МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Фізика

конспект лекції
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Комп'ютерні науки» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв
2024

УДК 53
Ф48

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 26.03.2024, протокол № 7.

Укладач

Лариса Вахоніна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти

Олексій Садовий – канд. тех. наук доцент, завідувач кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.

Каріне Горбунова – канд. пед. наук, доцент, завідувач кафедрою методики професійного навчання, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний аграрний університет, 2024

Зміст:

Вступ 4
Модуль 1. Механіка матеріальної точки. 5
Лекція №1. Основна задача механіки 6
Лекція №2. Кінематика матеріальної точки 8
Лекція №3. Динаміка матеріальної точки 12
Лекція №4. Основні механічні сили в природі 15
Лекція №5 Механічна робота.Енергія. ККД механізмів 18
Модуль 2. Механіка твердого тіла 22
Лекція №6. Механіка рідин і газів 22
Модуль 3.Основи МКТ. Термодинаміка 25
Лекція №7. Основи молекулярно – кінетичної теорії 25
Лекція №8. Ідеальний газ. Газові закони 29
Лекція №9. Основи термодинаміки 32
Лекція №10. Теплові машині. Реальний газ 36
Лекція №11. В'язкість рідини. Закон Стокса 42
Лекція №12. Поверхневі явища. Сила поверхневого натягу 44
Модуль 4. Електричний струм 46
Лекція №13. Електростатика Електричний струм 46
Лекція №14. Електричний струм в різних середовищах 56
Модуль 5. Електромагнетизм 59
Лекція №15. Магніне поле. Електромагнетизм 59
Модуль 6. Хвильові процеси. Геометрична та хвильова оптика 64
Лекція №16. Хвильові процеси. Хвильова оптика 64
Лекція №17. Геометрична оптика. Фотометрія 75
Модуль 7. Квантові властивості світла 82
Лекція №18. Фотоелектричний ефект. Зовнішній та внутрішній фотоефект 82
Модуль 8. Будова атома 88
Лекція №19 Будова атома 88
Література 92

Вступ

В запропонованому конспекті лекцій з курсу «Фізика» приведено матеріал з класичної та сучасної фізики: дані визначення фізичних понять, коротко сформульовані фізичні закони й приведені необхідні пояснення.

Останнім часом внаслідок введення нових дисциплін час вивчення курсу фізики значно скорочено. Однак програма з фізики залишилась незмінною. Це потребує нових підходів до викладання фізики і нових підручників, які б враховували значно скорочені обсяги часу на вивчення фізики. Підручники з фізики, як правило, багатотомові й розраховані на трисеместрове викладання. При самостійній роботі це викликає значні труднощі для студентів. Тому виникла потреба разом з новим курсом мати скорочений у вигляді конспекту лекцій, який відповідає об'єму викладання в Університеті, а підручники використовувати для більш поглибленого вивчення фізики під час самостійної роботи студентів.

Курс лекцій охоплює в скороченому викладанні практично весь матеріал вказаного тритомного курсу. При цьому максимально скорочено математичний апарат, приділено увагу фізичному змісту понять, явищ і законів. Обмежений об'єм конспекту лекцій не дозволив включити в нього експериментальні методи досліджень, опис дослідів та приладів й інший експериментальний матеріал. Все це сприяє при обмеженому обсягу часу на вивчення дисципліни якісно оволодіти основними поняттями, явищами і законами фізики при незмінній програмі з дисципліни.

Модуль 1. Механіка матеріальної точки.

Лекція №1. Основна задача механіки

План:

1.Деякі відомості з математики;

2.Предмет, мета і методи фізичних досліджень;

3.Система СІ;

4.Основи кінематики руху матеріальної точки.

Деякі відомості з математики

Математика відіграє виключно важливу роль в фізиці. Без неї сучасна фізика немислима. Математика адекватний кількісний апарат для фізиків. В процесі розвитку фізика і математика взаємно збагачують одна одну. Але необхідно правильно уявляти істинну роль математики і фізики. Чиста математика має справу з абстрактними об'єктами і поняттями. При побудові теорії фізика замінює реальні об'єкти їх ідеалізованими моделями, що приблизно правильно передають не всі властивості реального об'єкта, а тільки ті з них, які суттєві в тому колі питань, що розглядаються. Які властивості реальних об'єктів суттєві, а які не відіграють помітної ролі – на це питання може відповісти тільки дослід, якому належить вирішальне слово в питанні про правильність будь-якої фізичної теорії і межах її-використання.

Предмет, мета і методи фізичних досліджень

Фізика – це наука про природу. Вона вивчає матерію та більш прості і разом з Тим більш загальні форми її руху, а також фундаментальну взаємодію природи, що керує рухами матерії.

Деякі закономірності є загальними для всіх мптеріальних систем, наприклад збереження енергии, - їх називають фізичними законами.

Фізику іноді називають «фундаментальною наукою», оскільки інші природничі науки (біологія, геологія, хімія та ін) описують тільки деякий клас матеріальних систем, що підкоряються законам фізики. Наприклад, хімія вивчає атоми, утворені з них речовини та перетворення однієї речовини в іншу. Хімічні ж властивості речовини однозначно визначаються фізичними властивостями атомів і молекул, описуваними в таких розділах фізики, як термодинаміка, електромагнетизм і квантова фізика.

Фізика тісно пов'язана з математикою: математика надає апарат, за допомогою якого фізичні закони можуть бути точно сформульовані. Фізичні теорії майже завжди формулюються у вигляді математичних виразів, причому використовуються більш складні розділи математики, ніж зазвичай в інших науках. І навпаки, розвиток багатьох галузей математики стимулювалося потребами фізичних теорій.

Основна задача механіки в тому, щоб, знаючи сили, діючі на тіло, визначити положення (координати) цього тіла в любий проміжок часу. Це пряма задача механіки. Оберненою задачею є знаходження сил, які спричинили цей рух.

Механіка тісно пов'язана з багатьма розділами фізики. Ряд понять і методів механіки при відповідних узагальненнях знаходять застосування в статичній фізиці, оптиці, квантовій механіці, електродинаміці, теорії відносності і ін.

Принципи фізичних пошуків дещо відрізняються від таких в інших науках тому, що тут існує чітко визначений розподіл на теорію та експеримент, і з 20 століття більшість фізиків спеціалізується або на теоретичній фізиці, або на експериментальній, і дуже мало таких, які б досягли успіхів в обох напрямах. На відміну, практично всі успішні теоретики біології та хімії також були і експериментаторами.

Коротко кажучи, теоретики займаються пошуком теорій, які могли б пояснити існуючі експериментальні результати та передбачити нові, тоді як експериментатори організують свої практичні дослідження для перевірки результатів теорій. Тобто, незважаючи на існування двох чітких напрямів, вони тісно пов'язані один з одним. Тому прориви в фізиці часто відбуваються саме тоді, коли експериментатори виявляють, що існуючі теорії не можуть пояснити їхніх результатів, і це потребує побудови нових фізичних теорій.

Система СІ;

Міжнародна система одиниць— це сучасна форма метричної системи, збудована на базі семи основних одиниць. Система СІ є найчастіше використовуваною системою одиниць при проведенні розрахунків в різних галузях науки, техніки, торгівлі тощо.

Головна мета впровадження такої системи — об'єднання великої кількості систем одиниць (СГС, МКГСС, МКС тощо) з різних галузей науки та техніки та усунення труднощів, пов’язаних з використанням значної кількості коефіцієнтів при перерахунках між ними та створенням великої кількості еталонів для забезпечення необхідної точності. Переваги СІ забезпечують підвищення продуктивності праці проектантів, виробників, науковців, спрощують та полегшують навчальний процес, а також практику міжнародних контактів між державами.

Міжнародна система одиниць СІ складається з набору одиниць вимірювання та набору кратних і часткових префіксів до них. Система також визначає стандартні скорочені позначення для одиниць та правила запису похідних одиниць.

Система СІ не є незмінною, вона є набором стандартів, в якому створюються одиниці виміру та коригуються їхні визначення згідно з міжнародними угодами в залежності від рівня сучасного розвитку вимірювальних технологій.

Основи кінематики руху матеріальної точки

Кінематика вивчає рух тіл, не розглядаючи ті причини, які цей рух обумовили.

Нехай матеріальна точка переміщується з точки А в точку В (рис. 1). Відстань від точки А до точки В, взята вздовж траєкторії, являє собою пройдений шлях S. Вектором переміщення називають відрізок прямої, проведеної з початкового положення в кінцеве положення тіла (вектор $\overrightarrow{AB}$). Якщо тіло перемістилося з точки С в точку В, то другим переміщенням буде вектор $\overrightarrow{CB}$. Результуючим переміщенням буде вектор $\overrightarrow{AB}$, який дорівнює сумі векторів $\overrightarrow{AC}$ та $\overrightarrow{CB}$, оскільки, як видно з рис. 1, відрізок АВ є діагоналлю паралелограма, побудованого на відрізках АС та СВ.

Рис. 1 Переміщення матеріальної точки

Вектор переміщення співпадає з ділянкою траєкторії лише прямолінійному русі. При криволінійній траєкторії шлях не співпадає з переміщенням. Але, якщо взяти достатньо мале переміщення, то з визначеною точністю можна замінити відрізок шляху ΔS вектором переміщення $_{\Delta}\vec{S}$. Таке мале переміщення називається елементарним переміщенням.

Шлях, пройдений тілом, являється функцією часу. При рівномірному русі швидкість тіла визначається просто як шлях, пройдений тілом за одиницю часу.

Для більш повної характеристики змінного руху вводять поняття миттєвої швидкості. Якщо за невеликий проміжок часу $_{\Delta}t$ тіло проходить шлях $_{\Delta}S$, то швидкість дорівнюватиме:

$$v_{cp} = \frac{_{\Delta}S}{_{\Delta}t} \tag{1}$$

Величина миттєвої швидкості (швидкість в даній точці шляху) рівна границі до якої наближається відношення приросту шляху до відповідного приросту часу при умові, що $_{\Delta}t$ наближається до нуля.

$$v = \lim_{_{\Delta}t \to 0} \frac{_{\Delta}S}{_{\Delta}t} \tag{2}$$

В математиці ця границя називається похідною від шляху по часу і позначається так:

$$v = \frac{dS}{dt} \tag{3}$$

Формулу (3) можна записати і через нескінченно мале переміщення $\overrightarrow{dS}$:

$$\vec{v} = \frac{\overrightarrow{dS}}{\overrightarrow{dt}} \tag{4}$$

Вектор швидкості співпадає по напрямку з нескінченно малим переміщенням (тобто з дотичною до траєкторії) і чисельно рівний похідній від шляху до часу. В більшості випадків при русі швидкість змінюється і по величині і по напрямку. Для характеристики зміни швидкості вводиться поняття прискорення.

В випадку прямолінійного нерівномірного руху середнє прискорення за проміжок часу *Δt* дорівнює відношенню зміни швидкості до цього проміжку часу.

$$\vec{a}_{cp} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t};\ a_{\tau} = \frac{\Delta v}{\Delta t};\ a_n = \frac{v^2}{R} \qquad (5)$$

Прискорення, яке тіло має в даний момент (в даній точці шляху) дорівнює границі, до якої наближається права частина рівняння (5) при зменшенні проміжку часу *Δt* до нуля, тобто дорівнює похідній швидкості від часу.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (6)$$

Враховуючи, що швидкість дорівнює похідній шляху по часу, знаходимо, що прискорення дорівнює другій похідній шляху по часу:

$$\alpha = \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dt}\right) = \frac{d^2S}{dt^2} \qquad (7)$$

Таким чином, якщо відомий шлях тіла як функція часу, то легко визначити його швидкість і прискорення в будь – який проміжок часу.

З курсу середньої школи відомі ще такі співвідношення кінематики (знайти їх інтегруванням):

$$v = v_0 + \alpha t;\ S = v_0 t + \frac{\alpha t^2}{2};\ v = \sqrt{v_0^2 + 2\alpha S} \qquad (8)$$

де v_0 – швидкість тіла в момент часу *t = 0; S* – шлях пройдений тілом за t часу.

Лекція №2. Кінематика матеріальної точки – 2 год.

План:

1. Задачі кінематики
2. Рівномірний прямолінійний рух. Швидкість
3. Рівнозмінний прямолінійний рух. Прискорення
4. Часний випадок рівнозмінного руху- рух під дією тяжіння землі
5. Обертовий рух матеріальної точки та його характеристики
6. Коливальний рух та його характеристики

1. **Основні задачі кінематики точки:** *вивчення законів руху точки і визначення кінематичних характеристик її руху - траєкторії, швидкості та прискорення*.

2. **Рівномірний прямолінійний рух** – такий рух при якому тіло за рівні проміжки часу проходить однакове переміщення.

Швидкість – це фізична величина, яка показує, як змінюється переміщення тіла за однаковий час.

$$\overline{V} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\overline{\Delta S}}{\Delta t} = \frac{d\overline{S}}{dt}: \qquad \overline{V} = \frac{d\overline{S}}{dt}:\ \overline{V} = 1 м/с$$

ОЗМ для рівномірного прямолінійного руху.

$x = x_0 + \overline{S};\ \ \overline{S} = \overline{V} \cdot t;\ x = x_0 + \overline{S};\ \ x = x_0 + \overline{V_0} \cdot t$

Класичний закон складання швидкостей

yox – нерухома система координат

y'o'x' – рухома система координат

$\overline{V} = \overline{V}_{рух.сист.коорд.} + \overline{V}_{власна\ шв.тіла}$

Швидкість тіла відносно нерухомої системи координат буде дорівнювати геометричній сумі швидкості руху системи координат і власній швидкості тіла відносно рухомої системи координат.

В класичній механіці розглядаються тіла, які рухаються з швидкостями набагато меншими ніж швидкість світла

$\overline{V} << \overline{c}$

m=const: l=const; t=const; $\overline{V} \neq const.$

Теорія відносності Енштейна

Швидкість світла (с=3•10^8 м/с) найбільша швидкість в природі і величина стала *c=const*

Теорія відносності Енштейна розглядає рух тіл з швидкостями близькими до швидкості світла $\overline{V} \approx \overline{c}$

При цих умовах $m \neq const;\ l \neq const;\ t \neq const.$

3. **Рівнозмінний прямолінійний рух** – це рух при якому тіло за рівні проміжки часу проходить неоднакове переміщення.

$\overline{V} \neq const$

Прискорення – це фізична величина, яка показує, як змінюється швидкість тіла за одиницю часу.

$$\overline{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\overline{\Delta V}}{\Delta t} = \frac{d\overline{V}}{dt} = \frac{d(\frac{d\overline{S}}{dt})}{dt} = \frac{d^2\overline{S}}{dt^2}:\ \ \overline{a} = \frac{d\overline{V}}{dt} = \frac{d^2\overline{S}}{dt^2}:\ \overline{a} = 1 м/с^2$$

$$\overline{a} = \frac{\overline{V} - \overline{V_0}}{t};\ \overline{V} = \overline{V_0} + \overline{a} \cdot t;\ \overline{S} = \overline{V_0}t + \frac{\overline{a} \cdot t^2}{2}$$

$\overline{S} = \dfrac{\overline{V}^2 - \overline{V}_0^2}{2\overline{a}}$ визначення переміщення тіла без врахування часу.

ОЗМ для рівнозмінного прямолінійного руху.

$$x = x_0 + \overline{S};;\ x = x_0 + \overline{S};\ \ x = x_0 + \overline{V_0} \cdot t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

Часний випадок рівнозмінного руху- рух під дією тяжіння Землі.

Всі тіла які рухаються під дією тяжіння Землі незалежно від маси тіла рухаються з однаковим прискоренням

$\bar{a} = \bar{g} = 9.81 м/с^2$ прискорення вільного падіння

$g = \frac{\bar{V} - \bar{V}_0}{t}$; $\bar{V} = \bar{V}_0 + \bar{g}t$; $\bar{h} = S - \bar{V}_0 t + \frac{\overline{gt^2}}{2}$. $\bar{h} = \frac{\bar{V}^2 - \bar{V}_0^2}{2\bar{g}}$

ОЗМ $y = y_0 + V_0 t + \frac{gt^2}{2}$.

Криволінійний рух

Рухи, що відбуваються у природі та техніці, можуть розрізнятися за двома ознаками: за зміною значення швидкості та за зміною її напряму. Так, наприклад, коли точка чи тіло рухаються вздовж прямої лінії (мають прямолінійну траєкторію), то напрям їх швидкості не змінюється - він збігається з напрямом траєкторії. Хоча при цьому значення швидкості може змінюватись. У цьому випадку рух називають нерівномірним.

Але ж рухи можуть мати й криволінійні траєкторії, найпростішими з яких є траєкторії колові. Зрозуміло, що такий рух може бути й рівномірним, тобто кожна точка нитки буде мати швидкість, яка не змінюватиметься з часом за своїм значенням, хоча напрям швидкості точок у кожний момент може змінюватись.

Якщо траєкторію криволінійного руху розбити на окремі ділянки, то ці ділянки будуть представляти собою дуги тіл різного радіусу, тобто обертовий рух матеріальної точки є основою криволінійного руху.

Обертовий рух матеріальної точки і його характеристики

Лінійні характеристики обертового руху

$\vec{r}$ – радіус вектора, це направлений відрізок, який з'єднує центр обертання і точку, яка виконує обертовий рух

$\vec{V}$ – лінійна швидкість. $|\vec{r}| = R$; $\vec{V} \perp \vec{r}$

$\vec{a}$ – результуюче прискорення

$\vec{a}_n$ – нормальне(доцентрове) прискорення векторна величина, яка завжди напрямлена по нормалі до дотичної **це прискорення, виникає в результаті зміни швидкості за напрямком**

$\vec{a}_\tau$ – тангенціальне прискорення характеризує зміну модуля швидкості з часом

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

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

$\vec{a}$ -результуюче лінійне прискорення яке діє на матеріальну точку. При русі по колу з постійною швидкістю нормальне прискорення постійне по модулю і направлено до центру кола і називається **доцентровим.**

$$\vec{V} = const$$

$$\vec{a}_\partial - \vec{a}_n = \frac{V^2}{R}$$

Висновок: лінійні характеристики обертового руху: $\vec{V}$, $\vec{a}_n$, $\vec{a}_\tau$.

ОЗМ $x = x_0 + \overline{S};\ \overline{S} = \varphi \cdot \overline{r}$.

Кутові характеристики обертового руху матеріальної точки

При обертовому русі радіус-вектор змінює своє положення на кут повороту φ

$0 \le \varphi \le 2\pi$

Кутова швидкість – це фізична величина, яка показує як змінюється кут повороту радіус вектора за одиницю часу.

$$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt};\ [\vec{\omega} = 1\frac{рад}{c}]$$

$\vec{\omega} = const$ обертання рівномірне:

$\vec{\omega} \ne const$ нерівномірне

Кутове прискорення – це фізична величина, яка показує як змінюється кутова швидкість матеріальної точки за одиницю часу.

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.\ [\vec{\varepsilon} = 1\frac{рад}{c^2}]$$

Кутові характеристики обертового руху представляють нам рівнозмінний рух:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\omega - \omega_0}{t};\ \vec{\omega} = \vec{\omega_0} + \vec{\varepsilon}t;\ \varphi = \omega_0 t + \frac{\vec{\varepsilon}t^2}{2};\ \varphi = \frac{\vec{\omega}^2 - \vec{\omega_0^2}}{2\vec{\varepsilon}}.$$

ОЗМ обертового руху $x = x_0 + (\vec{\omega_0}t + \frac{\vec{\varepsilon}t^2}{2})\vec{r}$.

Кутові характеристики обертового руху: $\varphi, \vec{\omega}, \vec{\varepsilon}$.

Зв'язок між кутовими та лінійними характеристиками обертового руху:

$\vec{S} = \varphi \cdot R$, $\vec{V} = \vec{\omega} \cdot R$, $a_\tau = \vec{\varepsilon} \cdot R$, $a_\partial = \dfrac{V^2}{R}$.

Періодичні характеристики обертового руху:

Період обертання – це час одного повного оберту

$T = \dfrac{t}{n}$, $[T = c]$

Частота обертання – кількість обертів за одиницю часу

$\nu = \dfrac{1}{T} = \dfrac{n}{t}$, $[\nu = 1c^{-1} = Гц]$

Циклічна частота це те саме, що кутова швидкість

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

Циклічна частота зв'язує періодичні і кутові характеристики обертового руху.

Лекція №3. Динаміка матеріальної точки

План:

1. Задача динаміки
2. Інерціальні системи відліку
3. Перший з-н Ньютона
4. Сила, маса
5. Другий закон Ньютона
6. Диференціальна форма другого закону Ньютона
7. Третій закон Ньютона

Закони Ньютона

Ньютонові закони руху— це фундаментальні закони класичної механіки.

Закони Ньютона разом з його ж законом всесвітнього тяжіння та апаратом математичного аналізу вперше в свій час надали загальне та кількісне пояснення широкому спектру фізичних явищ, починаючи з особливостей руху маятника та закінчуючи орбітами Місяця та планет. Закон збереження імпульсу, який Ньютон вивів як наслідок своїх другого та третього законів, також став першим з відомих законом збереження.

Перший закон Ньютона

Цей закон також має назву закону інерції або принципу Галілея. Його формулювання в сучасному викладі таке:

існують такі системи відліку, в яких центр мас будь-якого тіла, на яке не діють ніякі сили або рівнодійна діючих на нього сил дорівнює нулю, зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, допоки цей стан не змінять сили, застосовані до нього.

Цей закон є спеціальним випадком другого закону Ньютона (дивись нижче), але його значення полягає в тому, що він визначає системи відліку, в яких справедливі наступні два закони. Ці системи відліку мають назву інерційних або Галілеєвих, тобто таких, які рухаються зі сталою швидкістю одна відносно іншої.

Другий закон Ньютона: базовий закон динаміки

Формулювання:

Прискорення матеріальної точки прямо пропорційне силі, яка на неї діє, та направлене в сторону дії цієї сили

Математично це формулювання може бути записано так:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) \tag{10}$$

Або $\mathbf{F} = m\frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$, якщо m — константа. Де

F — сила, яка діє на тіло

m — маса тіла

a — прискорення

v — швидкість

mv — імпульс, який також позначається як P.

Це рівняння фактично означає, що чим більша за абсолютним значенням сила буде прикладена до тіла, тим більшим буде його прискорення. Параметр m або маса в цьому рівнянні — це насправді коефіцієнт пропорційності, який характеризує інерційні властивості об'єкта.

У рівнянні F=ma прискорення може бути безпосередньо виміряне, на відміну від сили. Тому цей закон має сенс, якщо ми можемо визначити силу F безпосередньо. Одним з таких законів, який визначає правило обчислення гравітаційної сили, є закон всесвітнього тяжіння.

У загальному випадку, коли маса та швидкість об'єкта змінюються з часом, отримаємо:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = m\frac{d\mathbf{v}}{dt} + \mathbf{v}\frac{dm}{dt} = m\mathbf{a} + \mathbf{v}\frac{dm}{dt} \tag{11}$$

Рівняння із змінною масою описує реактивний рух.

Важливе фізичне значення цього закону полягає в тому, що тіла взаємодіють, обмінюючись імпульсами й роблять це за допомогою сил.

Третій закон Ньютона: закон дії та протидії

Формулювання:

Сили, що виникають при взаємодії двох тіл, є рівними за модулем і протилежними за напрямом.

Математично це записується так $\mathbf{F}_{1,2} = -\mathbf{F}_{2,1}$,де $\mathbf{F}_{1,2}$ — сила, що діє на перше тіло з боку другого тіла, а $\mathbf{F}_{2,1}$ — навпаки, сила, що діє з боку першого тіла на друге тіло.

Суперечливого формулювання «на всяку дію є рівна протидія» слід уникати.

Закон у сформульованій формі є справедливим для усіх фізичних сил, хоча існують деякі особливості формулювання цього закону в застосуванні до сил електромагнітного поля.

Сили в механіці

Силу, яка діє на кожне тіло з боку Землі, називають силою тяжіння.

Силу тяжіння можна розрахувати, знаючи масу тіла. Спосіб такого розрахунку підказують результати дослідів.

Якщо взяти динамометр і підвісити до нього важок масою 102 г, то стрілка динамометра зупиниться біля поділки 1 Н. Якщо підвісити два таких важки, то динамометр покаже силу 2 Н і т. д. З цього досліду можна зробити висновок, що сила тяжіння пропорційна масі тіла.

Сила тяжіння пропорційна масі тіла.

Сила тяжіння є проявом загальноприродного закону, який діє в усьому Всесвіті. Відкритий і сформульований у XVII ст. англійським фізиком Ньютоном, він стверджує, що сила гравітаційної взаємодії у Всесвіті пропорційна масам взаємодіючих тіл і залежить від відстані між ними.

Сили пружності — сили, що виникають в тілі при його пружній деформації викликаного цією деформацією. Є окремим випадком потенційних сил. Наближено описуються законом Гука.

При деформації тіл їх частинки зміщуються одна відносно іншої. Внаслідок цього змінюються відстані між атомами чи молекулами, з яких складаються тіла. Це приводить до зміни сил взаємодії між частинками. Якщо відстані між ними збільшуються (наприклад, при розтягуванні), то силою міжмолекулярної взаємодії є сила притягання. Якщо відстані між частинками зменшуються (наприклад, при стискуванні), то силою міжмолекулярної взаємодії є сила відштовхування. Тобто при деформації тіла у ньому виникають сили, що прагнуть повернути його у попередній стан. Ці сили і є силами пружності, а властивість називають пружністю.

Закон зміни імпульсу

Імпульсом системи n матеріальних точок називається вектор P, що дорівнює геометричній сумі імпульсів всіх точок системи та є добутком сумарної маси системи M на швидкість її центру інерції:

$$\mathbf{P} = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{p}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \mathbf{v}_i = M \mathbf{v}_c \tag{12}$$

Зміна імпульсу системи може відбуватись лише внаслідок зовнішнього впливу, тобто внаслідок дії зовнішніх сил. Жодними внутрішніми процесами та взаємодією внутрішніх часток не можна змінити сумарний імпульс системи.

Зміна імпульсу тіла пропорційна до сили, яка викликає цю зміну, та проміжку часу, за який ця зміна відбувається (другий закон Ньютона): $d\mathbf{p} = \mathbf{F} \cdot dt$.

Реактивний рух

Реактивний рух — рух, що виникає за рахунок відкидання частини маси тіла із певною швидкістю.

За законом збереження імпульсу, при відокремленні від тіла масою M маси m із швидкістю v, тіло набуває швидкості V, яку можна розрахувати за формулою $(M-m)V + mv = 0$, а, отже, $V = -\frac{mv}{M-m}$.

Швидкість V направлена проти руху відкинутого тіла. Вона тим більша, чим більша маса відкинутого тіла та його швидкість.

В реальних випадках реактивний рух виникає за рахунок сталого викидання газів, які утворюються при спалюванні палива. При цьому маса тіла змінюється неперервно. Спалювання забезпечує високу швидкість витоку газу.

У загальному випадку, коли від тіла неперервно відділяється і приєднується певна маса, реактивний рух описується рівнянням Мещерського.

Лекція №4. Основні механічні сили в природі

План:

1. Сила тяжіння
2. Закон Всесвітнього тяжіння
3. Вага тіла
4. Деформація, сила пружності, закон Гука.
5. Сила тертя
6. Архімедова сила. Закон Архімеда. Умови плавання тіл.
7. Закон збереження імпульсу тіла

Сила тяжіння

Силою тяжіння називається сила, з якою всі тіла притягуються до Землі.

$$\vec{F}_m = m\vec{g}$$

Рис. 2 Сила тяжіння

Силу тяжіння можна розрахувати, знаючи масу тіла. Спосіб такого розрахунку підказують результати дослідів.

Якщо взяти динамометр і підвісити до нього важок масою 102 г, то стрілка динамометра зупиниться біля поділки 1 Н. Якщо підвісити два таких важки, то динамометр покаже силу 2 Н і т. д. З цього досліду можна зробити висновок, що сила тяжіння пропорційна масі тіла.

Сила тяжіння пропорційна масі тіла.

Сила тяжіння є проявом загальноприродного закону, який діє в усьому Всесвіті. Відкритий і сформульований у XVII ст. англійським фізиком Ньютоном, він стверджує, що сила гравітаційної взаємодії у Всесвіті пропорційна масам взаємодіючих тіл і залежить від відстані між ними.

Закон всесвітнього тяжіння

Зако́н всесві́тнього тяжі́ння — фізичний закон, що описує гравітаційну взаємодію в рамках Ньютонівської механіки. Закон стверджує, що сила притягання між двома тілами (матеріальними точками) прямо пропорційна добутку їхніх мас, і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

У математичній формі закон всесвітнього тяжіння записується для матеріальних точок у вигляді: $\mathbf{F}_{12} = -G\frac{m_1 m_2}{r_{12}^3}\mathbf{r}_{12}$,де $\mathbf{F}_{12}$ — сила, що діє на друге тіло (матеріальну точку) з боку першого тіла, G — гравітаційна стала, m1 та m2 — маси першого та другого тіла, відповідно, $\mathbf{r}_{12}$ — вектор, що сполучає перше тіло з другим. r12 — відстань між тілами.

Для абсолютно величини сили: $F_{12} = G\frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$.

Сила притягання, що діє на перше тіло з боку другого тіла однакова за модулем і направлена протилежно: $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{12}$.

Стала G, яку називають гравітаційною сталою, однакова для всіх тіл, тобто є фундаментальною фізичною константою.

Вага

Вагá — сила , яка діє на опору, або на вертикальний підвіс внаслідок впливу сили тяжіння цього об'єкта.

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

Рис.3 Вага

У гравітаційному полі Землі можна вважати з деяким наближенням, що вага тіла зв'язана з його масою співвідношенням P = mg, де P — вага, g — стала прискорення вільного падіння на Землі, а m — маса тіла.

Як будь-яка сила, вага в системі СІ вимірюється в ньютонах.

Із означення ваги, як сили, з якою тіло діє на опору, тобто сили реакції, вага тіла залежить від його прискорення. Наприклад, у ліфті, що рушає вгору, вага тіла збільшується на величину прискорення ліфта, а у ліфті, який спускається додолу, вага тіла зменшується на величину прискорення. Тіло, яке вільно падає з висоти, втрачає вагу. Такий стан називається невагомістю.

Відповідно, вага залежить від значення прискорення вільного падіння. Коливання прискорення вільного падіння в межах Землі невелике, але на інших небесних тілах, вага тіла з однаковою масою може сильно змінюватися. Наприклад, на Місяці вага тіл зменшується приблизно в шість разів.

Вага тіла, зануреного в рідину, зменшується на вагу витісненої рідини.

Деформація, сила пружності, закон Гука.

Деформація – це зміна форми та розмірів тіла внаслідок дії зовнішніх сил. Якщо після припинення дії прикладених сил тіло знову приймає первинну форму, то така деформація називається пружною, а тіло - пружним.

Закон Гука: *механічне напруження, яке виникає в тілі, прямо пропорційно відносній деформації.*

$\sigma = \varepsilon E$, де *E*– модуль Юнга.

Якщо відносна деформація $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, а механічне напруження $\sigma = \frac{F_{пр}}{S}$, то

$\frac{F_{пр}}{S} = E\frac{\Delta l}{l_0}$, $F_{пр} = \frac{SE}{l_0}\Delta l$.

Отже можна записати закон Гука для сили пружності:

$$F_{пр} = -\kappa \Delta l \qquad (13)$$

Сила пружності, яка виникає в тілі, прямо пропорційна абсолютній деформації.

Фізичний зміст модуля Юнга: модуль Юнга чисельно дорівнює механічному напруженню, яке виникає в тілі, при $\varepsilon=1$.

Модуль Юнга залежить від роду матеріалу.

Сила тертя — це непотенційна сила, яка протидіє рухові фізичного тіла, розсіюючи його механічну енергію в тепло.

За своєю фізичною природою сила тертя належить до електростатичних сил і не є фундаментальним типом взаємодії. В мікроскопічному світі сили тертя немає. Сила тертя виникає лише в макроскопічних системах, де внаслідок хаотичного руху атомів відбувається незворотній процес розсіяння енергії макроскопічного руху складових системи в енергію мікроскопічного руху атомів та молекул.

Сила тертя завжди направлена проти вектора швидкості. Сила тертя не належить до потенціальних сил.

Коли тіло пересувається на поверхні іншого тіла, сила тертя пропорційна силі реакції опори N з коефіцієнтом пропорційності μ, який називається коефіцієнтом тертя:

$F = \mu N$.

Архімедова сила. Закон Архімеда. Умови плавання тіл.

Закон Архімеда: *на тіло занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі, витісненому цим тілом.*

$$F_A = \rho_p g V_T , \qquad (14)$$

де ρ_p – густина тіла, g – прискорення вільного падіння, V_T – об’єм зануреного тіла.

Таблиця 1

Умови плавання тіл:

1. тіло спливає

$$F_A > F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T , F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$

$$\rho_p g V_T > \rho_T g V_T ,$$

$$\rho_p > \rho_T$$

2. тіло тоне

$$F_A < F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T , F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$

$$\rho_p g V_T < \rho_T g V_T ,$$

$$\rho_p < \rho_T$$

3. тіло плаває в будь-якому місці рідини (газу)

$$F_A = F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T \text{ , } F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$

$$\rho_p g V_T = \rho_T g V_T \text{ ,}$$

$$\rho_p = \rho_T$$

Закон збереження імпульсу тіла

Закон збереження імпульсу - один із фундаментальних законів фізики, який стверджує, що у замкненій системі сумарний імпульс усіх тіл зберігається.

Якщо на систему тіл зовнішні сили не діють або вони врівноважені, то така система називається замкнутою, для неї виконується закон збереження імпульсу: повний імпульс замкнутої системи тіл залишається незмінним за будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою.

Доведення

Розглянемо систему із N тіл, які взаємодіють між собою. Силу, яка діє на і-те тіло з боку j-ого тіла позначимо . Рівняння руху для кожного із N тіл записуються у вигляді: $\frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = \sum_j \mathbf{F}_{ij}$, де $\mathbf{p}_i$- імпульс і-ого тіла.

Просумувавши усі рівняння, й враховуючи те, що за третім законом Ньютона $\mathbf{F}_{ij} = -\mathbf{F}_{ji}$, отримуємо: $\frac{d}{dt}\sum_i \mathbf{p}_i = 0$,звідки $\sum_i \mathbf{p}_i = \text{const}$,тобто сумарний імпульс є інтегралом руху.

Лекція №5 Механічна робота.Енергія. ККДмеханізмів

План:

1. Визначення механічної роботи
2. Значення енергії для руху тіл в природі
3. Потужність механізмів
4. Робота рухомих тіл кінетична енергія
5. Робота сили тяжіння. Потенціальна енергія
6. Робота деформованого тіла. Потенціальна енергія деформованого тіла
7. Закон збереження енергії
8. ККД механізмів

Визначення механічної роботи

Робо́та - фізична величина, яка визначає енергетичні затрати при переміщенні фізичного тіла, чи його деформації.

Робота зазвичай позначається латинською літерою A (від нім. Arbeit), в англомовній літературі - W (від англ. Work), й має розмірність енергії. У системі СІ робота вимірюється в Джоулях.

При малому переміщенні фізичного тіла $\delta\mathbf{l}$ під дією сили $\mathbf{F}$ говорять, що над тілом здійснюється робота $\delta A = \mathbf{F} \cdot \delta\mathbf{l} = F\delta l \cos\theta$, де θ - кут між напрямком сили й напрямком переміщення.

Згідно з цією формулою роботу здійснює тільки складова сили, яка паралельна переміщенню. Сила, яка перпендикулярна переміщеню, роботи не здійснює.

У випадку, коли тіло рухається по криволінійному контуру C, для знаходження роботи потрібно проінтегрувати наведений вище вираз вздовж контура: $A = \int_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l}$

Якщо сила потенціальна, то робота залежить лише від різниці значень потенціалу в початоковій і кінцевій точках і не залежить від траєкторії, по якій тіло рухалося між цими двома точками.

У термодинаміці при зміні об'єму тіла на величину dV під дією тиску P над тілом виконується робота$dA = -PdV$.

Енергія

Ене́ргія (від грец. ενεργός - діяльний) — загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Поняття енергії зв`язує всі явища природи в одне ціле, є загальною характеристикою стану фізичних тіл і фізичних полів.

У фізиці енергія зазвичай позначається латинською літерою E.

В системі СІ енергія вимірюється в джоулях.

Відповідно до різних форм руху матерії, розрізняють кілька типів енергії: механічна, електромагнітна, хімічна, ядерна, теплова, гравітаційна та ін. Цей поділ є досить умовним. Так хімічна енергія складається з кінетичної енергії руху електронів, їхньої взаємодії та взаємодії з атомами.

Потужність механізмів

Потужність — робота, що виконана за одиницю часу, або енергія, передана за одиницю часу.

Зазвичай позначається латинською літерою P, вимірюється у Ватах. Іншою одиницею вимірювання, яка ще й досі широко використовується, є кінська сила. $P = \frac{dA}{dt}$

Потужність є важливою характеристикою двигунів.

Якщо на рухоме тіло діє сила, то ця сила здійснює роботу. Потужність в цьому випадку рівна скалярному добутку вектора сили на вектор швидкості, з якою рухається тіло: $p = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = F \cdot v \cdot \cos\alpha$

F — сила, v — швидкість, α — кут між вектором швидкості і сили.

Окремий випадок потужності при обертальному русі: $P = \mathbf{M} \cdot \omega = \frac{\pi \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{n}}{30}$

M — момент, ω — кутова швидкість, $\pi = 3,14159265358979323\ldots$ — число пі, n — частота обертання (число обертів за хвилину, об/хв).

Потужність – фізична величина, що дорівнює відношенню здійсненої роботи ***A*** до проміжку часу ***t,*** за який її було здійснено: $P = \frac{A}{t}$. [p]=Дж/с=Вт.

Енергія універсальна міра руху тіл в природі

$A = E_2 - E_1 = \Delta E$

[A]=1Н•1м= 1Дж

[E]=Дж

Кінетична і потенціальна енергія

Кінети́чна ене́ргія — частина енергії фізичної системи, яку вона має завдяки руху.

Робота рухомих тіл

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S}: \ \vec{F} = m \cdot \vec{a}; \ \vec{S} = \frac{\vec{V}^2 - \vec{V}_0^2}{2a}; \ A = m\frac{\vec{V}^2 - \vec{V}_0^2}{2}; \qquad (15)$$

$A = \frac{m\vec{V}^2}{2} - \frac{m\vec{V}_0^2}{2}$ робота рухомого тіла $A = E_2 - E_1$

$E_к = \frac{m\vec{V}^2}{2}$ – кінетична енергія рухомого тіла

$E_к = \frac{I\vec{\omega}^2}{2}$ – кінетична енергія обертового руху

$A = \frac{I\vec{\omega}^2}{2} - \frac{I\vec{\omega}_0^2}{2}$ – робота обертового руху твердого тіла

Робота сили тяжіння

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

$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}; \ \vec{S} = \vec{h} = h_1 - h_2$

$A = -m \cdot \vec{g}(h_2 - h_1)$

$A = -(m \cdot \vec{g}h_2 - m \cdot \vec{g}h_1)$ робота сили тяжіння

$E = mgh$ потенціальна енергія (енергія взаємодії)

Робота сил деформації

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

$A = \vec{F}_{пр} \cdot \vec{S}$

$A = \vec{F}_{пр} \cdot (x - x_0)$

$\vec{F}_{пр} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2}{2} = \frac{-kx - kx_0}{2} = \frac{-k}{2} \cdot (x + x_0)$

$$A = \frac{-k}{2} \cdot (x + x_0) \cdot (x - x_0) = \frac{-k}{2} \cdot (x^2 - x_0^2) = -\left(\frac{kx^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2}\right)$$

$A = -\left(\frac{kx^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2}\right)$ – робота сили деформації

$E = \frac{kx^2}{2}$ – потенціальна енергія деформованого тіла

Потенціáльна енéргія — частина енергії фізичної системи, що виникає завдяки взаємодії між тілами, які складають систему, та із зовнішніми щодо цієї системи тілами, й зумовлена розташуванням тіл у просторі. Разом із кінетичною енергією, яка враховує не тільки положення тіл у просторі, а й рух, потенціальна енергія складає механічну енергію фізичної системи.

Потенціальна енергія матеріальної точки визначається як робота з її переміщення із точки простору, для якої визначається потенціальна енергія у якусь задану точку, потенціальна енергія якої приймається за нуль. Потенціальна енергія визначається лише для поля консервативних сил.

Закон збереження енергії

Закон збереження енергії - закон, який стверджує, що повна енергія в ізольованих системах не змінюється з часом. Проте енергія може перетворюватися з одного виду в інший. Закон збереження енергії є, мабуть, найважливішим із законів збереження, які застосовуються в фізиці.

Закон збереження механічної енергії

У механіці, закон збереження енергії твердить, що в замкненій системі часток, повна енергія, що є сумою кінетичної і потенціальної енергії не залежить від часу, тобто є інтегралом руху.

Закон збереження енергії справедливий тільки для замкнених систем, тобто за умови відсутності зовнішніх полів чи взаємодій.

Сили взаємодії між тілами, для яких виконується закон збереження механічної енергії називаються консервативними силами.

Закон збереження механічної енергії не виконується для сил тертя, оскільки за наявності сил тертя відбувається перетворення механічної енергії в теплову.

Еволюція механічної системи матеріальних точок з масами mi за другим законом Ньютона задовольняє системі рівнянь $m_i\dot{\mathbf{v}}_i = \mathbf{F}_i$, де $\mathbf{v}_i$ - швидкості матеріальних точок, а $\mathbf{F}_i$ - сили, що діють на ці точки.

Енергія не виникає і не зникає вона переходить з одного виду в інший

$(E_{к2} - E_{к1}) = -(E_{p2} - E_{p1})$;

$E_к$ – кінетична енергія

E_p – потенціальна енергія

$\Delta E_к = -\Delta E_p$

ККД механізмів

У реальних умовах частина механічної енергії завжди втрачається, оскільки йде на збільшення внутрішньої енергії двигуна та інших частин машини. Для того щоб характеризувати ефективність машин та пристроїв, користуються коефіцієнтом корисної дії.

$$\eta = \frac{A_{кор.}}{A_{зат}} \cdot 100\,\% \qquad (15)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — це фізична величина, яка дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи. ККД позначається літерою η та вимірюється у процентах. Корисна робота завжди менша від повної. ККД завжди менший за 100 %.

Корисна робота ($A_{кор}$) – це робота завдяки якої створено механізм.

Затрачена робота ($A_{зат}$) – це робота завдяки якій працює механізм.

Багатовікова практика показує, що жоден із механізмів не дає виграшу в роботі. Ще стародавнім ученим було відоме **правило**, яке застосовували до всіх механізмів: у скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані. Це правило назвали «золотим правилом» механіки.

Модуль 2. Механіка твердого тіла.
Лекція №6. Механіка рідин і газів

План:

1.Визначення тиску;
2.Тверді тіла, їх характеристика; тиск твердих тіл;
3.Рідини, їх характеристики. Тиск рідин – гідростатичний тиск;
4.Гази, Їх характеристики. Тиск газу;
5.Закон Паскаля;
6.Атмосферний тиск;
7.Рівняння нерозривності;
8.Рівняння Бернуллі. Гідродинамічний тиск.

Тверді тіла зберігають форму і об’єм тому що, частинки із яких складаються тверді тіла – малорухомі (Вони виконують коливальний рух біля положення рівноваги і мають найбільші сили взаємодії між собою.

$P = \frac{\overline{F}тис}{S}$ - тиск

[P] – 1 $^{Н}/_{м^3}$ = 1 Па

Рідини зберігають об’єм, але не зберігають форми, це пов’язано з тим що частинки з яких складаються рідини – рухомі, але сили взаємодії між ними достатні, щоб зберігати об’єм.

$$P = \frac{F_{тис}}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho_{рід.} \cdot V \cdot g}{S} = \frac{\rho_{рід.} \cdot S \cdot g \cdot h}{S}$$

$P = \rho_{рід} \cdot g \cdot h$ - тиск рідини -**гідростатичний тиск.**

Гази не зберігають ні форми, ні об’єму так як частинки газів рухомі і між ними дуже слабкі сили взаємодії.

Тиск газу – це сумарна дія молекул частинок на дно і стінки посудини в результаті теплового хаотичного руху.

Для визначення тиску газу використовуються манометри і водяні і металеві.

Закон Паскаля

Тиск діючий на рідину або газ передається через кожну точку рідини або газу однаково , завдяки рухомості частинок.

Атмосферний тиск – створюється атмосферним повітрям висотою ≈100 км. Завдяки силі тяжіння найбільша густина повітря буде у поверхні Землі. З висотою густина зменшується. Так як атмосферне повітря не має чіткої границі і не має сталої густини, то неможливо отримати формулу для розрахунку тиску атмосфери.

Для визначення атмосферного тиску використовують ртутний барометр. Нормальний атмосферний тиск. 760мм.рт.ст.= 10^5Па.,

1мм рт.ст. = 133,3 Па

Сучасний прилад для визначення атмосферного тиску барометр-анероїд.

Атмосферний тиск с висотою змінюється. На кожні 10м висоти змінюється 1мм рт.ст.

Рівняння нерозривності

Рівняння Бернуллі

Задача: які необхідно умови, щоб рідина яка рухається по трубопроводам, проходила від постачальника до споживача без втрат.

$S_2 < S_1;\ V_2 > V_1$

$S -$ площина перерізу трубопровода

$V -$ швидкість рідини на різних ділянках

Нестислива рідина – ідеалізована система рідини в якій густина в кожній точці залишається величиною сталою

$\rho_1 = \rho_2 = const$

Рівняння нерозривності

Розглянемо перенос маси рідини по трубопроводу за один і той же проміжок часу. $\Delta m_1 = \Delta m_2$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

$$S_1 \overline{V_1} \cdot t = S_2 \overline{V_2} \cdot t$$

$$S_1 \overline{V_1} = S_2 \overline{V_2} = S_3 \overline{V_3} = \cdots = S_n \overline{V_n} = const$$

На кожній ділянці трубопроводу при русі нестисливої рідини добуток площини поперечного перерізу трубопроводу на швидкість речовини залишається сталою.

Рівняння Бернуллі

Для того, щоб рідина по трубопроводам подавалась від постачальника до споживача без втрат, необхідно, щоб на кожній ділянці трубопровода загальний тиск, який створюється рухомою рідиною (гідростатичний і гідродинамічний) та атмосферний тиск залишається величиною сталою.

Рівняння Бернуллі є наслідком закону збереження енергії. Якщо рідина не ідеальна, то її механічна енергія розсіюється і тиск вздовж трубопроводу, яким тече така рідина, спадає. Для реальної в'язкої рідини в правій частині рівнянь, слід додати величину втрат тиску Δрвт на гідравлічний опір рухові.

Рівняння Бернуллі широко застосовують для розв'язання багатьох гідравлічних задач у нафтогазовій справі.

Розглянемо роботу яку необхідно виконати щоб перенести масу рідини по трубопроводу.

$A = A_1 - A_2$, де A_1 - робота зовнішніх сил по переміщенню рідини.

A_2 – робота внутрішніх сил опору рідини

$A = (E_{k2} + E_{p2}) - (E_{k1} + E_{p1})$

$A_1 - A_2 = (E_{kr} + E_{pr}) - (E_{k1} + E_{p1})$

А – це змінна енергії

$A_1 \quad F_{тис.} \cdot V_1 \cdot t - F_{тис.r} \cdot V_2 \cdot t = (\frac{m_2 v_2{}^2}{2} + m_2 g h_2) - (-$

$F_{тис.} = p \cdot s$

$$p_1 S_1 V_1 t - p_2 S_2 V_2 t = (\frac{\rho_2 S_2 V_2 t \cdot V_2{}^2}{2} + \rho = (\frac{\rho_2 S_2 V_2 t V_2{}^2}{2} + \rho_2 S_2 V_2\, t g h_2) -$$

$$-\left(\frac{\rho_1 S_1 V_1 t V_1^2}{2} + \rho_1 S_1 V_1 t g h_1\right)$$

$$\rho_1 = \rho_2$$

$$S_1 V_1 = S_2 V_2$$

$$p_1 - p_2 = \left(\frac{\rho V_2{}^2}{2} + \rho_2 g h_2\right) - (\frac{\rho_1 V_1{}^2}{2} + \rho_1 g h_1)$$

$$p_1 + \rho_1 g h_1 + \frac{\rho_2 V_1{}^2}{2} + p_2 + \rho_2 g h_2 + \frac{g_2 V_2{}^2}{2} = const$$

$$po + \rho g h + \frac{\rho V^2}{2} = const -$$

Властивості рідини

Рідина́ — один з основних агрегатних станів речовини поряд із газом та твердим тілом. Від газу рідина відрізняється тим, що зберігає свій об'єм, а від твердого тіла тим, що не зберігає форму.

Густиною рідини r називається її маса, яка міститься в одиниці об’єму, кг/м^3, $\rho = M/W$, де M – маса рідини (кг) в об’ємі W (м^3).

Питомою вагою однорідної рідини γ, Н / м^3, називається вага G одиниці об’єму цієї рідини $\gamma = G/W$.

В’язкість рідини. Всі реальні рідини мають певну в’язкість, яка проявляється у вигляді внутрішнього тертя при відносному переміщенні суміжних частинок рідини. В’язкість рідини – це її властивість чинити опір відносному зрушенню частинок.

Поверхневий натяг рідини, який зумовлений силами взаємодії молекул поверхневого шару рідини між собою і молекулами газу, намагається скоротити вільну поверхню рідини. Внаслідок цього рідина, що має криволінійну поверхню, зазнає додаткового зусилля, яке збільшує або зменшує тиск в рідині на величину,

Модуль 3.Основи МКТ. Термодинаміка.

Лекція №7. Основи молекулярно – кінетичної теорії

План:

1. Основні положення МКТ
2. Основне рівняння МКТ газів
3. Шкала Цельсія.
4. Рівняння Больцмана
5. Шкала Кельвіна.

Основні положення МКТ

Молекулярна фізика вивчає тепловий рух. Тепловий рух зумовлює внутрішні властивості тіл, і його вивчення дає змогу зрозуміти багато фізичних процесів, які відбуваються в тілах.

Мета МКТ – пояснення властивостей макроскопічних тіл і теплових процесів, що відбуваються в них, на основі уявлень про те, що всі тіла складаються з окремих частинок, які рухаються хаотично.

Молекулярна фізика вивчає тепловий рух. Тепловий рух зумовлює внутрішні властивості тіл, і його вивчення дає змогу зрозуміти багато фізичних процесів, які відбуваються в тілах.

Мета МКТ – пояснення властивостей макроскопічних тіл і теплових процесів, що відбуваються в них, на основі уявлень про те, що всі тіла складаються з окремих частинок, які рухаються хаотично.

Основні положення МКТ речовини:

1.Будь-які речовини мають дискретну (переривчасту) будову. Вони складаються з найдрібніших частинок молекул і атомів.

Підтвердженням дискретності є прокатка, кування металу, отримання 1974 року фотографії окремих молекул і атомів, розчинність речовин тощо.

Молекули - найменші частинки, які мають хімічні властивості речовини. Молекули складаються з більш простих частинок - атомів хімічних елементів. У природі є 92 хімічні елементи. Разом із штучними наразі налічується 108 елементів.

Речовину, яка побудована з атомів лише одного виду, називають елементом (водень, кисень, азот тощо). Кожен елемент має свій номер Z в таблиці Менделєєва. Число Z визначає кількість протонів у ядрах атомів і електронів, що рухаються в атомі навколо ядра.

2. Молекули знаходяться в стані неперервного хаотичного (невпорядкованого) руху, що називається тепловим і у загальному випадку є сукупністю поступального, обертального і коливального рухів.

Під час нагрівання речовини швидкість теплового руху і кінетична енергія його частинок збільшуються, а під час охолодження зменшуються. Ступінь нагрітості тіла характеризує його температура, яка є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного поступального руху молекул цього тіла.

3. Молекули взаємодіють одна з одною із силами електромагнітної природи, причому на великих відстанях вони притягуються, а на малих - відштовхуються. Сили притягання і відштовхування між молекулами діють постійно.

Молекули різних речовин по-різному взаємодіють одна з одною. Ця взаємодія залежить від типу молекул і відстані між ними. Залежно від характеру руху і взаємодії молекул розрізняють три стани речовини: твердий, рідкий, газоподібний (плазма).

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) будови речовини:

1.всі тіла в природі складаються із окремих частинок між якими відстань.

2.частинки непреривно хаотично рухаються, мають кінетичну енергію

$$E_{ко} = \frac{m_0 V_0^2}{2}$$

3.всі частинки між собою взаємодіють силами взаємопритягання і взаємного відштовхування

$$E_{ро} \neq 0$$

Кількість речовини

$$\nu = \frac{m}{\mu}, \ \nu = \frac{N}{N_A}$$

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow \quad N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$$

Концентрація молекул – це число молекул в одиниці об’єму

$$n = \frac{N}{V} \quad [n] = 1м^3$$

$$m = \rho \cdot V = \frac{m_0 N}{V} = m_0 n$$

Макропараметри це такі параметри які можна визначити за допомогою фізичних приладів. Наприклад температуру – термометром, тиск – барометром, масу – терезами. Макропараметри описують стан макросистеми.

Параметри, які неможливо визначити за допомогою фізичних приладів називаються **мікропараметрами**

m_0 –маса молекули

V_0^{2-} середня квадратична швидкість молекули

Основне рівняння МКТ газів визначення тиску газів

Вмзначимо тиск газу. Для цього розглянемо дію газу на поршень враховуючи закон Паскаля.

$$P = \frac{F_{тис}}{S}$$

1.Знайдемо силу тиску однієї молекули на поршень S. Удар молекули на поршень буде абсолютно пружним

$$\vec{V}_{x1} = -\vec{V}_{x2}$$

$$F_{тис} \cdot \Delta t = m_0 V_{x2} - \left(-m_0 V_{x1}\right)$$

$$F_{тис} \cdot \Delta t = 2m_0 V_x : \qquad F_{тис} = \frac{2m_0 V_x}{\Delta t}$$

2. Визначимо кількість молекул які за час Δt будуть діяти на поршень площиною S

$$N = n \cdot V$$

По теорії ймовірності так, як молекули рухаються хаотично тільки половина цих молекул за час буде рухатись до поршня

$$z = \frac{1}{2} N = \frac{1}{2} nV \quad V = S\frac{V_x}{\Delta t}$$

3.знайдемо загальну силу тиску молекул на поршень за Δt

$$F_{тис} = \frac{2m_0 V_x}{\Delta t} z = \frac{2m_0 V_x}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2} nSV_x \Delta t = m_0 V_x^2 nS$$

4.знайдемо тиск газу

$$P = \frac{F_{тис}}{S} = \frac{m_0 V_x^2 nS}{S} = m_0 V_x^2 n$$

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \vec{V}_0^2$$

Дане рівняння називається **основним рівнянням МКТ**, тому що воно являється зв’язуючи містком між макро і мікро системами. Враховуючи що

$E_{ко} = \frac{m_0 V_0^2}{2}$ отримуємо $P = \frac{2}{3} nE_{к0}$

Шкала Цельсія характеризує життєдіяльність живих організмів, так як вони на 70-80% складаються з із води для якої 0°С – температура зміни агрегатного стану.

Досліди Больцмана. Балони з воднем, киснем, водою помістили в льод при температурі 0°С.Через деякий час в балонах встановиться однакова температура. Знайдемо співвідношення:

$$\frac{P_1V_1}{N_1} = \Theta_1, \quad N_1 = \frac{m_1}{\mu} N_A, \quad \frac{P_1V_1}{N_1} = \frac{P_3V_3}{N_3} = \Theta_1 \qquad (23)$$

В результаті досліда з'ясувалось, що у всіх балонах співвідношення добутку тиску і об'єму до числа молекул величина стала. Ті ж балони були розміщені при температурі + 100°С.

$$\frac{P_1V_1}{N_1} = \frac{P_2V_2}{N_2} = \frac{P_3V_3}{N_3} = \Theta_2$$

$$\Theta \sim T$$

$$\Theta = kT$$

енергетична температура

$$k = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{T_2 - T_1},$$

k – постійна Больцмана

$$\frac{PV}{N} = kT$$

$$P = \frac{N}{V} kT,$$

Рівняння Больцмана

$$P = nkT$$

Дане рівняння показує як температура впливає на тиск газу

$$P = \frac{2}{3} nE_{к0}; \quad P = nkT; \quad \frac{2}{3} nE_{к0} = nkT$$

$$\frac{2}{3} n \frac{m_0 V_0^2}{2} = nkT;$$ після скорочення $V_0 = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ – швидкість молекули і її залежність від температури.

Т=0К V=0м/с

$$T = 0K \Rightarrow t^0 = -273^0 C$$

Температурна шкала Кельвіна характеризує енергетичний стан тіл в природі, так як при Т=0К (абсолютного нуля температур) рух частинок повинен зупиниться V=0м/с, то наступить енергетичний стан речовин в природі

$$E_{ко} = 0; \quad E_{ро} = 0; \quad V = 0.$$

Кельвін (позначення K) — одиниця температури в системі СІ, одна з семи основних одиниць цієї системи.

Кельвін, згідно з міжнародною угодою, визначається двома точками: абсолютним нулем та потрійною точкою води. Абсолютний нуль температури, за визначенням, дорівнює точно 0 K та –273,15 °C. При абсолютному нулі

температури весь кінетичний рух часток матерії припиняється (в класичному розумінні) і, таким чином, матерія не має теплової енергії. Потрійній точці води, також за визначенням, призначається температура 273,16 K та 0,01 °C. Наслідком таких визначень двох опорних точок абсолютної термодинамічної шкали є:

-один кельвін дорівнює точно 1/273,16 часткам температури потрійної точки води;

-один кельвін точно дорівнює одному градусу Цельсія;

-різниця між двома температурними шкалами дорівнює точно 273,15 кельвіна.

Деякі важливі точки температурної шкали, що стосуються кельвіна, наведені в табл.2:

Таблиця 2

Точка	Температура		
	Кельвін	Градус Цельсія	Градус Фаренгейта
Абсолютний нуль (точно за визначенням)	0 K	–273,15 °C	−459,67 °F
Точка замерзання води	273,15 K	0 °C	32 °F
Потрійна точка води	273,16 K	0,01 °C	32,018 °F
Точка кипіння води1	373,1339 K	99,9839 °C	211,9710 °F

Лекція №8. Ідеальний газ. Газові закони.

План:

1. Ідеальний газ
2. Рівняння стану ідеального газу – рівняння Менделеєва-Клайперона.
3. Ізопроцеси у природі (газові закони)
4. Процес ізобарний (Закон Гей- Люссака)
5. Процес ізохорний (Закон Шарля)
6. Процес ізотермічний (Бойля – Маріотта).
7. Процес адіабатичний (Пуассона)

З точки зору молекулярно - кінетичної теорії ідеальним газом називається газ, що складається з молекул, які можна вважати матеріальними точками, потенціальною енергією взаємодії таких молекул можна знехтувати і взаємодію молекул можна розглядати як зіткнення пружних куль.

Ідеального газу в природі не існує. Існують тільки реальні гази. Реальний газ можна вважати ідеальним при низьких тисках і невеликих температурах.

Ідеальний газ– це фізична модель реального газу в якому частинки газу находяться на великих відстанях між собою, тому взаємодією їх можна знехтувати $E_{po} = 0$, частинки приймаються як абсолютно пружні матеріальні точки, частинки приймають участь в тепловому хаотичному русі

$E_{ко} \neq 0$

Рівняння стану ідеального газу

Встановимо залежність між параметрами які характерезують стан газу: P, V, T, m

З рівняння Больцмана

$P = nkT$;

$$P = \frac{N}{V}kT = \frac{m}{\mu} \cdot N_A k \frac{1}{V} T \quad \Rightarrow PV = \frac{m}{\mu} \cdot N_A kT$$

$R = N_A k$ = 8,31 Дж/моль К – універсальна газова стала

Стан ідеального газу описується рівнянням Менделєєва-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{M} RT, \tag{24}$$

де P – тиск газу, V – його об'єм, T – температура газу, m – маса газу, M – молярна маса, яка дорівнює масі одного моля речовини і в СІ вимірюється у кілограмах на моль у мінус першому степені.

Об'єм одного моля ідеального газу при норм, умовах (p = 760 мм рт. ст. = 101,325 кПа, t=0°C) дорівнює 0,0224м^3 /Моль;

R = 8,314510 Дж/(моль К). R – універсальна газова стала.

Ізопроцеси у природі (газові закони)

Якщо в газі відбуваються якісь процеси, то звичайно змінюються всі три його параметри: p, V і T. Природно, що найпростішими є процеси, які відбуваються зі зміною лише двох параметрів, а третій залишається сталим. Ці процеси дістали назву ізопроцесів (від грецького «ізос» — рівний, однаковий). Рівняння стану газу для них легко дістати з рівняння Клапейрона, вважаючи один з параметрів сталою величиною. **Розглянемо ізопроцеси при умові що маса газу стала величина.**

Процес, що відбувається при сталій величині одного з параметрів газу називають ізопроцесом.

Процес, що відбувається при постійному тиску називають ізобарним (Закон Гей- Люссака)

Ізобарний проце́с (від грец. ísos — рівний, báros — вага) — термодинамічний процес, який відбувається при сталому тиску. Прикладом ізобарного процесу може бути нагрівання води у відкритій посудині, або розширення газу у цилідрі з поршнем, який може вільно пересуватися. В обох випадках тиск дорівнює атмосферному.

При ізобарному процесі об'єм ідеального газу прямопропорційний температурі (див. Закон Гей-Люссака).

На графіках процес зображується лініями, які називаються ізобарами. Для ідеального газу вони є прямими у всіх діаграмах, які пов'язують параметри T (температура), V (об'єм) і P

$$P = const\ ,\ m = const\ ,\ \frac{V}{T} = const \tag{25}$$

Рис.5. Ізобарний процес

Процес, що відбувається при постійному об'ємі – ізохорним (Закон Шарля)

ізохо́рний проце́с— це термодинамічний процес, який відбувається при сталому об'ємі. У газах та рідинах здійснюється дуже просто. Для цього досить нагрівати (охолоджувати) речовину у посудині, яка не змінює свого об'єму.

При ізохоричному процесі тиск ідеального газу прямопропорційний його температурі (див. Закон Шарля). У реальних газах закон Шарля не виконується, так як частина теплоти, яку отримує система, витрачається на збільшення енергії взаємодії частинок.

На графіках зображується лініями, які називаються ізохорами. Для ідеального газу вони є прямими у всіх діаграмах, які пов'язують параметри T (температура), V (об'єм) і P

$$V = const\ ,\ m = const\ ,\ \frac{P}{T} = const \tag{26}$$

Рис.6 Ізохорний процес

Процес, що відбувається при постійній температурі називається ізотермічним і описується рівнянням Бойля – Маріотта.

Ізотермічний процес відбувається достатньо повільно для того, щоб температура підтримувалася сталою завдяки теплообміну із середовищем. При ізотермічному стисненні тіло віддає тепло в середовище, при ізотермічному розширенні — вбирає тепло із середовища.

Згідно з рівнянням стану ідеального газу (або рівняння Клапейрона-Менделєєва), характеристики ідеального газу задовільняють рівність

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

де p — тиск, V — об'єм, m — маса, T — температура газу відповідно, μ — молярна маса газу, R — газова стала.

$$T = const\ ,\ m = const\ ,\ PV = const \tag{27}$$

Рис.7. Ізотермічний процес

Процес, що відбувається без теплообміну між газом і навколишнім середовищем (Q=0), називається адіабатичним і описується рівнянням Пуассона

$$PV^{\gamma} = const, \tag{28}$$

де постійна для кожного стану газу величина $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, коефіцієнт Пуассона, є відношення молярної теплоємності газу при ізобарному процесі, до молярної теплоємності газу при ізохорному процесі.

Молярна теплоємність газу вимірюється кількістю теплоти, що необхідна для нагрівання одного моля газу на один Кельвін і залежить від умов нагрівання.

$C_P > C_V$ тому, що кількість тепла яка надається при ізобарному процесі іде не тільки на збільшення внутрішньої енергії газу, а і на виконання роботи проти зовнішніх сил в процесі розширення. При цьому

$$C_P = C_V + R, \tag{29}$$

де R – універсальна газова стала.

Цей вираз називають формулою Майєра.

З молекулярно – кінетичної теорії відома формула для визначення C_V і C_P для ідеального газу.

$$C_V = \frac{i}{2}R, \quad C_P = \frac{i+2}{2}R, \tag{30}$$

Лекція №9. Основи термодинаміки

План:

1. Внутрішня енергія тіл
2. Внутрішня енергія ідеального газу
3. Способи зміни внутрішньої енергії
4. Види теплопередачі в природі..
5. Робота в термодинаміці. Фізичний зміст універсальної газової сталої
6. Перший закон термодинаміки
7. Перший закон термодинаміки в ізопроцесах

Термодинамічний метод, як на це було вказано вище, досліджує термодинамічні системи не цікавлячись їх будовою. З точки зору

термодинаміки термодинамічною системою називається макроскопічна система, що вивчається методами термодинаміки. Всі тіла, не включені в термодинамічну систему, називаються зовнішнім середовищем.

Основним поняттям при вивченні термодинамічних систем є внутрішня енергія.

Вну́трішня ене́ргія тіла (позначається як E або U) — повна енергія термодинамічної системи за винятком її кінетичної енергії як цілого і потенціальної енергії тіла в полі зовнішніх сил. Внутрішня енергія складається з кінетичної енергії хаотичного руху молекул, потенціальної енергії взаємодії між ними і внутрішньомолекулярної енергії.

Внутрішня енергія є однозначною функцією рівноважного стану системи. Це означає, що кожний раз, коли система опиняється в даному рівноважному стані, її внутрішня енергія приймає властиве цьому стану значення, незалежно від передісторії системи. Отже, зміна внутрішньої енергії при переході з одного стану в інший буде завжди дорівнювати різниці значень в цих станах, незалежно від шляху, по якому здійснювався перехід. Внутрішню енергію тіла не можна виміряти напряму. Можна визначити тільки зміну внутрішньої енергії.

Внутрішня енергія тіл – це сума кінетичних енергій руху та потенціальних енергій взаємодії частинок із яких складається тіло

$$U = \sum_{i=1}^{\infty} E_{\kappa i} + \sum_{i=1}^{\infty} E_{pi}$$

Внутрішня енергія ідеального газу

Внутрішня енергія ідеального газу

$$U = \sum_{i=1}^{\infty} E_{\kappa i}$$

$$U = \frac{1}{2}\frac{m}{M}RT$$

де і – число ступенів вільності молекули ідеального газу.

Числом ступенів вільності молекули є число мінімальної кількості координат, що повністю визначають положення молекули в просторі.

Для одноатомного газу і = 3; для двохатомного і = 5; для трьохатомного і багатоатомного і=6.

Зміна внутрішньої енергії

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$$\Delta U = \frac{1}{2}\frac{m}{M}R\Delta T$$

Існує два способи зміни внутрішньої енергії:

1. Теплопередача
2. Виконання роботи системою або над системою.

Види теплопередачі

Теплопровідність — це передача теплоти від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих, зумовлена хаотичним рухом мікрочастинок речовини. Теплопровідність супроводжується передачею внутрішньої енергії від більш нагрітих до менш нагрітих тіл без перенесення речовини.

Кількість теплоти.

Кількість теплоти або кількість тепла - фізична величина, яка характеризує процеси обміну енергії між тілами.

Позначається зазвичай літерою Q, має розмірність енергії. В системі СІ вимірюється в Джоулях.

Конвекція — теплообмін у рідинах та газах, який супроводжується перенесенням речовини.

Променевий теплообмін — процес перенесення внутрішньої енергії від одного тіла до іншого внаслідок випускання, поширення та поглинання випромінювання.

$Q = \pm cm\Delta T$ - кількість теплоти при нагріванні та охолодженні;

$Q = \pm \lambda m$ - кількість теплоти при плавлінні та кристалізації;

$Q = \pm Lm$ - кількість теплоти при пароутворенні та конденсації.

Кількість теплоти це фізична величина, що є мірою зміни внутрішньої енергії в процесах, що не супроводжуються виконанням роботи, в процесах де хаотичний рух переходить від одних тіл в хаотичний рух інших, від однієї частини системи до іншої без виконання роботи.

Робота в термодинаміці.

Робота і теплота це дві форми зміни внутрішньої енергії термодинамічних систем. Роботою називається фізична величина, що характеризується зміною внутрішньої енергії термодинамічної системи за рахунок реміщень макрочастин системи або всієї системи в цілому. В подальшому розглядається тільки такі процеси, в яких внутрішня енергія визначається тільки її внутрішнім станом.

Уявімо собі, що газ знаходиться у вертикальному циліндрі, який закрито нерухомим поршнем площею S. Нехай під дією прикладеної зовнішньої сили F поршень опустився на відстань Δx , та стиснув при цьому газ. Газ буде стискатися до тих пір, доки сила F не врівноважиться силою, що діє на поршень зі сторони газу і дорівнює pS, де p – тиск газу (якщо переміщення маленьке, то тиск газу можна вважати сталим). Робота газу (A) при цьому визначається так

$F\Delta x = pS\Delta x \qquad A = p\Delta V$

Якщо газ стискався, то $\Delta V < 0$ - робота газу від'ємна; якщо газ розширювався, то $\Delta V > 0$ - додатна.

$A = p\Delta V$- робота в термодинаміці

Таким чином, якщо над газом скоюють додатну роботу, то зовнішні тіла передають йому частину своєї енергії. При розширенні газу, навпаки, робота зовнішніх сил від'ємна.

Фізичний зміст універсальної газової сталої: універсальна газова стала R чисельно дорівнює роботі розширення 1 моля ідеального газу при ізобарному нагріванні його на 1К.

Враховуючи два способи зміни внутрішньої енергії робимо висновок який відображається в першому законі термодинаміки.

Перший закон термодинаміки

Термодинамічний метод, як на це було вказано вище, досліджує термодинамічні системи не цікавлячись їх будовою. З точки зору термодинаміки термодинамічною системою називається макроскопічна система, що вивчається методами термодинаміки. Всі тіла, не включені в термодинамічну систему, називаються зовнішнім середовищем.

Основним поняттям при вивченні термодинамічних систем є внутрішня енергія. Перший закон термодинаміки стверджує: існує внутрішня енергія термодинамічної системи - така однозначна функція параметрів її стану, зміна якої дорівнює роботі, виконаної над системою та кількості підведеної теплоти.

Перший закон термодинаміки за своїм змістом є закон збереження і перетворення енергії в теплових процесах. Він відповідає на питання скільки куди і в якій кількості та якості передано внутрішньої енергії термодинамічної системи.

$$\Delta U = A + Q$$

$$dU = dA + dQ$$

Зміна внутрішньої енергії в системі відбувається завдяки виконанню роботи над системою або системою і теплопередачах.

Перший закон термодинаміки в ізопроцесах

Процеси, які відбуваються за незмінного значення одного з параметрів ідеального газу сталої маси m і молярної маси μ називають ізопроцесами. Оскільки жоден із параметрів газу не може бути строго фіксованим, то ізопроцес — це ідеалізована модель стану ідеального газу.

1. Ізотермічний процес

$T = const$, $T_1 = T_2$,

$\Delta U = \frac{1}{2}\frac{m}{M} R\Delta T \quad \Delta T = 0 \quad \Delta U = 0$

$A = Q$ **система виконує роботу в результаті теплопередачі**

2. Ізобарний процес

$P = const$, $P_1 = P_2$, $\Delta P = 0$,

$\Delta U = A + Q$ -перший закон термодинаміки виконується в повному обсязі.

3. **Ізохорний процес**

$V = const$, $V_1 = V_2$, $\Delta V = 0$,

$A = -p\Delta V$ робота

$A = 0$

$\Delta U = Q$

Зміна внутрішньої енергії системи відбувається завдяки теплопередачі.

4. Адіабатичний процес

$Q = 0$

$\Delta U = A$ система може виконувати роботу завдяки зміни внутрішньої енергії

$T_1 > T_2$, t – час, $T_1 = T_2$

В результаті термодинамічної рівноваги через деякий час система буде мати однакову температуру і не зможе виконувати роботу.

Висновок: Неможливо створити двигун першого роду.

Лекція №10. Теплові машині. Реальний газ

План:

1.Другий закон термодинаміки
2.Третій закон термодинаміки
3.Робота теплових двигунів
4.Цикл Карно
5.ККД теплових двигунів
6.Рівняння Ван-дер-Ваальса.
7.Критична температура.
8.Ефект Джоуля-Томсона.
9.Зрідження газів.
10.Кріогенна техніка і її використання в с/г.

Другий закон термодинаміки:

Теплові процеси в природі не обернені. Гаряче тіло може передавати енергію холодному тілу, а оберненого процесу не існує.

На основі другого закону термодинаміки неможливо створити двигун другого роду.

Існують декілька якісних формулювань другого закону термодинаміки які є рівноцінними та випливають одне з одного:

1 Неможлива самодовільна передача теплоти від тіла менше нагрітого до тіла більше нагрітого**.** (Р. Клаузиуса)

2 Неможливий замкнений процес**,** єдиним результатом якого було б виконання роботи за рахунок охолодження одного тіла або неможливий вічний двигун другого роду **(*perpetuum mobile II*)**, тобто двигун, що міг би працювати, наприклад, за рахунок споживання внутрішньої енергії світового океану без холодильника. (В. Томсон, М. Планк)

3 Неможливо створити цикл**,** ККД якого був би рівним або більшим за сто відсотків**.**

Перше формулювання є майже очевидним і підтверджується практикою та досвідом. В холодильних машинах тепло передається від менш нагрітих тіл до більш нагрітих, але це відбувається за рахунок роботи супутнього процесу, а не самодовільно. Відносно другого формулювання необхідно відмітить, що в ізотермічному процесі все тепло перетворюється в роботу, але замкненим ізотермічний процес не може бути.

Друге формулювання випливає з першого і навпаки. Дійсно, якщо б була можливість самодовільно передавати енергію від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, то був би можливим, наприклад цикл Карно, в якому за рахунок

отриманої від нагрівача за температури T1 кількості теплоті Q1 була б виконана робота A=Q1-□Q2□, де Q2- кількість теплоти, відданої холодильнику з температурою T2<T1.. Після цього від холодильника теплота Q2 передається до нагрівача і робота виконується тільки за рахунок охолодження нагрівача.

Третє формулювання означає, що вся теплота повинна перетворюватись в роботу, або навіть отримана робота буде більшою за кількість отриманої робочим тілом від нагрівача теплоти, що суперечить і першому і другому формулюванням другого закону термодинаміки.

Третій закон термодинаміки

Третій закон термодинаміки неможливо досягти абсолютного 0 температури так як неможливо повністю зупинити рух частинок з яких складається тіло.

Теплові двигуни

Тепловою називають машину, в якій відбувається взаємоперетворення теплової енергії і механічної роботи. За своїм призначенням теплові машини поділяються на три основних типи: теплові двигуни, теплові насоси та холодильні машини. Термічний ККД теплового двигуна є відношення роботи, яку дістали в результаті здійснення прямого оборотного циклу, до теплоти, підведеної до робочого тіла від нагрівника

Робота теплової машини основна на першому законі термодинаміки Кількість теплоти яка виділяється при згоранні палива йде на виконання робочого ходу теплової машини і на зміну внутрішньої енергії системи

$Q_1 = A + \Delta U$

Нагріте тіло Q_1

Робоче тіло $A=Q_1-Q_2$

Холодильник Q_2

Нагрівач Q_1 - кількість теплоти нагрівача

Робоче тіло – $A = Q_1 - Q_2$ корисна робоча теплонагрівача

Холодильник Q_2 -кількість теплоти холодильника

Для того щоб тепловий двигун міг виконувати поставлену задачу в кінці кожного процесу повинна спрацювати система охолодження яка забере енергію що пішла на нагрівання системи, для того щоб перевести в початковий стан .

Цикл Карно для опису роботи ідеальної теплової машини .

Основне завдання, яке поставив собі за мету Карно, полягало у визначенні параметрів, від яких залежить ККД теплової машини. При цьому він продемонстрував по-справжньому науково-теоретичний підхід, тому що намагався визначити ККД машини незалежно від "якогось механізму", "якогось певного агента", тобто пропонував розглянути ідеальну теплову машину. Особливістю цієї ідеальної машини було те, що всі зміни в ній повинні були відбуватися оборотним шляхом.

Оборотним називається процес, що може йти як у прямому, так і у зворотному напрямку, і після повернення системи у вихідний стан вона (система) залишається незмінною. Будь-який інший процес називається необоротним.

Виявляється, якщо виключити з розгляду явища, що відбуваються в мікросвіті, то в природі абсолютно оборотних процесів не існує. Ще Лазар Карно звернув увагу на те, що для досягнення найвищого ККД при побудові й експлуатації механічного пристрою потрібно звести до мінімуму удари, тертя, іншими словами, усі процеси, що призводять до втрати "живої сили". Сад і Карно обґрунтовує свою теорію, розглядаючи процес одержання руху з тепла на основі загальних міркувань, нехтуючи різноманітними несуттєвими факторами у функціонуванні машини. Він намагається визначити, від чого залежить максимальний ККД машини. Тому і бере для розгляду ідеалізовану машину, істотною особливістю процесу якої є циклічний й оборотний характер. Як робоче тіло Карно використовує повітря, щоб уникнути складностей, пов'язаних зі зміною фази — перетворенням води на пару, а потім пари — на воду. Більше того, Карно приходить до вірного висновку: для підвищення ККД треба уникати прямих контактів між нагрівачем і холодильником, щоб жодна зміна температури не була зумовлена прямими потоками тепла між двома тілами, які мають різну температуру. Ці потоки не виконують ніякої механічної роботи й призводять до зниження ККД.

Цикл Карно́ — термодинамічний цикл, який складається з двох ізотермічних процесів і двох адіабатних процесів, що поперемінно чергуються між собою. Названий за ім'ям Н. Л. С. Карно, французького вченого та інженера, котрий вперше його описав у своїй праці «Про рушійну силу вогню та про машини, що здатні розвивати цю силу» Цикл Карно складається з чотирьох стадій:

1. Робоча речовина розширюється (ізотермічний процес).
2. Робоча речовина розширюється (адіабатичний процес).
3. Робоча речовина стискається (ізотермічний процес).
4. Робоча речовина стискається (адіабатичний процес).

1-1' ізометричне розширення
1'–2 адіабатичне розширення
2- 2' ізометричне стискання
2'-1 адіабатичне стискання

Неможливість повного перетворення внутрішньої енергії газу в роботу теплових двигунів обумовлена необоротністю процесів у природі. Якби теплота могла мимовільно повертатися від холодильника до нагрівача, то внутрішня енергія могла б бути цілком перетворена в корисну роботу за допомогою будь-якого теплового двигуна.

Відповідно до закону збереження енергії робота, здійснювана двигуном, дорівнює:

A'=|Ql|-|Q2|

де Q1 — кількість теплоти, отримана від нагрівача, а Q2 -кількість теплоти, віддана холодильнику.

Коефіцієнтом корисної дії теплового двигуна називають відношення роботи A', здійсненої двигуном, до кількості теплоти,

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}$$

отриманій від нагрівача:

ККД теплового двигуна менше одиниці. При T1-T2=0 двигун не може працювати.

Максимальне значення ККД теплових двигунів. Закони термодинаміки дозволяють обчислити максимально можливий ККД теплового двигуна, що працює з нагрівачем, що має температуру T1, і холодильником з температурою T2. Уперше це зробив французький інженер і вчений Сади Карно.

$$ККД = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% \qquad ККД = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$$

Карно придумав ідеальну теплову машину з ідеальним газом як робоче тіло. Він одержав для ККД цієї машини наступне значення:

Як і очікувалось, ККД машини Карно прямо пропорційний різниці абсолютних температур нагрівача і холодильника.

Головне значення цієї формули полягає в тому, як довів Карно, що будь-яка реальна теплова машина, що працює з нагрівачем, що має температуру T1, і холодильником з температурою T2 не може мати ККД, що перевищує ККД ідеальної теплової машини.

При температурі холодильника, рівній абсолютному нулю, η=1

Рівняння Ван-дер-Ваальса.

Реальні гази. На практиці досить часто доводиться мати справу із реальними газами – наприклад, стиснутими газами в повітряних гальмах, відбійних молотках, компресорах тощо. Досліджені нами властивості газів стосуються ідеального газу – газу, для якого власний об’єм молекул (атомів) і взаємодія між ними не впливають на досліджувані явища. Більшість реальних газів, як уже зазначалось при кімнатній температурі й нормальному атмосферному тиску за своїми властивостями близькі до ідеальних. Проте з підвищенням тиску реальні гази поводять себе по іншому порівняно з ідеальним, зокрема при стисканні, коли суттєво проявляють себе сили міжмолекулярної взаємодії. Щоб описати властивості реальних газів, потрібні інші рівняння, інша модель, ближча за властивостями до реального газу.

Рівняння стану реального газу (рівняння Ван-дер-Ваальса). Задовільною моделлю реального газу, є така, в якій молекули газу мають власний об’єм, їх можна вважати абсолютно пружними кульками між якими діють сили притягання, сили відштовхування проявляють себе у моменти зіткнень.

В реальних газах частинки газу мають розміри і взаємодіють між собою

PV= $\frac{m}{M}$ RT- рівняння Менделєєва

Рівняння Ван –дер –Вальса

$$\left(P-\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=\frac{m}{M}RT$$

a і b сталі Ван-дер-Вальса які враховують відповідні розміри молекули газу та ступінь взаємодії. Для кожного виду реального газу ці сталі і їх можна взяти для кожного виду газу і їх можна взяти постійні рівняння Ван-дер-Вальса.

Рівняння ван дер Ваальса описує збільшення тиску при зменшенні об'єму розріджених газів, перенасичену пару, перегріту рідину, різке зменшення стисливості в рідкій фазі. Рівняння ван дер Ваальса визначає також критичну температуру, вище якої газ не зріджується при жодному тиску. Фактично рівняння Ван дер Ваальса описує різницю між станом реального та ідеального газів. Поправки a і b мають більше значення при високих тисках газів. Наприклад, для азоту при тиску порядку 80 атм розрахунки проведені за рівняннями ідеального та реального газів різняться приблизно на 5%, а при тиску порядку 400 атм різниця складає вже 100%.

Рівняння ван дер Ваальса описує газ, молекули якого взаємодіють між собою. Молекули притягаються на великих відстанях і відштовхуються, підходячи близько одна до одної. Притягування зумовлене ван дер Ваальсовими силами, а відштовхування — принципом Паулі.

За своєю природою b — виключений об'єм, який виникає через неточковість розміру молекул. Параметр a описує притягування між молекулами на великій відстані.

Критична температура.

Крити́чна темпера́тура — така температура, при якій густина і тиск насиченої пари стають максимальними, а густина рідини, що перебуває у динамічній рівновазі з парою, стає мінімальною. При температурі, вищій за критичну температуру газу, його неможливо сконденсувати при жодному тиску.

Зазвичай критична температура позначається Тк або Тс.

На критичній ізотермі область, в якій тиск в газі при конденсації не змінюється зі зменшеннями об'єму (модуль всебічного стиску дорівнює нулю), зводиться до однієї точки. Ця точка називається критичною точкою.

Критичній точці відповідає крім критичної термпературі також критичний тиск Рк та критичний об'єм Vк, який, проте, залежать від маси газу. Зазвичай критичні ізотерми проводяться для моля газу.

Таблиця 3

Критична температура деяких речовин

Речовина	Критична температура (°C)
Азот	-146.9
Аргон	-122.29
Бром	315
Водень	-240.17
Гелій	-267.96
Йод	546
Кисень	-118.57
Криптон	-63.7

Ксенон	16.58
Арсен	1400
Неон	-228.75
Радон	105
Ртуть	1477
Селен	1493
Сірка	1041
Фосфор	721
Фтор	-128.85
Хлор	143.8

Ефект Джоуля-Томсона.

Ефект Джоуля-Томсона– зміна температури газу під час його адіабатичного розширення (дроселювання).Має мінусовий та плюсовий ефекти.

Адіабатичний процес відбувається при відсутності теплообміну із середовищем. При адіабатичному розширенні газ виконує роботу, втрачаючи внутрішню енергію, що призводить до пониження температури.

Ефект Джоуля-Томпсона використовується для отримання наднизьких температур, зрідження газів, тощо.

Зрідження газів.

Основною сировиною для одержання зріджених вуглеводних газів є тучні і природні нафтові гази:

а) попутний нафтовий газ на газобензинових заводах;

б) газ термічної і термокаталітичної переробки нафти і нафтопродуктів на установках термічного каталітичного крекінгу, піролізу і коксування, алкілювання й інших процесів;

в) штучні гази на заводах синтетичного моторного палива (заводи деструктивно-гідрогенізаційної переробки вугілля і важких нафтопродуктів, синтезу моторного палива, з оксиду вуглецю і водню й ін.);

г) природні гази, що містять крім метану, деяка кількість більш важких вуглеводнів. Тому що в природних газах вміст більш важких вуглеводнів (пропану і бутану) невеликий, то одержують з них рідкі гази дуже рідко;

д) газоконденсатні родовища промислового значення. Найбільшу цінність для одержання рідких вуглеводневих газів мають попутні нафтові гази. Нафта на виході сепараторів, у залежності від режиму сепарації, також містить значну кількість розчинених у ній важких вуглеводневих газів. Гази, які виділяються з нафти, після сепараторів, містять близько 30% пропану, 30-35% бутану і близько 30% газового бензину. Ці гази, тобто гази, отримані в результаті стабілізації нафти, є цінними для виробництва зріджених газів, що звичайно і вилучаються на газобензинових заводах.

Штучні, заводські нафтові гази, тобто гази, отримані при деструктивній, термічній і термокаталітичній переробці нафти, різко відрізняються за своїм складом від природних газів, як від попутних, так і від природних.

Це розходження полягає в тому, що штучні нафтові гази містять значну кількість ненасичених олефінових вуглеводнів, що є дуже цінною сировиною для безлічі всіляких реакцій органічного синтезу.

Отже, основними джерелами для одержання паливних рідких вуглеводневих газів (пропан, бутан) повинні служити попутні гази, гази газоконденсатних родовищ, штучні нафтові гази і гази деструктивної гідрогенізації твердого і рідкого палива. Однак варто вказати, що гази термічної і термокаталітичної переробки нафти і нафтопродуктів, які тмістять значну кількість реакційно-здатних неграничних вуглеводнів, насамперед, повинні піддаватися відповідній переробці для їхнього фракціонування з наступним використанням у різних синтезах. У зв'язку з викладеним, процеси одержання рідких вуглеводневих газів будуть нижче розглянуті стосовно до попутних і інших аналогічних газів.

Кріогенна техніка і її використання в с/г.

Криогенна техніка, техніка здобуття і використання криогенних температур, тобто температур нижче 120 До.

Основні проблеми, що вирішуються До. т.: зріджування газів (азоту, кисню, гелію і ін.), їх зберігання і транспорт в рідкому стані; розділення газових сумішей і ізотопів низькотемпературними методами (наприклад, промислове здобуття чистих азоту кисню і аргону з повітря: виділення дейтерію ректифікацією рідкого водню і т. д.); конструювання кріорефріжераторов — холодильних машин, що створюють і підтримують температуру нижче 120 До; охолоджування і термостатування при криогенних температурах надпровідних і електротехнічних пристроїв (магнітів, соленоїдів, трансформаторів, електричних машин і кабелів, вузлів ЕОМ(електронна обчислювальна машина), гіроскопів і т. п.), електронних приладів (квантових підсилювачів і генераторів, приймачів інфрачервоного випромінювання і т. д.), біологічних об'єктів; розробка апаратури і устаткування для проведення наукових досліджень при криогенних температурах (кріостатів, бульбашкових камер і ін.).

Лекція №11. В’язкість рідини. Закон Стокса

План:

1. Ідеальна рідина
2. Механізм виникнення сил внутрішнього тертя.
3. Закон Ньютона для сили в'язкості.
4. Фізичний зміст коефіцієнта в'язкості.
5. Умова для рівномірного руху кульки в рідині
6. Закон Стокса

Ідеальна рідина це рідина без тертя. Всім реальним рідинам і газам в більшій чи меншій мірі властива в'язкість або внутрішнє тертя. В'язкість проявляється в тому, що після припинення причин виникнення руху в рідині або газі, що його викликали, поступово припиняється.

Рух рідини, при якому шари рідини ковзають один відносно одною без виникнення завихрень називається ***ламінарним.*** Властивість рідини створювати опір переміщенню одного, шару відносно другого називається *в'язкістю*, або *внутрішнім тертям*.

Механізм виникнення сил внутрішнього тертя: в'язкість виникає тому, що на границі розподілу двох шарів рідини, що рухаються в одному напрямку, але з різними швидкостями, діє сила, яка намагається зрівняти швидкість обох шарів.

Ця сила, обумовлена переносом кількості руху з одного шару в інший, завдяки тепловому руху молекул, і називаєтеся силою в'язкості.

Згідно закону Ньютона сила в'язкості (внутрішнього тертя), що зумовлює рух шарів рідини один відносно другого, пропорційна коефіцієнтові в'язкості, площі шарів, по якому відбувається рух, та градієнту швидкості течії.

Формула **Ньютона для сили в'язкості** (внутрішнього тертя) у випадку одномірного руху $(V = V(x))$ дорівнює

$$F = \pm \eta S \frac{dv}{dx}, \tag{29}$$

де η– коефіцієнт в'язкості, або динамічна в'язкість,

S – площа взаємодії шарів рідини, що рухаються,

$\frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості руху молекул вздовж вісі OX, який перпендикулярний границі розподілу шарів рідини.

Відношення $\frac{dv}{dx} = \frac{\Delta V}{\Delta x}$ показує зміну швидкості при переході від шару до шару в напрямі *x*, перпендикулярному до напряму руху шарів, називається градієнтом швидкості.

$\Delta V = V_2 - V_1$,

де V_2, V_1 – швидкості шарів, Δx – відстань між шарами,

знак $\pm$ у формулі (1) відповідає гальмуючій і прискорюючій силам.

Коефіцієнт пропорційності, який залежить від природи і стану рідини називається коефіцієнтом в'язкості або внутрішнього тертя.

В'язкість виражається в паскаль-секундах (Па·с): один паскаль-секунда дорівнює коефіцієнту динамічної в'язкості середовища, в якому при ламінарній течії і градієнті швидкості з модулем, що дорівнює 1м/с на 1м, виникає сила внутрішнього тертя в один ньютон на 1м^2 поверхні дотику шарів. (*Па·с=1Н·с/м^2*).

Фізичний зміст коефіцієнта в'язкості η: коефіцієнт в'язкості чисельно дорівнює силі внутрішнього тертя, що виникає на межі двох шарів одиничної площі при градієнті швидкості рівному одиниці.

Коефіцієнт в'язкості залежить від роду рідини і від температури. З підвищенням температури рідини він зменшується, так як при цьому збільшується середня відстань між молекулами, і відповідно зменшується зв'язок між ними.

При русі тіла у в'язкому середовищі з малими швидкостями на нього діє сила в'язкості тому, що тіло яке рухається в рідині захоплює прилеглі до нього шари і тому зазнає опір з боку рідини

$$F = -\mu V, \tag{30}$$

де μ – коефіцієнт опору середовища, зв'язаний з коефіцієнтом в'язкості.

V – швидкість відносного руху.

При малих швидкостях руху тіла, рух рідини відносно нього можна рахувати ламінарним і коефіцієнт опору в цьому випадку залежить від розмірів тіла та коефіцієнта в'язкості закон Стокса.

Коли кулька рухається в рідині на неї діють три сили: це сила тяжіння $F_т$, сила тертя $F_{тр}$ і архімедова сила F_A (виштовхувальна) рис.1.

Рис.1

Згідно другого закону Ньютона векторна сума всіх прикладених до тіла сил чисельно дорівнює добутку маси тіла на його прискорення:

$\overline{ma} = \overline{F_т} + \overline{F_{тр}} + \overline{F_A}$, при рівномірному русі *a=0*, відповідно $0 = \overline{F_т} + \overline{F_{тр}} + \overline{F_A}$. Спроектуємо вектори сили на вісь ОУ: $0 = -F_T + F_{TP} + F_A$.**Отже умова для рівномірного руху кульки в рідині:**

$$F_T = F_{TP} + F_A$$

Закон Стокса: для тіл шароподібної форми, які рухаються з невеликими швидкостями, сила опору рідини *F* пропорційна швидкості, радіусу кулі і коефіцієнту в'язкості.

$$F = 6\pi\eta Vr$$

Лекція №12. Поверхневі явища. Сила поверхневого натягу.

План:

1. Поверхневі явища.
2. Внутрішній тиск.
3. Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу.
4. Сила поверхневого натягу.

Поверхневі явища спостерігаються на межі розподілу двох фаз, наприклад, рідини і її насиченої пари, рідини, і твердого тіла, двох рідин, що не змішуються. Поверхневі явища відіграють важливу роль в таких процесах, як збагачення руд з допомогою флотації, поглинання шкідливих газів і пари, отримання стійких емульсій та ін.

Поверхня межі різко відрізняється своїми фізико-хімічними властивостями від обох граничних фаз.

Розглянемо поверхню межі газ - рідина. Молекули в рідинах розташовані на відстані, що відповідають мінімальному значенню енергії взаємодії. На таких відстанях молекули інтенсивно взаємодіють. Сили взаємодії залежать від природи молекул і значно відрізняються по величині для різних рідин. Тепловий рух молекул рідини суттєво відрізняється від теплового руху молекул газу. Середні відстані між молекулами близькі до рівноважних. Це означає, що молекули коливаються біля положення рівноваги, але в зв'язку з хаотичністю теплового руху, амплітуда коливань сусідніх молекул різна і час від часу настільки, що деякі молекули перескакують в нове положення рівноваги і починають здійснювати коливання навколо нового положення рівноваги. Таким чином молекула мандрує по всьому об'єму рідини.

На молекулу, що знаходиться всередині рідини (рис., 8), діють сили взаємного тяжіння з боку всіх оточуючих її молекул.

Рис.8. Схема дії сил на молекулу яка знаходиться всередині рідини

Рівнодіюча цих сил в положенні і дорівнює нулю і для переміщення молекули всередині рідини не потрібно виконувати роботу. Сили міжмолекулярного зв'язку діють тільки на дуже близьких відстанях, тому на молекулу діє сила тільки з боку її найближчих сусідів.

Для молекул, розташованих по поверхні (рис . положення II, III) не всі сили молекулярного притягнення будуть скомпенсовані. Це пояснюється тим, що в газовій фазі (пар над рідиною) молекули розташовані одна від одної на великих відстанях, діючі між ними сили міжмолекулярної взаємодії надзвичайно малі і на молекули на поверхні діють сили тільки з боку молекул рідини. Отже, всі молекули, що знаходяться на відстані від поверхні , що розділяє фази, менше радіуса дії молекулярних сил, відчувають притягнення з боку молекул своєї фази. Для них рівнодіюча молекулярних сил не дорівнює нулю і направлена всередину рідини.

Результуюча всіх сил молекулярного притягання діючих на одиницю поверхні, називається молекулярним або *внутрішнім тиском*.

Це саме той тиск, який потрібно було б добавити ззовні, для того щоб зберегти об'єм рідини незмінним, якщо б зникло взаємне притягнення молекул. Внутрішній тиск у води – 15000 атм., у бінзола – 4000 атм.

Під дією не скомпенсованих молекулярних сил молекули з поверхневого шару намагаються перейти до середини рідкої фази. Перехід молекул з поверхні в об'єм означає скорочення вільної поверхні рідини. Таким чином, рідина під дією внутрішніх сил намагається зменшити вільну поверхню, якщо цьому не заважають інші сили. Так, наприклад, невеликі краплі туману мають форму сфери, тому що сфера має найменшу поверхню при заданому об'ємі.

Для того, щоб збільшити вільну поверхню рідини, потрібно виконати роботу тим більшу, чим більше приріст поверхні. Тобто

$$\Delta A = \sigma \cdot \Delta S\,, \tag{31}$$

де σ – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом поверхневого натягу, чи просто поверхневим натягом.

Очевидно, що

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \tag{32}$$

Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу. *При* $\Delta S = 1, \sigma \approx \Delta A$ *коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює роботі, яку потрібно*

виконати для збільшення поверхні рідини на одиницю. В системі СІ поверхневий натяг вимірюється в Дж/м^2 чи Н/м.

Коли під дією сил молекулярного притягання молекули переходять у середину рідини, поверхня скорочується. При цьому мікроскопічна картина сил, що діють на кожну окрему молекулу, буде досить складною. *Результуюча дій сил, що направлені до середини рідини, еквівалентна дії деякої сили, перпендикулярної до контура, що обмежує поверхню рідини і направлена по дотичній до поверхні рідини* ***називаєтеся силою поверхневого*** *натягу.* Якщо при скорочені поверхні ребро контура зміщується на величину dx, то при цьому силою поверхневого натягу здійснюється робота

$$dA = F \cdot dx \tag{33}$$

Сили молекулярного притягання здійснюють за той час роботу

$$dA = \sigma \cdot dS\,, \tag{34}$$

де dS – зміна поверхні, яку можна представити як добуток $l \cdot dx$,

де l – довжина контура, що обмежує поверхню. Порівнявши ці вирази отримаємо $\sigma l \cdot dx = F \cdot dx$

Звідси

$$\sigma = \frac{F}{l} \tag{35}$$

при $l = 1, \sigma = F$.Отже, можливо дати і друге визначення коефіцієнта поверхневого натягу: *коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, що діє на одиницю довжини контура, яка обмежує поверхню.*

Величина поверхневого натягу σ *залежить від природи рідини та умов в яких вона знаходиться, зокрема від температури*. Тому, щоб визначити σ, необхідно зафіксувати температуру при якій були зроблені вимірювання.

Напружений стан поверхневого шару рідини називається *поверхневим натягом*; цей стан визвано силами щеплення між молекулами цього шару.

Під *силою поверхневого натягу F* розуміють суму сил притягання, що діють на контур, який обмежує поверхню рідини.

$$F = \sigma \cdot l$$

Модуль 4. Електричний струм.

Лекція №13. Електростатика. Електричний струм

План:

1.Електричне поле.
2.Напруженість поля.
3.Теорема Остроградського.
4.Потенціал.
5.Напруга.
6.Напруга в електричному полі.
7.Електрична індукція.

8.Електростатичний захист.
9.Електроємність.
10.Конденсатори та їх з'єднання.
11.Енергія електричного поля.
12.Поляризація діелектриків.
13.Діелектрична проникність.
14.Струм.
15.Сила струму.
16. Закон Ома.
17.Опір провідників та залежність його від температур.
18.Надпровідність.
19.Робота та потужність постійного струму.
20.Правила Кіргофа.

Електричне поле

Електри́чне по́ле — це складова частина електромагнітного поля, яка описує взаємодію між нерухомими зарядами.

Кількісними характеристиками електричного поля є вектор напруженості електричного поля$\mathbf{E}$ й вектор електричної індукції$\mathbf{D}$.

У випадку, коли електричне полене змінюється з часом, його називають електростатичним полем.

Розділ фізики, який вивчає розподіл статичного електричного поля в просторі, називається електростатикою.

Електричне поле створюється зарядженими тілами, зокрема зарядженими елементарними частинками. Таке поле є потенціальним. Його напруженість визначається законом Кулона. Силові лінії потенціального електричного поля починаються і закінчуються на зарядах або виходять на нескінченність.

За законом електромагнітної індукції електричне поле створюється також змінним магнітним полем. Таке електричне поле - вихрове. Силові лінії вихрового електричного поля замкнені.

Напруженість поля.

Напру́женість електри́чного по́ля — це векторна фізична величина, яка дорівнює силі, яка діє у данній точці простору у данний момент часу на пробний одиничний електричний заряд у електричному полі.

$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

де$\mathbf{F}$ — сила, q — заряд, $\mathbf{E}$ — напруженість електричного поля.

В системі СІ вимірюється у В/м, на практиці здебільшого у В/см.

Теорема Остроградського.

Визначимо потік напруженості поля електричних зарядів q1, q2, q2, … qn крізь деяку замкнуту поверхню, яка оточує ці заряди (Рис 9). Будемо вважати потік від'ємним, якщо він направлений всередину поверхні; в іншому випадку будемо вважати його додатнім.

Розглянемо спочатку випадок сферичної поверхні радіусом R, що оточує один заряд q, що знаходиться в центрі (Рис 10). Напруженість поля на всій сфері однакова і рівна.

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$$

Рис 9. Потік напруженості поля електричних зарядів крізь деяку замкнуту поверхню яка оточую ці заряди

Силові лінії направлені по радіусах, тобто перпендикулярно до поверхні сфери, тоді потік напруженості N розрахуємо за формулою:

$$N = ES = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} 4\pi R^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

де S=4πR2 – площа сферичної поверхні.

Оточимо тепер сферу довільною замкнутою поверхнею. Як видно на рис. 2, кожна силова лінія, що пронизує цю сферу, пронизить і цю поверхню. Відповідно, формула (1) справедлива не тільки для сфери, а й для будь-якої замкнутої поверхні.

Тепер повернемося до загального випадку довільної поверхні, яка оточує n зарядів (Рис 9). Очевидно, що потік напруженості через поверхню рівний сумі потоків, створюваних кожним.

$$N = \sum_1^n \frac{q_i}{\varepsilon_0}$$

із зарядів: або остаточно

$$N = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_1^n q_i$$

Рис. 10 Що оточує один заряд

Отже, потік напруженості, пронизуючий будь-яку замкнену поверхню, яка оточує електричні заряди, пропорційний алгебраїчній сумі оточених зарядів.

Це положення називається теоремою Остроградського – Гаусса.

Потенціал.

Потенціáл— скалярна характеристика фізичного поля.

Енергетична характеристика даної точки будь-якого силового поля. Чисельно дорівнює роботі, яку здійснюють сили поля, переміщуючи одиницю маси (потенціал тяжіння) чи електричного заряду (електростатичний потенціал) з даної точки поля в точку, де потенціал вважають рівним нулю.

Потенціал — універсальна функція координат простору (яка не залежить від часу), що характеризує роботу, необхідну для переміщення пробного об'єкта із деякої фіксованої точки простору в дану точку. В якості фіксованої точки простору загалом приймають точку, яка знаходиться на безмежності. Отже, потенціал — це величина, що чисельно (але не за розмірністю) дорівнює роботі, витраченої на переміщення пробного об'єкта з безмежності в дану точку простору.

Потенціал існує не для всіх полів, а лише для полів такої конфігурації, де робота з переміщення об'єкта не залежить від шляху, яким відбувається

переміщення, а залежить лише від координат початкової та кінцевої точки переміщення.

Напруга.

Напру́га — напругою U12 на ділянці електричного кола 1-2 називається фізична величина, що визначається роботою, яка виконується сумарним полем електростатичних і сторонніх сил при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола. Поняття напруги є узагальненим поняттям різниці потенціалів: напруга на кінцях ділянки кола дорівнює різниці потенціалів в тому випадку, якщо на цій ділянці не прикладена електрорушійна сила.

Напруга вимірюється у вольтах.

Для вимірювання напруги використовуються прилади, які називаються вольтметрами, мілівольтметрами тощо.

В побутовій електромережі України використовується змінний струм із напругою 220 В.

Напруга в електричному полі.

Електрична напруга (U) між двома точками електричного ланцюга або електричного поля, дорівнює роботі електричного поля по переміщенню одиничного покладе, заряду з однієї крапки в іншу. У потенційному електричному полі ця робота не залежить від дороги, по якій переміщається заряд; в цьому випадку Е. н. між двома крапками збігається з різницею потенціалів між ними.

Якщо поле непотенційне, то напруга залежить від тієї дороги, по якій переміщається заряд між крапками. Непотенційні сили, називаються сторонніми, діють усередині будь-якого джерела постійного струму (генератора, акумулятора, гальванічного елементу і ін.). Під напругою на затисках джерела струму завжди розуміють роботу електричного поля по переміщенню одиничного позитивного заряду уздовж дороги, лежачого зовні джерела; в цьому випадку Е. н. дорівнює різниці потенціалів на затисках джерела і визначається Ома законом: U = IR—E, де I — сила струму, R — внутрішній опір джерела, а E — його електрорушійна сила (едс). При розімкненому ланцюзі (I = 0) напруга по модулю рівна едс(електрорушійна сила) джерела. Тому едс(електрорушійна сила) джерела часто визначають як Е. н. на його затисках при розімкненому ланцюзі.

В разі змінного струму Е . н. зазвичай характеризується значенням, що діє (ефективним), яке є середньоквадратичним за період значенням напруги. Напруга на затисках джерела змінного струму або котушки індуктивності вимірюється роботою електричного поля по переміщенню одиничного позитивного заряду уздовж дороги, лежачого зовні джерела або котушки. Вихрове (непотенційне) електричне поле на цій дорозі практично відсутнє, і напруга дорівнює різниці потенціалів. Е. н. зазвичай вимірюють вольтметром . Одиниця Е. н. у Міжнародній системі одиниць — вольт .

Електрична індукція.

Електрична індукція поширюється подібно хвилям з кінцевою швидкістю; світлові явища не відрізняються від електричної індукції; для аналізу зазначених явищ варто використовувати теорію коливань. Фарадей відкрив, користуючись сучасною термінологією, явище електромагнітної індукції й інтуїтивно пророчив існування електромагнітних хвиль.

Слово «індукція» походить від латинського кореня, який означає наведення.

На заряд у суцільному середовищі з боку інших зарядів діють сили відмінні від сил у вакуумі. Причиною цього є поляризація середовища. Будь-який матеріал складається із електронів і йонів, які під дією зовнішнього поля зміщуються. В результаті ці наведені заряди створюють свої поля, згідно з принципом Лешательє-Брауна, реакція будь-якої системи на зовнішній влив намагається зменшити ефект цього впливу. Електричне поле, яке діє на пробний заряд з боку інших зовнішніх зарядів менше, ніж у випадку відсутності середовища.

Напруженість електричного поля, розрахована без врахування наведених зарядів і поляризації, й називається вектором електричної індукції у системі СГС. В системі СІ вектор електричної індукції визначений із іншою розмірністю, ніж розмірність напруженості електричного поля, а тому результат розрахунку потрібно ще домножити на ε_0 — діелектричну проникність вакууму.

Ве́ктор електри́чної інду́кції — кількісна характеристика електричного поля у суцільному середовищі.

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$$

де $\mathbf{P}$ — вектор поляризації

Здебільшого позначається латинською літерою $\mathbf{D}$.

Електроємність.

Електроємністю (ємністю) – провідника С називають величину, що дорівнює відношенню заряду q, наданого провіднику до його потенціалу :

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

Одиниця електричної ємності в СІ – фарад, [С] = Кл/В=Ф.

Конденсатори та їх з’єднання.

Система з двох провідників розділених шаром діелектрика, товщина якого мала порівняно з розмірами провідників, називається конденсатором. Конденсатор бувають плоскі, циліндричні, сферичні.

Електроємність плоского конденсатора: $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

S – площа пластини, d – відстань між пластинами, ? – діелектрична проникність діелектрика.

Ємність конденсатора з п пластин: $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S(n-1)}{d}$

Конденсатори з’єднують у батареї паралельно або послідовно.

Паралельне з’єднання

Напруги на всіх конденсаторах однакові:

U1=U2=…=Un

q = q 1+ q2 + … + qn

Тоді Спар = C1+C2+…+Cn

Послідовне з’єднання

Заряди усіх конденсаторів при послідовному їх з’єднанні однакові.

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \ldots + \frac{q}{C_n}$$

Загальна ємність: $\frac{1}{C_{посл}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$

Енергія електричного поля.

Електрична енергія — термін, під яким мається на увазі енергія, наявна в електромагнітному полі. Сюди ж відносяться окремі випадки чистого електричного поля і чистого магнітного поля. Ця енергія рівна механічній роботі, здійснюваній при переміщенні зарядів та провідників у електричному і магнітному полях.

Для електричного і магнітного полів їх енергія пропорційна квадрату напруженості поля. Слід зазначити, що, строго кажучи, термін енергія електромагнітного поля є не цілком коректним. Обчислення повної енергії електричного поля навіть одного електрона приводить до значення рівного нескінченності, оскільки відповідний інтеграл (див. нижче) розходиться. Нескінченна енергія поля цілком скінченного електрона складає одну з теоретичних проблем класичної електродинаміки. Замість нього у фізиці зазвичай використовують поняття густини енергії електромагнітного поля (у певній точці простору). Загальна енергія поля дорівнює інтегралу густини енергії по всьому простору.

Густина енергії електромагнітного поля є сумою густин енергій електричного і магнітного полів.

У системі СІ для вакууму: $u = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_0 H^2}{2}$

де E — напруженість електричного поля, H — напруженість магнітного поля, ε_0 — електрична стала, і μ_0 — магнітна стала.

Поляризація діелектриків.

Поляриза́ція діелектри́ків — виникнення диполь електричного моменту діелектрика, поміщеного у зовнішнє електричне поле; явище зміщення електричних зарядів діелектрика під впливом зовнішнього електричного поля зумовлює виникнення внутрішнього електричного поля з протилежним напрямком, наслідком чого є зменшення прикладеного поля.

Поляризація діелектрика - стан діелектрика, який характеризується наявністю електричного моменту у будь-якого елемента його обсягу.

Розрізняють поляризацію, що виникає під дією зовнішнього електричного поля, і спонтанно (мимовільно) поляризацію, існуючу за відсутності поля. У деяких випадках поляризація діелектрика з'являється під дією механічних напруг, сил тертя або внаслідок зміни температури.

Поляризація не змінює сумарного заряду в будь-якому макроскопічному обсязі всередині діелектрика. Однак вона супроводжується появою на поверхні

діелектрика пов'язаних електричних зарядів з поверхневою щільністю σ. Ці пов'язані заряди створюють у діелектрику додаткове макроскопічне поле з напруженістю E1, спрямоване проти зовнішнього поля з напруженістю E0. Результуюча напруженість поля E всередині діелектрика E = E0-E1.

Діелектрична проникність.

Діелектри́чна прони́кність (діелектрична стала) середовища ε — безрозмірна величина, що характеризує ізоляційні властивості середовища. Вона показує, в скільки разів взаємодія між зарядами в однорідному середовищі менша ніж у вакуумі.

Відносна діелектрична проникність речовини εr може бути визначена шляхом порівняння електричної ємкості тестового електричного конденсатора з певним діелектриком (Cx) і ємкості того ж конденсатора у вакуумі (Co):

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0}.$$

Зменшення сили взаємодії між зарядами викликане процесами поляризації середовища. У електричному полі електрони в атомах та молекулах зміщуються відносно йонів, і виникає наведений дипольний момент. Ті молекули, які мають власний дипольний момент (наприклад, молекула води), орієнтуються в електричному полі. Дипольні моменти створюють своє електричне поле, яке протидіє тому полю, що зумовило їх появу. В результаті сумарне електричне поле зменшується. При невеликих полях таке зменшення можна описати за допомогою діелектричної проникності.

Необхідно зазначити, що великі електричні поля можуть сильно змінити процеси, які відбуваються в середовищі. Наприклад, може наступити пробій. В такому випадку поняття діелектричної проникності втрачає сенс.

Струм

Електри́чний струм — впорядкований рух заряджених частинок у просторі. У металах це електрони, напівпровідниках - електрони та дірки, у електролітах - позитивно та негативно заряджені іони, у іонізованих газах — іони та електрони. За напрямок струму вибирають рух позитивно заряджених частинок. Таким чином, напрямок струму в металах протилежний напрямку руху електронів.

Кількісно електричний струм характеризується диференційною векторною величиною густиною струму, або у випадку струму в проводах інтегральною величиною силою струму.

Сила струму.

Величина $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ називається силою струму, і відповідає кількості заряду (Δq), переміщеному через перетин провідника за час Δt.

У системі СІ сила струму вимірюється в амперах. Відповідно, густина струму вимірюється в А/м2.

Якщо за кожен проміжок часу Δt заряд Δq однаковий і напрямок струму незмінний, то такий струм називають постійним.

У випадку, коли ці величина змінні, силу струму описують так:

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} = q'$$

такий струм називають змінним.

Для класичної системи заряджених частинок із зарядом e безмежно малий заряд dQ, що переноситься за час dt через елементарну площадку dS, перпендикулярну напрямку середньої швидкості v частинок визначається так:

$$dQ = envdSdt$$

де e — заряд частинок, v — швидкість руху частинок, а n — їх кількість в одиниці об`єму.

Сила струму dI через площадку dS визначається співвідношенням $dI = envdS$ згідно з яким $\mathbf{j} = en\overline{\mathbf{v}}$ — густина електричного струму, де риска над символами означає усереднення.

Закон Ома.

Зако́н О́ма — це твердження про пропорційність сили струму в провіднику прикладеній напрузі.

Закон Ома справедливий для металів і напівпровідників при не надто великих прикладених напругах. Якщо для елемента електричного кола справедливий закон Ома, то говорять, що цей елемент має лінійну вольт-амперну характеристику.

У електротехніці прийнято записувати закон Ома у інтегральному вигляді

$$U = I \cdot R$$

де U — прикладена напруга, I — сила струму, R — опір провідника.

Проте опір є характеристикою провідника, а не матеріалу, й залежить від довжини та поперечного перерізу провідника. Тому в фізиці застосовують закон Ома у диференціальному вигляді: $\mathbf{j} = \sigma \cdot \mathbf{E}$ де j — густина струму, σ — питома провідність матеріалу, E — напруженість електричного поля.

Питома провідність залежить від кількості вільних носіїв заряду в провіднику і від їхньої рухливості.

Різниця потенціалів (напруга) на кінцях провідника довжиною l з постійною напруженістю електричного поля E дорівнює $U = \Delta\varphi = El$

Якщо провідник має площу перерізу S, то сила струму в ньому зв'язана з густиною сили струму формулою:

I = jS.

Виходячи із закону Ома в формі

j = σE

і, підставляючи значення j = I / S та E = U / l, отримуємо рівняння

$\frac{I}{S} = \sigma\frac{U}{l}$ або $U = \frac{l}{\sigma S}I = RI$ де опір R визначається через питому провідність формулою $R = \frac{l}{\sigma S} = \rho\frac{l}{S}$.

Тут ρ = 1 / σ - питомий опір.

В повному колі окрім опору навантаження є ще джерело джерело живлення, яке має свій власний внутрішній опір. Сила струму в ньому визначається формулою

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

де $\mathcal{E}$ - електрорушійна сила, R - опір навантаження, r -внутрішній опір джерела струму.

Опір провідників та залежність його від температур.

Пито́мий о́пір — кількісна характеристика речовини, якою визначається здатність створювати опір електричному струму.

Позначається зазвичай грецькою літерою ρ.

Одиниця вимірювання питомого опору в системі СІ — Омм.

Питомий опір використовується для характеристики провідників і напівпровідників в умовах, коли виконується закон Ома.

Питомий опір — обернена величина до питомої провідності σ.

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Опір провідника довжиною l і з поперечним перерізом S визначається співвідношенням $R = \rho\frac{l}{S}$.

Питомий опір провідників зростає зі збільшенням температури. Це явище зумовлене посиленням хаотичного руху атомів, а отже збільшенням частоти розсіяння носіїв заряду. Для напівпровідників питомий опір здебільшого зменшується при підвищенні температури, з-за росту концентрації носіїв заряду.

Таблиця 4

Матеріал	Питомий опір (Омм)
мідь	1,7 х 10-8
золото	2,44 х 10-8
алюміній	2,82 х 10-8
залізо	10 х 10-8
платина	11 х 10-8
олово	22 х 10-8
графіт	3,5 х 10-5
германій	0,46
кремній	640
скло	1010

Надпровідність.

Надпровідність — квантове явище протікання електричного струму у твердому тілі без втрат.

Явище надпровідності існує для низки матеріалів, не обов'язково добрих провідників при звичайних температурах. Перехід до надпровідного стану відбувається при певній температурі, яку називають критичною температурою надпровідного переходу.

Надпровіднсть, проте, може бути зруйнована, якщо помістити зразок у зовнішнє магнітне поле, яке перевищує певне критичне значення. Це критичне магнітне поле зменшується при збільшенні температури.

Надпровідність характеризується абсолютним діамагнетизмом. У магнітному полі в надпровідному матеріалі виникають такі струми, магнітне поле яких повністю компенсує зовнішнє магнітне поле, тобто магнітне поле виштовхується із надпровідника. Завдяки цій властості виникає явище левітації надпровідника над магнітом (або магніта над поверхнею надпровідника), яке отримало назву труна Магомета. Сильне магнітне поле руйнує надпровідність. Проте надпровідники розрізняються за своєю поведінкою у відносно сильних магнітних полях, у залежності від поверхневої енергії границі розділу надпровідної й нормальної фаз. У надпровідників I роду ця поверхнева енергія додатня, й надпровідність руйнується, якщо поле перевищує певний рівень, який називається критичним магнітним полем. У надповідників II роду поверхнева енергія границі розділу нормальної та надпровідної фаз від'ємна, тож магнітне поле, коли його напруженість перевищує певне значення (воно називається першим критичним полем), починає проникати в надпровідник поступово в певних місцях, навколо яких утворюються вихрові струми (див. Абрикосівський вихор). Якщо збільшувати магнітне поле далі, то нормальних областей стає дедалі більше, й при критичному полі надпровідність руйнується повністю. Надпровідники другого роду використовуються для створення надпровідних електромагнітів.

Робота та потужність постійного струму.

Постійний струм — електричний струм, незмінний в часі.

Правила Кіргофа.

ра́вила Кірхго́фа визначають метод розрахунку складних розгалужених електричних кіл. Методика розрахунку розроблена Густавом Кірхгофом.

Перше правило Кірхгофа:

В кожному вузлі алгебраїчна сума струмів дорівнює нулю.

При цьому струми, які входять в розгалуження й виходять із нього вважаються величинами різних знаків.

Математично перше правило Кірхгофа можна записати таким чином: $\sum_i I_i = 0$.

Перше правило Кірхгофа є наслідком закону збереження заряду. Для неперервно розподілених струмів у просторі воно відповідає рівнянню неперервності.

Друге правило Кірхгофа:

Для будь-якого замкнутого контура проводів сума електрорушійних сил дорівнює сумі добутків сил струму на кожній ділянці контура на опір ділянки, враховуючи внутрішній опір джерел струму.

Математично друге правило Кірхгофа записується так: $\sum_i \mathcal{E}_i = \sum_k I_k R_k.$

Послідовне застосування правил Кірхгофа до усіх вузлів й контурів у складній електротехнічній мережі дозволяє скласти повну систему лінійних рівнянь для визначення сил струму на кожній із ділянок.

Для розрахунку перш за все малюють електротехнічну схему й довільним чином познають стрілками напрями струмів на кожній ділянці. Потім виділяються замкнуті контури й обходяться в одному довільно вибраному напрямку. Якщо стрілка, яка вказує напрям струму направлена проти обходу, то відповідний добуток струму на опір береться зі знаком мінус.

Якщо при обході переходять від від'ємного полюса джерела струму до додатного, то е.р.с. записується з додатним знаком, якщо навпаки, то з від'ємним.

В результаті отримують систему рівнянь, розв'язуючи яку визначають сили струму. Якщо сила струму вийшла від'ємною, то це значить, що напрям струму на даній ділянці вгадали неправильно , хоча це не впливає на правильність результ

Лекція №14. Електричний струм в різних середовищах (рідини, гази, вакуум)

План:

1.Електричний струм в рідинах.

2.Електричний струм в газах.

3.Самостійний і несамостійний газовий розряд. 4.Термоелектронна емісія.

5.Вакуумні лампи.

Електричний струм в рідинах

Рідина́ — один з основних агрегатних станів речовини поряд із газом та твердим тілом. Від газу рідина відрізняється тим, що зберігає свій об'єм, а від твердого тіла тим, що не зберігає форму.

У рідині молекули здебільшого зберігають свою цілісність, хоча чимало рідин є розчинниками, в яких молекули до певної міри дисоціюють. При дисоціації в рідинах утворюються позитивно й негативно заряджені йони. Такі рідини проводять електричний струм.

Електроліти – це речовини, електричний струм у яких завжди супроводжується їх хімічними змінами. Це розчини солей, кислот і лугів у воді. У таких розчинах постійно відбувається розпад молекул на іони. Цей процес називається електролітичною дисоціацією. Внаслідок дисоціації в розчині утворюються позитивні (катіони) іони металів і водню, та негативні (аніони) іони кислотних залишків і гідроксильної групи. У стані динамічної рівноваги розчин характеризується ступенем дисоціації ? – відношенням числа n молекул, які дисоціювали на іони, до загального числа n0 молекул речовини: $\gamma = \frac{n}{n_0}$

Густину електричного струму в електроліті можна визначити за законом Ома: $\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho} = \delta\vec{E}$

При підвищенні температури питомий опір електроліту зменшується, а питома провідність збільшується. Проходження електричного струму через електроліт супроводжується явищем електролізу – виділення на електродах речовин, що входять до складу електроліту.

Електричний струм в газах.

Гази за нормальних умов погано проводять електричний струм, тобто є ізоляторами. Газ складається з нейтральних атомів і молекул. Внаслідок зовнішніх дій (опромінювання ультрафіолетовим, рентгенівським, радіоактивним випромінюванням, нагрівання і т.д.) газ іонізується, тобто від атомів і молекул відриваються електрони. Внаслідок іонізації утворюються позитивні іони і електрони. Коефіцієнт іонізації ? називають відношення числа іонів N, що виникли, до числа молекул газу N0 в даному об'ємі.

$$\beta = \frac{N}{N_0}$$

Поряд з іонізацією відбувається зворотній процес – рекомбінація, тобто об'єднання іона і електрона в нейтральну молекулу або атом.

Енергію, яку потрібно затратити для іонізації газу, називають енергією іонізації. Для різних газів енергія іонізації має різне значення і залежить від будови атома чи молекули. Необхідна умова іонізації – надання електронам значної швидкості: $\frac{mV^2}{2} \geq A_i$

де Ai - робота іонізації, m і V – відповідні швидкість і маса електронів.

Процес проходження струму через газ називають газовим розрядом. Газовий розряд, який відбувається під дією іонізатора, називається несамостійним (ділянка 0 – 2).

Вольт – амперна характеристика (залежність сили струму в колі від напруги) має такий вигляд (рис. 11.).

Рис. 11. Графік залежності струму від напруги

При несамостійному газовому розряді закон Ома не справджується (не існує пропорційної залежності між силою струму і прикладеною напругою). Починаючи з деякої напруги, сила струму не змінюється, настає насичення.

Самостійний і несамостійний газовий розряд.

Газовий розряд — явище протікання електричного струму в газах.

Газ складається із нейтральних атомів і молекул, тому для забезпечення електропровідності необхідне виникнення носіїв заряду - іонізація. Джерелом іонізації може бути зовнішне опроміннення високоенергетичними фотонами - ультрафіолетовими, рентгенівськими чи гамма-променями. Іонізація може виникнути також у сильному електричному полі, або ж за рахунок зіткнень із прискореними носіями заряду (ударна іонізація). Додатковим джерелом носіїв заряду може бути поверхнева іонізація, наприклад термоелектронна емісія з катоду.

При малих зовнішніх електричних полях провідність газів зумовлена зовнішніми джерелами іонізації. Розряд, який виникає в таких умовах, називають несамостійним розрядом.

Розряди, які виникають у сильних електричних полях за рахунок іонізації, що виникає при протіканні струму, називаються самостійними газовими розрядами.

Розрізняють такі типи самостійних газових розрядів:

-Тліючий розряд

-Дуговий розряд

-Іскровий розряд

-Коронний розряд

Тліючий розряд виникає при низьких тисках $(p \approx 0{,}01 \div 1 мм.рт.ст.)$. Він виникає внаслідок ударної іонізації газу в трубці і додаткового вибивання електронів з катода позитивними іонами. Тліючий розряд використовується в газосвітних трубках для оформлення реклам, в лампах денного світла, в газових лазерах.

Коронний розряд (у самому електричному полі) виникає поблизу зарядженого гострого провідника. Він спостерігається при атмосферному тиску навколо проводів високовольтної лінії. Чим вища напруга, тим товщим має бути провід. У техніці коронний розряд використовують в електрофільтрах, призначених для очищення промислових газів від домішок. Коронний розряд призводить до втрати енергії.

Іскровий розряд виникає у разі великої напруженості електричного поля (30000 В/см). Між електродами виникає електрична іскра, яка має вигляд дуже яскравої смуги складної форми.

Іскровий розряд має переривчастий характер, бо після пробою напруга на електродах значно спадає через те, що проміжок між електродами коротко замикається. Прикладом іскрового розряду є блискавка, пробій діелектрика.

Дуговий розряд. Якщо в колі є потужне джерело, то іскру можна перетворити в електричну дугу. Дуга виникає, якщо привести в контакт, а потім поступово розсовувати два вугільні електроди, які перебувають під напругою. Дуговий розряд виникає тоді, коли внаслідок нагрівання катода основною причиною іонізації газу є термоелектронна емісія – випромінювання електронів дуже нагрітими тілами. Дуговий розряд використовують під час зварювання металів, для освітлення, в дугових електропечах.

Термоелектронна емісія.

Термоелектронна емісія — явище зумовленого тепловим рухом вильоту електронів за межі речовини.

Термоелектронна емісія суттєва для функціонування вакуумних ламп, в яких електрони випромінюються негативно зарядженим катодом. Для збільшення емісії катод зазвичай підігрівається ниткою розжарення.

При нагріванні металу енергетичний розподіл електронів в зоні провідності змінюється. З'являються електрони з енергією, що перевищує рівень Фермі. Незначна кількість електронів може набути енергію, яка перевищує роботу виходу. Такі електрони можуть вийти за межі металу, в результаті чого виникає емісія електронів. Величина струму термоелектронної емісії залежить від температури катода, роботи виходу та властивостей поверхні (рівняння Річардсона-Дешмана): $j_e = AT^2 e^{-e\varphi_0/k_B T}$

де: je — густина струму емісії;

A - емісійна стала, яка залежить від властивостей випромінювальної поверхні і яка для більшості чистих металів лежить в межах 40-70 А/см²*К²;

T - абсолютна температура катода;

e - основа натуральних логарифмів;

eφ0 — робота виходу електрона із металу;

kB — стала Больцмана.

Наведене рівняння справедливе для металів.

Суттєво впливає на величину струму емісії зовнішнє електричне поле, яке діє біля поверхні катода. Це явище отримало назву ефекта Шотткі. На електрон, що виходить із катода, при наявності зовнішнього електричного поля діють дві сили — електричного тяжіння, яка повертає електрон назад, і зовнішнього поля, що пришвидшує електрон у напрямі від поверхні катода. Таким чином, зовнішнє електричне поле зменшує потенційний бар'єр, внаслідок чого знижується робота виходу електронів із катода і збільшується електронна емісія.

Вакуумні лампи.

Рис.12. Вакуумна лампа

Електрова́куумна ла́мпа або Електро́нна ла́мпа (ЕЛ) — електровакуумний прилад, що призначений для різноманітних перетворень електричних величин шляхом утворення потоку електронів та його керуванням.

Електрова́куумна ла́мпа або Електро́нна ла́мпа (ЕЛ) — електровакуумний прилад, що призначений для різноманітних перетворень електричних величин шляхом утворення потоку електронів та його керуванням.

Модуль 5. Електромагнетизм

Лекція №15. Магніне поле. Електромагнетизм – 2 год.

План:

1.Магнітне поле.

2.Взаємодія струмів.

3.Закон Ампера.

4.Закон Біо – Савара – Лапласа.

5.Сила Лоренца.

Магнітне поле.

Магні́тне по́ле — особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між рухомими електрично зарядженими частинками.

Магнітне поле - складова електромагнітного поля, яка створюється змінним у часі електричним полем, рухомими електричними зарядами або спінами заряджених частинок. Магнітне поле спричиняє силову дію на рухомі

електричні заряди. Нерухомі електричні заряди з магнітним полем не взаємодіють, але елементарні частинки з ненульовим спіном, які мають власний магнітний момент, є джерелом магнітного поля і магнітне поле спричиняє на них силову дію, навіть якщо вони перебувають у стані спокою.

Магнітне поле утворюється, наприклад, у просторі довкола провідника, по якому тече струм або довкола постійного магніту.

Магнітне поле є векторним полем, тобто з кожною точкою простору пов'язаний вектор магнітної індукції **B** який характеризує величину і напрям магнітого поля у цій точці і може мінятися з плином часу. Поряд з вектором електромагнітної індукції **B**, магнітне поле також описується вектором напруженості **H**.

Магнітне поле вимірюється магнітометрами. Механічні магнітометри визначають величину поля за відхиленням котушки зі струмом. Слабкі магнітні поля вимірюються магнітометрами на основі ефекту Джозефсона - СКВІДами. Магнітне поле можна також вимірювати на основі ефекту ядерного магнітного резонансу, ефекту Хола та іншими методами.

Магнітне поле широко використовується в техніці й для наукових цілей. Для його створення використовуються постійні магніти та електромагніти. Однорідне магнітне поле можна отримати за допомогю котушок Гельмгольца. Для створення потужних магнітних полів, необхідних для роботи прискорювачів або для утримання плазми в установках з ядерного синтезу, використовуються електромагніти на надпровідниках.

Взаємодія струмів.

Якщо по двох паралельних і не закріплених провідниках пропустити постійний електричний струм то вони будуть притягуватись. Якщо ж струми будуть антипаралельні, то вони відштовхуються. Класична теорія електропровідності металів пояснює причину цього явища наступним чином.

Метал має вільні електрони (електронний газ), розподілений всередині іонної гратки. Сумарний заряд додатньо зарядженої іонної гратки і від’ємно зарядженого електронного газу рівний нулю; заряди розподілені в провіднику рівномірно, так що система не має дипольного моменту. Внаслідок цього сумарна напруженість електричного поля іонної гратки і електронного газу рівна нулю, і навколо провідника відсутнє електричне полу. І тому провідники при відсутності струму не взаємодіють друг з другом.

При наявності електричного струму, тобто направленого руху вільних електронів, між провідниками виникає сила взаємодії. Це приводить до висновку, що сили взаємодії між рухомими електричними зарядами відрізняються від сил взаємодії між нерухомими зарядами. З історичних міркувань ці сили називають магнітними.

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа кожний провідник з струмом

створює навколо себе магнітне поле. Розглянемо взаємодію між двох прямолінійних нескінченно довгих провідників з струмом, розташованих паралельно один до одного на відстані.

Взаємодію паралельних струмів легко пояснити і взяти за основу в означенні основної одиниці сили струму в СІ -1А. Дійсно, кожний з провідників створює в

просторі навколо себе магнітне поле, яке в відповідності з законом Ампера діє на другий провідник з струмом.

Визначивши силу, з якою діє магнітне поле другого провідника на провідник з струмом, і аналогічно силу , і порівнявши їх, можна зробити висновок, що вони рівні між собою і направлені протилежно. За одиницю сили струму СІ взято ампер (А) – сила такого незмінюючого струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і малої площі яолового поперечного перерізу, розташованих в вакуумі на відстані 1 м один від другого, визнав би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Закон Ампера.

Закон Ампера — закон взаємодії постійних струмів. Установлений Андре-Марі Ампером в 1820 році. Із закону Ампера виходить, що паралельні провідники з постійним струмом, поточними в одному напрямі, притягуються, а в протилежному — відштовхуються. Законом Ампера називається також закон, що визначає силу, з якою магнітне поле діє на малий відрізок провідника із струмом.

$$d\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} dV$$

Сила Ампера - це сила, яка діє на провідник із електричним струмом з боку магнітного поля.

Сила Ампера залежить від:

-сили струму I

-елемента (частини) довжини провідника dl

-кута між напрямом струму і напрямом ліній магнітного поля α,

-магнітної індукції B

$$dF = BIdl \sin\alpha$$

У векторній формі сила Ампера записується

$$d\mathbf{F} = I[\mathbf{B}, \mathbf{dl}]$$

Якщо кут між векторами B і I <90°:

$F = BIl \sin\alpha$ - сила Ампера

B = 1 Тл(Тесла) - індукція магнітного поля

I = 1 А(Ампер) - сила струму

l = 1 м(метр) - довжина провідника

- кут між векторами B і I

Якщо кут між векторами B і I =90°, тоді sin90°=1, звідси:

F = BIl.

Закон Біо – Савара – Лапласа.

Біо-Савара-Лапласа закон — закон, який визначає напруженість магнітного поля електричного

струму, що тече у прямолінійному дуже довгому провіднику.

За законом Біо-Савара $H = k\frac{2I}{r}$

де H — напруженість магнітного поля в точці M на відстані r від прямолінійного провідника із струмом I (мал. 1); k — коефіцієнт пропорційності, величина і розмірність якого залежать від вибору системи одиниць, r — радіусвектор.

Закон Біо-Савара експериментально відкрили 1820 Жан-Батіст Біо і Фелікс Савар. Цей закон є частковим випадком більш загального закону Біо-Савара-Лапласа, сформульованого П. Лапласом 1820 на підставі матеріалів з численних дослідів Ж.-Б. Біо і Ф. Савара.

За цим законом величина напруженості магнітного поля в точці M на відстані r від елемента M провідника довільної форми визначається формулою: $\Delta H = k\frac{I\Delta l}{r^2}\sin\alpha$

де α — кут між напрямом струму I і напрямом радіуса-вектора r. Повна напруженість магнітного поля H, створюваного струмом у провіднику довільної форми і скінченної довжини, дорівнює геометричній сумі елементарних напруженостей.

Наприклад, інтегруванням одержують формули напруженості магнітного поля навколо нескінченно довгого прямолінійного провідника зі струмом, тобто формулу Б. — С. з., напруженість магнітного поля в центрі колового струму $H = k\frac{2\pi I}{r}$.

напруженість магнітного поля в середній частині дуже довгого соленоїда H = k4πIn та ін. Напрям напруженості магнітного поля в усіх випадках визначається за правилом сверлика.

Сила Лоренца.

Сила Лоренца - сила, що діє на електричний заряд, який перебуває у електромагнітному полі.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + \frac{q}{c}[\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$$

Тут $\mathbf{F}$ - сила, q - величина заряду, $\mathbf{E}$ - напруженість електричного поля, $\mathbf{v}$- швидкість руху заряду, $\mathbf{B}$ - вектор магнітної індукції.

Електричне поле діє на заряд із силою, направленою вздовж силових ліній поля. Магнітне поле діє лише на рухомі заряди. Сила дії магнітного поля перпендикулярна до силових ліній поля й до швидкості руху заряду.

Названа на честь Гендрика Лоренца, який розробив це поняття 1895 року.

В теорії відносності сила Лоренца записується в коваріантій формі

$$f^i = \frac{q}{c}F^{ik}u_k$$

де fi - 4-вектор сили, uk - 4-швидкість, а Fik - 4-тензор електромагнітного поля.

Діа- , пара- , ферромагнетики.

Діамагне́тик — речовина з від'ємною магнітною сприйнятливістю.

Явище діамагнетизму зумовлене ларморівською прецесією електронів у магнітному полі.

Процеси, які визначають діамагнітні властивості речовини, відбуваються у всіх без вийнятку матеріалах, але вони слабкі й у випадку парамагнетиків не грають суттєвої ролі порівняно із іншими процесами.

Ідеальний діамагнетик має магнітну сприйнятливість рівну −1, що призводить до виштовхування магнітного поля із речовини. Ідеальними діамагнетиками є надпровідники.

Парамагне́тики— речовини з невеликою позитивною магнітною сприйнятливістю, які у зовнішньому магнітному полі намагнічуються вздовж поля і дещо підсилюють його.

Атоми парамагнетиків мають свій магнітний момент. Магнітна сприйнятливість парамагнетиків завжди додатня і лежить у діапазоні 10-4 — 10-7. До парамагнетиків належать:

-речовини, атоми або молекули яких мають непарне число електронів (Na, N);

-вільні атоми (йони) з недобудованою внутрішньою електронною оболонкою (елементи перехідної групи, їх солі і водні розчини,

-комплексні сполуки перехідних елементів, рідкісні землі, актиніди, вільні радикали);

-багато лужних і лужноземельних металів, Al, Sc, V; кисень O_2, NO.

-Феромагнетики та антиферомагнетики при температурах, вищих від температур Кюрі та Нееля, відповідно.

Феромагне́тики — деякі метали (залізо, нікель, кобальт, гадоліній, манган, хром та їхні сплави) з великою магнітною проникністю, що проявляють явище гістерезису; розрізняють м'які феромагнетики з малою коерцитивною силою та тверді феромагнетики з великою коерцитивною силою. Феромагнетики використовуються для виробництва постійних магнітів, осердь електромагнітів та трансформаторів.

Феромагнетизм виникає в речовинах, у яких як наслідок обмінної взаємодії, спінам електронів вигідно орієнтуватися паралельно. В результаті такої узгодженої орієнтації спінів виникає макроскопічний магнітний момент, який може існувати навіть без зовнішнього магнітного поля. При температурі, яка перевищує певну критичну (температура Кюрі), зумовлене тепловим рухом хаотичне розупорядкування бере гору над обмінною взаємодією й феромагнетик переходить в парамагнітний стан.

Гистерезис.

Гістерезис– неоднозначна залежність змін фізичної величини, яка означає стан тіла, від зміни іншої фізичної величини, яка визначає зовнішні умови (напруженість магнітних H та електричних E полів). Гістерезис спостерігається в тих випадках, коли стан тіла визначається зовнішніми умовами не лише в

даний момент часу але й попередні моменти, тобто, коли стан системи залежить від її минулого (історії).

Гістерезис означає ненакладання перебігу змін у протилежних напрямках (незбіжність кривих, що описують такі зміни).

Розрізняють гістерезис:

-магнітний;

-діелектричний;

-пружний:

-магнітострикційний;

-температурний;

-термомагнітний та інші.

Гіпотеза Ампера.

Відкриття Ерстеда і Ампера призвели до нового і більш глибокому уявленню про природу магнітних явищ. Спираючись на встановлену в цих дослідах тотожність магнітних дій магнітів і відповідним, підібраних струмів, Ампер рішуче відмовився від уявлення про існування в природі особливих магнітних зарядів. З точки зору Ампера, елементарний магніт - це круговий струм, що циркулює усередині невеликої частки речовини: атома, молекули або групи їх. При намагнічуванні більша або менша частина таких струмів встановлюється паралельно один одному.

Таким чином, теорія Ампера зробила непотрібним допущення про існування особливих магнітних зарядів, дозволивши пояснити всі магнітні явища за допомогою елементарних електричних струмів. Подальше більш глибоке вивчення властивостей намагнічуються тел показало не тільки, що гіпотеза магнітних зарядів або елементарних магнітиків зайва, але що вона неправильна і не може бути узгоджена з деякими експериментальними фактами. З точки зору теорії Ампера стає цілком зрозумілою невіддільність один від одного північних і південних полюсів, про яку ми говорили в попередньому параграфі. Кожен елементарний магніт являє собою круговою виток струму. Ми бачили вже, що одна сторона цього витка відповідає північного, інша - південного полюса. Саме тому не можна відокремити один від одного північний і південний полюси, як не можна відокремити один бік площини від іншої.

Ніяких магнітних зарядів не існує. Кожен атом речовини можна розглядати у відношенні його магнітних властивостей як круговий струм. Магнітне поле намагніченого тіла складається з магнітних полів цих кругових струмів.

У ненамагніченим тілі всі елементарні струми розташовані хаотично, і тому ми не спостерігаємо у зовнішньому просторі ніякого магнітного поля.

Процес намагнічування тіла полягає в тому, що під впливом зовнішнього магнітного поля його елементарні струми в більшій чи меншій мірі встановлюються паралельно один одному і створюють результуюче магнітне поле.

Модуль 6. Хвильові процеси. Геометрична та хвильова оптика

Лекція №16. Хвильові процеси. Хвильова оптика

План:

1.Поширення коливань в однорідному пружному середовищі.
2. Рівняння плоскої гармонійної хвилі.
3.Енергія хвилі. Вектор Умова
4.Інтерференція хвиль. Стоячі хвилі.
5. Дослід Юнга
6. Інтерференція у тонкій плівці
7. Голографія
8. Дифракція

Коливання та їх характеристики.

Коливаннями називаються рухи або процеси, які характеризуються певною повторюваністю в часі. Коливальні процес широкопоширені в природі і техніці, наприклад хитання маятника годин,змінний електричний струм і т.д. При коливальному рух маятниказмінюється координата його центру мас, у випадку змінного струму коливаютьсянапруга і струм в ланцюзі. Фізична природа коливань може бути різноютому розрізняють коливання механічні, електромагнітні та інші. Однак різні коливальні процеси описуються однаковимихарактеристиками і однаковими рівняннями. Звідси випливає доцільністьєдиного підходу до вивчення коливань різної фізичної природи. Наприклад , єдиний підхід до вивчення механічних та електромагнітних коливаньзастосовувався англійським фізиком Д. У. Реле (1842-1919), а А.Г. Столєтова,російським інженером-експериментатором П.М. Лебедєвим (1866-1912). Великийвнесок у розвиток теорії коливань внесли: Л.І. Мандельштам (1879-1944) ійого учні.

Коливання називаються вільними (або власними), якщо вони відбуваються зарахунок спочатку досконалої енергії при подальшому відсутності зовнішніхвпливів на коливальну систему (систему, здійснюючу коливання).

Найпростішим типом коливань є гармонійні коливання - коливання,при яких коливається величина зміняться з часом за законом синуса

(косінуса). Розгляд гармонійних коливань важливо з двох причин:

1. Коливання зустрічаються в природі і техніці, часто мають характер, близький до гармонійному;

2. Різні періодичні процеси (процеси, що повторюються через рівні проміжки часу) можна уявити як накладення гармонійних коливань.

Гармонійні коливання величини s описуються рівнянням типу

s = A cos ((0 t + ( ),

(1)деn A - максимальне значення коливається величини, що називається амплітудою коливання,n (0 - кругова (циклічна) частота,n (- початкова фаза коливання в момент часу t = 0, n ((0 t + () - фаза коливання в момент часу t.

Фаза коливання визначає значення коливається величини в даний моментчасу. Так як косинус змінюється в межах від 1 до -1, то s можеприймати значення від + до А-А.

Колива́ння — фізичний процес, під час якого чергуються інтервали збільшення й зменшення фізичної величини.

Коливання можуть мати найрізноманітнішу природу, наприклад, механічні коливання тіл, коливання тиску й температури, сили струму, напруги тощо.

Коливання називаються періодичними, якщо фізичний стан системи повністю повторюється через якийсь певний проміжок часу, що називається періодом.

Коливання, для яких залежність змінної від часу описується синусоподібною кривою, називаються гармонічними. Періодичні коливання із іншою залежністю від часу називаються ангармонічними.

Коливання, які виникають при відхиленні стану фізичної ситеми від рівноважного, називають власними коливанями. Коливання, які виникають внаслідок дії зовнішньої періодичної сили, називають вимушеними коливаннями.

Якщо відхилення фізичної величини від середнього положення в процесі коливань зменшуються в часі, говорять про затухання коливань, а якщо збільшуються — про наростання коливань.

Затухаючі коливання-коливання які, поступово слабнучи, зникають. Амплітуда затухаючих гармонічних коливань зменшується, а частота залишається незмінною.

В більшості фізичних систем коливання виникають при виведенні системи з положення рівноваги. Такі коливання здебільшого розсіюють енергію й затухають з часом. Однак у відкритих дисипативних системах із сталим притоком енергії можуть виникнути коливання, які не затухають, доки не припиниться приплив енергії. Такі коливання називають автоколиваннями.

Додавання коливань.

Додавання декількох гармонійних коливань одного напрямку й однакової частоти стає наочним, якщо коливання зображати графічно у вигляді векторів на площині. Отримана таким способом схема називається векторною діаграмою.

Візьмемо ось, уздовж якої будемо відкладати коливається величину х. З взятої на осі точки Про відкладемо вектор довжини А, який утворює з віссю кут?. Якщо привести цей вектор в обертання з кутовою швидкістю? 0, то проекція кінця вектора буде переміщатися по осі х в межах від-А до + А, причому координат проекції буде змінюватися з часом за законом

Отже, проекція кінця вектора на вісь буде здійснювати гармонічні коливання з амплітудою, що дорівнює довжині вектора, з круговою частотою, що дорівнює кутової швидкості обертання вектора, і з початковою фазою, що дорівнює куту, утвореному вектором з віссю в початковий момент часу.

Таким чином, гармонійне коливання може бути задано за допомогою вектора, довжина якого дорівнює амплітуді коливання, а напрямок утворює з віссю х кут, що дорівнює початковій фазі коливань.

Розглянемо складання двох гармонічних коливань одного напрямку й однакової частоти. Результуюче коливання буде сумою коливань х1 і х2, які визначаються функціями.

Уявімо обидва коливання за допомогою векторів А1і А2. Побудуємо за правилами додавання векторів результуючий вектор А. На малюнку видно, що проекція цього вектора на вісь х дорівнює сумі проекцій складовими векторів.

Тому, вектор А являє собою результуюче коливання. Цей вектор обертається з тією ж кутовою швидкістю? 0, як і вектори А1 і А2, так що сума x_1 та x_2 є гармонійним коливанням з частотою (? 0, амплітудою А і початковою фазою?.

Представлення гармонійних коливань за допомогою векторів дозволяє замінити додавання функцій складанням векторів, що значно простіше.

Додавання коливань у взаємно перпендикулярних напрямках.

Уявімо дві взаємно перпендикулярні векторні величини x та y, що змінюються з часом з однаковою частотою? по гармонійному закону.

Де ex і ey - орт координатних осей x і y, A і B - амплітуди коливань. Величинами x та y може бути, наприклад, зміщення матеріальної точки (частки) з положення рівноваги.

Частка буде рухатися за деякою траєкторії, вигляд якої залежить від різниці фаз обох коливань. Вирази є заданий в параметричної формі рівняння цієї траєкторії. Щоб отримати рівняння траєкторії в звичайному вигляді, потрібно виключити з рівнянь параметр t.

Розгорнемо косинус за формулою для косінуса суми:

Підставимо замість cos? T і sin?

Це рівняння еліпса, осі якого повернуті відносно координатних осей x та y. Орієнтація еліпса і його півосі залежать досить складним чином від амплітуд A і B і різниці фаз?.

Спробуємо знайти форму траєкторії для кількох окремих випадків.

1. Різниця фаз? дорівнює нулю.

Звідси виходить рівняння прямої:

Результуюче рух є гармонійним коливанням вздовж цієї прямої з частотою? і амплітудою, що дорівнює (рис. 1 а).

2. Різниця фаз? дорівнює ±?.

Отже, результуюче рух являє собою гармонійне коливання вздовж прямої.

Биття.

Биття́ — інтерференція двох звукових коливань, з частотами ν1 і ν2 настільки близькими, що вони не сприймаються як два роздільні коливання. Амплітуда коливань, які виникають при цьому періодично збільшується чи зменшується у часі з частотою, рівною різниці інтерферуючих коливань.

Різниця фаз таких коливань з часом змінюється, через що фази періодично збігаються (коливання підсилюють одне одне) або стають протилежними (коливання взаємно ослаблюються). Підсилення і ослаблення результативних коливань відбуваються періодично з частотою νσ, що дорівнює різниці частот взаємодіючих коливань, тобто νσ = ν1 − ν2. В акустиці биття використовуються для порівняння тонів (наладнання муз. інструментів). Якщо різниця частот коливань двох джерел дуже мала (напр., менша ніж 0,1 Гц), то вухо сприймає їх як один результативний тон, інтенсивність якого змінюється з частотою, рівною ν1 − ν2. Коли частоти складових коливань зближуються, то частота биття зменшується і

при $\nu_1 - \nu_2 \to 0$ Якщо порівнювати тони методом биття, то похибка може не перевищувати 0,1 Гц. В електромагнітних коливаннях явище биття використовується в чутливих приймачах радіосигналів та вимірювальних приладах.

В музичній практиці явище биття використовується при настроюванні музичних інструментів, інколи для створення специфічного відтінку звука (так, П. Чайковський настроював рояль «з розливом»). Явище Биття використав Г. Гельмгольц для пояснення відмінностей між консонансом і дисонансом.

Резонанс.

Резона́нс — явище сильного зростання амплітуди вимушеного коливання у разі, коли частота зовнішньої сили збігається з власною частотою коливань.

Резонанс характеризують інтенсивністю, напівшириною спектральної лінії та добротністю. Здебільшого резонанс наближено описують кривою Лоренца.

$$I(\omega) \propto \frac{\Gamma/2}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$$

де ω — частота зовнішньої сили, ω0 — частота власного коливання, Г — стала затухання, яку називають також шириною лінії. Часто приводиться також γ= Г/2 — півширина лінії.

Явище резонансу широко використовується в науці й техніці. На ньому ґрунтується робота багатьох радіотехнічних схем та пристроїв, таких як коливні контури. Використовуючи явище резонансу ми вибираємо із багатого різноманіття електромагнітних хвиль в просторі навколо нас саме ті, які відповідають нашій улюбленій радіостанції, вибираємо телевізійний канал тощо.

Проте не завжди резонанс корисний. Відомі випадки, коли навісні мости ламалися при проходжені по ним солдат "в ногу". Це відбувалося через те, що частота власних коливань полотна моста збігалася з частотою ходьби людей.

Електромагнітні хвилі та їх властивості.

Електромагнітна хвиля це процес розповсюдження електромагнітної взаємодії в просторі.

Електромагнітні хвилі описуються загальними для електромагнітних явищ рівняннями Максвелла.

У вакуумі електромагнітна хвиля розповсюджується із швидкістю, яка називається швидкістю світла. Швидкість світла є фундаментальною фізичною константою, яка позначається латинською літерою с. Згідно із основним постулатом теорії відносності швидкість світла є максимально можливою швидкістю передачі інформації чи руху тіла. Ця швидкість складає 299 792 458 м/с.(1667р. датський астроном Ремер розрахував швидкість світла).

Електромагнітна хвиля характеризується частотою. Розрізняють лінійну частоту ν й циклічну частоту ω = 2πν. В залежності від частоти електромагнітні хвилі належать до одного із спектральних діапазонів.

Іншою характетистикою електромагнітної хвилі є хвильовий вектор . Хвильовий вектор визначає напрямок розповсюдження електромагнітної хвилі, а також її довжину. Абсолютне значення хвильового вектора називають хвильовим числом.

Довжина хвилі — характеристика плоскої періодичної хвилі, що позначає найменшу відстань між точками простору, в яких хвиля має одинакову фазу.

Довжина хвилі зазвичай позначається грецькою літерою λ Із довжиною хвилі однозначно зв'язана така характеристика, як хвильове число k

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Довжина хвилі залежить від частоти. Ця залежність називається законом дисперсії. Часто залежність між частотою і довжиною хвилі обернено-пропорційна. У таких випадках швидкість розповсюдження хвилі фіксована й не залежить від частоти. Наприклад, для електромагнітної хвилі у вакуумі

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

де ν — лінійна частота, а c — швидкість світла.

При переході хвилі з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється, на відміну від частоти, яка залишається сталою. Електромагнітні хвилі в середовищі зазвичай характеризуються приведеною довжиною хвилі, тобто довжиною, яку хвиля мала б у вакуумі.

Інтерфере́нція — накладання хвиль, при якому в різних точках спостерігається посилення (конструктивна інтерференція) або послаблення амплітуди коливань. Результат накладання хвиль називається інтерференційною картиною.

Інтерференція спостерігається у когерентних хвиль. **Когерентні хвилі це хвилі, що розповсюджуються в просторі з однаковою частотою і постійною різницею фаз.**

$$X = X_m \sin \omega t + \varphi_0$$

При інтерференції результуюче коливання є геометричною сумою коливань обох хвиль у відповідних точках. Найпростішим випадком інтерференції є накладання двох гармонічних хвиль з однаковою частотою і поляризацією.

Явище інтерференції використовується, наприклад, в радіотехніці і акустиці для створення складних антен. Особливо велике значення інтерференція має в оптиці, вона лежить в основі оптичної та акустичної голографії.

Інтерференцією хвиль називається явище підсилення коливань в одних точках простору та ослаблення а інших у результаті додавання двох або більше когерентних хвиль, які надходять у ці точки.

Когерентність хвиль.

Інтерференція – загальна властивість хвиль будь-якої природи. Стійка в часі інтерференційна картина може спостерігатися тільки у разі додавання когерентних коливань.

Когерентні (зв'язані) *хвилі* – це хвилі, що мають однакову частоту та незмінний зсув фаз у кожній точці простору.

Когерентні джерела – це джерела, що мають однакову частоту та незмінний зсув фаз у часі.

Незважаючи на те що умова когерентності залишається однаковою для і хвиль різної фізичної природи, способи здійснення когерентності, наприклад, для джерел звуку та джерел світла, були зовсім різними. Для одержання когерентних звукових хвиль можна скористатися двома незалежними джерелами звуку, що здійснюють коливання зі сталою різницею фаз. Незалежні ж джерела світла (крім оптичних квантових генераторів)не дають когерентних хвиль.

Причина полягає в тому, що атоми джерел випромінюють світло незалежно один від одного окремими «обривками» (цугами) синусоїдальних хвиль. І такі цуги хвиль від обох джерел накладаються один на одного. У результаті амплітуда коливань у будь-якій точці простору хаотично змінюється з часом. Отже, ці цуги некогерентні. Ніякої стійкої картини з певним розподілом максимумів і мінімумів освітленості не спостерігається.

Шкала електромагнітних хвиль – неперервна послідовність частот і довжин хвиль електромагнітних випромінювань(Рис.19).

Рис.19 Шкала електромагнітних хвиль

Прийнято виділяти низькочастотне радіо- та γ-випромінювання, інфрачервоні, ультрафіолетові та рентгенівські промені, видиме світло.

Принципової різниці між цими видами випромінювання немає. Всі вони являють собою електромагнітні хвилі, збуджувані зарядженими частинками. Випромінювання різної довжини хвилі відрізняються одне від одного за способами їх одержання і методами реєстрації.

Основоположниками хвильової природи світла були Гюйгенс, Френель. Після відкриття Майкельсоном швидкості електромагнітної хвилі та дослідів по інтерференції та дифракції було зроблено висновок, що світло – це

електромагнітна хвиля то для виконуються закони відбиття та заломлення, явища інтерференції та дифракції.

Інтерференція. Інтерфере́нція — накладання хвиль, при якому в різних точках спостерігається посилення (конструктивна інтерференція) або послаблення амплітуди коливань. Результат накладання хвиль називається інтерференційною картиною.

Особливо велике значення інтерференція має в оптиці, вона лежить в основі оптичної та акустичної голографії.

Інтерференцією хвиль називається явище підсилення коливань в одних точках простору та ослаблення а інших у результаті додавання двох або більше когерентних хвиль, які надходять у ці точки.

Когерентність хвиль.

Інтерференція – загальна властивість хвиль будь-якої природи. Стійка в часі інтерференційна картина може спостерігатися тільки у разі додавання когерентних коливань.

Когерентні (зв'язані) *хвилі* – це хвилі, що мають однакову частоту та незмінний зсув фаз у кожній точці простору.

Когерентні джерела – це джерела, що мають однакову частоту та незмінний зсув фаз у часі.

Незалежні ж джерела світла (крім оптичних квантових генераторів)не дають когерентних хвиль. Причина полягає в тому, що атоми джерел випромінюють світло незалежно один від одного окремими «обривками» (цугами) синусоїдальних хвиль. І такі цуги хвиль від обох джерел накладаються один на одного. У результаті амплітуда коливань у будь-якій точці простору хаотично змінюється з часом. Отже, ці цуги некогерентні. Ніякої стійкої картини з певним розподілом максимумів і мінімумів освітленості не спостерігається.

Інтерференційний експеримент Юнга

Інтерференційний дослід Юнга або Інтерферометр на подвійних щілинах - оптичний прилад, запропонований в 1802 році Томасом Юнгом для спостереження явища інтерференції когерентних світлових хвиль. Цей експеримент зіграв головну роль в прийнятті хвильової теорії світла. На думку самого Юнга, цей експеримент був найвищим досягненням його життя.

Цей прилад складається з двох вузьких щілин S1 та S2, які виконують роль двох когерентних джерел світла. Справа в тому, що через них проникають два когерентні промені світла від основного джерела світла S. Відстань між щілинами дорівнює d. Віссю інтерференційної схеми Юнга є лінія, проведена від основного джерела світла через середину відстані між щілинами. База інтерферометра L - це відстань від площини щілин до площини інтерференційного поля екрану. На екрані виникає інтерференційна картина у вигляді паралельних до щілини еквідистантних світлих та темних смуг. За шириною інтерференційної смуги можна визначити довжину хвилі світла.

Принцип Гюйгенса.

Геометричне місце точок середовища, що коливаються в одній фазі, називається *хвильовою поверхнею.*

Передня хвильова поверхня, охоплюючи точки, які щойно дістали початковий імпульс, переміщається в просторі. Це *фронт хвилі*.

Наприклад, фронт хвилі, який збуджується одиночним вібратором невеликих розмірів, має форму кола.

Напрям поширення хвилі завжди перпендикулярний до її фронту. Цей напрям називається *променем*. Він указує напрям енергії, що переноситься хвилею.

Голландський фізик Х. Гюйгенс знайшов простий геометричний спосіб знаходження фронту хвилі в момент часу t=Δt, якщо відомо його положення в момент t.

Принцип Гюйгенса: *кожна точка фронту хвилі може розглядатися як джерело вторинних хвиль*. Нове положення фронту хвилі зображається як обвідна цих вторинних хвиль.

Швидкість світла у вакуумі. Методи вимірювання швидкості світла.

У фізиці швидкість світла є однією з фундаментальних констант. Жодна константа не набула такого важливого значення, як швидкість світла: як параметр вона входить у численні рівняння теоретичної фізики, її значення використовується в радіолокації, при вимірюванні відстаней від Землі до інших планет, під час керування космічними польотами. Виразити швидкість світла через інші сталі неможливо, її можна тільки виміряти дослідним шляхом.

Швидкість світла є скінченною, граничною та інваріантною щодо різних інерціальних систем відліку.

Інтерференція світла.

Для одержання двох когерентних світлових хвиль можна випромінювання від одного й того самого атома розділити шляхом відбивання або заломлення на два пучки.

Кільця Ньютона.

Когерентність хвиль, відбитих від зовнішньої та внутрішньої поверхонь плівки, пояснюється їх належністю до одного й того самого світлового пучка.

Якщо джерела когерентні та синфазні (тобто збігаються за фазою в часі), то в точках середовища, куди хвилі надходять, збігаючись за фазою, утвориться максимум інтерференційної картини.

Максимуми та мінімуми інтерференції

Умова максимуму: амплітуда коливань середовища в даній точці максимальна, якщо різниця ходу двох хвиль, які збуджують коливання в цій точці, дорівнює цілому числу

довжин хвиль: $\Delta d = k\lambda$, де Δd – різниця ходу двох хвиль, а k = 0, 1, 2, ...

Умова мінімуму: амплітуда коливань середовища в даній точці мінімальна, якщо різниця ходу двох хвиль, які збуджують коливання в цій точці, дорівнює непарному числу півхвиль: $\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

Технічне застосування інтерференції.

Явище інтерференції світла знаходить різноманітне практичне застосування. Використовуючи це явище, можна дуже точно визначати довжини світлових хвиль, вимірювати показники заломлення газів та інших речовин, здійснювати точні вимірювання лінійних розмірів, контролювати якість шліфування й полірування поверхонь та ін.

Дифракція

Дифра́кція - явище, що виникає при поширенні хвиль (наприклад, світлових і звукових хвиль). **Суть цього явища полягає в тому, що хвиля здатна обгинати перешкоди.**

Це зумовлює те, що хвильовий рух спостерігається в області за перешкодою, куди хвиля не може потрапити прямо. Дифракція добре проявляється тоді, коли розмір перешкоди на шляху хвилі порівняний з її довжиною або менший.

Якщо довжина хвилі більша чим довжина перешкоди, то хвиля проходить її незмінюючи свої параметри. $\lambda > l$..

Якщо довжина хвилі менша чим довжина перешкоди $\lambda < l$.то хвиля огинає перешкоду і за перешкодою створюрється простір в якому неможливо прийняти електромагнітну хвилю.

Явище дифракції світла наглядно підтверджує теорію корпускулярно-хвильової природи світла.

Дифракція світла. Експеримент Томаса Юнга

Розглядаючи хвилі на поверхні води від двох кинутих каменів, можна помітити, як, накладаючись один на одного, хвилі можуть інтерферувати, тобто гасити або підсилювати одна одну. Ґрунтуючись на цьому, англійський фізик і лікар Томас Юнг поставив в 1801 році досліди з променем світла, який проходив через два отвори в непрозорому екрані, утворюючи, таким чином, два незалежних джерела світла, аналогічних двом кинутим у воду каменям. У результаті він спостерігав інтерференційну картину, що складається з темних і білих смуг, яка не могла б утворитися, якби світло складалося з корпускул. Темні смуги відповідали зонам, де світлові хвилі від двох щілин гасять один одну. Світлі смуги виникали там, де світлові хвилі підсилювалися. Таким чином, було доведено хвильову природу світла.

Дифракція – це явище огинання світлом меж непрозорих тіл: країв отворів, вузьких щілин й екранів, тобто порушення прямолінійності світла.

Пропускаючи тонкий пучок світла крізь маленький отвір, можна спостерігати порушення закону прямолінійного поширення світла. Досліди Т.Юнга, дослідження О.Френеля, принцип Х.Гюйгенса дали пояснення

прямолінійному поширенню світла в однорідному середовищі на основі хвильової теорії.

Відповідно до ідеї Френеля хвильова поверхня в будь-який момент часу являє собою не просто обвідну вторинних хвиль, а результат їхньої інтерференції.

Дифракція світла визначає межі застосовності геометричної оптики. Виявляється, закон прямолінійного поширення світла й інші закони геометричної оптики виконуються досить точно лише в тому випадку, коли розміри перешкод на шляху поширення світла набагато більші за довжину світлової хвилі. Огинання світлом перешкод обмежує розділювальну здатність найважливіших оптичних інструментів – телескопа й мікроскопа.

Дифракційна решітка.

Дифракційна решітка – скляна тонка пластинка, на яку нанесено паралельні штрихи з проміжками між ними. Ширина щілини й штриха позначається *d* і називається **сталою решітки** (або **періодом решітки**).

Дифракційна решітка служить для розкладання світла в спектр і вимірювання довжини хвилі. Якщо на дифракційну решітку падає плоска монохроматична хвиля довжиною λ, то відповідно до принципу Гюйгенса – Френеля кожну точку фронту хвилі можна прийняти за джерело вторинних хвиль, які поширюються в усі боки.

Нехай вторинні хвилі, що йдуть під кутом φ, в результаті інтерференції підсилюються. Тобто для них виконується умова максимуму: $\Delta d = k\lambda$, де Δd – різниця ходу двох хвиль, а k = 0, 1, 2, ... – порядок спектру. З трикутника ABC: $AB = \Delta d = d \cdot \sin\varphi$. Таким чином, **рівняння дифракційної решітки** матиме вигляд: $d \cdot \sin\varphi = k\lambda$.

Звідси випливає, що положення максимумів світла залежить не від числа щілин, а тільки від довжини хвилі. Чим менша довжина хвилі випромінювання, тим меншому значенню кута відповідає положення максимуму. Таким чином, видиме оптичне випромінювання розтягується в спектр так, що внутрішнім краєм його є фіолетове оптичне випромінювання, а зовнішнім – червоне.

Дисперсія.

Дисперсія світла – це процес розкладання світла білого кольору на спектри при проходженні через скляну призму.

Дисперсія світла — залежність показника заломлення (або діелектричної проникності) середовища від частоти хвилі світла.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Із закона заломлення видно, чим більша довжина хвилі тим більше кут заломлення. Так як кожен колір має свою довжину хвилі, то при проходженні

через призму він заломлюється під своїм кутом, що і приводить до створення спектру.

Лекція №17. Геометрична оптика. Фотометрія

План:

1. Закони віддзеркалення
2. Лінзи

На з'ясування природи світла знадобилося не одне тисячоліття. За цей час багато різних гіпотез змінили одна одну. Оптика (від грец. **optike** – наука про зорові сприйняття) спочатку розглядалася як наука про зір.

Оптика являє собою розділ фізики, в якому вивчаються явища та закономірності, пов'язані з виникненням, поширенням і взаємодією з речовиною електромагнітних хвиль видимого діапазону.

Корпускулярна теорія світла Ньютона.

Першою науковою теорією, яка намагалася пояснити фізичну природу світла, стала теорія світлових частинок, розроблена **І. Ньютоном** (1643 – 1727) і викладена ним у книзі «Оптика». Відповідно до її положень, світло являє собою потік частинок, які випускаються світним тілом у всіх напрямах (перенесення речовини). Виходячи з корпускулярних уявлень Ньютон пояснив більшість відомих тоді оптичних явищ: прямолінійне поширення світла в однорідному середовищі, відбивання та заломлення світла.

Хвильова теорія Гюйгенса.

Відповідно до теорії **Х. Гюйгенса** (1643 – 1695) світло – це хвилі, що поширюються в особливому, гіпотетичному середовищі – ефірі, який заповнює весь простір і проникає усередину всіх тіл. Гюйгенс не розглядав справжнього хвильового процесу, його міркування стосувалися лише поширення хвильового фронту. Він суто математично описав явище відбивання й заломлення хвиль і показав, що швидкість світла в більш густому середовищі має бути меншою, ніж у повітрі.У 1801 році **Т. Юнг** (1773 – 1829) на підставі хвильових уявлень дуже просто й наочно роз'яснив інтерференцію світла та розвинув, таким чином, хвильову теорію світла. У 1818 році **О. Френель** (1788 – 1827) незалежно від Юнга вивів докладну теорію дифракції й інтерференції світла, показавши, що інтерференція є прямим наслідком хвильової природи світла. Остаточний удар по корпускулярній теорії був нанесений дослідами **Ж. Фуко**. Він виміряв швидкість світла у воді й показав, що її значення збігається з теоретично здобутим у хвильовій теорії. Хвильова теорія з єдиної точки зору пояснила усі відомі тоді явища й передбачила низку нових. Понад сто років корпускулярна й хвильова гіпотези про природу світла існували паралельно. Жодна з них не могла здобути вирішальної перемоги. Лише авторитет І. Ньютона змушував більшість учених віддавати перевагу корпускулярній теорії.

Електромагнітна теорія світла.

У другій половині XIX століття **Дж. Максвелл** (1831 – 1879) довів, що світло являє собою окремий вид електромагнітних хвиль. Його роботи заклали підґрунтя електромагнітної теорії світла. Після експериментального виявлення електромагнітних хвиль **Г. Герцем** не залишилося ніяких сумнівів у тому, що під

час поширення світло «поводиться» як хвиля. У 1899 році **П. М. Лебедєв** навів новий доказ тотожності світлових і електромагнітних хвиль. Він виявив дослідним шляхом, що світло тисне на тіла, на які падає, й виміряв цей тиск. За теорією Максвелла електромагнітні хвилі також чинять подібний тиск. Таким чином, у другій половині XIX століття була заснована електромагнітна теорія світла.

Квантова теорія світла.

У 1900 році німецький фізик **М. Планк** припустив, що атоми тіл поглинають і випромінюють енергію скінченими порціями – квантами. У 1905 році **А. Ейнштейн** (1879 – 1955) припустив, що світло поширюється в просторі у вигляді дискретних об'єктів – квантів світла. Таким чином, були виявлені квантові властивості світла.

Корпускулярно-хвильовий дуалізм.

Виникла надзвичайна ситуація: явища інтерференції та дифракції, як і раніше, можна було пояснити, вважаючи світло хвилею, а явища випромінювання й поглинання – вважаючи світло потоком частинок. Досліди **О. Г. Столєтова** (1839 - 1896) з фотоефекту також показали, що світло поводить себе як потік частинок. У результаті численних обговорень, пошуків і досліджень виникла сучасна теорія світла, що є синтезом корпускулярної та хвильової теорій. В основі цієї теорії лежить думка, що світло одночасно має і хвильові, й корпускулярні властивості.

Геометричною оптикою називається розділ оптики, в якому вивчаються закони поширення світлової енергії в прозорих середовищах на основі уявлення про світловий промінь.

Геометрична оптика базується на трьох законах:

- закон прямолінійного поширення світла;
- закон відбивання світла;
- закон заломлення світла.

Основними поняттями геометричної оптики є *пучок* і *промінь*.

У першому наближенні *пучок* променів – це сукупність світлових променів.

У сучасній фізиці під *світловим променем* розуміють достатньо вузький пучок світла, який у межах зони, в якій вивчається його поширення, можна вважати не розбіжним.

Оскільки світло, як і будь-яке випромінювання, переносить енергію, то можна говорити, що світловий промінь указує напрям перенесення енергії світловим пучком.

Закон прямолінійного поширення світла.

!! *Світло в оптично однорідному середовищі поширюється прямолінійно*.

Оптично однорідним вважається таке середовище, в якому світло поширюється зі сталою швидкістю. Якщо є два середовища, в яких світло поширюється з різними швидкостями, то середовище, де світло поширюється з меншою швидкістю, називають оптично більш густим, а середовище, де світло поширюється з більшою швидкістю, – оптично менш густим.

?? Наведіть приклади явищ, які підтверджують цей закон.

Тінь – область простору, до якої не потрапляє енергія від джерела світла (або інакше: область простору, з якої не можна побачити джерело світла).

Якщо джерело світла протяжне, то на екрані навколо тіні утвориться півтінь.

Півтінь – область простору, до якої енергія від джерела світла потрапляє частково (або інакше: область простору, з якої джерело світла можна побачити лише частково).

Рис.20 Утворення тіні та півтіні

Утворенням тіні й півтіні пояснюються *сонячні й місячні затемнення*.

?? Поясніть ці явища з точки зору геометричної оптики.

Пояснення: Під час *сонячного затемнення* повна тінь від Місяця падає на Землю. З цього місця земної поверхні Сонця не видно. Коли Місяць, обертаючись навколо Землі, потрапляє в її тінь, то спостерігається *місячне затемнення*.

У тих місцях планети, куди впала тінь, буде спостерігатися повне сонячне затемнення. У місцях півтіні тільки частина Сонця буде закрита Місяцем, тобто відбудеться його часткове затемнення.

В залежності від форми поверхні, на яку падає світло, відбивання буває: дзеркальним (рис. а.) та дифузним (рис.б):

Рис 21. Види відбитя: а) дзеркальна, б) дифузна

Закон відбивання світла.

З відбиванням світла ми стикаємося щодня: день у день кожний із нас дивиться па себе в дзеркало; ми бачимо на спокійній поверхні води зображення Сонця й Місяця, дерев і хмар. Це приклади дзеркального відбиття світла.

Під час поділу світлового пучка виконується закон збереження енергії.

Нехай світловий промінь падає на межу розділу двох середовищ. Лінія MN – перпендикуляр до межі поділу двох середовищ. Промінь SO – падаючий; промінь OS_1 – відбитий; промінь OS_2 – заломлений. Кутом падіння (α) називається кут між падаючим променем і перпендикуляром, опущеним у точку падіння. Кутом відбивання (β) називається кут між відбитим променем і тим самим перпендикуляром. Кутом заломлення (γ) називається кут між заломленим променем і

перпендикуляром MN.

Закон відбивання світла, як і закон прямолінійного поширення світла, відкритий давньогрецьким ученим Евклідом.

Геометри́чна о́птика — розділ оптики, в якому вивчаються закони поширення світлових променів.

Закони геометричної оптики – це закони, які встановлюють правила геометричного розповсюдження світлових променів в середовищі.

Закон відбиття Падаючий промінь електромагнітної хвилі, відбитий промінь і перпендикуляр в точку падіння лежать в одній площині, кут падіння дорівнює куту відбиття. Промінь електромагнітної хвилі – це направлений відрізок вздовж якого розповсюджуються електромагнітні хвилі. $<\alpha = <\gamma$

Закон заломлення Падаючий промінь, заломлений промінь електромагнітної хвилі і перпендикуляр в точці падіння лежать в одній площині.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_2 > n_1$$

n_2, n_1 – абсолютні показники заломлення середовища, які показують у скільки разів швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль в середовищі зменшується відносно вакууму.

$$n_1 = \frac{V_{e/м\,вакуум}}{V_{e/м\,середовище}}; \quad \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}.$$

Фотометрія.

1. Світло діє на тіла внаслідок того, що воно переносить енергію. За теорією Максвелла світлова енергія — це енергія електромагнітних хвиль. Методи вимірювання світлової енергії становлять розділ оптики, який називають фотометрією.

Ряд величин характеризує світло щодо енергії, яку воно переносить. Найважливіша з них — світловий потік. Для сприймання світлової енергії особливе значення, звичайно, має око. Тому нас цікавить насамперед не повна енергія, що переноситься електромагнітними хвилями, а лише та її частина, на яку реагує наше око.

Світловий потік. Найбільш чутливе око до зелених променів. Тому практично важливо знати не просто кількість світлової енергії, що реєструється відповідними вимірювальними приладами, а інтенсивність світла, яка оцінюється безпосередньо нашим оком. Для такої оцінки світлової енергії запроваджено особливу фізичну величину — світловий потік, (позначається буквою Ф).

Світловим потоком називають світлову енергію, яка проходить через деяку поверхню за одиницю часу і оцінюється за зоровими відчуттями.

Іншими словами, світловий потік – це потужність світлового проміння, яка оцінюється безпосередньо нашим оком.

Світловий потік утворюється джерелом світла й діє на предмети навколо. Відповідно вводиться ще дві енергетичні величини: одна для характеристики джерела світла — сила світла джерела, а друга для характеристики дії світла на поверхні тіл — освітленість. Поняття сили світла найпростіше ввести для так званого точкового джерела світла.

Точкове джерело світла. Джерело світла можна вважати точковим, якщо його розміри значно менші за відстані, на яких оцінюється дія цього джерела. Крім того, припускається, що джерело посилає світло рівномірно в усіх напрямах. Наприклад, відстані до зірок настільки більші за їхні розміри, що саме зірки є найкращою моделлю точкового джерела, хоч розміри їх величезні. Вводячи поняття точкового джерела світла, ми виділяємо тільки істотні для фотометрії властивості реальних джерел, абстрагуючись від другорядних властивостей. Точкове джерело — це така сама ідеалізація як і інші прийняті у фізиці моделі, — матеріальна точка, абсолютно тверде тіло, ідеальний газ і т. п.

Тілесний кут. Щоб описати розподіл у різних напрямах світлового потоку, що його випромінює джерело світла, користуються поняттям тілесного кута.

Тілесний кут Ω „вирізує” на поверхні сфери сферичний сегмент площею S. Під величиною тілесного кута Ω розуміють відношення цієї площі до квадрата радіуса сфери:

$$\Omega = \frac{S}{R^2}. \tag{36}$$

Сила світла. Силою світла джерела називається світловий потік, утворений джерелом в одиничному тілесному куті. Якщо джерело утворює в тілесному куті Ω світловий потік Ф, то сила світла джерела I за означенням дорівнює:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \tag{37}$$

Оскільки повний тілесний кут має 4π стерадіанів, то сила світла точкового джерела

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \tag{38}$$

де Ф — повний світловий потік, тобто потужність світлового проміння, що поширюється від джерела в усіх напрямах і оцінюється за зоровим відчуттям.

У Міжнародній системі одиниць СІ за основну одиницю фотометричних величин прийнята одиниця сили світла кандела (кд). Справа в тому, що найпростіше створити еталон саме для сили світла. Еталоном одиниці сили світла

(1 кд) є спеціальний випромінювач. Усі інші світлові величини, у тому числі й одиниця світлового потоку, похідні.

Одиниця світлового потоку. За одиницю світлового потоку прийнято люмен (лм); 1 лм — це світловий потік, що випромінюється точковим джерелом, сила світла якого 1 кд, у тілесний кут, що дорівнює 1 ср.

Освітленість

Джерело світла майже завжди освітлює поверхні предметів нерівномірно. Наприклад, лампа, яка висить над столом, найкраще освітлює центр стола. Краї стола освітлюються значно гірше. І це не тільки тому, що сила світла електричної лампи різна в різних напрямах. Навіть від точкового джерела на центр стола припаде більша світлова потужність (світловий потік), ніж на таку саму площу на краю.

Освітленістю *E* називають відношення світлового потоку Ф, який падає на площу S, до величини цієї площі:

$$E = \frac{\Phi}{S} \tag{39}$$

Одиниця освітленості — люкс (лк) — визначається як освітленість, при якій на 1 м^2 поверхні рівномірно розподіляється світловий потік 1 лм. Для фотометричних розрахунків важливо знати, як залежить освітленість E будь-якої поверхні від її розміщення щодо падаючих променів, од відстані R до джерела світла і від сили світла R джерела.

Очевидно, що за інших однакових умов освітленість прямо пропорційна силі світла джерела. Справді, два однакових джерела, розміщених поряд, посилатимуть у даному напрямі в два рази більше світлової енергії за одиницю часу, ніж одне джерело. Але два джерела можна замінити одним, сила світла якого в два рази більша.

З'ясувати залежність освітленості од відстані до джерела можна, помістивши уявно точкове джерело в центр сфери. Площа поверхні сфери $S = 4\pi R^2$, а повний світловий потік $\Phi = 4\pi I$. Тому освітленість

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2} \tag{40}$$

Отже, освітленість поверхні обернено пропорційна квадрату відстані від джерела.

Лінза – прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями.

Рис. 20 Лінза

Тонка лінза — це лінза, товщина якої в багато разів менша від радіусів сферичних поверхонь, що її обмежують.

Рис.21. Схема знаходження оптичного центру лінзи

O_1, O_2 — центри сфер;

O_1, O_2 R_1, R_2 — радіуси сферичних поверхонь, які обмежують лінзу;

O_1O_2 — головна оптична вісь (пряма, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу);

O — оптичний центр лінзи (точка, через яку промінь світла проходячи не заломлюється).

За формою лінзи поділяють на ***опуклі*** й ***увігнуті***.

Опукла лінза — лінза, товщина якої посередині більша, ніж біля країв. (двоопукла, плоско-опукла, увігнуто-опукла) (рис. а)

Увігнута лінза — лінза, товщина якої посередині менша, ніж біля країв. (двоввігнута, плоско-ввігнута, опукло-ввігнута) (рис. б)

Рис.22. Форми лінз: а) опукла; б) увігнута

Лінзи також поділяють на ***збиральні*** та ***розсіювальні***.

Збиральна лінза — це лінза, яка перетворює паралельний пучок променів в збіжний.

F — дійсний фокус лінзи (точка у якій перетинаються заломлені промені).

Розсіювальна лінза — це лінза, яка перетворює паралельний пучок променів в розбіжний.

F' — уявний фокус лінзи (точка у якій перетинаються продовження заломлених променів).

Рис.23. Збиральна та розсіювальна лінза

Кожна лінза має *два фокуси*, розташовані на однаковій відстані від оптичного центра лінзи.

Фокусна відстань лінзи — це відстань від оптичного центра лінзи до фокуса (Рис.24).

[F]=1*м*

Рис.24. Фокус відстані лінзи

Фокусну відстань збиральної лінзи домовилися вважати додатною **(F > 0)**, а розсіювальної — від'ємною **(F < 0)**. Чим меншими є радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, тим сильніше ця лінза заломлює світло, отже, тим менша її фокусна відстань.(Рис.25)

Рис.25. Фокус відстані збиральної лінзи

Оптична сила лінзи — це фізична величина, яка характеризує заломлюючі властивості лінзи та є оберненою до її фокусної відстані.

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

F — фокусна відстань лінзи.

Одиниця оптичної сили — діоптрія:

[D]=1дптр=1/м=1м−1

1 діоптрія — це оптична сила лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м.

Оптична сила збиральної лінзи є додатною **(D > 0)**, а розсіювальної лінзи — від'ємною **(D < 0)**.

Модуль 7. Квантові властивості світла.

Лекція №18. Фотоелектричний ефект. Зовнішній та внутрішній фотоефект

План:

1. Предмет, методи і завдання квантової фізики
2. Закони фотоефекту. Дослідження Столєтова
3. Квантова теорія фотоефекту
4.Фотоелементи та їх застосування
5. Зовнішній фотоефект
6. Внутрішній фотоефект
7. Фотогальванічний ефект
8. Фотоефект в газоподібному середовищі

Квантова оптика

Квантова оптика розглядає оптичні явища, в яких вивчається квантова природа світла. Основні ідеї квантової теорії були розроблені в період з 1900 до 1930 рр. Згідно з гіпотезою М. Планка, енергія випромінюється не безперервно, а дискретно, тобто певними порціями квантами (фотонами).

Квантова природа світла визначає, що світло – це потік фотонів (квантів) кожен фотон має масу, імпульс і дискретну енергію тільки при швидкості світла.

Гіпотеза Планка.

В 1900 році М. Планк висунув теорію про квантовий характер випромінюваної енергії: енергія випромінювання складається з окремих малих і неподільних частин – квантів. Енергія такого кванта визначалася величиною $\boldsymbol{E = h \cdot \nu}$, де h – стала Планка.

За сучасними даними $\boldsymbol{h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}}$ **Дж·с** .

Гіпотеза Планка отримала подальший розвиток в роботах Ейнштейна. Електромагнітна хвиля не тільки випромінюється, але і поширюється і поглинається у вигляді потоку квантів. Квант світлової енергії називається **фотон**.

Після відкриття Планка почала розвиватися нова, найсучасніша та глибока фізична теорія – квантова теорія. Розвиток її не закінчився й дотепер. Енергію кванта можна виразити в джоулях або в електрон-вольтах:

1еВ=1,6·10^{-19} Дж

Енергія фотона рівняння Планка

Енергія фотона по Планку дорівнює: $E_ф = h\nu$, $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$

де h – постійна Планка,

ν – частота світла, $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек. – швидкість світла.

Маса, імпульс фотона.

Фото́н— квант електромагнітного поля, елементарна частинка, що є носієм електромагнітної взаємодії.

Енергія фотона по Енштейну

$E_ф = m_ф c^2$; $h\nu = m_ф c^2$ Маса фотона: $m_ф = \dfrac{h\nu}{c^2}$

Імпульс фотона визначають за формулою

$p_ф = m_ф c = \dfrac{h\nu}{c^2} \cdot c = \dfrac{h\nu}{c}$ $p_ф = \dfrac{h\nu}{c}$ імпульс фотона

Фотоефект

Відкриття явища фотоефекту мало велике значення для більшого розуміння природи світла. Але цінність науки полягає не тільки в тому, що вона з'ясовує складну і багатогранну будову навколишнього середовища, а і в тому, що наука дає нам в руки засоби, за допомогою яких можна удосконалити виробництво, поліпшувати умови матеріального і культурного життя.

Фотоефект. Закони фотоефекту.

Фотоефект був відкритий 1887 року Г. Герцем, а потім досліджений експериментальне російським ученим А. Г. Столєтовим.

Фотоефект – явище виривання електронів із твердих і рідких речовин під дією світла.

Розрізняють:

1) Зовнішній фотоефект – виривання електронів з речовини під дією світла.

2) Внутрішній фотоефект – перерозподіл електронів за енергетичними рівнями під дією світла(електромагнетного випромінювання).

Закони фотоефекту були експериментально встановлені професором Московського університету А. Г. Столєтовим:

• сила фотоструму насичення прямо пропорційна інтенсивності світла, що падає на катод;

• максимальна початкова швидкість фотоелектронів не залежить від інтенсивності падаючого світла, а визначається тільки його частотою;

• для кожної речовини існує мінімальна частота світла, називана червоною межею фотоефекту, нижче за яку фотоефект неможливий.

Рис. 30: Схема експериментальної установки для вивчення фотоефекту.

В експерименті використовувався скляний вакуумний балон з двома металевими електродами, поверхня яких була ретельно очищена. До електродів прикладалась деяка напруга U, полярність якої можна було міняти за допомогою подвійного ключа.(рис. 30) Один з електродів (катод K) через кварцове віконце освітлювався монохроматичним світлом з довжиною хвилі λ, и при незмінному світловому потоці досліджувалась залежність сили фотоструму I від прикладеної напруги (рис. 31).

Рис. 31: Залежність сили фотоструму від прикладеної напруги. Крива 2 відповідає більшій інтенсивності світлового потоку. $I_{н1}$ и $I_{н2}$ – струми насичення, $U_з$ – запираюча напруга.

Рівняння Ейнштейна.

Закон збереження енергії для процесу взаємодії фотона з електроном під час фотоефекту описується рівнянням Ейнштейна:

$$h\nu = A_{вих} + \frac{m_e V_e^2}{2},$$

де A – робота виходу електрона з речовини,

$\frac{m_e V_e^2}{2}$ – кінетична енергія електрона

Мінімальна енергія фотона, яка достатня для одержання фотоефект, дорівнює:

$$A_{вих} = h\nu_{\min}$$

Рівняння Ейнштейна можна розглядати як вираження закону збереження енергії для одиничного акту взаємодії фотона з електроном.

$\boldsymbol{E_к = U_з \cdot e}$, де $\boldsymbol{e}$ – заряд електрона.

Червона границя фотоефекту – мінімальна частота або максимальна довжина падаючої хвилі, за якої все ще спостерігається фотоефект:

$h \cdot \nu_{min} = A_{вих}$; $\boldsymbol{\nu_{min} = A_{вих}/h}$.

Або: $hc/\lambda_{max} = A_{вих}$: $\boldsymbol{\lambda_{max} = hc/A_{вих}}$

Зовнішній фотоефект – випускання електронів із поверхні металу під дією світла. Прилади, в основі принципу дії яких лежить явище фотоефекту, називаються фотоелементами. У фотоелементах енергія світла керує енергією електричного струму або перетворюється на неї.

Фотосинтез та його роль в с.-г.

Фотоси́нтез — процес синтезу органічних сполук з вуглекислого газу та води з використанням енергії світла й за участю фотосинтетичних пігментів: (хлорофіл у рослин, хлорофіл, бактеріохлорофіл і бактеріородопсин у бактерій), часто з виділенням кисню як побічного продукту. Це надзвичайно складний процес, що включає довгу послідовність координованих біохімічних реакцій. Він відбувається у вищих рослинах, водоростях, багатьох бактеріях, деяких археях і

найпростіших — організмах, відомих разом як фототрофи. Сам процес відіграє важливу роль у кругообігу вуглецю у природі.

В ході світлової стадії фотосинтезу утворюються високоенергетичні продукти: аденозинтрифосфат, що служить в клітині джерелом енергії, і НАДФН, що використовується як відновник. Як побічний продукт виділяється кисень.

Хлорофіл виконує дві функції: поглинання і передачу енергії.

Фотосинтез є основним джерелом біологічної енергії, фотосинтезуючі автотрофи використовують її для утворення органічних речовин з неорганічних, гетеротрофи існують за рахунок енергії хімічних зв'язків, запасеної автотрофами, вивільняючи її в процесах аеробного та анаеробного дихання. Енергія, отримувана людством при спалюванні викопного палива (вугілля, нафта, природний газ, торф), також є запасеною в процесі фотосинтезу.

Фотосинтез є головним методом залучення неорганічного вуглецю в біологічний цикл. Весь кисень атмосфери біогенного походження і є побічним продуктом фотосинтезу. Формування окиснювальної атмосфери повністю змінило стан земної поверхні, зробило можливою появу дихання, а надалі, після утворення озонового шару, дозволило життю вийти на сушу.

1)Зовнішній фотоефект – виривання електронів з речовини під дією світла;

2) внутрішній фотоефект, при якому відбувається лише збільшення кількості вільних електронів всередині речовини, але вони не виходять назовні;

3) фотогальванічний ефект, при якому на границі поділу напівпровідника і металу або на границі поділу двох напівпровідників під впливом опромінювання виникає електрорушійна сила (за відсутності зовнішнього електричного поля);

4) фотоефект в газоподібному середовищі, який полягає у фотоіонізації окремих молекул або атомів.

Зовнішній фотоефект спостерігається у твердих тілах, а також у газах.

Фотоефект відкрив у 1887 р. Г. Герц, а перші фундаментальні дослідження фотоефекту виконані . У 1898 р. Леонард і Томсон методом відхилення зарядів у електричному і магнітному полях визначили питомий заряд $\frac{e}{m}$ частинок, що вириваються світлом з катода, довівши, що ці частинки є електронами.

Дослідами встановлено такі основні **закони зовнішнього фотоефекту**:

I. При фіксованій частоті ν падаючого світла кількість фотоелектронів, що вириваються з катода за одиницю часу, пропорційне до інтенсивності світла (сила фотоструму насичення пропорційна до енергетичної освітленості Е катода) (рис. 32).

II. Максимальна початкова швидкість υ_{max} фотоелектронів визначається лише частотою ν світла і не залежить від його інтенсивності. Величина υ_{max} зростає із збільшенням частоти ν.

III. Для кожної речовини існує „червона межа” фотоефекту, тобто максимальна довжина хвилі λ_{max}, при якій спостерігається фотоефект.

Рис.32. Графік сили фотоструму насичення пропорційна до енергетичної освітленості Е катода

Величина λ_{max} залежить від хімічної природи тіла і стану його поверхні. А. Ейнштейн в 1905 р. показав, що явище фотоефекту і його закономірності можуть бути пояснені на основі запропонованої ним квантової теорії фотоефекту.

Згідно з Ейнштейном, світло частотою ν не лише випромінюється, але і поширюється в просторі і поглинається речовиною окремими порціями, енергія яких $\varepsilon = h\nu$, де h – стала Планка. Поширення світла треба розглядати не як неперервний хвильовий процес, а як потік локалізованих у просторі дискретних світлових квантів, що рухаються зі швидкістю поширення світла у вакуумі. Ці кванти отримали назву **фотонів**.

За Ейнштейном кожний фотон поглинається лише одним електроном. Тому кількість вирваних фотоелектронів повинна бути пропорційна до кількості поглинутих фотонів, тобто пропорційна до інтенсивності світла (I закон фотоефекту). Безінерційність фотоефекту пояснюється тим, що передача енергії при зіткненні фотона з електроном відбувається майже миттєво.

Енергія падаючого фотона витрачається на виконання електроном роботи виходу А з металу і на надання електрону масою m, який вилетів з металу, кінетичної енергії $\frac{mu_{max}^2}{2}$.

За законом збереження енергії

$$h\nu = A + \frac{mu_{max}^2}{2}.$$

Це **рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту.**

Рівняння Ейнштейна дає змогу пояснити II і III закони фотоефекту. Максимальна кінетична енергія фотоелектрона лінійно зростає із збільшенням частоти падаючого випромінювання і не залежить від його інтенсивності, оскільки ні робота виходу А, ні частота ν від інтенсивності світла не залежать (II закон). Оскільки із зменшенням частоти світла кінетична енергія фотоелектронів зменшується, то при деякій досить малій частоті $\nu = \nu_{min}$ кінетична енергія фотоелектронів буде дорівнювати нулю. Тому енергії кванта вистачає тільки, щоб вирвати електрон з металу. Отже,

$$h\nu_{min} = h\frac{c}{\lambda_{max}} = A$$

.

Величина λ_{max} залежить лише від роботи виходу електрона, тобто від хімічної природи речовини і стану її поверхні.

Якщо створити поле всередині вакуумного фотоелемента, яке затримуватиме рух електронів, тобто на катод подати „+”, а на анод „–”, то фотострум буде зменшуватись і при напрузі U_0 струм дорівнюватиме нулю (див. рис. 3.1). Ця напруга називається затримуючою напругою. Тоді

$$eU_0 = \frac{mv_{max}^2}{2},$$

а рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту матиме вигляд

$$h\nu = A + eU_0 .$$

Останнє рівняння можна записати також таким чином

$$U_0 = \frac{h}{e} \cdot \nu - \frac{A}{e} .$$

Ця формула описує графічно напряму U0 =f(ν), яка має кут нахилу α до осі ν, причому tg α = h/e, а точка перетину цієї прямої з віссю U0 дає значення A/e (рис. 33).

Визначаючи для двох різних частот та падаючого випромінювання значення напруг U01 та U0 2, можна отримати формулу для визначення сталої Планка h:

$$h = \frac{e \cdot (U_{01} - U_{02})}{(\nu_1 - \nu_2)} .$$

Рис. 3.2

Рис. 33. Графічний опис напряму U0 =f(ν),

*Оск*ільки інтенсивність світла прямо пропорційна кількості фотонів, то збільшення інтенсивності падаючого світла приводить до збільшення числа фотоелектронів, тобто до збільшення фотоструму Іф. Якщо припустити, що джерело світла точкове, то можна вважати, що освітленість Е катода змінюється обернено пропорційно квадрату відстані від джерела світла до фотоелемента. Так як освітленість Е пропорційна інтенсивності світла, то величина фотоструму Іф буде пропорційна потоку випромінювання.

Модуль 8. Будова атома.

Лекція №19 Будова атома

План:

1. Відкриття, які доводять складність будови атому.
2. Модель атома Резерфорда.
3. Постулати Бора.
4. Будова ядра атома.

Модель атома Томсона.

До 1902 року було здійснено достатньо експериментів, які переконливо довели існування електронів.

Рис. 1. Модель атома Дж. Томсона.

Джозеф Джон Томсон показав на основі класичної електромагнітної теорії, що розміри електрона мають бути порядку 10^{-15} м. Крім того, було відомо, що розміри атома становлять кілька ангстрем (1 Å=10^{-10} м). На цій підставі Томсон в 1903 році запропонував свою модель атома, відповідно до якої атоми являють собою однорідні кулі з позитивно зарядженої речовини, у якій містяться електрони (див. рис.). Сумарний заряд електронів дорівнює позитивному заряду атома. Тому атом у цілому електрично нейтральний.

Ця модель дістала назву «пудинг», оскільки електрони були вкраплені в позитивно заряджене середовище, немов ізюм у пудинг.

Модель Томсона здавалася привабливою з тієї точки зору, що передбачала наявність електронів в атомі. Однак вона проіснувала тільки до 1911 року.

Досліди Резерфорда.

У 1911 році Ернст Резерфорд запропонував своїм співробітникам експериментальне перевірити переконливість моделі атома Томсона. Ідея досліду була проста. Якщо модель атома Томсона відповідає дійсності, то експериментатори, пропускаючи крізь дуже тонку металеву плівку вузький пучок швидких α-частинок, не повинні виявити скільки-небудь помітного відхилення цих частинок.

Рис. 2 Схема досліду Резерфорда по розсіянню α-частинок.

К – свинцевий контейнер з радіоактивною речовиною

Э – екран, покритий сірчистим цинком

Ф – золота фольга

М – мікроскоп.

Резерфорд встановив, що кожна α-частинка, потрапляючи на екран із сірчистого цинку, викликає спалах світла. Зазнавши розсіювання в золотій фользі, α-частинки вдарялися потім в екран і реєструвалися за допомогою мікроскопа.

Очікувалося, що пучок α-частинок під час проходження крізь тонку фольгу злегка розсіюється на невеликі кути. Це дійсно спостерігалося. Але несподівано з'ясувалося, що приблизно одна α-частинка з 20 000, які падають на золоту фольгу завтовшки усього лише $4 \cdot 10^{-5}$ см, повертається назад у бік джерела.

Резерфордові знадобилося кілька років, щоб остаточно зрозуміти таке несподіване розсіювання α-частинок на великі кути. Він дійшов висновку, що позитивний заряд атома зосереджений у дуже малому об'ємі в центрі атома, а не розподілений по всьому атому, як у моделі Томсона.

Рис. 3 .Розсіяння α-частинок в атомі Томсона (a) *і в атомі Резерфорда* (b).

Ядерна модель атома Резерфорда:

1) атоми будь-якого елемента має позитивно зарядже ядро;
2) до складу ядра входять позитивно заряджені елементарні частинки – протони і нейтральні нейтрони;
3) навколо ядра рухаються негативно заряджені електрони.

Дослід Е. Резерфорда започаткував основи сучасних уявлень про будову атома

Щоб пояснити одержані результати, Е. Резерфорд припустив, що атом має складну будову, схожу на Сонячну систему: всередині його міститься позитивно заряджене ядро, навколо якого обертаються електрони

Рис.4. Ядерна модель атома

Його розрахунки довели, що в ядрі зосереджена практично вся маса атома, але його розміри набагато менші за сам атом. Вимірювання показали, що лінійні розміри атома становлять приблизно 10^{-10} м, а радіус його ядра дорівнює близько 10^{-15} м. Зрозуміло, що схематичні зображення атомів тут і в інших книгах подаються без дотримання масштабів.

Отже, на підставі одержаних експериментальних даних Е. Резерфорд запропонував ядерну (планетарну) модель атома, яка узгоджувалася з результатами дослідів і пояснювала багато інших явищ, пов'язаних з будовою атома.

Висновок: Планетарна модель атома, запропонована Резерфордом, стала важливим кроком в розвитку знань про будову атома. Проте, вона виявилася

нездатною пояснити сам факт тривалого існування атома, тобто його стійкість. За законами класичної електродинаміки, рухомий з прискоренням заряд повинен випромінювати електромагнітні хвилі. За короткий час (близько 10^{-8} с) всі електрони в атомі Резерфорда повинні розтратити всю свою енергію і впасти на ядро. Те, що цього не відбувається в стійких атома, показує, що внутрішні процеси в атомі не підкоряються класичним законам.

В результаті досліджень було встановлено, що ядро атома дуже стабільна частинка . Незважаючи на те що до складу ядра входять позитивні протони і нейтральні нейтрони зруйнувати ядро можливо тільки за допомогою **ядерних реакцій**.

Всі хімічні елементи мають **ізотопи**. Ізотопи даного хімічного елемента відрізняються кількістю протонів. Наприклад, ізотопи Гідрогену: ${}^{2}_{1}H$ – *дейтерій*, ${}^{3}_{1}H$ – *тритій*. Ізотопи мають однакові хімічні властивості, але можуть відрізнятися фізичними властивостями, а саме радіоактивністю.

За допомогою ядерних реакцій можна дістати радіоактивні ізотопи всіх хімічних елементів, які зустрічаються в природі тільки в стійкому стані.

Масове й зарядове числа.

В якості одиниці маси в атомній і ядерній фізиці використовується атомна одиниця маси (**а.о.м.**).

Атомна одиниця маси дорівнює 1/12 маси атома Карбону атомною масою 12.

1 а.о.м. = $1{,}66057 \cdot 10^{-27}$ кг.

Ціле число, найближче до атомної миси, вираженої в а.о.м., називається масовим числом і позначається буквою **A**.

Число протонів у ядрі називається зарядовим числом (зарядом ядра) і позначається буквою **Z**.

Для кожного хімічного елемента заряд ядра дорівнює порядковому номеру в таблиці Д. І. Менделєєва.

В загальному вигляді хімічний елемент позначається так: ${}^{A}_{Z}X$.

Число нейтронів у ядрі позначають буквою N. **N = A – Z**.

Кожний хімічний елемент в таблиці Д. І. Менделєєва електронейтральний тому що кількість протонів в ядрі дорівнює кількості електронів на орбітах атома . Ця кількість відповідає порядковому номеру в таблиці Д. І. Менделєєва.

Змінити електронну оболонку атома можливо тепловою, світловою, хімічною та механічною енергіями.

Атом, який утратив (чи набув) один або кілька електронів, перетворюється на позитивним (або негативним) йон.

Позитивно заряджене тіло – кількість електронів в тілі менша, чим кількість протонів в ядрах атомів із яких складається тіло

Негативно заряджене тіло – кількість електронів в тілі більша, чим кількість протонів в ядрах атомів із яких складається тіло

Література

1. Загальна фізика. Оптика : оглядові лекції / уклад. В. М. Кадченко. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. 70 с. URL: http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/4159/1/ДЕК_ОГЛЯДОВІ%20ЛЕКЦІЇ_2.pdf
2. Коваленко В. Ф. Загальна фізика в прикладах, запитаннях і відповідях. Механіка : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. 223 с. URL: http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Kovalenko_Mechanics.pdf
3. Конспект з фізики для студентів скороченої форми навчання / уклад. О. Крамар. Тернопіль : Центр оперативної поліграфії, 2018. 128 с. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27376/1/metod_AT_preprint.pdf
4. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика (вибрані питання) : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2021. 309 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9429/1/Фізика%20вибрані%20питання%29.pdf
5. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2020. 310 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6649/1/Курс%20лекцй_фізика.pdf
6. Лекції з курсу загальної фізики . Розділ І. Механіка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 55 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7495/1/MV_Pravda.pdf
7. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ IV. Хвильова оптика / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 20 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7498/1/MV_Pravda.pdf
8. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ II. Молекулярна фізика та термодинаміка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 36 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7496/1/MV_Pravda.pdf
9. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ III. Електрика та магнетизм / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 56 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7497/1/MV_Pravda.pdf
10. Огороднiков В. А., Федотов В. О., Перлов В. Є. Теоретична механіка. Кінематика : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2015. 69 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18337/TM_kin_kl.PDF?sequence=1
11. Огороднiков В. А., Федотов В. О., Кириця І. Ю. Теоретична механіка. Динаміка : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2016. 84 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18336/Конспект_лекцій_Динаміка_Кириця.PDF?sequence=1&isAllowed=y
12. Павло В. Фізика. Основи і механічний рух : підручник. Одеса : Book Chef, 2020. 384 с.
13. Прокопів В. В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. 76 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3745/1/Konspekt-FF_Knyga.pdf
14. Русаков В. Ф. Фізичні основи механіки: навчальний посібник. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2019. 144 с. URL:

https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/113/1/84_%20Русаков%20В.Ф.%20Механіка.pdf

15. Янг Г., Фрідман Р., Сендін Т., Форд Л. Фізика для університетів з розділами сучасної фізики. Львів : Наутілус, 2009. 1600 с.

16. Calculation of Optimal Geometric Parameters Electrical Apparatus for Controlling the Irrigation System / O. Sadovoy et al. 2023 *IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456

17. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760

18. Technological Parameters Of The Magnetic Circuit Of The Compact Transformer For Aggregate Electric Drive / E. Avdieieva et al. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, Kremenchuk, Ukraine, 2020, pp. 1-4, DOI: https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240779.

19. Development of a Model of Cell Functioning to Measure the Interaction of Low-Energy EMF / M. Kundenko et al. *2022 XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*, Sozopol, Bulgaria, 7–11 September 2022. 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/mma55579.2022.9993093.

Навчальне видання

ФІЗИКА

конспект лекції

Укладачі: **Вахоніна** Лариса Володимирівна

Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 5,9.
Тираж 20 прим. Зам. №_____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.10.2013р.