалярна фізична величина, яка показує кількість роботи, що виконується за одиницю часу. Потужність вимірюють відношенням роботи до проміжку часу, протягом якого ця робота виконувалася:

$$N = \frac{A}{t}$$

$$[N] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ кг} \cdot \frac{1 \text{ м}^2}{1 \text{ с}^2} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Вт}$$

Потужність можна вимірювати кінськими силами або кіловат-годинами: 1 к. с. = 735 Вт;

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Якщо рух тіла рівномірний і прямолінійний, то

$$N = Fv \cos \alpha$$

Можна використати і для змінного руху, якщо під N розуміти миттєву потужність, а під v - миттєву швидкість.

Для довільного змінного руху тіла можна визначити середню потужність через середню швидкість:

$$N = Fv \cos \alpha$$

Якщо напрям сили збігається з напрямом переміщення, то $\cos \alpha = 1$ і згідно з виразом

$$N = Fv \cos \alpha$$

то

$$N = Fv$$

Основи молекулярно-кінетичної теорії

Спостереження – це вивчення явищ, такими, якими вони є, які відбуваються не залежно від волі дослідника в умовах, створених природою.

Дослід – це відтворення явища з метою його вивчення.

Положення молекулярно-кінетичної теорії:

- Всі речовини складаються з частинок;
- Частинки речовини взаємодіють між собою;
- Частинки перебувають у безперервному хаотичному русі.

Відносна молекулярна маса – це відношення маси молекули даної речовини до $1/12$ маси атома карбону.

$$Mr = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}}$$

Кількість речовини – це число молекул в будь-якому тілі.

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

1 моль – це кількість речовини, в якій міститься стільки ж частинок, скільки атомів у 12 г карбону.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Відносна молекулярна маса – це маса речовин взятою в кількості 1 моль.

$$M = m_0 \cdot N_A \quad M = Mr \times 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Кількість частинок в даному тілі

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$$

Броунівський рух – це тепловий рух завислих у рідині або газі частинок

Ідеальний газ - це газ, в якому молекули можна вважати матеріальними точками, а силами притягання й відштовхування між молекулами можна знехтувати.

Основне рівняння МКТ газів

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E_k} \quad p = nkT$$

Температура – це фізична величина, що характеризує стан нагрітості термодинамічної системи.

Прилад для вимірювання температури називають **термометром**.

Теплова рівновага – це стан, в якому макроскопічні параметри термодинамічної системи не змінюються як завгодно довго

Перехід від шкали Цельсія до абсолютної температурної шкали такий:

$$T(\text{K}) = (t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15) \text{ K, але } 1 \text{ } ^\circ\text{C} = 1 \text{ K.}$$

Середня кінетична енергія молекул газу і температура однаково характеризують процес теплообміну

Гранична температури, при якій тиск ідеального газу дорівнює нулю, при постійному об'ємі і сталому тиску називається **абсолютним нулем**.

Температуру, яку вимірюють в енергетичних одиницях

$$\Theta = kT$$

Стала Больцмана – це фундаментальна фізична стала, яка чисельно дорівнює зміні кінетичної енергії однієї молекули ідеального газу зі зміною температури газу на 1 К.

$$k = 1,38 \cdot 10^{-21} \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

Абсолютна температура - фізична скалярна величина, яка є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного поступального руху молекул.

Середня кінетична енергія руху частинок

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT$$

Середня швидкість руху частинок

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T \cdot N_A}{M}}$$

Рівняння стану ідеального газу - це рівняння, що поєднує параметри стану цього газу - p , V , T . Це рівняння називають рівнянням стану ідеального газу або рівнянням Клапейрона-Менделєєва:

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

R - це фундаментальна фізична стала, яка чисельно дорівнює роботі ізобарного розширення одного моля ідеального газу під час його нагрівання на 1 К.

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}}$$

Рівняння Клапейрона

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ або } \frac{pV}{T} = \text{const}$$

Рівняння стану ідеального газу дозволяє визначити:

- одну з макроскопічних величин (p , V , T), знаючи дві інші;
- перебіг процесів у системі;
- зміну стану системи під час виконання нею роботи або отримання теплоти від тіл, які її оточують.

Процес - це перехід системи з одного стану в другий.

Кількісні залежності між двома параметрами газу за фіксованого значення третього параметра називають **газовим законом**.

Процеси, які відбуваються за незмінного значення одного з параметрів ідеального газу сталої маси m і певного сорту m називають **ізопроцесами**.

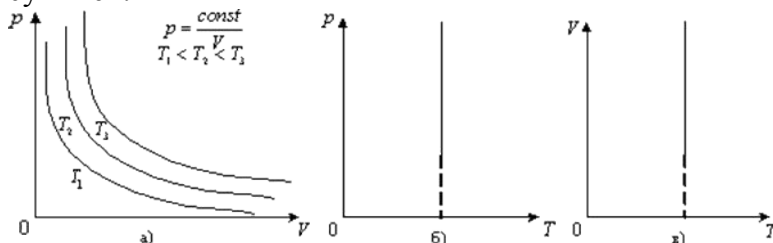
Ізотермічний процес ($m = \text{const}$, $M = \text{const}$, $T = \text{const}$).

Якщо до ізотермічного процесу застосувати рівняння стану у вигляді $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, то з урахуванням сталості температури $T_1 = T_2$ воно набуде вигляду

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad pV = \text{const}$$

Закон Бойля-Маріотта: для деякої маси газу добуток тиску газу на об'єм за сталої температури є сталою величиною.

Цей закон справедливий для будь-яких газів, які можна вважати ідеальними, а також для їх сумішей.



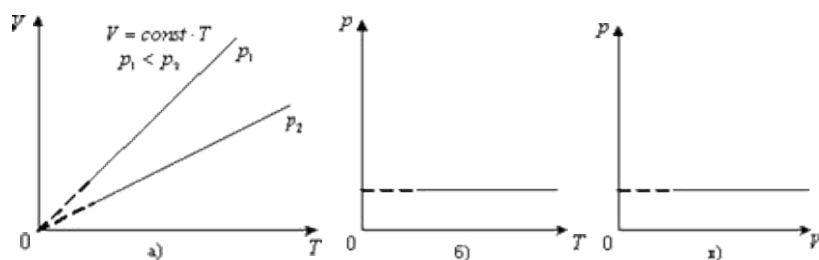
Графічно залежність тиску газу від об'єму при умові $T = \text{const}$ можна зобразити у вигляді кривої - **ізотерми** в координатах p , V і прямих ліній в координатах p , T та V , T .

Ізобарний процес ($m = \text{const}$, $M = \text{const}$, $p = \text{const}$).

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

Закон Гей-Люссака для деякої маси газу відношення об'єму до температури тиску газу за сталою тиску є сталою величиною.

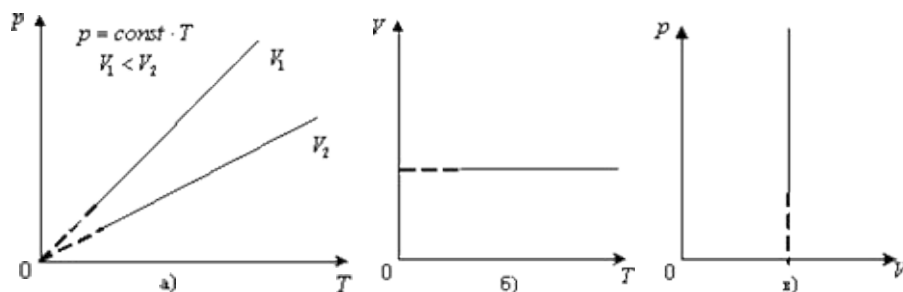
Графік залежності об'єму від температури за сталого тиску є прямою лінією, яку називають **ізобарою**. На малюнку зображено дві ізобари в координатах V, T за різних значень тиску p_1 і p_2 , причому $p_1 < p_2$.



Ізохорний процес ($m = \text{const}, M = \text{const}, V = \text{const}$).

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \frac{p}{T} = \text{const}$$

Графіком залежності тиску від температури за сталого об'єму є пряма лінія, яку називають **ізохорою**. На малюнку в координатах p, T зображено дві ізохори за різних значень об'єму V_1 і V_2 , причому $V_1 < V_2$.



Пароутворення – це процес переходу рідини в стан пари.

Випаровування – це процес пароутворення з вільної поверхні рідини

Конденсація – це процес переходу молекул пари в рідину

Динамічна рівновага – це стан, у якому концентрація частинок рідини дорівнює концентрації часинок пари.

Насичена пара – це пара, що знаходиться в тепловій та динамічній рівновазі зі своєю рідиною.

Тиск насиченої пари наближено можна розрахувати за виразом основного рівняння МКТ:

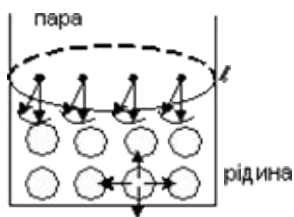
$$p = nkT$$

Завдяки якісній обробці поверхонь посудини та очищенню самої рідини можна досягти практичної відсутності в ній центрів пароутворення, що призводить до того, що кипіння не відбувається навіть за температур вищих від температури кипіння. Таку рідину називають **перегрітою**.

Критична температура – це температура, за якої зникає відмінність у фізичних властивостях рідини й її насиченої пари.

Поверхневий шар рідини розтягнутий і між молекулами на поверхні діють **сили притягання** або **сили поверхневого натягу**

Коефіцієнт поверхневого натягу – це фізична величина, що характеризує силу поверхневого натягу, яка припадає на одиницю довжини границі поверхні рідини і дорівнює відношенню сили поверхневого натягу до довжини лінії, що обмежує поверхню розділу і вздовж якої вона діє по дотичній в кожній точці, перпендикулярно до будь-якого елемента лінії розділу середовищ:



$$\sigma = \frac{F_{\text{нов}}}{l}$$

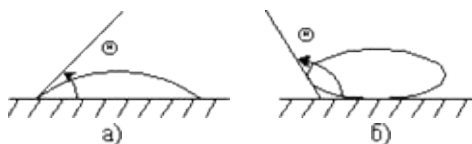
$$[\sigma] = \frac{1H}{1m} = 1 \frac{H}{m}$$

Коефіцієнт поверхневого натягу рідини чисельно дорівнює роботі ізотермічного утворення одиниці поверхні рідини за її незмінного об'єму.

Коефіцієнт поверхневого натягу залежить від:

- температури рідини
- домішок до рідини

Речовини, невеликі кількості яких значно зменшують коефіцієнт поверхневого натягу, називають **поверхнево-активними речовинами**

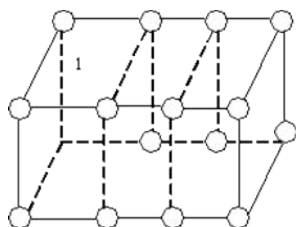


Якщо взаємодія молекул рідини менша, ніж їх взаємодія з молекулами контактного твердого тіла, то маємо випадок **змочування** і навпаки, коли ця взаємодія більша - **незмочування**.

Капіляр – це тонка трубка, по якій піднімається або опускається рідина.

Висота підняття рідини для циліндричного капіляра:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$



Якщо рідина не змочує капіляр, то в цьому разі рівень рідини в ньому буде нижчим від рівня рідини в посудині.

Твердими тілами називають такі тіла, які зберігають об'єм і форму навіть під час дії на них інших тіл (сил).

Кристали - це тверді тіла, в яких атоми або молекули розміщені впорядковано і утворюють періодично повторювану внутрішню структуру

Тіло, яке складається з безлічі неупорядковано розміщених кристалів, називають **полікристалічними** або **полікристалом**.

Умовно можна назвати чотири типи зв'язків між частинками в кристалах

- ✓ іонний
- ✓ атомний
- ✓ металічний
- ✓ молекулярний

У вузлах ґратки іонних кристалів містяться додатньо і від'ємно заряджені іони. Сили взаємодії між ними переважно електростатичні.

Класичним прикладом атомного кристалу є кристал алмазу, який складається з нейтральних атомів вуглецю.

Анізотропність – це неоднаковість фізичних властивостей у різних напрямках.

Кристалічні тіла мають точку плавлення.

Аморфні тіла - це тіла, фізичні властивості яких однакові у всіх напрямках. Аморфні тіла ізотропні. За своєю будовою аморфні тіла нагадують дуже густі рідини.

Полімери – це високомолекулярні сполуки.

Рідкі кристали – це особливий стан деяких органічних речовин, у якому молекули у краплі розміщуються порядком, не властивим звичайним рідинам і твердим тілам.

Для них характерна плинність і вони утворюють краплі. Однак їх краплі можуть мати не кулеподібну, а видовжену форму.

Розрізняють три основні типи рідких кристалів

- ✓ смектичні
- ✓ нематичні
- ✓ холестеричні

Деформація – це зміна форми та об'єму тіла під дією зовнішньої сили

Силою пружності називають силу, яка виникає у разі деформації тіл під час їх взаємодії.

Типи деформацій:

- **Пружні** – це деформації, які зникають після припинення дії зовнішньої сили
- **Пластичні** – це деформації, які не зникають після припинення дії зовнішньої сили

Види деформацій:

- Стиск;
- Розтяг;
- Зсув;
- Згин;
- Кручення;

Деформацію розтягу характеризують *абсолютним видовженням*.

$$\Delta l = l - l_0$$

Деформацію тіла характеризує і його відносне видовження

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Механічною напругою розтягу чи стиску – це фізична величина, яка характеризує силу пружності, що діє на одиницю площі поперечного перерізу і дорівнює відношенню сили пружності до площі поперечного перерізу тіла, перпендикулярної до сили:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

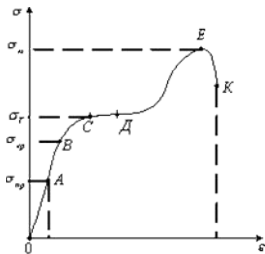
$$[\sigma] = \frac{1\text{H}}{1\text{м}^2} = 1\text{Па}$$

Механічна напруга – це фізична величина, яка характеризує силу, яка прикладена до одиниці площі поперечного перерізу твердого тіла

Модуль Юнга – це коефіцієнт, який характеризує опірність матеріалу

$$\frac{F_{np}}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0}; \quad F_{np} = \left(\frac{SE}{l_0} \right) |\Delta l|; \quad F_{np} = -k\Delta l; \quad k = \frac{SE}{l_0}$$

Здатність деформованого тіла відновлювати початкову форму і об'єм після закінчення дії сили деформації називають **пружністю**



Границя пропорційності – це максимальна напруга, за якої ще справедливий закон Гука

Границя пружності – це гранична деформація, за якої тіло ще зберігає пружні властивості. Межа пружності задається у вигляді граничної пружної напруги.

Матеріали, в яких незначні навантаження сприяють пластичній деформації, називають **пластичними**.

Термодинаміка

Термодинаміка – розділ молекулярної фізики, який вивчає теплові процеси без вивчення внутрішніх чинників структури речовини.

Внутрішня енергія ідеального одноатомного газу пропорційна температурі і не залежить від об'єму та інших макропараметрів

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

Зміна внутрішньої енергії маси ідеального газу відбувається тільки у разі зміни його температури:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

Внутрішню енергію термодинамічної системи можна змінити двома способами:

- виконанням роботи
- теплопередачею

Теплопередачею або **теплообміном** називають процес передачі енергії від одного тіла до іншого без виконання роботи. Теплопередача може відбуватися такими способами:

- теплопровідність;
- випромінювання;
- конвекція (перемішування).

Кількісну міру зміни внутрішньої енергії тіла під час теплообміну називають **кількістю теплоти**

$$Q = cm(T_2 - T_1)$$

$$[Q] = 1 \text{ Дж}$$

Питома теплоємність – це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, що відбирається або надається 1 кг речовини у разі зміни її температури на 1К

$$c = Q, \text{ якщо } m = 1 \text{ кг}, T_2 - T_1 = \Delta T = 1 \text{ К}.$$

$$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Робота газу: $A = p \Delta V$

Фізичний зміст універсальної газової сталої: універсальна газова стала R чисельно дорівнює роботі ізобарного розширення одного моля ідеального газу під час нагрівання його на 1К.

Закон збереження енергії: кількість енергії в природі незмінна, вона лише переходить від одних тіл до інших або перетворюється з одного виду в інший

Перший закон термодинаміки – це закон збереження енергії, поширений на теплові явища

Перший закон термодинаміки: зміна внутрішньої енергії системи під час її переходу з одного стану в інший дорівнює сумі роботи зовнішніх сил і кількості теплоти, що передається системі:

$$\Delta U = A' + Q.$$

Якщо система ізольована, робота над нею не виконується ($A = 0$) і вона не обмінюється теплою з навколишніми тілами ($Q = 0$), отже,

$$\Delta U = 0$$

Якщо врахувати, що $A' = -A$, то вираз першого закон термодинаміки набуде вигляду

$$Q = \Delta U + A.$$

Кількість теплоти, що передається системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії і на виконання системою роботи над зовнішніми тілами.

Ізохорний процес. Якщо термодинамічною системою є ідеальний газ і його об'єм не змінюється, то $A' = 0$, а зміна внутрішньої енергії, дорівнюватиме кількості теплоти:

$$\Delta U = Q$$

Ізотермічний процес. Якщо $T = \text{const}$ внутрішня енергія системи не змінюється. Уся передана газу кількість теплоти витрачається на виконання роботи над зовнішніми тілами:

$$Q = A$$

Ізобарний процес. Кількість теплоти Q , передана газу за сталого тиску, витрачається на зміну його внутрішньої енергії і на виконання ним роботи над зовнішніми тілами:

$$Q = \Delta U + A$$

Адіабатний процес – процес, що відбувається в теплоізованій системі (немає обміну енергією із зовнішніми тілами).

При цьому $Q = 0$ і змінити внутрішню енергію системи можна лише за рахунок виконання над нею роботи:

$$\Delta U = A$$

З першого закону термодинаміки випливає неможливість побудови "вічного" двигуна першого роду, бо будь-яка система не може нескінченно довго виконувати роботу без передачі їй теплоти. Дійсно, коли $Q = 0$, то робота має виконуватись за рахунок внутрішньої енергії системи, яка є обмеженою.

Другий закон термодинаміки: неможливо перевести теплоту від більш холодної системи до більш гарячої, якщо не відбувається інших одночасних змін в обох системах або тілах, які їх оточують.

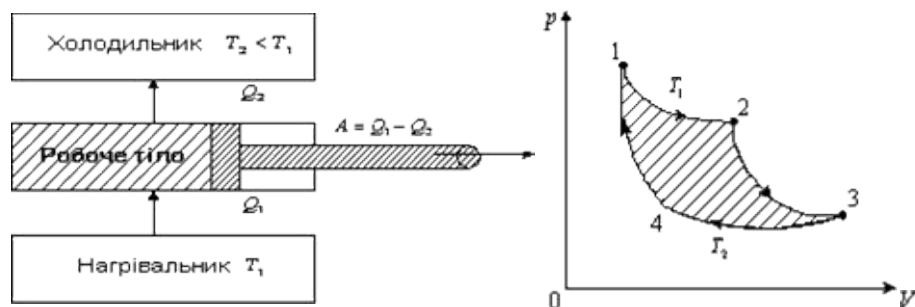
Теплові двигуни – це пристрої, які перетворюють внутрішню енергію палива в механічну енергію

У роботі двигунів можна виділити такі загальні ознаки:

- ✓ у будь-якому тепловому двигуні відбувається перетворення енергії палива в механічну енергію;
- ✓ для роботи теплового двигуна потрібні нагрівник, холодильник і робоче тіло. У процесі роботи теплового двигуна робоче тіло забирає від нагрівника певну кількість теплоти Q_1 і перетворює частину цієї теплоти в механічну енергію, а не перетворену частину теплоти Q_2 передає холодильнику. За законом перетворення і збереження енергії

$$Q_1 = Q_2 + A$$

- ✓ робота будь-якого теплового двигуна полягає у повторюванні циклів зміни стану робочого тіла.



Розглянемо чотириразовий цикл роботи ідеального двигуна, який вперше відкрив Саді Карно. Газ, поміщений в теплопровідний циліндр з рухомим поршнем, приведемо в контакт з нагрівником, що має температуру T_1 . При цьому газ, нагріваючись до T_1 , буде ізотермічно розширюватись, переходячи із стану 1 в стан 2. У результаті газ отримує від нагрівника теплоту Q_1 і виконає проти зовнішніх сил роботу

$$A_{1,2} = Q_1$$

Після досягнення газом стану 2 перервемо контакт робочого тіла (газу) з нагрівником і помістимо циліндр в теплоізовану адіабатну оболонку. Залишимо газу можливість додатково адіабатно розширитись до стану 3. При цьому:

- газ виконає проти зовнішніх сил роботу $A_{2,3}$ за рахунок своєї внутрішньої енергії U ;
- температура газу знизиться від T_1 до T_2 , оскільки його внутрішня енергія U зменшиться.

Після досягнення газом стану 3 приведемо його в контакт з холодильником, температура якого T_2 . Газ ізотермічно стиснеться зовнішньою силою. Знову помістимо циліндр в

теплоізолювану оболонку і газ, внаслідок адіабатного стиснення, набуде вихідного стану. Зобразимо ці процеси в координатах p, V . Цей цикл Карно буде складатися з двох ізотерм ($1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 4$) і двох адіабат ($2 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 1$).

Робота, яку виконує газ, пропорційна площі фігури, обмеженої ізотермами і адіабатами. Такий цикл роботи теплового двигуна найвигідніший; його називають **циклом Карно**.

Неможливість повного перетворення внутрішньої енергії газу в роботу зумовлено необоротністю теплових процесів у природі. Корисна робота, яку виконує двигун,

$$A' = |Q_1| - |Q_2|$$

де Q_1 - кількість теплоти, яку отримало робоче тіло від нагрівника;

Q_2 - кількість теплоти, віддана холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії для будь-якої теплової машини дорівнює відношенню корисно використаної енергії до затраченої енергії:

$$\eta = \frac{A'}{Q} \quad \text{або} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

Із формули видно, що за будь-якої конструкції машини ККД залежить від температур нагрівника T_1 і холодильника T_2 :

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2} \times 100\%$$

η_{max} - максимальне значення ККД теплової машини. Формулу $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2} \times 100\%$ можна використовувати лише для циклу Карно ідеальної теплової машини. Згідно формули $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2} \times 100\%$ здійснюють удосконалення довільних теплових машин.

Збільшити ККД можна:

- збільшуючи T нагрівника;
- зменшуючи T холодильника.

Електричне поле

Розділ електродинаміки, присвячений вивченню нерухомих електрично-заряджених тіл, називають *електростатикою*.

Електрони несуть негативний заряд, величину якого визначено $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Протони мають позитивний заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Нейтрони мають заряд, що дорівнює 0. Електричні заряди є дискретними, тобто будь-який заряд більший від елементарного і чисельно дорівнює $q = \pm Ne$ ($N=1,2,3,\dots$).

Електричний заряд - скалярна фізична величина, що є кількісною мірою здатності частинок до електромагнітної взаємодії і вимірюється в кулонах (Кл).

Електричний заряд - властивість матерії, тому заряди не існують без матеріальних носіїв.

Точкові заряди – це тіла, розмірами яких можна знехтувати порівняно з відстанню між ними і на поверхні яких знаходиться заряд.

Один вид електричного заряду називають **позитивним**, а другий - **негативним**.

Тіла, що мають заряди однакового знака, відштовхуються, а тіла із зарядами різних знаків притягуються.

За нормальних умов тіла є електронейтральними тому, що заряди всередині них взаємно скомпенсовані, рівномірно розподілені в об'ємі тіла.

Електризація – це процес, що приводить до появи на тілах або різних частинах одного тіла надлишку електричного заряду.

Закон збереження заряду: в ізольованій системі заряджених тіл алгебраїчна сума зарядів - величина стала

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const} \quad \text{або} \quad \sum q_n = \text{const}$$

Закон Кулона сила взаємодії точкових зарядів пропорційна величині зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon \cdot r^2} = k \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$$
$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$
$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

Значення k є додатним, тоді різнойменним зарядам відповідає від'ємна сила (притягання), однойменним - додатна сила (відштовхування).

Діелектрична проникність середовища – це відношення сил взаємодії зарядів $\frac{F_0}{F}$ (відносно вакууму):

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$$

Електричне поле - особливий вид матерії, що існує незалежно від наших знань про нього і має енергію.

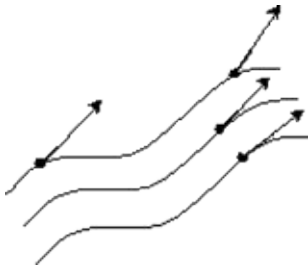
Електричне поле неперервне в просторі і здатне діяти на інші електричні заряди.

Електростатичне поле – це електричне поле нерухомих зарядів.

Напруженість електричного поля – це фізична векторна величина, що є силовою характеристикою електричного поля в кожній його точці, яка характеризує силу, що діє з боку електричного поля на одиницю заряду і чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на точковий заряд, поміщений у цю точку, до значення цього заряду.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad [\vec{E}] = \frac{1\text{Н}}{1\text{Кл}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

за одиницю напруженості в СІ - **вольт на метр** - взято напруженість такого однорідного електричного поля, потенціал якого вздовж лінії напруженості змінюється на 1 В на відстані 1 м. У кожній точці такого поля на заряд, що дорівнює 1 Кл, діє сила 1 Н.



Силкові лінії або **лінії напруженості** – це неперервні лінії, дотичні до яких в кожній точці, через яку вони проходять, збігаються з вектором напруженості.

Однорідне електричне поле – це електричне поле, напруженість якого однакова у всіх точках простору.

Принцип суперпозиції результуюча напруженість поля в цій точці дорівнює геометричній сумі напруженостей полів частинок, тобто:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

Принцип суперпозиції (накладання) полів означає, що електричні поля під час накладання не впливають одне на одне.

Принцип суперпозиції дозволяє обчислити напруженість поля довільної системи зарядів, а не тільки точкових, зокрема і рівномірно зарядженої площини.

Густина електричного заряду – це фізична величина, що характеризує заряд, який припадає на одиницю площі поверхні

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad [\sigma] = \frac{1\text{ Кл}}{1\text{ м}^2} = 1 \frac{\text{ Кл}}{\text{ м}^2}$$

Доведено, що напруженість електричного поля нескінченної площини однакова в довільній точці простору і дорівнює:

$$\vec{E} = k \frac{q^2}{\epsilon r^2}$$

Напруженості полів, створених площинами, напрямлені в один бік. Отже, геометрична сума (згідно з принципом суперпозиції полів) є їх арифметичною сумою:

$$E = \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S} + \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S} = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 S}$$

Провідники - це речовини, які мають заряджені частинки, що здатні рухатись впорядковано по всьому об'єму тіла під дією електричного поля.

У металах носіями вільних зарядів є вільні електрони. Їх називають **електронами провідності**.

Електростатична індукція – це вид електризації, за якого під дією зовнішніх електричних полів відбувається перерозподіл зарядів між частинами певного тіла.

Напруженість результуючого поля всередині провідника дорівнюватиме нулю:

$$E = E_0 - E_{\text{зовн}}$$

Це явище використовують для створення електростатичного захисту

Діелектриками або **ізоляторами** називають такі тіла, через які електричні заряди не можуть переходити від зарядженого тіла до незарядженого тіла.

Притягання незарядженого тіла (діелектрика) до зарядженого тіла пояснюється тим, що в електричному полі відбувається **поляризація діелектрика**, тобто зміщення в протилежні боки різнойменних зв'язаних зарядів, що входять до складу атомів і молекул таких речовини.

Діелектрики поділяють на два види:

- полярні, які складаються із молекул, у яких центри розподілу позитивних і негативних зарядів не збігаються (вода, спирти та ін.);
- неполярні, що складаються з атомів або молекул, у яких центри розподілу позитивних і негативних зарядів збігаються (бензол, інертні гази, поліетилен та ін.).

Якщо полярний діелектрик опустити в електричне поле, то його молекули починають повертатися своїми позитивно зарядженими сторонами до негативно заряджених пластин зовнішнього поля, а негативно зарядженими - до позитивно заряджених пластин. У результаті на поверхні діелектрика виникає досить тонкий шар зарядів протилежних знаків, які й створюють зустрічне поле. Однак на відміну від провідників це поле вже нездатне повністю скомпенсувати зовнішнє, а лише послаблює його в разів.

Якщо ж в електричне поле помістити неполярний діелектрик, то його молекула деформується, в результаті чого він стає схожим на полярний.

Діелектрик, поміщений в електричне поле, зумовлює зменшення напруженості поля і відповідно зменшення сили взаємодії між зарядами, що знаходяться в діелектрику, порівняно з силою взаємодії між зарядами у вакуумі

Електричне поле виконує додатну роботу:

$$A = qE(d_1 - d_2) = -(qEd_2 - qEd_1) \Rightarrow A = qE\Delta d$$

Робота електричного поля не залежить від форми траєкторії, то вона дорівнює зміні потенціальної енергії, взятій з протилежним знаком:

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}) = -\Delta W_p$$

Потенціальна енергія заряду в однорідному електричному полі

$$W_p = qEd$$

На замкненій траєкторії, коли заряд повертається в початкову точку, робота поля дорівнює нулю:

$$A = \Delta W_p = -(W_{p2} - W_{p1}) = 0.$$

Поля, що мають цю властивість, називають **потенціальними**

Потенціал – це скалярна фізична величина, що є енергетичною характеристикою електричного поля і визначає потенціальну енергію заряду q в довільній точці електричного поля.

$$\varphi = \frac{W_p}{q} \quad [\varphi] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$

Потенціал однорідного поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q} = Ed$$

Потенціал поля точкового заряду

$$\varphi = \frac{k \cdot q}{\epsilon \cdot r}$$

Потенціал в довільній точці поля визначають як суму потенціалів, створених окремими точковими зарядами:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

Практичне значення має не сам потенціал, а його зміна. Оскільки $W_p = q\varphi$, то робота

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

де $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ - різниця потенціалів або напруга. Вона дорівнює:

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{A}{q}$$

Різниця потенціалів або **напруга між двома точками** - це фізична скалярна величина, що дорівнює відношенню роботи поля, яка виконується для переміщення заряду із початкової точки поля в кінцеву, до величини цього заряду

Напруга вимірюється у СІ у вольтах (В):

$$[1 \text{ В}] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$$

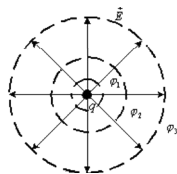
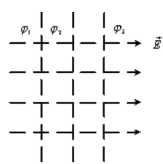
Напруга $U = 1 \text{ В}$, якщо під час переміщення заряду в 1 Кл із однієї точки в іншу поле виконує роботу в 1 Дж .

Знаючи потенціал в кожній точці поля, можна знайти напруженість поля. Між напруженістю електростатичного поля E і напругою існує зв'язок. Оскільки $A = qEd$ і $A = qU$, то у разі рівності лівих частин рівними будуть і праві частини цих формул. Отже, звідси

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

Ця формула показує:

- ✓ чим менше змінюється потенціал на відстані d , тим меншою є напруженість електричного поля;
- ✓ якщо потенціал не змінюється, то напруженість дорівнює нулю;
- ✓ напруженість електричного поля напрямлена в бік зменшення потенціалу.



Під час переміщення заряду під кутом 90° до силових ліній електричне поле не виконує роботу, оскільки сила перпендикулярна до переміщення, а це означає, що всі точки поверхні, перпендикулярної до силових ліній, мають однаковий потенціал. Поверхні однакового потенціалу називають **еквіпотенціальними**. Еквіпотенціальні поверхні однорідного поля є площинами, а поля точкового заряду - концентричними сферами

Електроємність – це фізична величина, яка характеризує здатність провідників накопичувати електричний заряд

Електроємністю двох провідників називають відношення заряду одного з провідників до різниці потенціалів між цим провідником і сусіднім:

$$C = \frac{q}{U} \quad [C] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}} = 1 \text{ Ф}$$

Конденсатор – прилад, який складається з двох заряджених провідників, розділених шаром діелектрика.

Плоский конденсатор - це дві плоскі металеві пластини, розміщені паралельно одна одній і розділені шаром діелектрика.

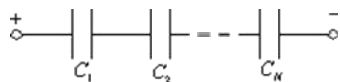
Електроємність конденсатора прямо пропорційна площі обкладинок і обернено пропорційна відстані між обкладинками:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

Нехай послідовно з'єднано N конденсаторів. На обкладинках кожного конденсатора буде однаковий за модулем заряд, тобто,

$$q_1 = q_2 = \dots = q_N = Q$$

де Q - заряд обкладинок всієї батареї. Напруга на клеммах такої батареї дорівнюватиме сумі напруг на всіх послідовно з'єднаних конденсаторах, тобто:



$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$

Ураховуючи, що

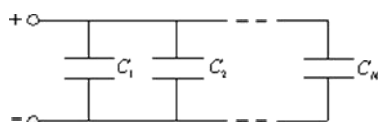
$$U = \frac{q}{C} \quad U_1 = \frac{q}{C_1} \quad U_2 = \frac{q}{C_2} \dots \quad U_n = \frac{q}{C_n}$$

з $U = U_1 + U_2 + \dots + U_N$ знайдемо формулу розрахунку електроємності батареї послідовно з'єднаних конденсаторів:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Нехай N конденсаторів з'єднано паралельно. За такого з'єднання напруга на кожному конденсаторі однакова і дорівнює напрузі на клеммах батареї:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N$$



Заряд такої батареї Q дорівнює сумі зарядів на всіх паралельно з'єднаних конденсаторах:

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_N$$

Враховуючи, що

$$Q = CU, \quad Q_1 = C_1 U, \quad Q_2 = C_2 U, \quad \dots, \quad Q_N = C_N U,$$

знаходимо вираз для розрахунку електричної ємності батареї паралельно з'єднаних конденсаторів:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Потенціальна енергія конденсатора:

$$W_e = \frac{qEd}{2} \quad W_e = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

де q - заряд конденсатора;

d - відстань між пластинами;

E - напруженість електричного поля. Оскільки

Густина енергії електричного поля – це фізична величина, що характеризує енергію, яка припадає на одиницю об'єму:

$$\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

Формула $\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$ справедлива не тільки для однорідного поля плоского конденсатора, а й для будь-якого іншого електростатичного поля.

Електричний струм

Електричний струм – це упорядкований рух заряджених частинок.

За напрям електричного струму вважають напрям руху позитивних зарядів.

Рухів частинок в провіднику безпосередньо не видно, але доказами цих рухів є такі явища:

- під час проходження електричного струму провідник нагрівається (теплова дія струму);
- електричний струм змінює хімічний склад провідника (хімічна дія);
- струм спричиняє силову дію на сусідні струми і намагнічені тіла (магнітна дія).

Необхідною і достатньою умовою існування електричного струму є наявність електричного поля та носіїв заряду.

Сила струму - це скалярна фізична величина, що характеризує заряд, перенесений за одиницю через провідник і дорівнює відношенню заряду, який переноситься через поперечний переріз провідника за інтервал часу, до цього інтервалу часу:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Якщо сила струму з часом не змінюється, то струм називають **постійним**

Сила струму залежить від:

- заряду, який переносить кожна частинка,
- концентрації частинок,
- швидкості їх напрямленого руху
- площі поперечного перерізу провідника

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q_0 n S v \quad [I] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ А}$$

Густина струму – це фізична величина, яка характеризує силу струму, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу провідника.

$$j = \frac{I}{S} \quad [j] = \frac{1 \text{ А}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Для того, щоб виник та існував постійний електричний струм у речовині, потрібні:

- наявність вільних заряджених частинок;
- напруженість електричного поля в провіднику має не дорівнювати нулеві і бути сталою в часі;
- коло постійного струму має бути замкненим;
- на вільні електричні заряди, крім кулонівських сил, мають діяти **сторонні сили**

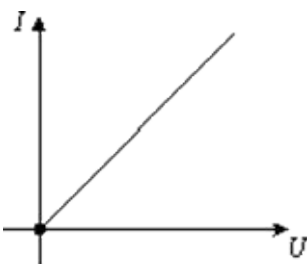
Сторонні сили – це сили неелектричні сили. Сторонні сили можуть бути створені джерелами струму (гальванічними елементами, акумуляторами, електричними генераторами тощо).

Електричний опір – це здатність провідника створювати перешкоди упорядкованому руху заряджених частинок.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad 1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}$$

Питомий опір - це фізична величини, яка характеризує опір речовини, з якої виготовлений провідник завдовжки 1 м з площею поперечного перерізу 1 м² залежить від фізичних властивостей речовини, її стану, наявності домішок.

$$[\rho] = \frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$



Закон Ома для ділянки кола: сила струму I прямо пропорційна напрузі U і обернено пропорційна електричному опору R однорідної ділянки кола

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

Вольт-амперною характеристика – це графічна залежність сили струму від напруги.

Електрорушійна сила – це фізична величина, що характеризує роботу сторонніх сил для переміщення одиниці заряду в замкненому контурі і дорівнює відношенню роботи сторонніх сил під час переміщення заряду вздовж контуру до заряду.

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q} \quad [\varepsilon] = \frac{1Дж}{1Кл} = 1В$$

Закон Ома для повного кола: сила струму в замкненому колі дорівнює відношенню ЕРС джерела струму до повного опору кола.

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

Під час значного зменшення опору зовнішньої ділянки кола ($R \rightarrow 0$) струм досягає максимального для джерела значення:

$$I_{к.з.} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Робота електричного струму:

$$A = UI\Delta t$$

Закон Джоуля-Ленца: кількість теплоти, що виділяється провідником із струмом, рівно добутку квадрата сили струму, опору провідника і часу.

$$Q = I^2 R \Delta t; \quad Q = UI\Delta t; \quad Q = \frac{U^2}{R} t$$

Потужність електричного струму – це фізична величина, яка характеризує роботу електричного струму за одиницю часу і дорівнює відношенню роботи струму за час Δt до цього часу:

$$P = IU \quad P = I^2 R \quad P = \frac{U^2}{R}$$

$$[P] = 1А \cdot 1В = 1Вт$$

$$1кВт = 10^3 Вт \quad 1кВт \cdot год = 3,6 \cdot 10^6 Дж$$

Коефіцієнт корисної дії джерела це фізична величина, яка показує, яка частина від повної роботи витрачена на виконання корисної роботи

$$\eta = \frac{A_{к.}}{A_{з.}} \cdot 100\% \quad \eta = \frac{P_{к.}}{P_{з.}} \cdot 100\% = \frac{I^2 R}{I^2 (R+r)} \cdot 100\%$$

Коефіцієнт корисної дії зростає зі зменшенням внутрішнього опору джерела.

Електричний струм у різних середовищах

Електричний струм у металах є впорядкованим рухом вільних електронів.

Густину струму в металевому провіднику згідно з формулою розраховують за формулою:

$$j = en\langle v \rangle$$

де e - заряд електрона;

n - концентрація електронів у провіднику;

$\langle v \rangle$ - середня швидкість упорядкованого руху електронів під дією електричного поля

Якщо при температурі 0°C опір провідника дорівнює R_0 , а при температурі t він дорівнює R , то відносна зміна опору, як показує дослід, прямо пропорційна зміні температури t :

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

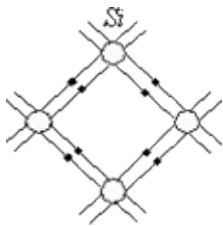
Температурний коефіцієнт опору – це фізична величина, яка чисельно дорівнює відносній зміні опору провідника під час нагрівання на 1 К.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$



Надпровідність – це явище, коли деякі метали і сплави під час охолодження до критичної температури повністю втрачають здатність чинити опір напрямленому рухові електронів провідності.

Напівпровідники – це речовини, які проводять електричний струм за певних умов.



Взаємодія пари сусідніх атомів здійснюється за допомогою ковалентного (парноелектронного) зв'язку. У темноті і при низьких температурах усі електрони зайняті в ковалентних зв'язках. Вільних носіїв у кристалі напівпровідника немає (n), отже

$$I = q_0 n S v = 0$$

тому кристал не проводить струму і його опір великий. За цих умов напівпровідник схожий на ізолятор.

З підвищенням температури кристала (або під час попадання на нього світла) деякі ковалентні зв'язки руйнуються. На місці кожного розірваного зв'язку відразу утворюється вакантне місце з нестачею електрона. Його називають **діркою**. Оскільки дірка переміщується в кристалі, як і вільний носій в електричному заряду, то їй приписують позитивний заряд. Якщо діє зовнішнє електричне поле, в кристалі напівпровідника виникає впорядковане переміщення дірок і до електричного струму вільних електронів додається електричний струм, пов'язаний з переміщенням дірок (діркова провідність).

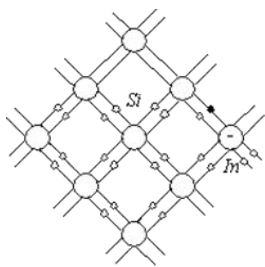
Провідність чистих напівпровідників, що не мають ніяких домішок, називають **власною провідністю напівпровідників**.

Особливість напівпровідників полягає в тому, що в них за наявності домішок поряд із власною провідністю виникає додаткова - **домішкова провідність**. Змінюючи концентрацію домішки, можна суттєво змінити кількість носіїв заряду того або того знака, а отже, створити напівпровідники з переважаючою концентрацією чи позитивно, чи негативно заряджених носіїв.

Донорні домішки – це домішки, що легко віддають електрони, і, отже, збільшують кількість вільних носіїв, називають.

Напівпровідники з донорною провідністю мають більшу кількість електронів порівняно з кількістю дірок. Їх називають **напівпровідниками n-типу**. У них електрони є основними носіями заряду, а дірки - неосновними.

Коли як домішку використовують індій (In), атоми якого тривалентні, то характер провідності силіцію зміниться. Тепер для встановлення нормальних парно-електронних зв'язків із сусідами атома індію не вистачає електрона. Унаслідок цього утворюється дірка. Кількість дірок у кристалі дорівнюватиме кількості атомів домішки (рис. 4.3.13). Домішки цього типу називають **акцепторними** (приймальними). Напівпровідники з переважанням діркової провідності над електронною називають **напівпровідниками p-типу**. Основними носіями заряду таких напівпровідників є дірки, а неосновними - електрони.



З'єднаємо два напівпровідники: один з донорною, а другий з акцепторною домішкою. Контакт двох напівпровідників називають *p-n*-переходом. На межі контакту електрони частково переходять із напівпровідника *n*-типу в напівпровідник *p*-типу, а дірки - навпаки. Якщо подати напругу на напівпровідник з *p-n*-переходом так, щоб до напівпровідника *p*-типу приєднувався позитивний полюс батареї, а на *n*-типу - негативний, то при цьому струм через *p-n* перехід забезпечується основними носіями: з *n*-типу в *p*-тип - електронами, а із *p*-типу в *n*-тип - дірками.

Унаслідок цього провідність усього зразка велика, а опір малий. Такий перехід називають **прямим**.

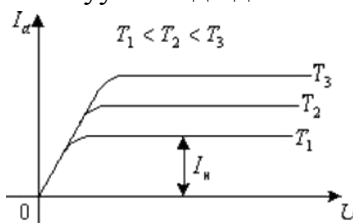
Під'єднаємо батареї навпаки. Струм I в колі стане незначним за тієї ж напруги U , оскільки струм через *p-n* перехід забезпечується неосновними носіями заряду і провідність зразка стає незначною, а опір великим. Утворюється так званий **запірний шар**. Цей перехід називають **зворотним**.

приладах електрони рухаються у вакуумі.

Відкачуючи газ із посудини, можна досягнути такої концентрації, за якої молекули будуть встигати пролітати від однієї стінки посудини до іншої і при цьому не співударяться між собою. Такий стан у посудині називають **вакуумом**.

Явище виривання електронів з поверхні металу під дією температури називають **термоелектронною емісією**.

Односторонню провідність використовують в електронних приладах з двома електродами - вакуумних діодах.



Графік залежності сили струму I_a від прикладеної між анодом і катодом напруги U називають **вольт-амперною характеристикою діода**.

Під час розчинення електролітів під впливом електричного поля полярних молекул води відбувається розпад молекул електролітів на іони називають **електролітичною дисоціацією**.

Процес виділення на електроді речовини, пов'язаний із окислювально-відновлювальними реакціями, називають **електролізом**.

Перший закон Фарадея для електролізу: Маса речовини, яка виділяється на катоді за час Δt , пропорційна силі струму і часу

$$m = kq = kI\Delta t$$

$$k = \frac{\mu}{ZN_A e}$$

k - хімічний еквівалент речовини.

Добуток числа Авогадро на заряд електрона називають **сталю Фарадея**:

$$F = N_A e = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$$

Стала Фарадея дорівнює заряду, під час перенесення якого одновалентними іонами через розчин або розплав електроліту виділяється 1 моль речовини.

Другий закон Фарадея для електролізу: електрохімічні еквіваленти різних речовин прямо пропорційні їх хімічним еквівалентам.

Об'єднаний закон Фарадея для електролізу:

$$m = \frac{\mu}{FZ} It = kIt$$

Щоб газ проводив електричний струм, в нього треба помістити іонізатор. Завдяки іонізації в газі утворюються вільні носії електричного заряду - іони та електрони.

Процес проходження електричного струму через газ називають **газовим розрядом**.

Рекомбінація - процес утворення нейтральних атомів під час з'єднання електронів і позитивних іонів.

Несамостійний розряд - це процес проходження електричного струму через газ під дією зовнішнього іонізатора.

Самостійний розряд – це процес проходження електричного струму через газ без дії зовнішнього іонізатора.

Залежно від властивостей і стану газу, а також від якостей і розміщення електродів, прикладеної до них напруги виникають різні види самостійного розряду в газах. Якщо тиск низький, виникає **тліючий розряд**. За атмосферного тиску можна отримати **електричну дугу**, **коронний** та **іскровий розряди**.

Плазма - це частково чи повністю іонізований газ, в якому густини позитивних і негативних зарядів майже збігаються.

Плазма виникає при всіх видах розряду в газах: тліючому, дуговому, іскровому тощо. Таку плазму називають **газорозрядною**.

Магнітне поле

Магнітне поле - особлива форма матерії, через яку здійснюється взаємодія між рухомими електрично зарядженими частинками.

Взаємодію між провідниками зі струмом, тобто взаємодію між рухомими електричними зарядами, називають **магнітною**.

Сили, з якими провідники зі струмом діють один на одного, називають **магнітними силами**.

Основні властивості магнітного поля:

- ✓ магнітне поле породжується електричним струмом (рухомими зарядами);
- ✓ магнітне поле виявляється за дією на електричний струм (рухомі заряди);
- ✓ як і електричне, магнітне поле існує реально незалежно від знань про нього. Це підтверджується існуванням електромагнітних хвиль.

Силовою характеристикою магнітного поля є **вектор магнітної індукції**.

За напрям вектора магнітної індукції беруть напрям від південного полюса S до північного полюса N стрілки компаса, яка вільно встановлюється в магнітному полі.

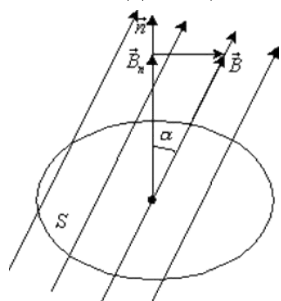
Для дослідження магнітного поля використовують рамку зі струмом. При цьому напрям вектора магнітної індукції визначають за **правилом свердлика**: якщо напрям поступального руху свердлика збігається з напрямом струму в провіднику, то напрям обертання ручки свердлика збігається з напрямом вектора магнітної індукції.

Індукція магнітного поля – це фізична величина, яка характеризує силу, що діє з боку магнітного поля на провідник зі струмом, довжиною l м, якщо по цьому провіднику тече струм з силою струму I А

$$B = \frac{M_{\max}}{IS} = \frac{F}{Il}$$

За одиницю магнітної індукції беруть магнітну індукцію такого поля, у якому на контур площею 1 м^2 із струмом силою 1 А діє з боку поля максимальний момент сил $M = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Одиниця магнітної індукції - **тесла** (Тл); її названо на честь югославського вченого електротехніка Н. Тесла.



Кількісний опис явища електромагнітної індукції виконують на основі встановлення зв'язку між ЕРС індукції і фізичною величиною, яку називають магнітним потоком. **Магнітним потоком** через поверхню з площею називають скалярну фізичну величину, що дорівнює добутку модуля вектора магнітної індукції на площу поверхні та косинус кута між вектором і вектором нормалі до поверхні.

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

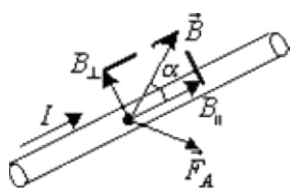
Одиниця магнітного потоку - вебер.

Магнітний потік в один вебер (1 Вб) створюється однорідним магнітним полем з індукцією 1 Тл через площу 1 м^2 , перпендикулярну до ліній магнітної індукції: $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$.

Рамка зі струмом у магнітному полі повертається внаслідок дії поля спочатку на кожен ділянку рамки зі струмом. До такого висновку вперше дійшов 1820 року французький фізик Ампер. Провівши багато дослідів, він встановив закон, названий його іменем,

Сила Ампера – це сила, що діє з боку магнітного поля на провідник зі струмом

$$F_A = BIl \sin \alpha.$$



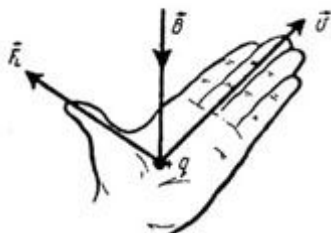
Напрямок сили Ампера визначають за правилом лівої руки. Якщо ліву руку розташувати так, щоб перпендикулярна до провідника складова вектора магнітної індукції входила в долоню, а чотири витягнуті пальці були напрямлені так само, як струм, то відігнутий на 90° великий палець покаже напрям сили, що діє на відрізок провідника.

Закон Ампера використовують для розрахунку сил, що діють на провідники зі струмом, у багатьох технічних пристроях, зокрема в електродвигунах.

Дія магнітного поля на провідник зі струмом є результатом дії поля на рухомі заряджені частинки всередині провідника.

Силу, яка діє на кожен рухомий заряд з боку магнітного поля, називають **силою Лоренца**.

$$F_L = q_0 v B \sin \alpha$$



Напрямок сили Лоренца, як і напрям сили Ампера визначається за допомогою правила лівої руки. Якщо ліву руку розмістити так, щоб складова магнітної індукції, перпендикулярна до швидкості заряду, входила у долоню, а чотири пальці були напрямлені за рухом позитивного заряду (проти руху негативного), то відігнутий на 90° великий палець покаже напрям сили Лоренца F_L , що діє на заряд.

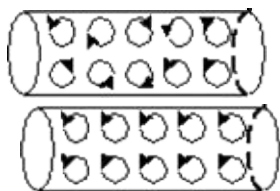
Магнітне поле утворюється не тільки навколо провідників із струмом, а й постійними магнітами. Їх можна виготовляти тільки з не багатьох речовин. Але всі речовини, вміщені в магнітне поле, намагнічуються, тобто самі утворюють магнітне поле. Тому вектор магнітної індукції в однорідному середовищі відрізняється від індукції магнітного поля в тій же частині простору у вакуумі. Отже, **значення магнітної індукції залежить від середовища, в якому існує магнітне поле, тобто магнітна індукція характеризує магнітне поле з урахуванням дії цього середовища.**

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

Величина, що дорівнює відношенню модуля магнітної індукції B поля в довільному середовищі до модуля магнітної індукції B_0 цього ж поля у вакуумі, характеризує магнітні властивості цього середовища, і її називають магнітною проникністю.

Матеріали, які в зовнішньому магнітному полі намагнічуються (тобто в них з'являється власне магнітне поле), називають магнетиками.

Причину, внаслідок якої тіла мають магнітні властивості, вперше встановив Ампер: магнітні властивості тіла можна пояснити струмами, які циркулюють у ньому. Ці струми утворюються внаслідок руху електронів в атомах. Якщо площини, у яких циркулюють ці струми, розміщено хаотично одна відносно одної, то дія струмів взаємно компенсується і ніяких магнітних властивостей тіло не виявляє. У намагніченому стані струми в тілі орієнтовані так, що їх дії додаються).



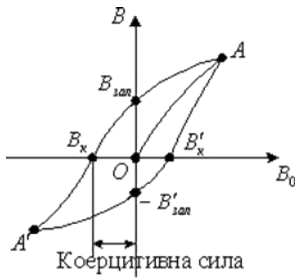
За магнітною проникністю і характером взаємодій з магнітним полем магнетики поділяють на **діамагнетики, парамагнетики і феромагнетики.**

Речовини, у яких $\mu < 1$, називають діамагнетиками. До діамагнетиків належить більшість газів (крім кисню), вода, вісмут, цинк, свинець, мідь, срібло, золото, сірка, віск, алмаз, багато органічних сполук. Якщо зовнішнього магнітного поля немає, магнітні моменти атомів діамагнетиків дорівнюють нулю. У магнітному полі в атомах з'являється магнітний момент, напрямлений проти зовнішнього поля.

Парамагнітні речовини втягуються магнітним полем; їх магнітна проникність більша за одиницю. Атоми парамагнетиків мають відмінні від нуля магнітні моменти. Парамагнетики підсилюють зовнішнє магнітне поле. До парамагнетиків належать кисень, марганець, хром, платина, алюміній, вольфрам, усі лужні й лужноземельні метали.

До **феромагнетиків належать матеріали, які сильно взаємодіють з магнітним полем і магнітна проникність яких у певному температурному інтервалі значно більша за одиницю.** Феромагнітні властивості мають тільки кристалічні тіла. У рідкому, або газоподібному стані феромагнетики стають парамагнітними. Феромагнетики мають окремі ділянки, атоми в яких мають однаково напрямлені магнітні моменти. У зовнішньому магнітному полі такі ділянки (їх називають доменами) орієнтуються однаково.

Розглянемо процес намагнічування феромагнітної речовини. Для цього однорідний стрижень (наприклад, із заліза) внесемо у зовнішнє магнітне поле (наприклад, у котушку зі струмом). Унаслідок зростання індукції зовнішнього магнітного поля B_0 , створеного котушкою, відбуватиметься намагнічування цього феромагнітного стрижня, тобто зростання в ньому магнітної індукції B , ділянка OA).



У точці A стрижень досягає стану магнітного насичення, коли зі зростанням магнітна індукція всередині стрижня майже не змінюється. Коли після цього починають зменшувати індукцію зовнішнього поля, то графік буде спрямовано в напрямі AB (B залишкове). При цьому стрижень залишається намагніченим за відсутності зовнішнього магнітного поля. Після цього стрижень можна вийняти з котушки і використати як постійний магніт.

Для розмагнічування стрижня струм у котушці спрямовують у зворотному напрямі, поступово збільшуючи силу струму (крива $AB_{\text{зал}}B_K$).

Модуль індукції зовнішнього поля, яке потрібне для розмагнічування феромагнетика, називають коерцитивною силою (затримувальною) силою. Речовини з малою коерцитивною силою називають магнітно-м'якими феромагнетиками, з великою - магнітно-жорсткими.

Явище відставання магнітної індукції поля феромагнетика від індукції зовнішнього поля називають **гістерезисом**, а замкнену криву - **петлею гістерезису**. Явище гістерезису пов'язано з певною інертністю перебудови доменної структури феромагнетика в зовнішньому магнітному полі.

Великого застосування набули в сучасній радіотехніці **ферити - феромагнітні матеріали, що не проводять електричний струм.**

Електромагнітна індукція

Електромагнітна індукція – виникнення електричного струму в провідному контурі, який або нерухомий у змінному магнітному полі, або переміщується в постійному магнітному полі так, що кількість ліній магнітної індукції, що перетинають контур, змінюється.

В котушці (замкнений провідник) під дією змінного магнітного поля виникає струм, який називають **індукційним струмом**.

Електричне поле приводить в рух вільні електричні заряди в контурі, викликаючи появу індукційного електричного струму. Його називають **вихровим електричним полем**.

Якщо вектори \vec{B} і \vec{v} розміщені під кутом один до одного, то

$$\varepsilon_i = -Blv \sin \alpha .$$

Особливо великі індукційні струми виникають у масивних провідниках через їх малий опір. Ці струми названо **струмами Фуко** на честь французького фізика, який їх досліджував. Вихрові струми здебільшого шкідливі і тому, щоб зменшити їх вплив, вживають спеціальних заходів. Наприклад, у трансформаторах, електродвигунах суцільні деталі із заліза заміняють на виготовлені з окремих, тонких, ізольованих пластинок або проводів. Це збільшує опір для проходження вихрових струмів і зменшує нагрівання.

Електрорушійна сила – це фізична величина, що характеризує роботу сторонніх сил по переміщенню електричного заряду.

$$\varepsilon = \frac{A_{em}}{q}$$

Закон електромагнітної індукції. ЕРС індукції в замкненому контурі дорівнює за модулем швидкості зміни магнітного потоку через поверхню обмежену контуром.

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Правило Ленца індукційний струм, що виникає в замкненому контурі, протидіє зміні магнітного потоку, який збуджує цей струм.

Самоіндукція – явище виникнення електрорушійної сили в провіднику під час зміни сили струму в ньому самому.

Індуктивність – це фізична величина, що характеризує ЕРС індукції при зміні струму на 1 А за 1 с.

Це коефіцієнт пропорційності між струмом у провідному контурі і створеним ним магнітним потоком, що пронизує цей контур:

$$\Phi = LI$$

Використовуючи закон електромагнітної індукції $\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ і вираз $\Phi = LI$ за умови, що форма контуру залишається незмінною, дістаємо рівність

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Індуктивність, як і електроємність, залежить від геометричних чинників: від розмірів провідника і його форми, але не залежить безпосередньо від сили струму в провіднику. Крім того, індуктивність залежить від магнітних властивостей середовища, в якому знаходиться провідник. Наприклад, індуктивність соленоїда (довгої котушки, обкрученої провідником):

$$L = \mu \mu_0 n^2 V$$

де μ_0 - магнітна стала; n - кількість витків на одиницю довжини

$$n = \frac{N}{l}; V = Sl - \text{об'єм соленоїда.}$$

Одиниця індуктивності в СІ - генрі (Гн). Індуктивність провідника дорівнює 1 Гн, якщо в ньому із зміною сили струму на 1 А за 1 с виникає ЕРС самоіндукції 1 В:

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ В}}{1 \frac{\text{А}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{А}} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{А}}$$

Енергія W_m магнітного поля котушки індуктивності дорівнює половині добутку її індуктивності на квадрат сили струму в ній:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

Як і у випадку з конденсатором, ця енергія міститься безпосередньо в об'ємі магнітного поля, а густина енергії $w_m = W_m$ за розрахунками

$$w_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

де μ_0 - магнітна стала, значення якої в СІ дорівнює $4\pi \cdot 10^{-7} = \text{Н/А}^2$. Цей вираз справедливий не тільки для однорідного поля, але і для довільних змінних магнітних полів.

Електромагнітні коливання

Найпростішим пристроєм, в якому досить просто можна спостерігати електромагнітні коливання, є електричне коло, що складається з котушки індуктивністю L та конденсатора ємністю C .

Електричне коло, що складається з котушки і конденсатора, називають **коливальним контуром**

Ідеальним називають коливальний контур, у якому немає ніяких втрат електромагнітної енергії

Енергію електричного поля конденсатора визначають за формулою

$$W_C = \frac{CU^2}{2}$$

Під час перезарядження обкладок конденсатора в котушці виникає струм, сила якого визначає енергію магнітного поля:

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

Енергія електричного поля конденсатора

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

де C — ємність конденсатора, U — напруга на обкладках конденсатора, а q — заряд на одній з його обкладок

Енергія магнітного поля котушки (провідника)

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

де L — індуктивність котушки (провідника), I — сила струму в ній

Лише в ідеальному випадку, коли б не було втрат енергії в коливальному контурі, максимальна енергія електричного поля конденсатора дорівнювала б максимальній енергії магнітного поля котушки зі струмом:

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \text{const}$$

У цьому разі справджувався б закон збереження електромагнітної енергії, і в будь-який момент часу сума енергій електричного і магнітного полів залишалася б сталою:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}$$

Де U і I — миттєві значення напруги і сили струму.

Із збільшенням значення активного опору контуру амплітуда коливань швидко зменшується, коливання значно швидше припиняються. Однак активний опір на частоту коливань помітно не впливає (нижче побачимо, що такий вплив все-таки є).

На практиці для визначення частоти коливань у коливальному контурі часто користуються формулою Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}};$$

де T — період коливань, ν — частота коливань, Гц, L — індуктивність, Гн; C — ємність, Ф.

У реальних контурах (із втратами енергії) період електромагнітних коливань визначається за формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$

Якщо знехтувати втратами енергії в контурі, то можна вважати, що максимальне значення енергії магнітного поля котушки дорівнює максимальному значенню енергії електричного поля конденсатора:

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \text{const}$$

Звідси можна знайти співвідношення між амплітудою сили струму й амплітудою напруги:

$$I_{\max} = \frac{U}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Вираз $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ має розмірність опору. Це і є хвильовий або характеристичний опір

Повна енергія коливального контуру, у будь-який момент часу, рівна сумі енергій магнітного і електричного полів.

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$

Гармонійні коливання – це коливання, у яких електричний заряд, а значить і сила струму, при вільних коливаннях міняються з часом за законом косинуса або синуса, тобто скоюють .

$$q = q_m \cos \omega t$$

де q_m - амплітуда коливань заряду (модуль найбільшого значення величини, що коливається)
 ω - циклічна або кругова частота.

Циклічна частота – це фізична величина, що характеризує кількість коливань за 2π секунд.

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

Період електромагнітних коливань – проміжок часу, протягом якого струм в коливальному контурі і напруга на пластинах конденсатора скоює одне повне коливання. Для гармонійних коливань $T=2\pi$ (якнайменший період косинуса).

Частота коливань - число коливань в одиницю часу - визначається так:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Циклічну частоту ми визначили як

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Рівняння коливань сили струму в колі .

$$U = U_m \cos \omega_0 t.$$

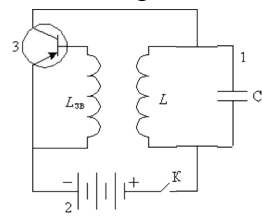
Рівняння коливань напруги в колі

$$I = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

де $\frac{\pi}{2}$ - **зсув фаз** між силою струму і зарядом (напругою).

Джерело змінної ЕРС, яке підтримує незатухаючі електромагнітні коливання у реальному контурі, називають **генератором електромагнітних коливань**.

Автоколивання – незатухаючі коливання, які підтримують у коливальній системі не за рахунок періодичного зовнішнього впливу, а в результаті здатності коливальної системи самі регулювати надходження енергії від постійного зовнішнього джерела.



Прикладом автоколивальної системи є генератор на транзисторі. До її складу входять:

- 1) - контур, який задає коливання, від індуктивності і ємності якого і буде залежати частота змінного струму генератора;
- 2) - джерело струму;
- 3) - транзистор із котушкою зворотного зв'язку.

Загальні закономірності для електромагнітних і механічних коливань.

ПРУЖИНА

$$W_p = \frac{kx^2}{2}$$

ТЯГАРЕЦЬ

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

КОНДЕНСАТОР

$$W = \frac{q_{\max}^2}{2C}$$

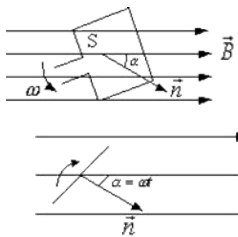
КОТУШКА

$$W_p = \frac{kx^2}{2}$$

У колах коливання під дією зовнішнього періодичного джерела струму, називаються **вимушеними коливаннями**.

Електричні кола в яких відбуваються сталі вимушені коливання під дією періодичного джерела струму, називаються **колами змінного струму**.

Вимушені електромагнітні коливання - коливання, які виникають під дією зовнішньої періодичної ЕРС.



Нехай плоска рамка площею S рівномірно обертається в магнітному полі з індукцією \vec{B} і кутовою швидкістю ω . У будь-який проміжок часу рамку пронизує магнітний потік:

$$\Phi = \vec{B}S \cos \alpha$$

де α - кут між вектором магнітної індукції “ B ” і вектором нормалі “ n ”, перпендикулярним до площини рамки; $\alpha = \omega t$, ($\omega = \frac{\alpha}{t}$). Тоді магнітний

потік, який пронизує рамку,

$$\Phi = \vec{B}S \cos \omega t$$

Змінний магнітний потік у рамці буде утворювати у ній ЕРС індукції, яка визначається законом Фарадея для електромагнітної індукції:

$$\varepsilon_i = -\Phi' = -(\vec{B}S \cos \omega t)' = (\vec{B}S \omega \sin \omega t) = \varepsilon_m \sin \omega t$$

де $\varepsilon_m = BS\omega$ - амплітудне значення ЕРС індукції,

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Якщо наведену ЕРС за допомогою кілець і щіток підвести до навантаження опором R , то на опорі виникає спад напруги, яка також змінюється за гармонічним законом:

$$u = U_{\max} \sin \omega t \text{ або } u = U_{\max} \cos \omega t .$$

Під дією прикладеної напруги через навантаження буде проходити змінний струм

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0),$$

де I_{\max} - максимальне значення струму; φ_0 - зсув за фазою між коливаннями сили струму і напруги.

Нерухому рамку називають **статором**, а постійний магніт, що в ній обертається, - **ротором**.

Магнітний потік, який пронизує рамку, змінюється за законом косинуса:

$$\Phi = B_n S = BS \cos \omega t = \Phi_0 \cos \omega t$$

За законом електромагнітної індукції, в разі зміни магнітного потоку, що пронизує контур, виникає електрорушійна сила індукції:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \Phi_0 \sin \omega t$$

В активних навантаженнях електрична (електромагнітна) енергія безповоротно перетворюється в інші види; опір таких навантажень називають **активним**

Максимальне значення сили струму визначають за формулою:

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

Величину $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ називають **повним опором (імпедансом)** кола змінного струму, а величину $X_L = \omega L$ — **індуктивним опором кола**.

Реактивні навантаження бувають індуктивними і ємнісними. Опір індуктивного навантаження

$$X_L = \omega L, \text{ а опір ємнісного — } X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Повний опір кола:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} + \omega L\right)^2}$$

Діюче значення змінного струму дорівнює такому значенню постійного струму, яке виділяє в провіднику таку саму кількість теплоти, що і змінний струм. Воно дорівнює:

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Діючим значенням змінної напруги, називають таку напругу постійного струму, яка, будучи прикладеною до активного опору, сприяє виділенню на ньому такої самої потужності, як і під час проходження змінного струму:

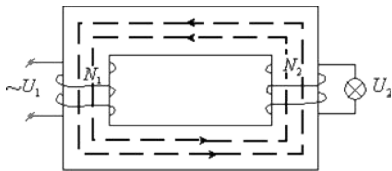
$$u = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Середня потужність відповідно буде дорівнювати:

$$p = I^2 R = \frac{I_m^2 R}{2}$$

Резонанс спостерігається в тому разі, коли частота власних коливань системи збігається з частотою зовнішньої сили.

Трансформатор — це пристрій, який здатний підвищувати, або знижувати напругу за допомогою явища електромагнітної індукції.



Одну обмотку, яку вмикають у джерело змінної напруги, називають **первинною**, другу обмотку, до якої приєднують "навантаження", що споживає енергію, називають **вторинною**.

Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Якщо активний опір дроту первинної котушки значно менший від його індуктивного опору, то прикладена напруга $U_1 = -\varepsilon_1$.

Коли коло вторинної котушки розімкнено (режим холостого ходу трансформатора), напруга U_2 на її кінцях в довільний момент часу дорівнює значенню ЕРС індукції ε_2 , взятому з протилежним знаком. Тому

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Це відношення називають коефіцієнтом трансформації k :

$$k = \frac{N_1}{N_2}$$

Якщо $k > 1$, трансформатор буде знижувальним; якщо $k < 1$ — підвищувальним.

Трансформатор перетворює змінний електричний струм так, що відношення струму до напруги приблизно однакове в первинній і вторинній обмотках.

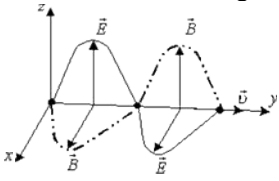
Трансформатор - це пристрій досить високої ефективності. Коефіцієнт корисної дії η багатьох з них досягає 97 %, тобто потужність, споживана первинною обмоткою, майже без втрат передається вторинній обмотці:

$$I_1 U_1 \approx I_2 U_2$$

Це забезпечується набиранням осердя із металевих пластинок, ізольованих між собою, та зменшенням унаслідок цього втрат через струми Фуко. У потужних трансформаторах використовують охолодження оливою.

Електромагнітні хвилі

Сукупність нерозривно взаємопов'язаних змінних вихрових електричного і магнітного полів називають **електромагнітним полем**.



Процес поширення змінного електромагнітного поля в просторі з плином часу називають **електромагнітною хвилею**.

Швидкість \vec{v} поширення електромагнітної хвилі у речовині визначається за формулою

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

Відстань, на яку поширюється електромагнітна хвиля за один період, тобто найкоротша відстань між таким двома точками хвилі, в яких вектор напруженості електричного поля і індукції магнітного поля в однакових фазах, називають **довжиною електромагнітної**

$$v = lv = \frac{l}{T} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

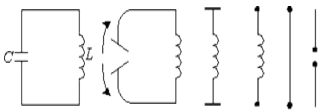
Електромагнітна хвиля заломлюється у діелектрику і відбивається від провідника, при чому кут падіння електромагнітної хвилі дорівнює куту відбивання.

Густина енергії – це фізична величина, що показує яка енергія електромагнітної хвилі припадає на одиницю об'єму простору, у якому поширюється ця електромагнітна хвиля.

$$\omega = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

Густина потоку електромагнітної хвилі – це добуток густини енергії електромагнітної хвилі на швидкість її поширення

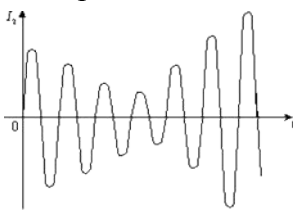
$$J = \omega \times c = \left(\frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu\mu_0} \right) \times c$$



Відкритий коливальний контур – коливальний контур, у якого обкладки конденсатора розведені на максимальну відстань, або контур забезпечений антеною.

Поверхню площею S , через яку електромагнітні хвилі переносять енергію, називають **хвильовою поверхнею**

Радіотелефонний зв'язок – це передача розмови чи музики за допомогою електромагнітних хвиль.



Модуляція - повільний процес змін у високочастотній системі, за якого система встигає здійснити багато високочастотних коливань до того, як амплітуда значно зміниться.

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виділяють низькочастотні коливання. Такий процес перетворення сигналу називають **детектуванням**

Радіолокація – це виявлення різних предметів і вимірювання відстані до них за допомогою радіохвиль.

Відстань l до предмета, що відбив радіохвилі, дорівнює:

$$l = \frac{ct}{2}$$

Телебачення – це процес передачі оптичної інформації на відстань за допомогою радіохвиль.

Зображення кадру перетворюються у серію електричних сигналів за допомогою передавальної вакуумної трубки – **іконоскопа**. Такий самий сигнал утворюється у телевізійному приймачі після детектування. Це – **відеосигнал**. Він перетворюється у видиме зображення на екрані приймальної електронної вакуумної трубки – **кінескопа**.

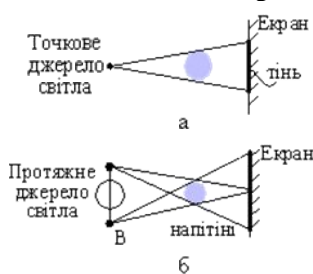
Світлові хвилі

Джерело світла – це тіло, яке випромінює світло, називають

Теплові джерела – це джерела, які світяться в результаті нагрівання.

Нетеплові – це джерела, які світяться завдяки реакціям, у яких беруть участь, наприклад, (окислення і т. д.).

Некогерентні джерела – це джерела, які випромінюють світло різних довжин хвиль, яке називають **некогерентним**.



Закон прямолінійного поширення світла: в однорідному середовищі воно поширюється рівномірно і прямолінійно.

Тінь – це область простору, у яку куди не потрапляють промені від частин поверхонь джерела світла

Напівтінь – це область простору, у яку куди частково потрапляють промені від частин поверхонь джерела світла

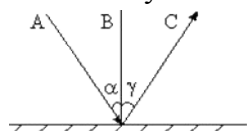
Якщо джерело світла протяжне, то утворюються також зони напівтіней, куди попадають промені від частин поверхні джерела світла.

В середовищі з діелектричною проникністю ϵ і магнітною проникністю μ , швидкість світла визначали за формулою:

$$v_{ce} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{n}$$

де c - швидкість світла у вакуумі; n - абсолютний показник заломлення в заданому середовищі.

За сучасними даними швидкість світла у вакуумі дорівнює **299792458±1,2 м/с**.



Як і будь-яка хвиля, світло, маючи на своєму шляху перешкоду, може відбитись від неї. Якщо нерівності на перешкоді є значно меншими від довжини хвилі, то відбиття буде дзеркальним. Якщо нерівності є більшими за довжину хвилі - відбиття розсіяне (дифузне).

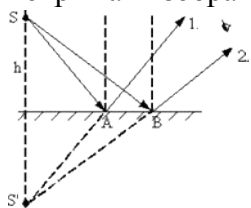
Законои відбивання світла.

- падаючий промінь відбивається і перпендикуляр, встановлений на межі розподілу двох середовищ, лежать в одній площині;
- кут падіння дорівнює куту відбиття: $\alpha = \gamma$

Площина, здатна дзеркально відбивати світлові промені, називають

плоским дзеркалом.

Головна властивість плоского дзеркала полягає в тому, що за його допомогою можна отримати зображення предмета, який або сам світиться, або світиться відбитим світлом. Для того, щоб отримати правило побудови зображень в плоскому дзеркалі, оберемо точку, що світиться поблизу дзеркала.



Якщо з точки на дзеркало (чи його продовження) поставити перпендикуляр і провести за дзеркало на таку ж відстань h , то там і буде уявне зображення точки S' .

Щоб побудувати зображення предмета, на ньому обирають декілька характерних точок і виконують побудову кожної. Можливе одержання зображення предмета, розміщеного за межами дзеркала

Геометричні розміри протяжного джерела світла і його уявного зображення в плоскому дзеркалі є однаковими.

Законои заломлення світла

- падаючий промінь, заломлений промінь і перпендикуляр у точці падіння променя лежать в одній площині.
- відношення синуса кута падіння і синуса кута заломлення є сталою величиною для розділених двох середовищ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12}$$

де v_1 - швидкість світла в першому середовищі; v_2 - швидкість світла в другому середовищі; n_{21} - відносний показник заломлення світла у другому середовищі відносно першого.



Оскільки

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; n_2 = \frac{c}{v_2}$$

де c - швидкість світла у вакуумі, то

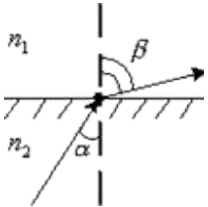
$$n_{21} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Фізичний зміст показника заломлення: відносний показник заломлення показує у скільки разів швидкість світла в одному середовищі є більшою за швидкість в другому.

Тепер закон заломлення можна записати таким чином:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \frac{v_1}{v_2}$$

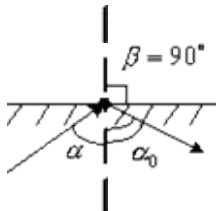
Середовище з більшим абсолютним показником заломлення називають **оптично більш густим**, а з меншим - оптично менш густим.



Якщо світло з оптично менш густого середовища переходить у більш густе, промінь буде "притискатись" до перпендикуляра ($\alpha > \beta$).

Якщо ж світло переходить із більш оптично густого середовища в менш густе, то промінь світла буде відхилятися від перпендикуляра ($\alpha < \beta$)

Закон заломлення світла дозволяє пояснити цікаве і практично важливе явище - повне відбиття світла. Якщо збільшувати кут падіння α , то досягнувши граничного значення кута α (назвемо його кутом повного внутрішнього відбиття), кут $\beta = 90^\circ$. При цьому куті падіння і більших кутах заломлений промінь вже не може проникнути в друге середовище, а відбивається - **відбувається повне внутрішнє відбиття світла**.



Якщо $\alpha = \alpha_0$, то $\beta = 90^\circ$ і $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}$, $\sin 90^\circ = 1$ $\alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}$ **граничний кут повного внутрішнього відбиття.**

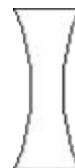
Явище повного внутрішнього відбиття легко спостерігати на простому досліді. Наллємо в склянку воду і піднімемо її дещо вище рівня очей. Поверхня води, якщо розглядати її знизу крізь склянки, здається блискучою, неначе срібною, це і буде з явищем повного внутрішнього відбивання світла.

Повне внутрішнє відбиття використовують у волоконній оптиці. Це явище зумовило революцію в передаванні інформації, широко використовується в медицині.

Лінзою називають прозоре тіло, обмежене з обох боків сферичними поверхнями (одна з поверхонь може бути плоскою).

Розрізняють такі лінзи як показано на:

- ✓ двовипукла,
- ✓ плоско-опукла,
- ✓ двоввігнута,
- ✓ плоско-ввігнута,
- ✓ опукло-ввігнута,



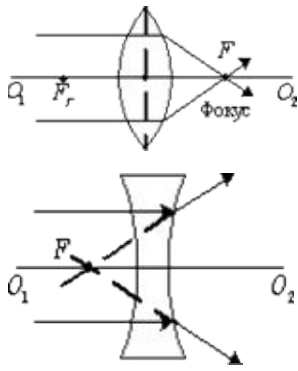
а) двовипукла

б) плоско-опукла

в) двоввігнута

г) плоско ввігнута

д) опукло вигнута



Якщо товщина лінзи значна і менша від радіуса її кривизни, то таку лінзу називають **тонкою**.

Якщо паралельний пучок променів, що падають на поверхню лінзи, лінза збирає в одній точці (фокусі), то її називають **збиральною лінзою**.

Якщо ж паралельний пучок променів, який падає на лінзу, лінза розсіює, то її називають **розсіювальною лінзою**.

Головна оптична вісь – це лінія, що проходить через центри сферичних поверхонь лінзи, а будь-яка інша пряма, яка проходить через центр лінзи - **побічною віссю**.

Головний фокус – це точка, у якій, після проходження такої лінзи паралельні промені рівномірно сходяться.

У збиральній лінзі фокус буде дійсним, а в розсіювальній - уявним.

Оптичний центр – це точка, яка лежить на головній оптичній осі в центрі лінзи.

Дві площини, паралельні головній площині з обох боків лінзи, які проходять через фокуси, називають **фокальними площинами**.

Точки перетину побічних осей з ними називають **побічними фокусами**

У цих точках збігаються паралельні промені (для розсіювальних лінз - їх продовження після проходження лінзи), що утворюють паралельний до даної побічної осі пучок променів.

Відстань від фокуса до оптичного центра називають **фокусною відстанню лінзи (F)**.

Фокусна відстань збиральної лінзи є додатною, а розсіювальної - від'ємною.

Величину, обернену до фокусної відстані, називають **оптичною силою лінзи D**.

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

У системі СІ оптичну силу лінзи вимірюють в **діоптріях**;

$$[D] = 1/\text{м} = 1 \text{ дптр.}$$

Оптична сила лінзи дорівнює одній діоптрії, якщо її фокусна відстань дорівнює одному метру.

Головна цінність лінзи полягає в тому, що а її допомогою можна отримати зображення предметів, які можуть світитись самі чи світяться відбитим світлом.

Якщо d - відстань від предмета до лінзи, то f - відстань від лінзи до зображення на екрані, F - фокусна відстань, то розміщення предмета і його зображення можна визначити за формулою тонкої лінзи:

$$\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm D'$$

Користуючись формулою слід враховувати правило знаків:

- ✓ якщо лінза розсіювальна, то величину F беруть зі знаком "-".
- ✓ якщо лінза дає уявне зображення, то і f також беруть з "-".
- ✓ якщо предмет уявний, то і d беруть зі знаком "-".

Якщо h - висота предмета, а H - висота зображення, то можна знайти **збільшення лінзи**:

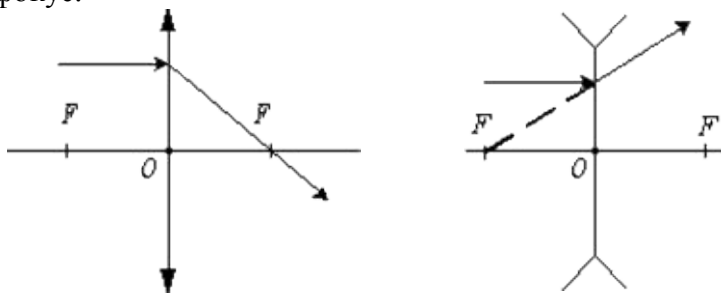
$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

Якщо оптична система складається із декількох (D_1, D_2, \dots, D_n) лінз, розміщених близько одна до одної, то справедливою є така формула:

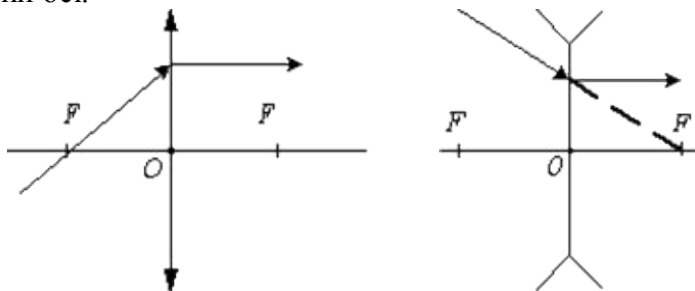
$$D_{\text{системи}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n$$

Хід зручних променів:

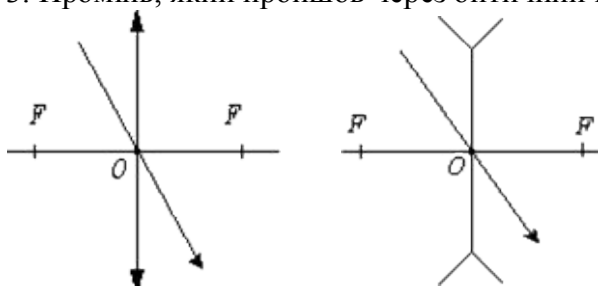
1. Промінь, який упав на лінзу паралельно головній оптичній осі, заломившись пройде через фокус.



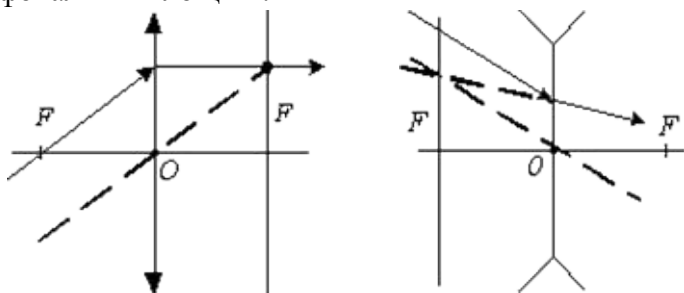
2. Промінь, який упав на лінзу через фокус, заломившись пройде паралельно головній оптичній осі.



3. Промінь, який пройшов через оптичний центр, не заломлюється.



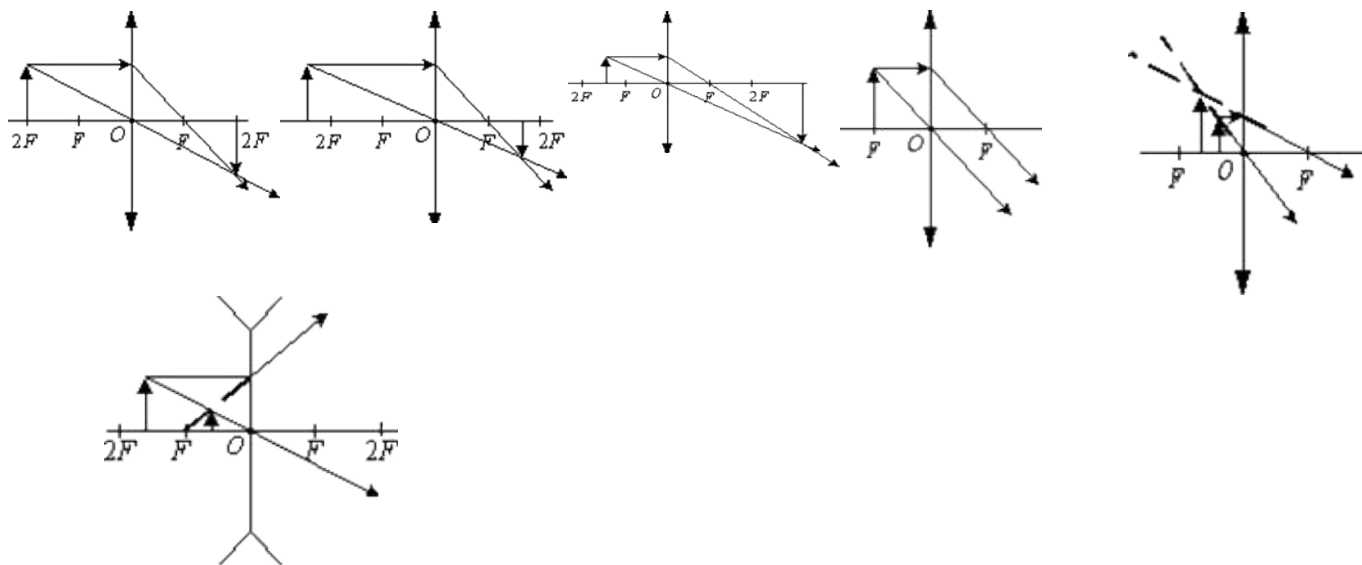
4. Промінь, який падає на лінзу паралельно побічній осі, після заломлення перетнеться з нею в фокальній площині.



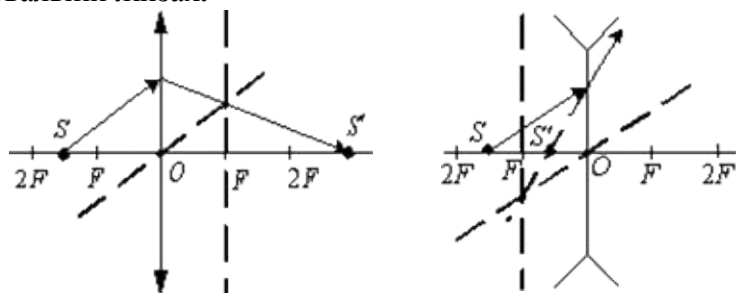
Побудова зображення у збиральній лінзі.

- Якщо предмет розміщений на відстані $d = 2F$, то його зображення буде дорівнювати за висотою предмету, буде перевернутим і дійсним, знаходитиметься в точці $2F$ по інший бік від лінзи.
- Якщо предмет знаходиться на відстані $d > 2F$, зображення буде зменшеним, перевернутим, дійсним, знаходитиметься в точці між $2F$ і F на іншому боці від лінзи.
- Якщо предмет знаходиться між $2F$ і F , зображення буде перевернутим, збільшеним, дійсним, знаходитиметься за $2F$ по інший бік від лінзи.
- Якщо предмет знаходиться на відстані $d = F$, промені виходитимуть з лінзи паралельно до променя, що проходить через оптичний центр, і зображення не буде.
- Якщо предмет знаходиться між фокусом F і оптичним центром лінзи, зображення буде прямим, уявним, збільшеним і знаходитиметься по той же бік від лінзи, що і предмет.

Побудова зображення в розсіювальній лінзі. Принцип побудови завжди однаковий: така лінза робить зображення зменшеним, прямим і уявним, зображення буде знаходитися по той самий бік, що і предмет.

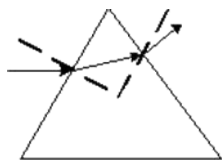


Побудова зображення точки, що знаходиться на головній оптичній осі в збиральній і розсіювальній лінзах.



S - точка, яка світиться, S' - її зображення.

Таке зображення можна побудувати, якщо показник заломлення лінзи є більшим від показника заломлення середовища, в якому поширюються світлові хвилі. Інакше, якщо середовище є оптично гущіше від матеріалу лінзи, то збиральна лінза стане розсіювальною, і, навпаки, двогнута - збиральною. Якщо, наприклад, у склі є опукла повітряна порожнина, то вона відіграє роль розсіювальної лінзи. Якщо повітряна порожнина двогнута, то вона діє як збиральна лінза.

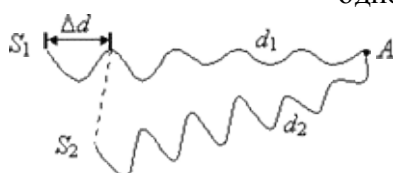
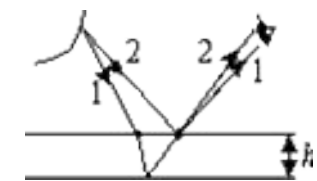


Пояснюється це тим, що, наприклад, двоопуклу лінзу можна схематично уявити як сукупність призм. Якщо середовище, що оточує лінзу, є оптично гущішим від матеріалу лінзи, то лінза буде розсіювальною, оскільки світлові промені відхиляються від основ призм.

Інтерференція — додавання двох світлових хвиль у просторі, внаслідок чого спостерігається стійка в часі картина підсилення або послаблення результуючих світлових коливань у різних точках простору.

Зони підсилення називають **зонами максимумів**, зони послаблення - **мінімумів**.

Оскільки світло - це електромагнітна хвиля, тому, якщо в просторі одночасно поширюються дві чи більше хвилі, то в кожній точці (зокрема і в точці A) хвилі будуть накладатись одна на одну, утворюючи інтерференційну картину. Вона складатиметься із повторюваних мінімумів (min) і максимумів (max) освітленості.



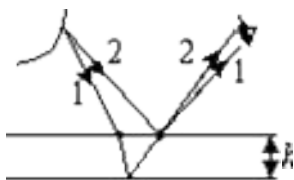
Умова максимуму для інтерференції

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

Умова мінімуму для інтерференції

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

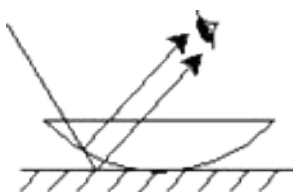
де $k = 1, 2, 3, \dots, n$ (ціле число); l - довжина хвилі.



Цікавий випадок інтерференції спостерігав Юнг на початку XIX століття, розглядаючи у відбитому світлі **тонкі плівки**.

Одна частина світлового потоку відбивається від верхньої поверхні плівки, а друга - після заломлення від нижньої. Після цього обидва промені збігаються в оці спостерігача. При цьому виникає різниця ходу, що дорівнює подвоєній товщині плівки $\Delta d = 2h$. У результаті цього і виникає інтерференційна картина. Якщо освітлюється плівка одним кольором, спостерігається чергування чорних і білих смуг, а якщо білим, то зазвичай кольори веселки.

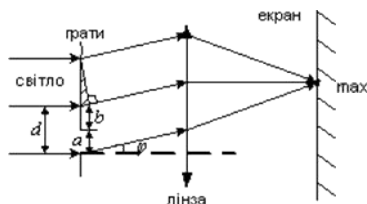
Інтерференцією світла в тонких плівках пояснюється забарвлення мильних бульбашок і тонких плям оливи на воді, хоча розчин мила й олива не мають такої гами кольорів.



Ще один випадок явища інтерференції світла спостерігав Ньютон, коли на плоскопаралельну пластину накладали лінзу, що мала великий радіус кривизни ($R \approx 13$ м). У результаті між пластинкою і лінзою утворився повітряний клин, на якому і спостерігається інтерференційна картина, яка має форму кільця - **кільця Ньютона**. Якщо відомий радіус кільця r , радіус кривизни лінзи R і швидкість світла, то можна визначити довжину хвилі. Виявилось, що $l_{\text{ч}} \approx 8 \cdot 10^{-7}$ м; $l_{\text{ф}} \approx 4 \cdot 10^{-7}$ м, інші кольори мають значення у цих границях.

Дифракція – це явище огинання хвилями країв перешкод властива будь-якому хвильовому руху.

Принцип Гюйгенса-Френеля: дифракція виникає внаслідок інтерференції вторинних хвиль.



Особливо чітку дифракційну картину утворюють дифракційна ґратка.

Дифракційна ґратка - це сукупність дуже вузьких щілин, розділених непрозорими проміжками.

Якщо a - ширина прозорої частини, а b - непрозорої, то:

$$d = a + b = \frac{l}{N},$$

де l - ширина ґратки; N - кількість щілин.

Спрямуємо на ґрати паралельний пучок променів. Кожна точка щілини буде відхиляти промені у всіх напрямках, зокрема, і під кутом φ від початкового напрямку. Якщо ці промені зібрати на екрані, наприклад, за допомогою збиральної лінзи, то можна отримати підсилення чи послаблення світла - дифракційний максимум чи мінімум освітленості.

Із заштрихованого трикутника отримаємо різницю ходу:

$$\Delta d = d \cdot \sin \varphi$$

Якщо в цю різницю ходу вкладеться ціла кількість довжин хвиль, то на екрані спостерігатиметься дифракційний максимум, а якщо непарна кількість півхвиль, - мінімум.

Таким чином, $\Delta d = k\lambda$, а також $\Delta d = d \sin \varphi$, то для умови максимуму дифракційної ґратки, отримаємо:

$$d \sin \varphi = k\lambda$$

де $k = 1, 2, 3, \dots, n$ (ціле число), l - довжина падаючої світлової хвилі.

Внаслідок дифракції на дифракційних ґратках білого світла всі головні максимуми, крім центрального нульового максимуму, будуть забарвленими. Зі збільшенням довжини хвилі головні максимуми всередині розміщуються під великими кутами від центрального.

Райдужна смужка, що містить сім кольорів - від фіолетового до червоного (підрахунок ведеться від центрального максимуму), називають **дифракційним спектром**.

Якщо відомо період ґратки d , і виміряно кут φ , під яким спостерігається максимум і порядок спектра k , тоді можна визначити довжину світлової хвилі:

$$\lambda = \frac{d}{k} \sin \varphi$$

Вона дорівнює: $l_{\text{ч}} \approx 8 \cdot 10^{-7}$ м; $l_{\text{ф}} \approx 4 \cdot 10^{-7}$ м.

Інші кольори мають проміжні значення.

Явище хвильової оптики, в якому проявляється поперечні світлові хвилі, називають **поляризацією світла**.

Світлову хвилю називають **плоскополяризованою**, якщо вектори напруженості електричного поля \vec{E} магнітної індукції \vec{B} в цій електромагнітній хвилі коливаються в певній площині.

Якщо світло випромінюють розріджені гази, то атоми газу знаходяться так далеко один від одного, що не чинять ніякого впливу на випромінювання сусідніх атомів, і у спектрі такого джерела будуть спостерігатись лише певні лінії. Цей спектр називають **лінійчатим спектром**.

Якщо світло випромінюють тверді тіла, рідини чи дуже сильно стиснені гази, то на випромінювання кожного з атомів суттєво впливають сусідні атоми. Унаслідок цього можна спостерігати розмивання ліній в спектрі випромінювання і плавний перехід від одного кольору до іншого. Так виглядає **суцільний спектр**.

Лінійчатий спектр кожного хімічного елемента є індивідуальним.

Прилади, які використовують для спектрального аналізу, називають **спектрографами**.

Спектральний аналіз має низку переваг і є одним із найбільш чутливих методів дослідження речовин:

- ✓ сама речовина не потрібна, потрібне лише випромінювання від неї.
- ✓ для проведення досліду потребує дуже мало часу;
- ✓ для досліду потрібна дуже мала маса речовини..

Ультрафіолетові промені використовують для знезаражування приміщень у лікарнях, стимуляції хімічних реакцій, утворення потрібних генних мутацій та ін. Поверхня Землі захищена від шкідливих складових ультрафіолетових променів Сонця озоновим шаром (O_3). Його збереження - це одна з важливих екологічних проблем.

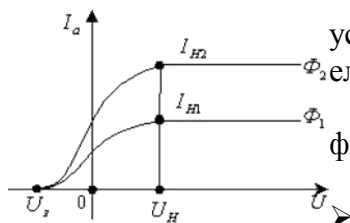
Рентгенівське проміння отримують під час гальмування електронів, які прискорюються напругою в десятки кіловольтів. На відміну від світлового проміння видимого спектра й ультрафіолетового проміння, воно має значно меншу довжину хвиль. Причому довжина хвилі рентгенівського проміння є тим меншою, чим більша енергія електронів, які бомбардують перешкоду.

Квантова фізика

Фотоефектом називають явище виривання електронів із речовини під дією світла.

Розрізняють:

- ✓ **зовнішній фотоефект** - явище вибивання електронів з поверхні тіла під дією електромагнітного випромінювання;
- ✓ **внутрішній фотоефект** - явище збільшення електропровідності напівпровідника або діелектрика за рахунок електронів, вирваних з молекул або атомів під дією світла;
- ✓ **вентильний фотоефект** - збудження ЕРС на межі метал-напівпровідник чи на межі різнорідних напівпровідників.



Кількісні закономірності зовнішнього фотоефекту Столетов установив, використовуючи вакуумний скляний балон з двома електродами.

На цій установці отримано вольт-амперні характеристики фотоефекту за різних значень світлового потоку.

Із вольт-амперних характеристик видно, що:

- якщо немає напруги між електродами значення фотоструму відмінне від нуля. (Це означає, що фотоелектрони мають під час вильоту кінетичну енергію);
- у разі досягнення між електродами деякої прискорювальної напруги U_H фотострум перестає залежати від напруги, тобто його значення досягає насичення I_{H1}, I_{H2} ;
- за деякої затримуючої напруги (на електрод A подано мінус від джерела струму) фотострум припиняється;
- значення затримуючої напруги не залежить від світлового потоку Φ .

Із вольт-амперних характеристик можна визначити кількість фотоелектронів, що вилітають із електрода K за 1 с. адже

$$I_H = \frac{Q_{\max}}{t}$$

(Q_{\max} - максимальний заряд, що переноситься фотоелектронами). Оскільки $Q_{\max} = N_e e$, то $I_H \sim N_e$.

Вимірюючи затримуючу напругу, можна знайти максимальне значення кінетичної енергії електронів, що вириваються світлом із катода:

$$\frac{m v_{\max}^2}{2} = eU$$

Закони зовнішнього фотоефекту:

- кількість електронів, вирваних світлом з поверхні металу прямопропорційна падаючому світловому потоку;
- максимальна кінетична енергія фотоелектронів зростає лінійно з частотою світла і не залежить від його інтенсивності;
- для кожної речовини існує червона межа фотоефекту (поріг фотоефекту) - така найменша частота ν_{\min} (чи найбільша довжина світлової хвилі λ_{\max}), за якої ще можливий фотоефект. Якщо $\nu \leq \nu_{\min}$ чи $\lambda \geq \lambda_{\max}$, то фотоефект не існує;
- фотоефект є безінерційним і виліт фотоелектронів починається з моменту освітлення катода.

Лише перший закон зовнішнього фотоефекту можна було пояснити на основі класичної електромагнітної хвильової теорії.

Рівняння Ейнштейна для фотоефекту

$$h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{m v^2}{2}$$

Енергія кванта має бути більшою ніж $A_{\text{вих}}$ ($h\nu \geq A$)

Червона межа фотоефекту - це мінімальна частота (ν), з якої речовини починається фотоефект:

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вих}}}{h}$$

Завдяки відкриттю фотоелектричного ефекту стало можливим:

- звукове кіно;
- створення різноманітних апаратів, які сліdkують за освітленістю вулиць, своєчасно запалюють і гасять бакени на річках, працюють "контролерами" в метро, рахують готову продукцію, контролюють якість обробки деталей;
- перетворення світлової енергії в електричну за допомогою фотоелементів.

Намагаючись подолати труднощі класичної фізики щодо пояснення випромінювання нагрітого твердого тіла німецький фізик Макс Планк 1900 року висловив таку гіпотезу: запас енергії коливальної системи, яка знаходиться у рівновазі з електромагнітним випромінюванням, не може набувати довільних значень. Мінімальну кількість енергії, яку система може поглинати або випромінювати, називають квантом енергії, вона пропорційна частоті коливань ν :

$$E = h\nu$$

де ν - частота коливань електромагнітного випромінювання;

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - стала Планка. Її ще називають квантом дії.

Пропускаючи і поглинаючи енергію світло поводить себе як потік частинок з енергією

$$E = h\nu$$

Порція світла випадково почала бути схожою на те, що називають частинкою.

Властивості світла, які виявляються під час поглинання і випромінювання, називають **корпускулярними**, а саму світлову частинку - **фотоном** чи квантом електромагнітного випромінювання.

Енергію фотона можна також виразити через циклічну частоту коливань ω :

$$E = h\nu = \omega \hbar \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

\hbar - зведена стала Планка.

Відповідно до теорії відносності енергія завжди пов'язана з масою відношенням

$$E = mc^2$$

Прирівнявши обидва рівняння для енергії фотона отримаємо

$$h\nu = mc^2 \rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$$

m - маса фотона

Імпульс фотона:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Імпульс фотона направлений вздовж променя світла. Фотон має імпульс і якщо на його шляху виникає перешкода, він передає його їй.

За сучасними уявленнями світло випромінюється і поглинається порціями, а тому і поширюється порціями. Фотон зберігає свою індивідуальність протягом всього свого існування. Водночас світлу властиві явища інтерференції, дифракції, поляризації та інші хвильові властивості. Ці факти дозволили зробити припущення, що світлу властивий **дуалізм** (подвійність). Під час поширення світло виявляє електромагнітні властивості, а під час поглинання - корпускулярні.

Корпускулярно-хвильовий дуалізм - це загальна властивість матерії, що виявляється особливо на мікроскопічному рівні. Тому мікрочастинці (електрона, протона, нейтрона тощо) з імпульсом

$$p = mc$$

відповідає хвиля завдовжки:

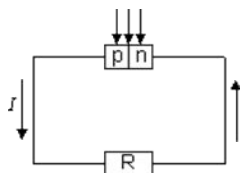
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu}$$

Такі хвилі називають **хвилями де Бойля**. Для них характерні явища інтерференції та дифракції, але вони не мають електромагнітної природи. Зміст корпускулярно-хвильового дуалізму світла полягає в тому, що світло має складну природу, яка залежно від умов досліду лише наближено можна описати із застосуванням звичних для нас уявлень про хвилі та частинки,

так, в явищі фотоефекту світло взаємодіє з речовиною як потік дискретних частинок (фотонів), а під час проходження крізь вузькі отвори в перешкодах він поводить себе як хвиля (дифракція). Зі зростанням частоти корпускулярні властивості фотонів виявляються дедалі сильніше. Якщо для низькочастотного випромінювання або радіохвиль більш характерні хвильові властивості, то високочастотне випромінювання поводить себе здебільшого як потік частинок. Один із яскравих прикладів виявлення корпускулярних властивостей світла - тиск світла на різні тіла. На основі електромагнітної теорії світла Максвел передбачив існування тиску світла ще до того, як це явище було виявлено експериментально. Світлові хвилі створюють тиск на перешкоду, з якою вони зіштовхуються, оскільки примушують електрони впорядковано рухатися в тілі. На них з боку магнітного поля світлової хвилі діє сила Лоренца, яка за правилом лівої руки напрямлена в бік поширення хвилі. Ця сила мала, тому навіть у сонячний день світло створює тиск.

Промисловість виготовляє фотоелементи двох типів - вакуумні та напівпровідникові.

1. Вакуумні фотоелементи із зовнішнім фотоефектом. Дно невеликої скляної колби з глибоким вакуумом покривають цезієм і приєднують до "-" батареї. У центрі колби знаходиться металеве кільце, яке з'єднують із затискачем "+" батареї. Унаслідок освітлення приладу світлом із цезію вириваються електрони і летять до металевого кільця. У результаті в центрі фотоелемента виникає струм.

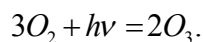


2. Напівпровідникові фотоелементи з внутрішнім фотоелементом: фотоопори, фотодіоди, сонячні батареї та ін. Це напівпровідники із власною чи домішковою провідністю. У сонячних батареях створюють $p-n$ - перехід, доступний для світла. Під час освітлення фотоелемента змінюється концентрація вільних носіїв зарядів, а з нею і струм. Якщо в сонячній батареї світло потрапить в $n-p$ - перехід, то між p і n ділянками виникає напруга.

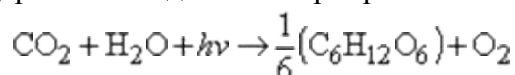
Найважливіше значення фотоефекту полягає в тому, що його відкриття і дослідження стали експериментальною основою квантової теорії.

Поглинання світла речовиною супроводжується також хімічною дією світла.

Хімічна дія світла виявляється в тому, що світло викликає такі хімічні перетворення, які без світла не відбуваються. Хімічні реакції, що перебігають внаслідок дії світла, називають фотохімічними. Наприклад, під дією ультрафіолетового випромінювання з молекул кисню утворюються молекули озону:



Найважливішою фотохімічною реакцією є **фотосинтез** - процес утворення під дією світла вуглеводнів із виділенням кисню у рослинах і деяких мікроорганізмах:



Завдяки фотосинтезу на Землі зберігається неперервний кругообіг Карбону і підтримується життя.

Учені встановили, що фотосинтез хлорофілу, що міститься у рослинах, під дією червоних променів спектра сонячного світла. Приєднуючи до вуглеводневого ланцюга атоми інших елементів, одержуваних із ґрунту, рослини будують молекули вуглеводнів, жирів і білків, створюючи їжу для людини і тварин.

Хімічну дію світла покладено в основу фотографії. Основу фотографії становить фотохімічна реакція розкладу бромистого срібла.

Квантова механіка

Французький фізик Луї де Бройль застосував корпускулярно-хвильову трактовку и до частинок речовини: оскільки світло визначає корпускулярні властивості, то і частинки речовини повинні визначати хвильові властивості. Використовуючи для світла вже прийняті корпускулярні та хвильові уявлення, а також пов'язуюче їх квантове правило, де Бройль аналогічним чином виразив довжину хвилі через характеристики частинки.

Для світла корпускулярне точка зору визначає енергію та імпульс відповідно рівняннями:

$$E = mc^2; p = mc$$

Квантове правило для вираження енергії дає формулу:

$$E = h\nu$$

Хвильова точка зору для довжини хвилі дає вираз:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

з цих співвідношень витікає, що

$$p = mc = \frac{mc^2}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

той же самий вираз виражає довжину хвилі частинки речовини:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu}$$

Вводячи в правило квантування кількості руху (імпульсу) електрона

$$m_0\nu r = \frac{nh}{2\pi}$$

імпульс електрона, виражений через довжину хвилі, одержимо співвідношення

$$m\lambda = 2\pi r$$

з нього слідує, що на довжині дозвеної, стаціонарної орбіти електрона повинно вкладатися ціле число довжин хвиль. Таким чином. Вимога існування дозволених орбіт, формально введено постулатом Н. Бора, набуває чіткий фізичний зміст: **дозволені орбіти – це орбіти, які допускають утворення на них існуючих хвиль електрона.**

Для прямолінійного руху де Бройль запропонував вираз, який складено по аналогії плоскої світлової хвилі в комплексній формі:

$$\psi = \psi_0 e^{i(\omega t - \frac{x}{\lambda})}$$

де $\lambda = \frac{h}{p}$, x – координата, t – час, ψ_0 – максимальна амплітуда хвилі.

Хвилі, що описані рівнянням

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu}, \quad \psi = \psi_0 e^{i(\omega t - \frac{x}{\lambda})} \quad \text{називаються хвилі де Бройля.}$$
 Таким чином, **хвилі де Бройля – це біжучі хвилі для вільно рухомих електронів, пов'язаний між собою в атомах.**

Хвилі де Бройля не є хвилями рухомої речовини, їх інтерпретація не має аналога в класичній фізиці.

Припущення де Бройля про існування хвильових властивостей частинок речовини має загальний характер: хвильові властивості повинен мати кожен електрон, протон, нейтрон, атом, молекула, будь-який рухомий об'єкт. Однак об'єкти, що мають великі маси і рухаються із звичайними швидкостями, будуть мати, відповідно до формули

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu},$$

на стільки малу довжину хвилі, в порівнянні з розмірами самих об'єктів, що явищами інтерференції та дифракції для них можна повністю знехтувати. Хвильові властивості світла проявляються у випадках, коли довжина хвилі порівняно така ж сама з розмірами тіл, з якими взаємодіє світло. Довжини хвиль електронів у звичайних умовах мають порядок атомних розмірів, а значить, для них характерні ефекти, що спостерігаються для рентгенівських променів. Для таких малих довжин можна спостерігати дифракцію на атомних кристалічних ґратках.

Існування хвильових властивостей речовини було помічено при спостереженні дифракції пучків частинок. Чіткі картини інтерференції та дифракції лають пучки електронів, що мають майже однакові імпульси. Ці картини дуже схожі на аналогічні оптичні картини інтерференції та дифракції.

Змінюючи величину імпульсу електронів та змінюючи довжину хвилі, що спостерігається у дифракційних картинах, можна одержати співвідношення між цими величинами. Воно виявилось рівним відомому співвідношенню $\lambda = \frac{h}{p}$. Це співвідношення де

Бройля справедливе для будь-якого виду частинок. Однак для великих енергій частинок необхідно враховувати релятивістські поправки.

Хвильові властивості частинок визначені при спостереженні картини дифракції пучка електронів у кристалах. Визначаючи кути розсіювання і використовуючи співвідношення Брегга, можна визначити довжину хвилі електрона. При цьому, знаючи величину потенціалу, використаного для прискорення пучка електронів, можна розрахувати їх швидкість, а потім, використовуючи співвідношення де Бройля, одержати незалежне значення довжини хвилі електрона. Визначене таким чином значення довжини хвилі електрона повністю співпадає з величиною довжини хвилі, знайденої для дифракційної картини.

Хвильові властивості електронів були також визначені в дослідах з потоком електронів при великій швидкості, який пропускався через тонку металеву фольгу на фотографічну пластинку. Після проявки фотопластинки на ній замість одної плями було видно дифракційну картину з кільцець різної інтенсивності, схожа на картину, що одержана при дифракції рентгенівських променів у кристалах. Однак ця дифракційна картина була зумовлена не рентгенівськими променями, які могли виникати при співударяннями швидких електронів з металом, тому що накладання магнітного поля визвало зміщення дифракційної картини, підтверджуючим наявність потоку заряджених частинок.

У теперішній час хвильові властивості електронів добре вивчені і широко використовуються у сучасних електронних мікроскопах і електроннографах для вивчення структури кристалічних тіл.

Нагромадженні багато численні дослідні дані по фотоефекту, атомним спектрам, хвильовій природі електронів

показали неспроможність класичної механіки описати властивості електронів. Виникла необхідність у принципово новому підході до цього питання. Це слугувало створенню **квантової механіки**.

У квантовій механіці, що враховує хвильові властивості частинок речовини, описання стані частинок і описання їх руху принципово відрізняється від прийнятого способу у класичній фізиці.

У класичній механіці описання стану частинок задається значенням координат та швидкості частинки у деякий момент часу. В квантовій механіці описання стану частинки задається вірогідністю знаходження її у певний момент часу у певній області простору. Хвильові властивості будь-якого рухомого об'єкта в квантовій механіці характеризується **хвильовою функцією** або **пси-функцією**, що залежить від чотирьох змінних – трьох координат та часу:

$\psi(x, y, z, t)$. **Пси-функцією ψ називають функцією Шредингера**, на честь австрійського фізика Е. Шредингера., який створив у 1926 році праці в області квантової

механіки. Квантова механіка виникла на підставі узагальнення оптико-хвильової аналогії між поширенням світла та рухам частинок. Вона відноситься до старої класичної механіки, як хвильова оптика до геометричної. Шредингер розробив загальний метод знаходження хвильових функцій і метод розв'язку квантових задач для будь-якого виду частинок у заданому потенціальному полі. За своїм значенням у квантовій механіці рівняння Шредингера аналогічно основному закону класичної механіки – другому закону Ньютона. Рівняння Шредингера дає можливість розв'язувати задачі, пов'язані з рухом мікротіл, також, як другий закон Ньютона – описувати рух макротіл.

Закони квантової механіки виражаються у складній математичній формі. Розв'язок рівняння Шредингера для руху певної частинки дає ψ -функцію, яка є основною характеристикою стану цієї частинки в квантовій механіці.

У відмінності від класичної механіки, в якій поширення хвилі пов'язано з рухом у реальному середовищі, у квантовій механіці хвилі не можна розглядати як фізичну реальність, так як ψ -функція має комплексний характер. Однак квадрат модуля ψ -функції — $|\psi|^2$ є реальним числом, що має фізичний зміст: **величина $|\psi|^2$ визначає вірогідність знаходження частинки в даній певній точці простору і називається густиною вірогідності**. Вірогідність $\Delta\omega$ того, що частинка, яка характеризується хвильовою функцією, знаходиться у елементі об'єму ΔV , виражається залежністю:

$$\Delta\omega = |\psi|^2 \Delta V$$

$\Delta\omega$ – вірогідність що частинка знаходиться у елементі об'єму ΔV ;

ψ – хвильова функція;

ΔV – елемент об'єму

Розв'язок рівняння Шредингера для електронів у атомах, молекулах і твердих тілах показало, що електрони, що знаходяться у зв'язаному стані можуть мати дискретні значення енергії. (перший принцип квантування)

ψ -функція відмінна від нуля у цілій області простору, а значить частинку можна визначити у будь-якій точці цієї області. В певний момент часу частинці не можна приписати точне положення в просторі. Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрооб'єктів не дозволяє характеризувати одночасно їх положенням у просторі та швидкістю руху (або імпульсом). Математично другий принцип квантування виражається нерівністю, відомою під назвою **співвідношення невизначеностей: добуток невизначеностей у значенні координати Δx на невизначеність у значенні відповідної компоненту імпульсу Δp_x не може бути величиною меншою за сталу Планка h :**

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$$

Це співвідношення вперше було встановлено німецьким фізиком В. Гейзенбергом. Співвідношення невизначеностей справедливо для будь-якого руху, як у мікро-, так і у макросвіті однак для макроскопічного руху воно практично не велике.

Співвідношення, подібним $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$, пов'язані інші характеристики мікрооб'єктів. Якщо частинка деякий час t знаходиться у енергетичному стані, що характеризується енергією E , то величини E і t можуть бути задані з точністю, яка визначається співвідношенням:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h$$

ΔE і Δt — невизначеності у значенні енергії та часу.

Із $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ слідує: **чим точніше виміряна одна величина, тим з меншою точністю можна передбачити результат вимірювання іншої величини.**

Універсальних характер співвідношення невизначеностей привів Н. Бора до створення **принципу додатковості: будь-яке використання класичних уявлень приводить до відмови від**

використання інших класичних уявлень у різних аспектах однаково потрібних для пояснення явищ.

У квантовій механіці енергія електрона у атомі водню визначається таким же виразом, як і у теорії Бора

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

що дає можливість пояснити природу спектральних серій. Переваги квантової механіки в тому, що вона дає можливість зрозуміти причини різних інтенсивностей спектральних ліній, пояснити зміни в спектрах, що виникають при дії магнітного та електричного полів на атом. У квантовій механіці розв'язок задачі про рух електрона в атомі складається з декількох етапів:

1. визначення можливих значень енергії електрона;
2. знаходження ψ -функції, є розв'язком рівняння Шредингера при відповідному значенні енергії;
3. визначення вірогідності знаходження електрона по квадрату модуля ψ -функції у різних ділянках простору

Величина різних можливих значень енергії визначається, як у теорії Бора, головним квантовим числом **n**:

$$E = -\frac{2\pi^2 mZ^2 e^2}{h^2} \times \frac{1}{n^2}$$

Хвильова функція, що відповідає кожному значенню із можливих значень енергії, залежить від головного квантового числа **n** і від цілих чисел **l** і **m**, пов'язаних з головним квантовим числом. Ці квантові числа мають важливий фізичний зміст,

l – азимутальне квантове число;

m – магнітне квантове число.

Ці числа визначають вид ψ -функції, тобто просторову вірогідність розподілу електрона. З ним пов'язані такі механічні величини, що характеризують рух електрона.

Азимутальне квантове число визначає абсолютну величину орбітального моменту кількості руху електрона. В теорії Бора момент кількості руху електрона при русі по коловій орбіті визначається головним квантовим числом

$$m_0 v r = n \frac{h}{2\pi}$$

В квантовій механіці момент кількості руху електрона **L** за абсолютною величиною визначається азимутальним квантовим числом **l**:

$$L = \sqrt{l \times (l+1)} \times \frac{h}{2\pi}$$

Значення, які може набувати азимутальне квантове число, визначаються головним квантовим числом: *при значенні квантового числа n, азимутальне число може набувати значень l=0,1,2,.....,n-1.*

В залежності від яких момент кількості руху може набувати ряд значень, від найменшого до максимального:

$$L = \sqrt{n \times (n-1)} \frac{h}{2\pi} \text{ при } l = (n-1)$$

Момент кількості руху є вектором. Він створює з радіус-вектором і вектором правогвинтової системи. Повністю визначеним можна вважати вектор, коли задана його абсолютна величина та напрямок. Магнітне квантове число визначає величину проекції вектора

орбітального моменту кількості руху на координатну вісь Z , цим повністю визначаючи вектор моменту кількості руху електрона:

$$L_z = m \frac{h}{2\pi}$$

при чому магнітне квантове число при заданому l може набувати значень

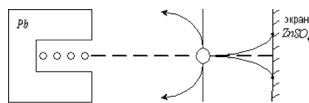
$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm l$$

таким чином, кожному значенню енергії електрона, що визначається головним квантовим числом, відповідає декілька можливих значень моменту кількості руху електрона по орбіті.

Атомна фізика

У процесі створення теорії будови атома, яка пояснила атомні спектри, відкрито нові закони руху мікрочастинок - закони квантової механіки.

Томсон запропонував модель атома, згідно якою атом є зарядженою кулею радіусом $R \approx 10^{-8}$ см, всередині якої знаходяться електрони.



Резерфорд 1906 року запропонував модель, згідно з якою будова атома дуже схожа на будову сонячної системи. Щоб перевірити правильність своєї теорії, він провів низку дослідів, які називають дослідями Резерфорда. Він зондував атоми золота швидкорухомими ядрами гелію (а частинками).

Узагальнивши результати дослідів, Резерфорд зробив висновки:

- ✓ в цілому атом порожній. Майже вся його маса сконцентрована в ядрі діаметром $d \sim 10^{-15}$ м.
- ✓ ядро несе в собі заряд q^+ , величина якого за модулем дорівнює заряду електрона, помноженому на порядковий номер цього елемента в таблиці Менделєєва.
- ✓ оскільки атом електрично нейтральний, то позитивний заряд ядра компенсує заряд електронів, які мають рухатись навколо ядра, подібно до планет навколо Сонця. Кількість електронів дорівнює порядковому номеру елемента в таблиці Менделєєва. Таку модель атома Резерфорд назвав **планетарною моделлю атома**.

У 1913 році датський фізик Нільс Бор, розвиваючи далі квантові уявлення про процеси в природі. Він сформулював у вигляді постулатів основні положення нової теорії. Причому він не відкидав беззапечно й класичні закони фізики. Нові постулати скоріше накладали лише деякі обмеження на рухи, їх допускала класична фізика.

Нільс Бор створив теорію атома на основі таких постулатів:

1. Атомна система може перебувати тільки в особливих стаціонарних, або квантових станах, кожному з яких відповідає певна енергія E_n . У стаціонарному стані атом енергію не випромінює.
2. Перехід атома з одного стаціонарного стану в інший супроводжується випромінюванням чи поглинанням фотонів, енергію яких $h\nu$ визначають за формулою

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$

де k і n - цілі числа (номери стаціонарних станів), якщо $E_k > E_n$ фотон з частотою ν_{kn} випромінюється, якщо $E_k < E_n$ - поглинається.

Звідси випливає, що частота випромінювання:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}$$

Коли атом вбирає світло, то він переходить із стаціонарного стану з меншою енергією в стаціонарний стан з більшою енергією.

Свої постулати для розрахунку найпростішої атомної системи — атома водню.

Основне завдання полягало в тому, щоб знайти частоту випромінюваних воднем електромагнітних хвиль. Ці частоти можна знайти за другим постулатом Н.Бора, якщо використовувати метод визначення стаціонарних значень енергії атома. Це правило знову довелося Н.Бору постулювати.

Енергія і радіуси стаціонарних станів.

Бор розглядав найпростіші колові орбіти. Потенціальна енергія взаємодії електрона з ядром дорівнює:

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

першим постулатом Бора енергія може мати лише певні значення. Тому відповідно до $E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$ і радіуси орбіт в атомі водню не можуть бути довільними. Правило квантування бора встановлює відповідно можливі значення енергії в атомі.

$$mvr = n\hbar$$

Це і є правило квантування: **номер орбіти електрона набуває цілочисленного значення**

Радіуси орбіт:

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{me^2}$$

Радіуси Боровських орбіт змінюються дискретно із зміною числа n . Стала Планка, маса, і заряд електрона обумовлюють можливість значення електронних орбіт. Оскільки маса електрона $m=9,1\cdot 10^{-31}$ кг, найменший радіус орбіти:

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

Це і радіус атома. Теорія Бора дає для нього правильне значення. Розміри атома визначаються квантовими законами (радіус пропорційний сталій Планка). Класична теорія не може пояснити, чому атом має розміри порядку 10^{-11} м.

Підставивши у вираз $r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{me^2}$ формулу $E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$ дістанемо значення енергій стаціонарних станів атома (енергетичні рівні)

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$$

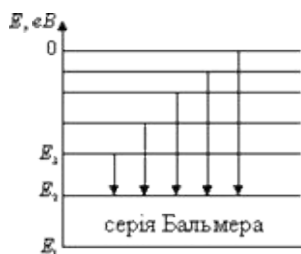
У нижньому стані енергетичні рівні ($n=1$)

$$E_1 = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{me^4}{2\hbar^2} = -2,485 \cdot 10^{-19} = -13,55 \text{ eV}$$

У цьому стані атом може перебувати як завгодно довго. Щоб іонізувати атом водню (відірвати від нього електрон), атому потрібно надати енергію 13,55 eV. Ця енергія називається енергією іонізації.

Інколи частоту випромінювання можна записати таким чином:

$$\nu = E_k - \frac{E_n}{\hbar}$$



Поглинаючи світло, атом переходить із стаціонарного стану з меншою енергією в стаціонарний стан з більшою енергією. Усі стаціонарні стани, крім одного, є умовно стаціонарними. Нескінченно довго кожен атом може знаходитись лише в стаціонарному стані з мінімальним запасом енергії. Цей стан атома називається **основним**, всі інші - **збудженими**.

Постулати Бора дозволяють визначити частоти випромінювання атомів водню під час переходу між різними станами. Усі частоти випромінювань атома водню складають низку серій, кожна з яких утворюється під час переходу атома з одного енергетичного стану в інший.

Існують такі серії:

1. **серія Лаймана**, що відповідає переходу електрона на першу орбіту з другої, третьої і т. д.
2. **серія Бальмера**, коли електрони переходять на другу орбіту з третьої, четвертої і т.д.
3. **серія Пашена**, коли переходять електрони на третю орбіту або на третій рівень з четвертої, п'ятої і т. д.

Поглинання світла - процес зворотний випромінюванню. Атом, поглинаючи світло переходить із нижчих енергетичних станів до вищих. При цьому він поглинає випромінювання з такою самою чистотою, що й випромінює.

На основі постулатів Бора можна визначити частоти ν_{kn} і ν_{nk} атомів електромагнітних хвиль, що випромінюють:

$$\nu_{kn} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad \nu_{nk} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

де $R = 3,27 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ - стала Ридберга.

Якщо світло випромінюють розріджені гази, то атоми газу знаходяться так далеко один від одного, що не чинять ніякого впливу на випромінювання сусідніх атомів, і у спектрі такого джерела будуть спостерігатись лише певні лінії. Цей спектр називають **лінійчастим спектром**.

Якщо світло випромінюють тверді тіла, рідини чи дуже сильно стиснені гази, то на випромінювання кожного з атомів суттєво впливають сусідні атоми. Унаслідок цього можна спостерігати розмивання ліній в спектрі випромінювання і плавний перехід від одного кольору до іншого. Так виглядає суцільний спектр.

Лінійчатий спектр кожного хімічного елемента є індивідуальним. Цю властивість використовують для **спектрального аналізу** сполук.

Прилади, які використовують для спектрального аналізу, називають **спектрографами**.

Спектральний аналіз має низку переваг і є одним із найбільш чутливих методів дослідження речовин:

- ✓ сама речовина не потрібна, потрібне лише випромінювання від неї.
- ✓ для проведення досліду потребує дуже мало часу;
- ✓ для досліду потрібна дуже мала маса речовини.

Лазер - це одне з найбільших досягнень сучасної фізики.

Лазерне випромінювання має такі властивості:

- ✓ лазери здатні створювати пучки світла з дуже малим кутом розбіжності;
- ✓ світло лазера є монохроматичним;
- ✓ лазер є найпотужнішим джерелом світла.

Лазери використовують для: зв'язку в космосі, випаровування чи зварювання матеріалів у вакуумі, в хірургічних операціях (офтальмологія), збудження хімічних реакцій, здійснення керованої термоядерної реакції та ін.

Український фізик Іваненко і німецький фізик Гейзенберг 1932 року незалежно один від одного запропонували протонно-нейтронну модель ядра, згідно з якою ядро складається із протонів і нейтронів. Оскільки атом в цілому електронейтральний, а заряд протона дорівнює модулю заряду електрона, то число протонів у ядрі дорівнює числу електронів в атомній оболонці. Відповідно число протонів в ядрі дорівнює атомному номеру елемента в періодичній системі елементів Менделєєва. А кількість нейтронів дорівнює різниці між атомною масою ізотопу і значенням порядкового номера.

Ядерні частинки – протони і нейтрони називають **нуклонами**

Суму числа протонів Z і числа нейтронів N називають масовим числом A ; воно дорівнює:

$$A = Z + N.$$

Маси протонів і нейтронів приблизно однакові і дорівнюють 1 а. о. м. Маса електрона набагато менша від маси ядра. Визначити число протонів і нейтронів в ядрі атома дуже просто.

Ізотопи – це атоми, що мають ядра атомів з одним і тим самим значенням Z , але різними кількостями N . Натепер відомо ізотопи всіх хімічних елементів. Наприклад, водень має три ізотопи:

1. ${}^1_1\text{H}$ - водень звичайний - основний ізотоп стабільний.
2. ${}^2_1\text{H} = {}^2_1\text{D}$ - дейтерій (тяжкий водень); входить як домішка до природного водню її вміст становить (1/4500 частину).
3. ${}^3_1\text{H} = {}^3_1\text{T}$ - надтяжкий водень - тритій; отримують штучним шляхом, b - радіоактивний.

Між протонами і нейтронами в ядрі діють значні сили кулонівського відштовхування, але ядро не розлітається, оскільки протони і нейтрони в ядрі утримують могутні **ядерні сили**. Це найпотужніші сили в природі, що є мірою сильної взаємодії. Їх характерна особливість - вони діють на дуже малих відстанях, що приблизно дорівнюють розміру ядра ($10^{-12} - 10^{-13}$ см).

Енергія зв'язку – це енергія, яка потрібна для повного розщеплення ядра на нуклони, або енергія, яка виділяється під час утворення ядра із окремих частинок.

Існує так званий дефект мас:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$$

Дефект мас – це маса атомного ядра менша за суму мас нуклонів, що входять до складу цього ядра.

Енергія зв'язку:

$$E_{\text{зв}} = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}) \cdot c^2$$

Питоною енергією зв'язку називають енергію зв'язку, яка припадає на один нуклон.

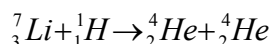
$$E_{\text{пит}} = \frac{E_{\text{зв}}}{A}$$

Зміну атомних ядер у результаті їх взаємодії з елементарними частинками між собою називають **ядерними реакціями**.

Ядерні реакції бувають як штучні, так і природні.

Штучні ядерні реакції відбуваються за допомогою ядер дейтерію - дейтронів, α -частинок інших важких ядер, які розганяють до великих швидкостей, щоб під час зближення можна було подолати кулонівські сили відштовхування і увійти в зону ядерних сил. У результаті злиття початкових ядер на деякий час утворюється комбіноване ядро, що згодом розпадається на уламки, які кулонівські сили розганяють до світлових швидкостей, близьких до швидкості світла.

Першу ядерну реакцію на швидких протонах було здійснено 1932 року, коли вдалося розщепити літій на дві α -частинки:

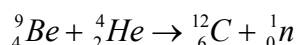


Деякі реакції перебігають з виділенням енергії, а деякі з поглинанням її (екзо- і ендотермічні реакції). Якщо сума мас ядер, які вступили в реакцію, більша від суми мас ядер, одержаних в результаті реакції, то маса перетворюється в енергію, яка виділяється. А якщо сума мас ядер, які вступили в реакцію менша, то енергія перетворюється в масу і енергія поглинається.

Енергетичний вихід ядерної реакції можна визначити, знайшовши різницю мас Δm частинок, які вступають у реакцію і продуктів реакції:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Нейтрон відкрив 1932 року англійський фізик Д. Чедвік. Його можна отримати внаслідок попадання α -частинки в ядро берилію:



Явище спонтанного випускання хімічними елементами випромінювання, що має велику проникну здатність та іонізувальні властивості, називають **природною радіоактивністю**, а такі елементи стали називати **радіоактивними**.

Уперше це явище відкрив 1896 року Бекерель в урані, а через два роки Марія Складовська-Кюрі відкрила її у радії, полонії і торій.

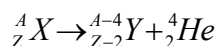
На початку ХХ ст. англійський фізик Резерфорд пропустив сильне випромінювання радіоактивних елементів через сильне магнітне поле, внаслідок чого потік частинок ядер розділився на три потоки, які Резерфорд назвав **α -**, **β -частинками**, **γ -променями**.

Потік α -частинок є потоком ядер гелію. Вони мають малу проникну здатність, але найбільшу іонізувальну здатність. Листок паперу чи одяг затримують їх повністю.

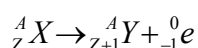
β -частинки є виявлені потоком дуже швидких електронів, які рухаються зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Вони мають більшу проникну здатність, навіть пластинка з алюмінію завтовшки в декілька міліметрів не повністю їх затримує.

γ -промені виявлені електромагнітними хвилями з дуже малою довжиною хвилі, на багато меншою, ніж довжина хвилі видимого світла і навіть рентгенівських променів. Вони мають дуже велику проникну здатність. Пластинка з свинцю завтовшки 1 см затримує їх не повністю.

Перетворення ядер відбувається за правилом зміщення, яке вперше сформулював Содді: під час α -розпаду ядро втрачає позитивний заряд $2e$, і маса його зменшується приблизно на чотири атомні одиниці маси. У результаті елемент зміщується на дві клітинки до початку періодичної системи:



У випадку β -розпаду з ядра вилітає електрон. Тому заряд збільшується на одиницю, а маса залишається майже незмінною:



Чисельні дослідження показали, що під час радіоактивного розпаду виконуються закони збереження заряду, енергії, і імпульсу та інші закони мікросвіту.

Період піврозпаду T - це той час, за який розпадається половина всієї кількості наявних радіоактивних атомів.

За одиницю часу з наявності радіоактивних ядер розпадається певна частина, яку називають сталою розпаду радіоактивного елемента λ (**закон радіоактивного розпаду**)

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Закон радіоактивного розпаду - це статистичний закон.

Якщо є атомних ядер, то за 1 с розпадається λN з них, а за час dt

$$dN = -\lambda N dt$$

Знак мінус тому, що загальна кількість радіоактивних ядер зменшиться

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Кількість радіоактивних ядер одного сорту зменшується з часом за експонентою.

Кількість розпадів за одиницю часу називається активністю розпаду

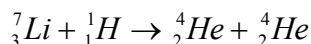
$$A = \lambda N \quad [A] = 1 \text{ Бк}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = \frac{1}{2} N_0 \quad e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} \quad T = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

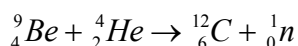
$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \rightarrow \ln N \Big|_{N_0}^N = -t \Big|_0^t \rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln N = \ln N_0 + \ln e^{-\lambda t} \rightarrow \ln N = \ln N_0 e^{-\lambda t} \quad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Першу ядерну реакцію на швидких протонах було здійснено 1932 року, коли вдалося розщепити літій на дві α -частинки:



Нейтрон відкрив 1932 року англійський фізик Д. Чедвік. Його можна отримати внаслідок попадання α -частинки в ядро берилію:



Лічильник Гейгера-Мюллера – це металева чи скляна труба, вкрита з середини металом, яку заповнюють аргоном для зниження тиску. У центрі трубки натягнуто металеву нитку. Між трубкою і ниткою прикладають напругу в декілька сотень вольтів. Послідовно з трубкою вмикають опір навантаження R . Коли в трубку влітає уламок ядра, він на своєму шляху іонізує газ і в трубці створює газовий розряд, внаслідок чого на опорі навантаження виникають короточасні імпульси напруги, які реєструються приладами.

Лічильники Гейгера-Мюллера використовують переважно для реєстрації електронів, а також фотонів великих енергій γ -квантів.

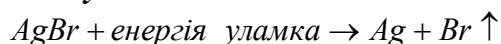
Камера Вільсона - це прозора циліндрична камера, заповнена насиченою парою води і спирту. Спочатку тиск в камері трохи підвищують, а потім різко знижують, від чого пара стає перенасиченою.

Якщо в цю хвилину в камеру влітає заряджений уламок ядра, то за ним можна спостерігати видимий слід - **трек**. Якщо камеру Вільсона помістити в сильне магнітне поле, то трек буде вигнутим. За кривизною треку визначають відношення заряду до маси цього уламка (q/m). Ця величину строго визначено для кожного уламка, що дозволяє розпізнати його.

Бульбашкова камера або **камера Гледзера** – це прозора камера, заповнена зрідженим газом під тиском. У разі різкого зниження тиску зріджений газ переходить в стан перегрітий. Якщо в цей час у камеру влітає уламок, то за ним утворюється шлейф бульбашок пари - трек. Бульбашкову камеру, як і камеру Вільсона, можна помістити в магнітне поле.

Основна перевага бульбашкової камери полягає у великій гальмівній здатності робочої рідини (бензолу, фреону, пропану, тощо), що дозволяє отримувати треки дуже швидких частинок.

Метод товстошарових фотоемульсій.



На поверхню плівки наносять товстий шар бромистого срібла AgBr і цей матеріал підставляють під потік заряджених частинок (рис. 7.15). Уламки ядер на своєму шляху розбивають молекули бромистого срібла або експонують матеріал. Після обробки плівки проявником і закріпленні її під мікроскопом можна побачити чіткі треки частинок.

За формою треку, його довжиною, почервонінням зерен емульсій та за іншими ознаками можна встановити вигляд частинки, її енергію, швидкість, напрям руху тощо.

Цей метод дозволяє одержувати сліди частинок, що не зникають та виявляти треки усіх високоенергетичних заряджених частинок, що пролетіли за час експозиції крізь фотопластинку. Треки частинок більш чіткі, ніж в камері Вільсона або бульбашковій камері.

Метод сцинтиляцій.

Цей метод застосували першим. Наразі він не має широкого застосування. Сцинтиляційний лічильник реєструє частинки, які потрапляють на люмінесціювальний екран і викликають спалахи. Ці спалахи сприймаються фотопомножувачем і через підсилювач сигнали подаються на лічильник імпульсів. Такі лічильники можуть фіксувати не тільки кількість частинок, а й їх розподіл за енергіями.

Випромінювання радіоактивних речовин справляє дуже активний вплив на живі організми. Рухаючись у живому організмі, уламок ядра руйнує частинки живих клітин, в результаті клітина гине чи порушується її генетичний код. Найбільш чутливими до випромінювання частинок є ядра клітин, особливо тих, які швидко поділяються. Тому, в першу чергу, випромінювання вражають кістковий мозок, через що порушується кровообіг. Далі вражаються клітини шлункового тракту та інших органів.

Сильний вплив чинить випромінювання на спадковість, вражаючи гени в хромосомах.

Інколи випромінювання може бути корисним: пригнічувати g - випромінюванням ракових пухлин.

Вплив радіоактивного випромінювання на живі організми характеризується **дозою опромінювання** - відношення поглинутої енергії іонізованого випромінювання до маси опромінюваної речовини: яка опромінюється.

$$D = \frac{E}{m}$$

У СІ $[D]=1 \text{ Грей} = \text{Дж} / \text{кг}$.

1 Гр, дорівнює поглинутій дозі випромінювання, за якої речовини масою 1 кг, що опромінюється, передається енергія іонізувального випромінювання 1 Дж.

На практиці користується що одиницею дози опромінення - рентген (Р). Доза опромінення дорівнює 1 Р, коли в 1 см³ сухого повітря за нормальних умов виникає $2 \cdot 10^9$ пар іонів.

Існує біологічно допустима доза опромінення - за рік 0,05 Гр. Для людини доза 600 Р (рентген) (1Р \approx 0,01 Гр) вважається смертельною, а доза 500 Р - доза напіввиживання.

Позасистемна одиниця дози опромінення - біологічний еквівалент рентгена (бер):

$$1 \text{ бер} = 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Для захисту від радіоактивного випромінювання найкраще відійти від джерела випромінювання. Можна використовувати захисні стіни, із матеріалів з більшою атомною масою наприклад, свинцю. На практиці широко використовують для цього залізобетон. Для захисту від потоку нейтронів потрібно спочатку уповільнити їх водою, а потім використати стінку з берилію.

Ланцюгова ядерна реакція – це ядерна реакція, продукти якої підтримують її проходження.

Уран має два основних ізотопи:

1. уран ${}_{92}^{238}\text{U}$ - ділиться лише під дією дуже швидких нейтронів і поглинає повільні без поділу, утворюючи ${}_{92}^{239}\text{U}$, згідно з реакцією: ${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{239}\text{U}$.

2. уран ${}^{235}_{92}\text{U}$ - ділиться як повільними, так і швидкими нейтронами. Міститься в природному урані як домішка ($\approx 0,7\%$). Для проведення ланцюгових реакцій природний уран збагачують ізотопом ${}^{235}_{92}\text{U}$.

Пристрій, в якому проводяться керовані ланцюгові реакції, називають **ядерним реактором**, який вперше був збудований 1942 року в США під керівництвом Фермі. У СРСР він був запущений в дію з жовтня 1946 року під керівництвом Курчатова.

Коефіцієнтом розмноження нейтронів називають відношення кількості нейтронів у будь-якому "поколінні" до кількості нейтронів попереднього "покоління".

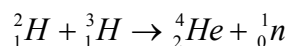
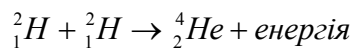
Коефіцієнт розмноження k може дорівнювати одиниці лише за умови. Що розміри реактора і відповідно маса урану більші від деяких критичних значень.

Критичною масою називають найменшу масу поділюваної речовини, за якої може відбуватися ланцюгова ядерна реакція.

Для чистого (без уповільнювача) урану ${}^{235}_{92}\text{U}$, що має форму кулі, критична маса приблизно дорівнює 50 кг. Радіус такої кулі дорівнює приблизно 9 см (уран - речовина дуже важка).

Реакції відбуваються у разі величезних тисках і температурах і називаються **реакціями термоядерного синтезу**. Головна проблема в термоядерних реакціях - приведення початкових ядер в зону дії ядерних сил захоплення. Для цього потрібні тиск 10^6 атм і температура 10^8 К.

Такі умови на сьогодні можна створити лише в епіцентрі ядерного вибуху. Найбільш перспективними є такі реакції синтезу:



Плазма - це частково чи повністю іонізований газ, в якому густини позитивних і негативних зарядів майже збігаються. Плазма вважається четвертим станом речовини.

ТОКАМАК – пристрій для здійснення реакції термоядерного синтезу в гарячій плазмі в квазістаціонарному режимі, причому плазма створюється в тороїдальній камері і її стабілізує магнітне поле.

Елементарні частинки – це первинні частинки, які далі не розпадаються, з них складається вся матерія.

Основні формули

з шкільного курсу фізики

Назва	Величина, її визначення	Одиниця вимірювання
Основи кінематики		
Нерівномірний рух		
$x = x_0 + S_x$	$v_{\text{мит}}$ - миттєва швидкість;	$\frac{м}{с}$
$y = y_0 + S_y$		$с$
$v_{\text{мит}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$	$v_{\text{сер}}$ - середня шляхова швидкість;	$\frac{м}{с}$
$v_{\text{сер}} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$	t - час;	$с$
$v_{\text{сер}} = \frac{\vec{S}}{t}$	$v_{\text{сер}}$ - середня швидкість переміщення;	$\frac{м}{с}$
	x - координата	$м$
	x_0 - початкова координата	$м$
	S - переміщення.	$м$
Рівномірний прямолінійний рух		
	S - переміщення;	$м$
$\vec{S} = \vec{v}t \quad x = x_0 + v_x t$	v - швидкість;	$\frac{м}{с}$
$S_x = v_x t \quad \vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}$	t - час	$с$
$\vec{v}_{\text{вмс}} = \vec{v}_{\text{врс}} + \vec{v}_{\text{psc}}$	x - координата;	$м$
	v_x - проекція вектора швидкості на вісь Ox ;	$\frac{м}{с}$
	S_x - проекція вектора переміщення	$м$
Рівнозмінний прямолінійний рух		
$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$	S - переміщення;	$м$
$S = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	v_0 - швидкість;	$\frac{м}{с}$
$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	t - час;	$с$
$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$;	a - прискорення;	$\frac{м}{с^2}$
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	S_x - проекція вектора переміщення;	$м$
$v_x = v_{0x} + a_x t$	a_x - проекція прискорення на вісь Ox ;	$\frac{м}{с^2}$
$v^2 - v_0^2 = 2aS$	v_{0x} - проекція вектора швидкості на вісь Ox ;	$\frac{м}{с}$
$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	x - координата;	$м$
Рівномірний рух по колу		
$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi n \quad n = \frac{1}{T}$	R - радіус кола,	$м$
$n = \frac{N}{t} \quad T = \frac{t}{N}$	T - період обертання,	$с$
	n - частота обертання,	$\frac{1}{с}$
	N - кількість обертів	$с$
	t - час	$с$

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$$

$$v = \omega R$$

$$a_o = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 n^2 R$$

$$a_o = \frac{v^2}{R}$$

ω - кутова швидкість,

φ - кут повороту,

a_o - доцентрове прискорення

$\frac{рад}{с}$
радіан

$\frac{м}{с^2}$

Основи динаміки

Другий закон Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

F - сила, що діє на тіло;

m - маса тіла;

a - прискорення

t - час дії сили;

v - швидкість тіла, набута після дії сили

v - початкова швидкість тіла.

Н

кг

$\frac{м}{с^2}$

с

$\frac{м}{с}$

$\frac{м}{с}$

Третій закон Ньютона

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

F_1, F_2 - сили, що діють на тіла під час взаємодії.

Н

Закон Гука

$$(F_{пр})_x = -kx$$

$(F_{пр})_x$ - проекція сили пружності;

k - коефіцієнт жорсткості пружного тіла;

x - величина деформації (абсолютне видовження).

Н

$\frac{Н}{м}$

м

Закон всесвітнього тяжіння

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\vec{g} = G \frac{M_{планети}}{R_{планети}^2}$$

F - сила притягання тіл;

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$ - стала всесвітнього

тяжіння;

m_1, m_2 - маси тіл;

r - відстань

Н

кг

м

Сила тяжіння, вага тіла

$$\vec{F}_T = m\vec{g}$$

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

$$\vec{P} = m(\vec{g} \pm \vec{a})$$

\vec{F}_T - сила тяжіння;

\vec{P} - вага тіла;

m - маса тіла;

$\vec{g} = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

Н

Н

кг

$\frac{м}{с^2}$

Рух під дією сили тяжіння

$$h = v_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}$$

$$h = v_{0x} t + \frac{g_x t^2}{2}$$

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$$

$$v_x = v_{0x} + g_x t$$

h - висота

$\vec{g} = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

y - координата;

м

$\frac{м}{с^2}$

м

$$v^2 - v_0^2 = 2gh$$

$$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$$

$$t_{\text{польоту}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$l = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Рух штучних супутників Землі

$$v_I = \sqrt{gR} = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}$$

v_I - перша космічна швидкість $\frac{m}{c}$
 $\vec{g} = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння. $\frac{m}{c^2}$
 R - радіус планети m
 M - маса планети kg

Сила тертя

$$F_{\text{тер}} = \mu_0 N$$

$F_{\text{тер}}$ - сила тертя; N
 $\mu_0 = \frac{F_T}{N}$ μ_0 - коефіцієнт тертя спокою; N - сила нормальної реакції. N

Елементи статички. Момент сили

$$M = Fd$$

F - модуль сили; N
 d - плече сили; m
 M - момент сили. $N \cdot m$

Умови рівноваги тіла

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

F_1, F_2, \dots, F_n - сили, що діють на тіло; N
 $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$ M_1, M_2, \dots, M_n - моменти цих сил. $N \cdot m$

Закони збереження в механіці

Імпульс тіла

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

\vec{p} - імпульс тіла (кількість руху); $\frac{kg \cdot m}{c}$
 m - маса тіла; kg
 \vec{v} - швидкість тіла. $\frac{m}{c}$

Закон збереження імпульсу

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = const$$

$\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_n$ - імпульси тіл замкнутої системи; $\frac{kg \cdot m}{c}$
 (для безлічі тіл замкнутої системи); $m_1 \vec{v}_1, m_2 \vec{v}_2$ імпульси тіл до взаємодії; $\frac{kg \cdot m}{c}$
 $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$ $m_1 \vec{v}'_1, m_2 \vec{v}'_2$ - імпульси тіл після взаємодії. $\frac{kg \cdot m}{c}$

Механічна робота

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha;$$

$$A = E_2 - E_1 = \Delta E$$

F - модуль сили, що діє на тіло; N
 S - модуль переміщення; m
 α - кут між напрямом сили і переміщенням; rad
 A - робота сталої сили; $Dж$
 ΔE - зміна енергії. $Dж$

Потужність

$$N = \frac{A}{t}$$

$$N = Fv \cos \alpha$$

N - потужність;

F - модуль сили тяги;

v - модуль швидкості руху тіла;

Вт

Н

$\frac{м}{с}$

Кінетична і потенціальна енергія

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_n = mgh$$

E_k - кінетична енергія;

m - маса тіла;

v - швидкість тіла;

E_n - потенціальна енергія;

g - прискорення вільного падіння;

h - різниця висот.

Дж

кг

м/с

Дж

$\frac{м}{с^2}$

м

Теорема про кінетичну енергію

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$$

A - робота тіла;

v_1 v_2 - початкова і кінцева швидкості тіла.

Дж

м/с

Потенціальна енергія пружно деформованого тіла

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

E_n - потенціальна енергія пружно-деформованого тіла;

k - коефіцієнт жорсткості тіла;

x - абсолютне видовження.

Дж

$\frac{Н}{м}$

м

Закон збереження енергії в механіці

$$E_{n1} + E_{k1} = E_{k2} + E_{n2}$$

E_k - кінетична енергія;

E_n - потенціальна енергія.

Дж

Дж

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{A_k}{A_3}$$

η - ККД;

A_k - корисна робота;

A_3 - затрачена робота

%

Дж

Дж

Механіка рідин та газів

Гідростатичний тиск

$$p = \rho_p gh$$

ρ_p - густина рідини;

g - прискорення вільного падіння;

h - висота стовпа рідини;

p - тиск рідини на глибині h .

$\frac{кг}{м^3}$

$\frac{м}{с^2}$

м

Па

Закон сполучених посудин

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

h_1, h_2 - висоти стовпів рідини в стані спокою;

ρ_1, ρ_2 - густини рідин.

м

$\frac{кг}{м^3}$

Гідравлічний прес

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

F_1, F_2 - сили, що діють на поршні;

S_1, S_2 - площі цих поршнів.

Н

м²

Закон Архімеда

$$F_A = \rho_p g V_T$$

ρ_p - густина рідини;

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

g - прискорення вільного падіння;

$$\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

V_T - об'єм зануреної частини тіла.

$$\text{м}^3$$

Основи молекулярно-кінетичної теорії

Кількість речовини

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \nu = \frac{m}{M}$$

$$m = m_0 N,$$

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

ν - кількість молів молекул (або інших структурних одиниць)

моль

N - кількість частинок

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ - число Авогадро

моль⁻¹

m - маса речовини

кг

M - молярна маса

$$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

моль

m_0 - маса молекули (атома)

кг

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E}$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

$$p = nkT$$

p - тиск газу

Па

m - маса молекули (атома)

кг

n - концентрація молекул

м⁻³

$\overline{v^2}$ - середній квадрат швидкості молекул

$$\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

ρ - густина газу

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

\overline{E} - середня кінетична енергія молекул

Дж

T - абсолютна температура

К

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - стала Больцмана

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Середня кінетична енергія руху молекул. Температура

$$E = \frac{3}{2} kT$$

$$E = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$$

$$T = (t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15) \text{ К}$$

$$t = (T - 273,15) \text{ } ^\circ\text{C}$$

E - середня кінетична

Дж ж

k - стала Больцмана

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

m - маса молекули

кг

$\overline{v^2}$ - середній квадрат швидкості молекул

$$\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

T - абсолютна температура або температура в кельвінах

К

t - температура в градусах Цельсія

°C

Середня квадратична швидкість молекул

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

v - середня квадратична швидкість молекул

м/с

R - універсальна газова стала

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

k - стала Больцмана

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

T - абсолютна температура

К

m - маса молекули

кг

M - молярна маса

$$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Рівняння стану ідеального газу

$pV = \frac{m}{M} RT$	p - тиск газу	Па
$pV = nRT$	V - об'єм газу	м ³
$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$	m - маса речовини	кг
	n - кількість молів молекул газу	моль
	R - універсальна газова стала	$\frac{Дж}{К \cdot моль}$
	M - молярна маса	$\frac{кг}{моль}$
	T - абсолютна температура	К

Газові закони

Закон Бойля-Маріотта	$pV_1 = p_2 V_2$	p - тиск газу	Па
Закон Гей-Люссака	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	V - об'єм газу	м ³
Закон Шарля	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	T - абсолютна температура	К

Основи термодинаміки

Внутрішня енергія ідеального одноатомного газу

$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$	U - внутрішня енергія газу	Дж
$U = \frac{3}{2} pV$	m - маса газу	кг
	M - молярна маса	$\frac{кг}{моль}$
	R - універсальна газова стала	$\frac{Дж}{К \cdot моль}$
	T - абсолютна температура	К
	p - тиск газу	Па
	V - об'єм газу	м ³

Робота в термодинаміці

$A = p\Delta V$	A - робота, що виконана над системою	Дж
$A = \frac{m}{M} R\Delta T$	p - тиск газу	Па
	ΔV - зміна об'єму газу	м ³
	M - молярна маса	$\frac{кг}{моль}$

Кількість теплоти. Теплообмін

$Q = cm(T_2 - T_1)$	T_1 і T_2 - початкова і кінцева температури тіла	К
$Q = rm$	Q - кількість теплоти	Дж
$Q = rm$	c - питома теплоємність	$\frac{Дж}{кг \cdot К}$
$Q = qm$	m - маса речовини	кг
	r - питома теплота пароутворення	$\frac{Дж}{кг}$
	L - питома теплота плавлення	$\frac{Дж}{кг}$
	q - питома теплота згоряння палива	$\frac{Дж}{кг}$

Перший закон термодинаміки

$\Delta U = A' + Q$	ΔU - зміна внутрішньої енергії	Дж
$Q = \Delta U + A$	Q - кількість теплоти	Дж
	A' - робота зовнішніх сил над газом	Дж
	A - робота газу над зовнішніми тілами	Дж

ККД теплового двигуна

$\eta = \frac{A'}{Q_1}$	A' - корисна робота	Дж
	η - ККД	%
$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$	Q_1 - кількість теплоти, яку одержало робоче тіло від нагрівника	Дж
	Q_2 - кількість теплоти, яку віддало робоче тіло холодильнику	Дж

Відносна вологість повітря

$\varphi = \frac{p}{p_0} \times 100\% = \frac{\rho}{\rho_0} \times 100\%$	φ - відносна вологість	%
	p - парціальний тиск водяної пари	Па
	p_0 - тиск насиченої водяної пари	Па
	ρ - густина ненасиченої водяної пари при даній температурі	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
	ρ_0 - густина насиченої водяної пари	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Поверхневий натяг

$\sigma = \frac{F}{l}$	s - коефіцієнт поверхневого натягу	$\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$	F - сила поверхневого натягу	Н
	l - довжина периметру змочування	м
	h - висота підняття або опускання рідини в капілярі	м
	ρ - густина рідини	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
	r - радіус капіляру	м
	g - прискорення вільного падіння	$\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Закон Гука

$\sigma = E \varepsilon $	$F_{\text{пр}}$ - сила пружності матеріалу	Н
$(F_{\text{пр}})_x = -kx$	$(F_{\text{пр}})_x$ - проекція сили пружності матеріалу на вісь Ox	Н
$\varepsilon = \frac{x}{x_0}$	E - модуль Юнга	Па
$\sigma = \frac{F_{\text{пр}}}{S}$	S - площа поперечного перерізу тіла	м^2
	x_0 - початкова довжина тіла	м
	x - абсолютна деформація	м
	k - коефіцієнт жорсткості	$\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
	ε - відносне видовження	
	σ - механічна напруга	Па

Електростатика

Закон збереження електричного заряду. Закон Кулона

$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$	q - електричний заряд	Кл
$F = k \frac{ q_1 \cdot q_2 }{r^2}$	F - модуль сили електростатичної взаємодії	Н
$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$	r - відстань між зарядами	м
	$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ - електрична стала	$\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$

ε - діелектрична проникність середовища

k - коефіцієнт пропорційності

$$\frac{H \cdot m^2}{Kл^2}$$

Напруженість електричного поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

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

\vec{E} - напруженість електричного поля

q_0 - пробний заряд

q - заряд, який створює електричне поле

r - відстань від заряду до довільної точки поля

E_1, E_2, \dots, E_n - напруженості електричних полів заряджених частинок замкненої системи тіл

$$\frac{H}{Kл}, \frac{B}{м}$$

Кл

Кл

м

$$\frac{H}{Kл}, \frac{B}{м}$$

Потенціал і напруга

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

$$\varphi = Ed$$

$$U = \frac{A}{q}$$

$$U = E\Delta d$$

φ - потенціал електричного поля

W_p - потенціальна енергія електричного заряду в заданій точці поля

q - електричний заряд

U - напруга

A - робота сил електричного поля

d - відстань, на яку перемістився заряд

Δd - відстань між точками електричного поля

В

Дж

Кл

В

Дж

м

м

Робота під час переміщення заряду

A - робота сил електричного поля

E - напруженість електричного поля

Δd - відстань між точками електричного поля

q - електричний заряд

$$A = qE\Delta d = qU$$

Дж

$$\frac{H}{Kл}, \frac{B}{м}$$

м

Кл

Електроємність. Енергія зарядженого конденсатора

$$C = \frac{|q|}{U} \quad C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

$$W_e = \frac{qU}{2}$$

$$W_e = \frac{q^2}{2C}$$

$$W_e = \frac{CU^2}{2}$$

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}$$

C - електроємність провідника, конденсатора або системи конденсаторів

q - електричний заряд конденсатора

U - напруга між обкладками конденсатора

S - площа однієї із пластин плоского конденсатора

d - відстань між пластинами

W_e - енергія зарядженого конденсатора

ε - діелектрична проникність середовища

ε_0 - електрична стала

C_1, C_2, \dots, C_n - ємності послідовно і паралельно з'єднаних конденсаторів

Ф

Кл

В

м²

м

Дж

$$\frac{Kл^2}{H \cdot m^2}$$

Ф

Закони постійного струму

Електричний струм

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

I - сила струму

Δq - кількість електрики

Δt - інтервал часу

А

Кл

с

$I = q_0 n v S$	q_0 - заряд електрона (іона)	Кл
$j = \frac{I}{S}$	n - концентрація зарядів	м^{-3}
$j = q_0 n v$	v - середня швидкість носіїв заряду	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$
	S - площа поперечного перерізу провідника	м^2
	j - густина струму	$\frac{\text{А}}{\text{м}^2}$

Закон Ома для ділянки кола і для повного кола

$I = \frac{U}{R}$	I - сила струму	А
	U - напруга на кінцях ділянки	В
	R - опір ділянки кола	Ом
$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$	ε - електрорушійна сила	В
	R - опір зовнішньої ділянки кола	Ом
	r - опір джерела струму	Ом
$\varepsilon = \frac{A_{em}}{q}$	q - кількість електрики	Кл
	A_{em} - робота сторонніх сил	Дж

Послідовне з'єднання провідників

$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	I - сила струму	А
$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	U - напруга на кінцях ділянки	В
$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	R - опір	Ом

Паралельне з'єднання провідників

$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	I - сила струму	А
$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	U - напруга на кінцях ділянки	В
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$	R - опір	Ом

Робота і потужність струму

$A = UI\Delta t; A = I^2 R \Delta t$	A - робота електричного струму	Дж
$A = \frac{U^2 \Delta t}{R}$	I - сила струму	А
	U - напруга	В
$P = IU; P = I^2 R$	R - опір провідника	Ом
	Δt - час	с
$P = \frac{U^2}{R}$	P - потужність електричного струму	Вт

Електричний струм в різних середовищах

Об'єднаний закон електролізу

$R = R_0 (1 + \alpha t)$	R - опір при даній температурі	Ом
$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$	R_0 - опір при початковій температурі	Ом
$m = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} I \Delta t$	ρ - питомий опір при даній температурі	Ом·м
$m = kIt$	ρ_0 - питомий опір при початковій температурі	Ом·м
	α - температурний коефіцієнт опору	$\frac{1}{\text{К}} = \text{К}^{-1}$
	m - маса речовини, що виділилась	кг
	M - молярна маса речовини	$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$
	$F = 96500$ Кл/моль - число Фарадея	
	Z - валентність	
	I - сила струму	А
	Δt - час	с

k – електрохімічний еквівалент $\frac{кг}{Кл}$

Магнітне поле струму

Індукція магнітного поля

$$B = \frac{M}{I \cdot S} = \frac{F}{I \Delta l}$$

M - магнітний момент рамки Н·м
 I - сила струму А
 S - площа рамки м²
 B - магнітна індукція Тл
 F - максимальна сила, що діє на ділянку провідника Δl з боку магнітного поля Н

Магнітний потік

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Φ - потік магнітної індукції Вб
 B - магнітна індукція Тл
 S - площа контуру м²
 α - кут між вектором індукції і нормаллю до поверхні град

Сила Ампера

$$F = BIl \sin \alpha$$

F - сила, що діє на провідник із струмом з боку магнітного поля Н
 I - сила струму в провіднику А
 l - активна довжина провідника м
 α - кут між напрямом сили струму і вектором магнітної індукції град

Сила Лоренца

$$F = |q_0| v B \sin \alpha$$

F - сила, яка діє на електричний заряд, що рухається в магнітному полі Н
 q_0 - заряд частинки Кл
 v - швидкість частинки $\frac{м}{с}$
 α - кут між напрямом швидкості руху заряду і вектором магнітної індукції град

Магнітна проникність середовища

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

B - індукція магнітного поля в довільному середовищі Тл
 B_0 - індукція магнітного поля у вакуумі Тл

Електромагнітна індукція

Закон електромагнітної індукції

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_i = Blv \sin \alpha$$

ε_i - ЕРС індукції контуру В
 $\Delta \Phi$ - зміна магнітного потоку Вб
 Δt - час зміни потоку с
 N - кількість витків в котушці
 ε_i - ЕРС індукції, що виникає в прямолінійному провіднику В
 B - індукція магнітного поля Тл
 l - активна довжина провідника м
 v - швидкість руху провідника $\frac{м}{с}$
 α - кут між напрямом вектора магнітної індукції і швидкістю руху провідника град

ЕРС самоіндукції

$$\varepsilon_{si} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

ε_{si} - ЕРС самоіндукції В
 $\Delta \Phi$ - зміна магнітного потоку Вб

$\Phi = LI$	Φ - магнітний потік, що пронизує контур	Вб
$\varepsilon_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	I - сила струму, що проходить в контурі	А
	L - індуктивність контуру	Гн
	ΔI - зміна сили струму	А
	Δt - час	с

Енергія магнітного поля струму

$W_M = \frac{LI^2}{2}$	W_M - енергія магнітного поля струму	Дж
	I - сила струму	А
	L - індуктивність контуру	Гн

Механічні коливання і хвилі

Рівняння гармонічного коливання

$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$	x - зміщення	м
$v_x = \omega x_{\max} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$	x_m - амплітуда коливань	м
	$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$ - фаза	рад
$v_{\max} = \omega x_{\max}$	φ_0 - початкова фаза	рад
$a_x = \omega^2 x_{\max} \cos(\omega t + \pi)$	ω_0 - циклічна частота	рад/с
	t - час	с
	v_x - проекція швидкості на вісь Ox	м/с

Частота і період коливань

$\nu = \frac{1}{T}$	ν - частота коливань	Гц
$\nu = \frac{N}{t}$;	N - число повних коливань	с
	T - період коливань	с
$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$	ω - кругова (циклічна) частота	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Період коливань пружинного і математичного маятників

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	m - маса вантажу	кг
	k - жорсткість пружини	$\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	l - довжина маятника	м
	g - прискорення вільного падіння	$\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Довжина і швидкість хвилі

$l = vT$	λ - довжина хвилі	м
$v = \lambda n$	T - період коливань	с
	v - швидкість розповсюдження хвилі	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$
	n - частота коливань в джерелі	Гц

Електромагнітні коливання і хвилі

Період і частота електромагнітних коливань

Формула Томсона	L - індуктивність	Гн
$T = 2\pi\sqrt{LC}$	C - ємність	Ф
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	T - період коливань	с
	ω_0 - циклічна частота коливань в контурі	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$

Енергія у коливальному контурі

$W_e = \frac{qU}{2}$	C - електроємність провідника, конденсатора або системи конденсаторів	Ф
$W_e = \frac{q^2}{2C}$	q - електричний заряд конденсатора	Кл
$W_e = \frac{CU^2}{2}$	U - напруга між обкладками конденсатора	В
$W_m = \frac{LI^2}{2}$	W_m - енергія магнітного поля струму	Дж
	I - сила струму	А
	L - індуктивність контуру	Гн

Електромагнітні гармонічні коливання генератора

$q = q_m \cos \omega t$	q - миттєве значення заряду	Кл
$\Phi = BS \cos \omega t$	q_m - амплітудне значення заряду	Кл
$\varepsilon = BS \omega \sin \omega t$	Φ - магнітний потік	Вб
$U = U_m \sin \omega t$	B - магнітна індукція	Тл
$I = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$	S - площа контуру	м ²
	ε - миттєве значення ЕРС індукції	В
	U_m - амплітудне значення напруги	В
	U - миттєве значення напруги	В
	I - миттєве значення сили струму	А
	I_m - амплітудне значення сили струму	А

Діюче значення сили струму і напруги

$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	i - діюче значення сили змінного струму	А
	I_m - амплітудне значення сили змінного струму	А
$u = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$	u - діюче значення змінної напруги	В
	U_m - амплітудне значення змінної напруги	В

Індуктивний і ємнісний опори кола змінного струму

$X_L = \omega L$	X_L - індуктивний опір	Ом
$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \nu C}$	X_C - ємнісний опір	Ом
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	Z - повний опір кола	Ом
	ω - циклічна частота коливань в контурі	рад/с
	ν - частота коливань	Гц

Трансформатор

$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	N_1 - кількість витків у первинній обмотці	
	N_2 - кількість витків у вторинній обмотці	
$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U} \times 100\%$	$I_1; U_1$ - струм і напруга в первинній обмотці	А; В
	$I_2; U_2$ - струм і напруга у вторинній обмотці	А; В
	k - коефіцієнт трансформації	
	η - ККД трансформатора	%

Поширення радіохвиль. Радіолокація

$l = \frac{c \cdot t}{2}$	l - відстань до предмета	м
	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с - швидкість електромагнітних хвиль	$\frac{м}{с}$
	t - час проходження електромагнітних хвиль в прямому і зворотному напрямках	с

Геометрична оптика

Заломлення хвилі і світла

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n = \frac{c}{v_{\text{серед}}}$$

n_{21} - відносний показник заломлення

α - кут падіння

β - кут заломлення

v_1 - швидкість світла в першому середовищі

v_2 - швидкість світла в другому середовищі

c - швидкість світла в вакуумі

$v_{\text{серед}}$ - швидкість світла в середовищі

n - абсолютний показник заломлення

град

град

$\frac{m}{c}$

$\frac{m}{c}$

$\frac{m}{c}$

$\frac{m}{c}$

Формула тонкої лінзи

$$\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F}$$

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

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

d - відстань від предмета до лінзи

f - відстань від лінзи до зображення

F - фокусна відстань лінзи

Γ - збільшення лінзи

h - висота предмету

H - висота зображення

D - оптична сила лінзи

м

м

м

м

м

м

м

Хвильова оптика

Інтерференція хвилі і світла

умова максимуму

Δd - різниця ходу

м

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

умова мінімуму

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

λ - довжина хвилі

м

Дифракція хвилі і світла

максимум

$$d \sin \varphi = k \lambda$$

d - період дифракційної ґратки

м

мінімум $d \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

φ - кут спостереження

град

Теорія відносності

Зв'язок між масою і енергією

$$v_{\text{внс}} = \frac{v_{\text{врс}} + v_{\text{рс}}}{1 + \frac{v_{\text{врс}} \cdot v_{\text{рс}}}{c^2}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$v_{\text{внс}}$ - швидкість відносно нерухомої системи

$v_{\text{рнс}}$ - швидкість відносно рухомої системи

$v_{\text{внс}}$ - швидкість рухомої системи

t_0 - час тіла у стані спокою

t - час

m - маса тіла

m_0 - маса спокою тіла

E - повна енергія (тіла, випромінювання,

$\frac{m}{c}$

$\frac{m}{c}$

$\frac{m}{c}$

с

с

кг

кг

град

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_k = E - E_{cn}$$

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$E = hn$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Рівняння Ейнштейна для фотоефекту

$$h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$A_{\text{вих}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}$$

$$A = h\nu_{\text{min}}$$

поля)

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с - швидкість світла у вакуумі

E_k - кінетична енергія

E_{cn} - енергія спокою тіла

v - швидкість тіла

l - лінійні розміри тіла

l_0 - лінійні розміри тіла у стані спокою

$\frac{m}{c}$

Дж

$\frac{m}{c}$

м

м

Світлові кванти

m - маса фотона

p - імпульс фотона

E - енергія кванта (фотона)

n - частота світла

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - стала Планка

λ - довжина світлової хвилі

кг

Дж

Гц

м

$A_{\text{вих}}$ - робота виходу електрона

ν - частота випромінювання світла

$\frac{mv^2}{2}$ - кінетична енергія електрона

$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг - маса електрона

λ_{max} - максимальна довжина світлової хвилі, при якій ще можливий фотоефект;

v - швидкість електрона

ν_{min} - частота світлової хвилі, при якій ще можливий фотоефект;

Дж

Гц

Дж

м

$\frac{m}{c}$

Гц

Основи атомної фізики

Правило квантування орбіт

$$E = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$E = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$$

$$mvr = n\hbar$$

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{m \cdot e^2}$$

m - маса електрона

v - швидкість електрона

r - радіус n -ї орбіти

n - номер орбіти

$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - зведена стала Планка

e - заряд електрона

ϵ_0 - електрична стала

кг

$\frac{m}{c}$

м

Дж·с

Кл

$\frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$

Частота випромінювання і поглинання світла

$$\nu_{kn} = R \left(\frac{1}{n^2} + \frac{1}{k^2} \right)$$

$$\nu_{nk} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R = 3,27 \cdot 10^{15}$ с⁻¹ - стала Ридберга

n, k - номери орбіт

ν_{kn} - частота випромінювання

ν_{nk} - частота поглинання

E_k, E_n - енергії відповідних стаціонарних

с⁻¹

Гц

Гц

Дж

$$v_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}$$

станів атомів k і n ;

Основи ядерної фізики

Закон радіоактивного розпаду

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

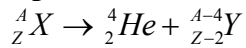
N - кількість радіоактивних ядер, що не розпалися в момент часу t

N_0 - кількість радіоактивних ядер, що не розпалися в момент часу $t = 0$

T - період піврозпаду

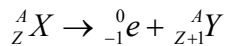
с

Правила зміщення



A – атомне число

α розпад



Z – зарядове число

β розпад

Енергія зв'язку атомних ядер

$$\Delta E_{зв} = \Delta m c^2$$

$\Delta E_{зв}$ - енергія зв'язку атомного ядра

MeV

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{я}$$

Z - кількість протонів у ядрі

N - кількість нейтронів в ядрі

$$m_{я} = A - Zm_e$$

$m_{я}$ – маса ядра

а.о.м

m_e - маса електрона

а.о.м

$$E_{num} = \frac{E_{зв}}{A}$$

$E_{зв}$ – енергія зв'язку

MeV

E_{num} – питома енергія зв'язку

MeV

Фізичні сталі

Гравітаційна стала	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{кг^2}$
Прискорення вільного падіння	$\bar{g} = 9,8 \frac{m}{c}$
Стала Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стала Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К}$
Універсальна газова стала	$R = 8,31 \frac{Дж}{\text{моль} \cdot К}$
Молярна маса повітря	$M_{\text{повітря}} = 0,029 \frac{кг}{\text{моль}}$
Елементарний заряд	$\bar{e} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{H \cdot m^2}{Кл^2}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{c}$
	$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c$
Стала Планка	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c$
Коефіцієнт пропорційності між одиницями виміру маси та енергії	$c^2 = \frac{E}{m} = 931,5 \frac{MeV}{a.o.m.}$
Маса спокою електрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,486 \cdot 10^{-4} a.o.m.$
Маса спокою протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 a.o.m.$
Маса спокою нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 a.o.m.$
Радіус Сонця	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$
Маса Сонця	$m_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Середній радіус Землі	$R_{\oplus} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$
Маса Землі	$m_{\oplus} = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Нормальний атмосферний тиск	$p_0 = 101\,292,8 \text{ Па}$
Відстань від Землі до Сонця	$r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Радіус Місяця	$r_{\zeta} = 1,737 \cdot 10^6 \text{ м}$
Маса Місяця	$m_{\zeta} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Середня відстань від Землі до Місяця	$r = 3,844 \cdot 10^8 \text{ м}$

Густина твердих тіл

речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Алюміній	2700	2,7
Бетон	2200	2,2
Германій	5400	5,4
Граніт	2600	2,6
Дуб (сухий)	800	0,8
Залізо (сталь)	7800	7,8
Золото	19300	19,3
Корок	240	0,24
Кремній	2400	2,4
Латунь	8500	8,5
Лід	900	0,9
Мармур	2700	2,7
Мідь	8900	8,9
Нікель	8900	8,9
Ніхром	8400	8,4
Олово	7300	7,3
Парафін	900	0,9
Пісок (сухий)	1500	1,5
Свинець	11300	11,3
Скло	2500	2,5
Срібло	10500	10,5
Хром	7200	7,2
Цегла	1600	1,6
Чавун	7000	7,0

Густина рідин

речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Ацетон	790	0,79
Бензин	710	0,71
Вода	1000	1,0
Вода морська	1030	1,03
Гас	800	0,8
Гліцерин	1260	1,26
Машинне масло	900	0,9
Нафта	800	0,8
Ртуть	13600	13,6
Сірчана кислота	1800	1,8
Спирт	800	0,8

Густина газів за нормальних умов

речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Азот	1,25
Водень	0,09
Гелій	0,18
Кисень	1,43
Повітря	1,29
Природний газ	0,8

Теплові властивості твердих тіл

Речовина	Питома теплоємність $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура плавлення $^{\circ}\text{C}$	Питома теплота плавлення $\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	0,90	660	390
Вольфрам	0,13	3387	185
Залізо	0,45	1535	270
Лід	2,10	0	330
Мідь	0,38	1085	210
Олово	0,23	232	58
Свинець	0,13	327	24
Срібло	0,24	962	87
Сталь	0,46	1400	82
Чавун	0,54	1200	96

Теплові властивості рідин

Речовина	Питома теплоємність $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура кипіння $^{\circ}\text{C}$	Питома теплота пароутворення $r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Вода	4,2	100	2,30
Ртуть	0,14	357	0,29
Спирт	2,5	78	0,90

Теплові властивості газів при постійному тиску

Речовина	Питома теплоємність $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура конденсації $^{\circ}\text{C}$
Азот	1,0	- 196
Водень	14	- 253
Кисень	0,92	- 183
Повітря	1,0	—

Питома теплота згорання палива

Речовина	$q, \frac{МДж}{кг}$
Антрацит	30
Бензин	44
Водень	120
Гас	43
Деревне вугілля	34
Дерево	10
Дизельне пальне	42
Дрова сухі	12
Кам'яне вугілля	27
Паливо для реактивних літаків	43
Порох	3,8
Природний газ	44
Спирт	26

Коефіцієнт поверхневого натягу

Речовина	$\sigma, \frac{мН}{м}$
Вода	73
Гас	24
Бензин	21
Мильний розчин	40
Молоко	46
Нафта	30
Ртуть	510
Спирт	22

Залежність тиску і густини насиченої пари від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$p_H, \text{кПа}$	$\rho_H, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$
0	0,61	4,8
1	0,65	5,2
2	0,71	5,6
3	0,76	6,0
4	0,81	6,4
5	0,88	6,8
6	0,93	7,3
7	1,00	7,8
8	1,06	8,3
9	1,14	8,8
10	1,23	9,4
11	1,33	10,0
12	1,40	10,7
13	1,49	11,4
14	1,60	12,1
15	1,71	12,8
16	1,81	13,6
17	1,93	14,5
18	2,07	15,4
19	2,20	16,3
20	2,33	17,3
30	4,24	30,4
50	12,34	82,9
90	70,11	423,3

Психрометрична таблиця

Покази сухого термометра $^\circ\text{C}$	Різниця показів сухого і вологого термометрів, $^\circ\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Відносна вологість повітря, %										
1	100	81	63	45	28	-	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Границя міцності на розтяг і модуль пружності

Речовина	$\sigma_{\text{мц}}, \text{МПа}$	$E, \text{ГПа}$
Алюміній	100	70
Латунь	50	100
Свинець	15	15
Срібло	140	80
Сталь	500	200

Діелектрична проникненість речовини

Речовина	ϵ	Речовина	ϵ
Вініпласт	3,5	Парафіновий папір	2,2
Вода	81	Слюда	6
Гас	2,1	Скло	7
Масло	2,5	Текстоліт	7
Парафін	2		

Питомий опір та температурний коефіцієнт опору

Речовина	$\rho, \times 10^{-8} \text{ Ом} \times \text{м}$	α, K^{-1}
Алюміній	2,8	0,0042
Вольфрам	5,5	0,0048
Латунь	7,1	0,001
Мідь	1,7	0,0043
Нікелін	42	0,0001
Ніхром	110	0,0001
Свинець	21	0,0037
Срібло	1,6	0,004
Сталь	12	0,006

Електрохімічний еквівалент

Речовина	$k, \times 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$	Речовина	$k, \times 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$
Алюміній	0,093	Олово	0,62
Водень	0,0104	Срібло	1,12
Кисень	0,083	Хром	0,18
Мідь	0,33	Цинк	0,34
Нікель	0,30		

Показник заломлення світла

Речовина	n	Речовина	n
Алмаз	2,4	Сірковуглець	1,63
Бензол	1,5	Скло	1,61,36
Вода	1,3	Спирт етиловий	
Повітря	1,00029		

Робота виходу електронів

Речовина	еВ	аДж
Вольфрам	4,5	0,72
Калій	2,2	0,355
Літій	2,4	0,38
Оксид барію	1,0	0,16
Платина	5,3	0,85
Срібло	4,3	0,69
Цезій	1,8	0,29
Цинк	4,2	0,67

Відносна атомна маса деяких ізотопів

Ізотоп	Маса нейтрального атома, а.о.м.	Ізотоп	Маса нейтрального атома, а.о.м.
${}^1_1\text{H}$ (водень)	1,00783	${}^{10}_5\text{B}$ (бор)	10,01294
${}^2_1\text{H}$ (дейтерій)	2,01410	${}^{11}_5\text{B}$ (бор)	11,00931
${}^3_1\text{H}$ (тритій)	3,01605	${}^{12}_6\text{C}$ (вуглець)	12,00000
${}^3_2\text{He}$ (гелій)	3,01602	${}^{14}_7\text{N}$ (азот)	14,00307
${}^4_2\text{He}$ (гелій)	4,00260	${}^{15}_7\text{N}$ (азот)	15,00011
${}^6_3\text{Li}$ (літій)	6,01513	${}^{16}_8\text{O}$ (кисень)	15,99491
${}^7_3\text{Li}$ (літій)	7,01601	${}^{17}_8\text{O}$ (кисень)	16,99913
${}^8_4\text{Be}$ (берилій)	8,00531	${}^{27}_{13}\text{Al}$ (алюміній)	26,98146