

Міністерство аграрної політики та продовольства України
ВСП «Бердянський коледж Таврійського
державного агротехнологічного університету»



**Теоретичний матеріал для самостійних
занять з дисципліни «Фізика»
ВНЗ I – II рівнів акредитації**



Номінація:
досвід роботи
викладача

Укладач Волков О.С., викладач фізики ВСП «Бердянський коледж Таврійського державного агротехнологічного університету»

Рецензент Бовбас О.Ю., викладач фізики ВСП «Бердянський коледж Таврійського державного агротехнологічного університету»

Теоретичний матеріал для самостійних занять з фізики допоможе викладачам фізики провести практичні і лекційні заняття згідно з вимогами. Кожна тема має на меті не лише подати теоретичний матеріал, що був відведений на час самопідготовки але й розвиває у студентів навички самостійної роботи з навчальним матеріалом, уміння пояснювати явища навколишнього середовища з фізичної точки зору.

Рекомендовано викладачам як допоміжний матеріал у проведенні лекційних та практичних занять з фізики у ВНЗ I-II рівнів акредитації.

Зміст

Вступ	4
Тема 1. Момент сили. Умова рівноваги тіла. Механічні властивості твердих тіл.....	5
Тема 2. Пароутворення і конденсація. Властивості рідин. Водяна пара, її види та властивості.....	20
Тема 3. Особливості будови та властивості твердих тіл. Кристалічні та аморфні тіла. Анізотропія кристалів.....	33
Тема 4. Принцип дії теплових двигунів та їх ККД. Цикл Карно. Сучасні холодильні машини, їх види та принцип дії.....	47
Тема 5. Діелектрики в електричному полі. Поляризація діелектриків. Конденсатори, їх види, будова та використання в техніці.....	64
Тема 6. Електричний струм у газах. Види розрядів у газах. Явище термоелектронної емісії та його використання в техніці.....	88
Тема 7. Властивості діа-, пара- та феромагнетиків. Магнітне поле Землі та інших тіл Сонячної системи.....	103
Тема 8. Вимушені коливання. Резонанс. Звукові хвилі та їх характеристики. Інфра- , ультразвуки та їх використання.....	132
Тема 9. Досліди Герца. Відкриття радіо. Принципи дії радіотелефонного зв'язку. Радіомовлення і телебачення.....	147
Тема 10. Кільця Ньютона. Інтерференція світла в природі і техніці. Дифракційна решітка і дифракційний спектр.....	167
Тема 11. Чорнобильська катастрофа та ліквідація її наслідків. Боротьба за ліквідацію загрози ядерної війни.....	181

Вступ

Мета розробки «Теоретичний матеріал для самостійних занять з дисципліни «Фізика»» - надати методичну допомогу вчителям з систематизації навчального матеріалу, що відводиться на самостійну роботу студентів. Для кожного заняття визначена тема, мета, план подання матеріалу, головні питання що розглядаються і питання для самоперевірки.

Використаний матеріал подає фізику як живу науку, в розробці наведено багато прикладів прояву та застосування фізичних законів у навколишньому житті, відомостей з історії фізичних відкриттів, подано ілюстрований опис фізичних дослідів.

Під час підготовки до кожного уроку студент зазвичай використовує багато навчальної літератури: підручники, збірники задач, збірники контрольних і самостійних робіт, зошити для лабораторних робіт, посібники з демонстраціями та ін. Усе наведене вище може замінити посібник «Теоретичний матеріал для самостійних занять з дисципліни «Фізика» для ВНЗ I – II рівнів акредитації», бо він включає в себе весь матеріал, що може знадобитися студенту для підготовки.

Кожна тема має на меті не лише подати теоретичний матеріал, що був відведений на час самопідготовки але й розвиває у студентів навички самостійної роботи з навчальним матеріалом, уміння пояснювати явища навколишнього середовища з фізичної точки зору.

Рекомендовано викладачам як допоміжний матеріал у проведенні лекційних та практичних занять з фізики у ВНЗ I-II рівнів акредитації.

Тема 1. Момент сили. Умова рівноваги тіл. Механічні властивості твердих тіл

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з основними поняттями та формулами, що стосуються статички тіл

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток вміння застосовувати математичний апарат при розв'язуванні типових задач
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Рівновага тіл, умови рівноваги тіл.
2. Момент сили.
3. Важіль. Умови рівноваги.
4. Центр тяжіння.
5. Механічні властивості твердих тіл.

Головне з теми:

поняття рівноваги тіл

основні умови рівноваги тіл

момент сили та його властивості

важіль, умови рівноваги, центр тяжіння

властивості твердих тіл

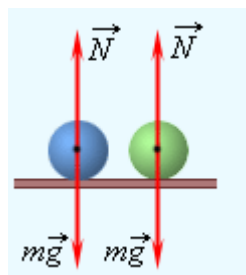
1. Рівновага тіл, умови рівноваги тіл.

Розділ механіки, в якому вивчаються умови рівноваги тіл, називається **статикою**.

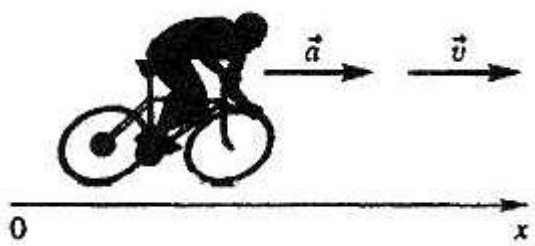
Рівновагою тіла - називають такий стан, коли будь-яке прискорення тіла дорівнює нулю, тобто всі дії на тіло сил і моментів сил зрівноважені. Стан спокою тіла (або рівновага) є частинним випадком його руху, точніше – частинним випадком рівномірного прямолінійного руху. З точки зору рівняння руху тіла це випадок, коли прискорення тіла дорівнює нулеві.

При цьому тіло може:

- знаходитись у стані спокою;

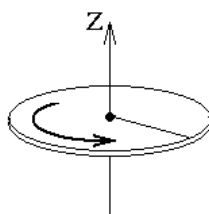


- рухатись рівномірно і прямолінійно $\vec{a} = 0$; $\vec{\vartheta} = 0$;



- рівномірно обертатись навколо осі, яка проходить через центр його тяжіння

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



Умовами рівноваги тіл є:

- 1) геометрична сума всіх сил, прикладених до тіла дорівнює нулю: $\sum \vec{F} = 0$
- 2) алгебраїчна сума моментів сил дорівнює нулю:
 $\sum M = 0$ ($M_1 + M_2 + M_3 + \dots = 0$)

При цьому будь-яке тіло може рухатись поступально і одночасно обертатись навколо деякої осі.

Розглянемо випадок, коли тіло не обертається. Для того щоб тіло не оберталося і знаходилося в рівновазі, необхідно, щоб сума проекцій всіх сил на довільну вісь дорівнювала нулю, тобто *рівнодійна сил* $R = 0$. Тоді тіло або перебуває в спокої, або рухається рівномірно і прямолінійно.

Рівнодійною декількох сил називається сила, яка чинить на тіло таку саму дію як дані сили. Сила що дорівнює за величиною рівнодійній і спрямована у протилежний бік, називається зрівноважуючою.

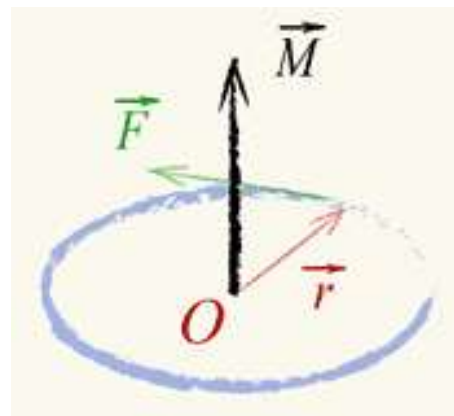
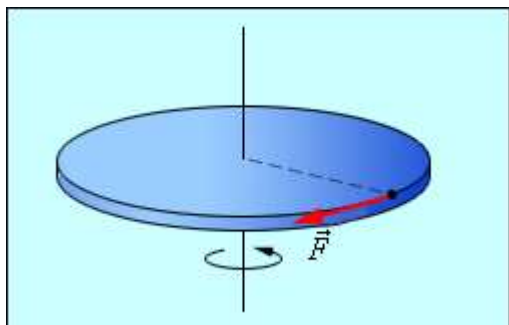
2. Момент сили.

Тіло, яке має вісь обертання, перебуватиме в рівноважному стані, якщо виконується правило моментів сил: сума моментів сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, має дорівнювати сумі моментів сил, які обертають його проти годинникової стрілки.

Моментом сили - називають взятий зі знаком " + " або " - " добуток модуля сили на плече (найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили):

$$\bar{M} = \bar{F} \cdot l$$

Момент сили додатний, якщо тіло обертається під дією цієї сили проти годинникової стрілки, від'ємний, якщо тіло обертається за годинниковою стрілкою. Одиниця вимірювання $\bar{M} = [H \cdot M]$



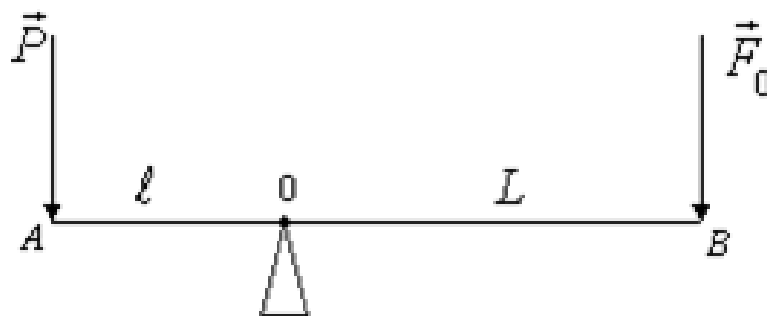
Щоб отримати потрібний момент за найменшого зусилля, потрібно прикладати силу якомога далі від осі обертання, збільшуючи тим самим плече сили і відповідно зменшуючи значення сили. Приклади тіл, які мають вісь обертання: важіль, двері, блоки, коловорот тощо.

3. Важіль. Умови рівноваги.

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

Розглянемо умови рівноваги важеля. Важіль з віссю обертання O між вантажем вагою і силою називають важелем першого роду. За відсутності тертя для утримання важеля із вантажем в рівновазі необхідно, щоб значення моменту, що обертає важіль за годинниковою стрілкою (тут - момент сили) відносно осі обертання важеля, дорівнювало значенню моменту сили відносно тієї ж осі, що обертає важіль у протилежному напрямі:

$$F_0 L = P l \rightarrow \frac{F_0}{P} = \frac{l}{L}$$

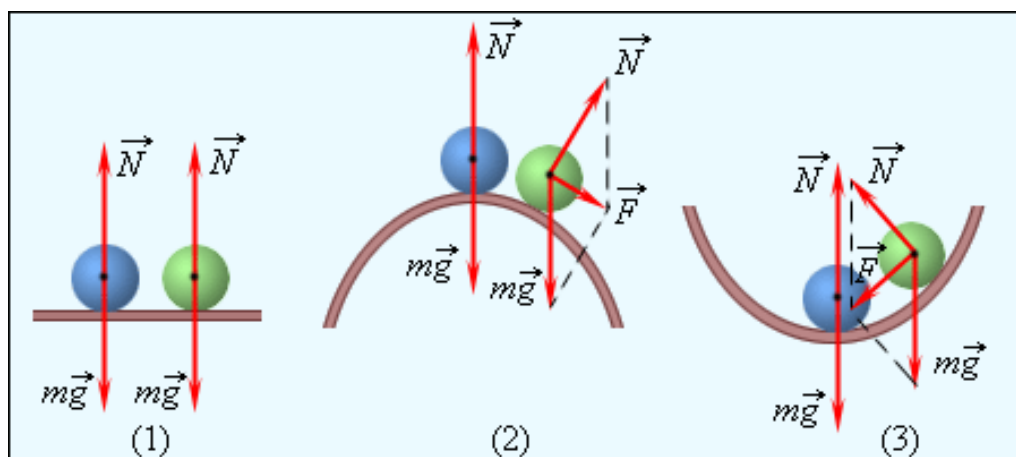


Розрізняють три види рівноваги тіл, що мають точку опори:

1. Стійку рівновагу, якщо тіло, будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє найближче положення і залишене в спокої, повернеться в це положення;

2. Нестійку рівновагу, якщо тіло будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє положення і залишене в спокої, буде ще більше відхилятися від цього положення.

3. Байдужу рівновагу - якщо тіло, будучи виведеним в сусіднє положення і залишене в спокої, залишиться в новому своєму положенні.

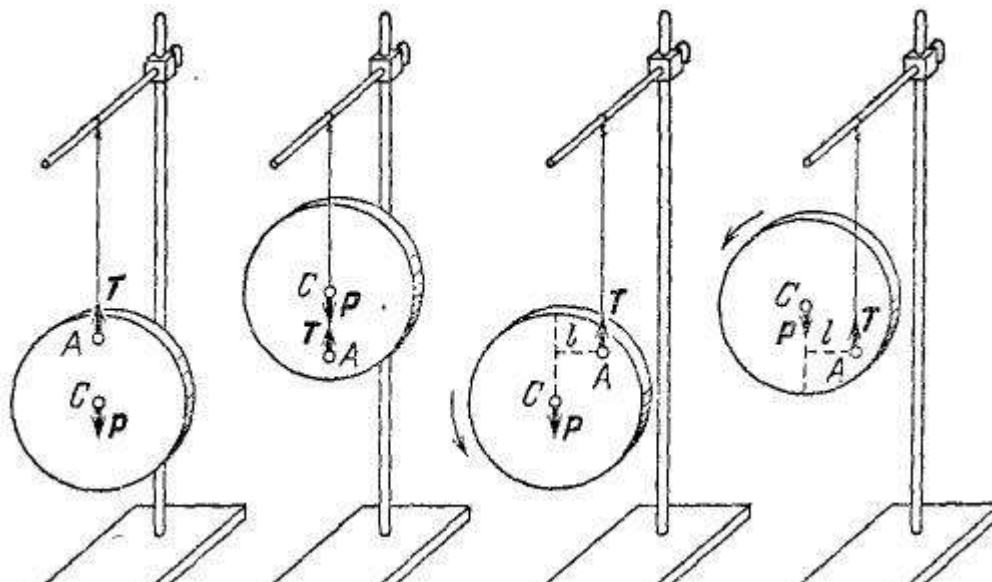


Рівновага тіла із закріпленою віссю обертання буде:

1) Стійкою, якщо в положенні рівноваги центр тяжіння С займає найнижче положення з усіх можливих ближніх положень, а його потенціальна енергія матиме найменше значення із усіх можливих значень в сусідніх положеннях;

2) нестійкою, якщо центр тяжіння C займає найвище із всіх ближніх положень, а потенціальна енергія має найбільше значення;

3) байдужою, якщо центр тяжіння тіла C в усіх ближніх можливих положеннях знаходиться на одному рівні, а потенціальна енергія при переході тіла, не змінюється.

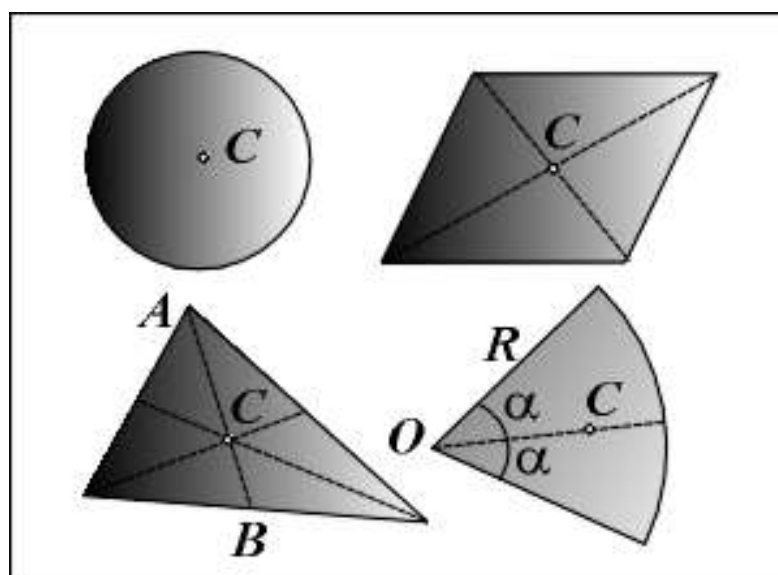


4. Центр тяжіння.

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

Положення центра тяжіння будь-якого тіла можна знайти, розбиваючи тіло на частини більш простої форми і визначаючи центри прикладання рівнодійної $\bar{R}$ сил тяжіння, які діють на ці частини. Наприклад, тонка однорідна пластинка. Розіб'ємо пластинку на багато малих рівних між собою смужок. На кожну з них діє сила тяжіння - всі ці сили рівні між собою.

Складаємо по дві сили, рівновіддалені від середини смужок. Рівнодійна будь-яких двох таких сил прикладена до середини смужки. Звідси випливає, що центр тяжіння однорідної тонкої пластинки знаходиться в її середині. Так само можна встановити, що центр тяжіння однорідного прямокутного стрижня знаходиться в його середині, трикутника - в точці перетину його медіан, паралелограма - в точці перетину його діагоналей, однорідного кільця - в його геометричному центрі. Наведені приклади доводять, що якщо тіло має центр симетрії, то центр тяжіння збігається з центром симетрії. Якщо тіло має вісь симетрії, то його центр тяжіння лежить на цій осі. Якщо тіло має площину симетрії, то його центр тяжіння лежить в цій площині.



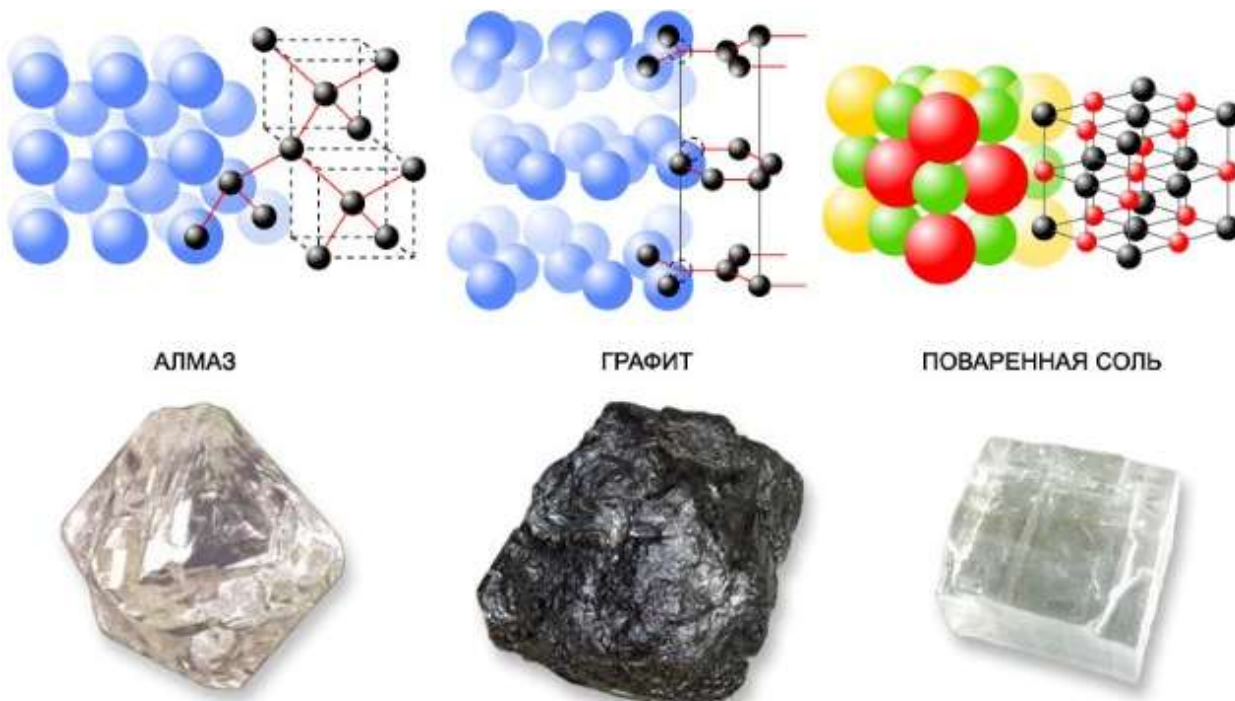
5. Властивості твердих тіл.

Тверде тіло — агрегатний стан речовини, що характеризується стабільністю форми на відміну від інших агрегатних станів рідини та газу. Атоми твердих тіл більшість часу проводять в околі певних рівноважних положень, здійснюючи тільки незначні теплові коливання.

Тверді тіла зберігають форму і об'єм, їх молекули мають дальній порядок розташування, здійснюють коливальні рухи біля положення рівноваги, щільно упаковані, володіють великою потенційною енергією.

За типом упорядкування атомів розрізняють **кристалічні** і **аморфні** тверді тіла. Кристали характеризуються наявністю просторової періодичності в розміщенні рівноважних положень коливань атомів, тобто наявністю кристалічної ґратки. Атоми аморфних твердих тіл коливаються поблизу неупорядковано розміщених точок.

За типом зв'язку між атомами розрізняють тверді тіла з **ковалентним, іонним, металічним зв'язками**.



Тверді тіла володіють певними механічними властивостями. До них відносяться: пружність, пластичність, твердість і крихкість.

Властивість деформованих твердих тіл набувати свою початкову форму і свій об'єм після припинення дії зовнішніх сил називається **пружністю**.

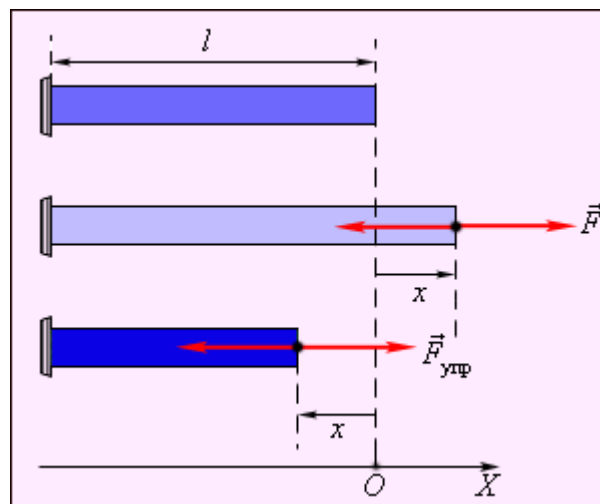
Зміна форми або об'єму тіла під дією якихось причин називається **деформацією**. Деформації бувають пружні і пластичні.

Якщо після зняття зовнішніх навантажень на тіло, деформація зникає, то така деформація називається **пружною**. Якщо деформація залишається, то **пластичною**.

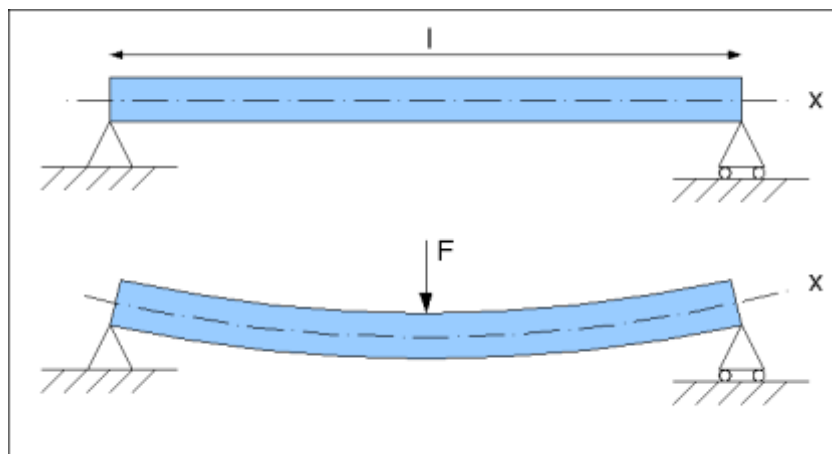
Матеріали, які руйнуються раніше ніж, у них з'явиться залишкова деформація, називаються **крихкими** (скло, цегла).

Розрізняють наступні види деформації: розтягування (стиснення), вигин, кручення, зсув.

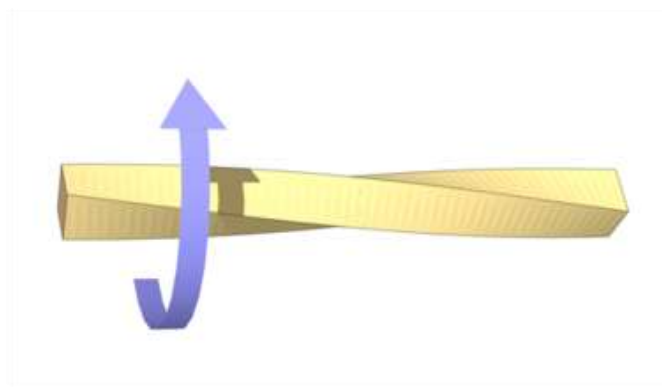
Розтягування (стиснення) - тип деформації твердого тіла, при якому його розміри вздовж однієї осі збільшуються (зменшуються).



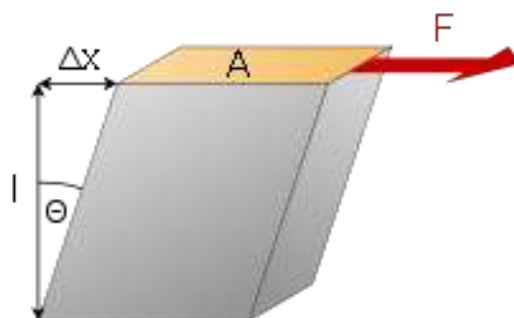
Вигин - тип деформації бруса (балки), що полягає у викривленні осі прямого бруса чи зміні кривини осі кривого бруса в результаті виникнення моментів згину у його перерізах від прикладених навантажень (поперечних сил і/або згинаючих моментів у площині, що проходить через вісь бруса).



Кручення - вид деформації у вигляді повороту поперечних перерізів стрижня навколо його осі на деякий кут під дією у цих же перерізах крутильного моменту. При цьому вісь стрижня залишається прямолінійною і називається віссю кручення, а кут, на який зміщується переріз на вільному кінці стрижня називається повним кутом закручування.



Зсув - вид деформації, при якому величина зміщення кожної точки тіла зростає в напрямку, перпендикулярному напрямку зміщення.



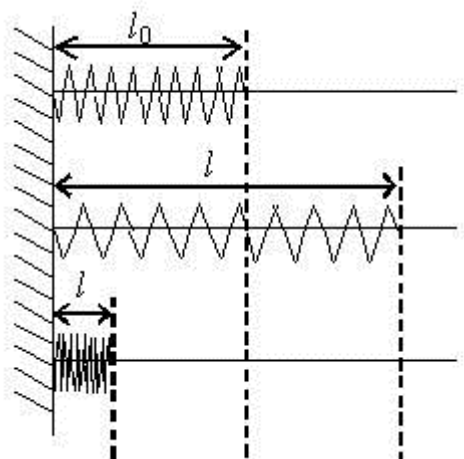
Вид деформації	Ознаки
Розтягування	збільшується відстань між молекулярними шарами.
Стиснення	зменшується відстань між молекулярними шарами.
Кручення	поворот одних молекулярних шарів щодо інших.
Вигину	одні молекулярні шари розтягуються, а інші стискаються або розтягуються, але менше перших.
Зсув	одні шари молекул зрушуються щодо інших.

Лінійна деформація (деформація розтягування) – деформація, при якій відбувається зміна тільки одного лінійного розміру тіла.

Кількісно вона характеризується абсолютним $\Delta \ell$ і відносним подовженням.

$$\Delta \ell = |\ell - \ell_0|$$

де $\Delta \ell$ – абсолютне подовження (м); ℓ і ℓ_0 – кінцева і початкова довжина тіла (м). Якщо тіло розтягують, то $\ell > \ell_0$ і $\Delta \ell = \ell - \ell_0$; якщо тіло стискають, то $\ell < \ell_0$ і $\Delta \ell = -(\ell - \ell_0) = \ell_0 - \ell$



$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

де ε – відносне подовження тіла (%);

$\Delta \ell$ – абсолютне подовження тіла (м);

ℓ_0 – початкова довжина тіла (м).

Механічна напруга (σ) дорівнює відношенню модуля сили пружності $F_{\text{упр}}$ до площі поперечного перетину тіла S :

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}, [\sigma] = \frac{F_{\text{упр}}}{S} = \frac{H}{\text{м}^2} = \text{Па}$$

Спостереження показують, що при невеликих деформаціях **механічна напруга** у пропорційно відносному подовженні дорівнює:

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

Зв'язок між силою пружності і пружною деформацією тіла (при малих деформаціях) був експериментально встановлений сучасником Ньютона англійським фізиком **Гуком**.

Ця формула є одним з видів запису закону Гука для одностороннього розтягування (стиснення). У цій формулі відносне подовження узяті по модулю, оскільки воно може бути і позитивним, і негативним.

Коефіцієнт пропорційності E в законі Гука називається **модулем пружності (модулем Юнга)**.

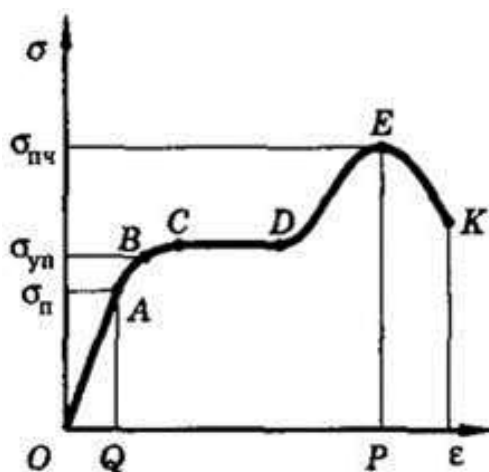
$$[E] = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{Па}}{1} = \text{Па}$$

Чим більше модуль пружності E , тим менше деформується стрижень за інших рівних умов (ℓ_0 , S , F). **Модуль Юнга характеризує опірність матеріалу пружної деформації розтягування або стиснення.**

Закон Гука можна записати формулою:

$$\frac{F_{\text{упр}}}{S} = E \cdot \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

Для дослідження деформації розтягування стрижень з досліджуваного матеріалу за допомогою спеціальних пристроїв (наприклад, за допомогою гідравлічного преса) піддають розтягуванню і вимірюють подовження зразка і напругу, що виникає в ній. За наслідками дослідів викреслюють графік залежності напруги σ від відносного подовження ϵ . Цей графік називають **діаграмою розтягування**.



Численні досліди показують, що при малих деформаціях напруга у прямо пропорційно відносному подовженню (ділянка **OA** діаграми) – виконується закон Гука.

Експеримент показує, що малі деформації повністю зникають після зняття навантаження (спостерігається пружна деформація). При малих деформаціях виконується закон Гука. Максимальна напруга, при якій ще виконується закон Гука, називається **межею пропорційності** σ_p . Він відповідає точці A діаграми.

Якщо продовжувати збільшувати навантаження при розтягуванні і перевершити межу пропорційності, то деформація стає нелінійною (лінія **ABCDEK**). Проте, при невеликих нелінійних деформаціях після зняття навантаження форма і розміри тіла практично відновлюються (ділянка **AB** графіка). Максимальна напруга, при якій ще не виникають помітні залишкові деформації, називається **межею пружності** σ_{up} . Вона відповідає точці B діаграми. Межу пружності перевищує межа пропорційності не більше ніж на 0,33%. В більшості випадків їх можна вважати рівними.

Якщо зовнішнє навантаження таке, що в тілі виникає напруга, що перевищує межу пружності, то характер деформації міняється (ділянка **BCDEK**). Після зняття навантаження зразок не приймає колишні розміри, а залишається деформованим, хоча і з меншим подовженням, чим при навантаженні (пластична деформація).

За межею пружності при деякому значенні напруги, відповідному точці діаграми, подовження зростає практично без збільшення навантаження (ділянка **CD** діаграми майже горизонтальна). Це явище називається *текучістю матеріалу*.

При подальшому збільшенні навантаження напруга підвищується (від точки **D**), після чого в найменш міцній частині зразка з'являється звуження («шийка»). Через зменшення площі перетину (точка **E**) для подальшого подовження потрібна менша напруга, але, врешті-решт, настає руйнування зразка (крапка **K**). *Найбільша напруга, яка витримує зразок без руйнування, називається **межею міцності***. Позначимо його $\sigma_{пр}$ (воно відповідає точці **E** діаграми). Його значення сильно залежить від природи матеріалу і його обробки.

Щоб звести до мінімуму можливість руйнування споруди, інженер повинен при розрахунках допускати в його елементах таку напругу, яка складатиме лише частину межі міцності матеріалу. Їх називають допустимою напругою. **Число, що показує, у скільки разів межа міцності більше допустимої напруги, називають коефіцієнтом запасу міцності:**

$$n = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma}$$

Механічна напруга	Позначення	Пояснення
Межа пропорційності	$\sigma_{п}$	Максимальна напруга, при якій ще виконується закон Гука
Межа пружності	$\sigma_{уп}$	Максимальна напруга, при якій ще не виникають помітні залишкові деформації
Межа текучості	$\sigma_{т}$	Межа текучості
Межа міцності	$\sigma_{пр}$	Найбільша напруга, яка витримує зразок без руйнування



Запитання до самоперевірки:

1. Що означає вираз "тіло або система тіл знаходиться в стані рівноваги"?
2. Виконавши пояснювальні рисунки, охарактеризуйте види рівноваги тіл, що мають: точку опори, нерухому вісь обертання, площу опори. Які умови рівноваги цих тіл?
3. Яку рівновагу називають нестійкою? Сстійкою? Байдужою?
4. Як впливають розміри площі опори тіла на стійкість цього тіла?
5. У чому полягає умова рівноваги тіл, що рухаються поступально (не обертаючись)?
6. Що називають плечем сили?
7. Що називають моментом сили? Яка формула виражає зміст цього поняття? Назвіть одиницю вимірювання моменту сили в СІ?
8. Яку роль відіграє момент сили в обертальному русі?
9. Як визначають знак моменту сили? Чому дорівнює момент сили, що проходить через вісь обертання?
10. Сформулюйте і запишіть умову рівноваги тіла із закріпленою віссю обертання, тобто правило моментів.
11. Які загальні умови рівноваги довільного твердого тіла?
12. Які тіла називаються твердими?
13. Перелічити основні властивості твердої фази речовини.
14. Що таке деформація тіла?
15. Які бувають види деформації тіл?

Тема 2. Пароутворення і конденсація. Властивості рідин. Водяна пара, її види та властивості

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з основними поняттями та формулами, що стосуються властивостей рідин та водяної пари

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток вміння застосовувати математичний апарат при розв'язуванні типових задач
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Пароутворення і конденсація.
2. Властивості рідин.
3. Водяна пара, її види та властивості.
4. Прилади для вимірювання вологості повітря.

Головне з теми:

поняття пароутворення, конденсація

процеси випаровування, кипіння та конденсації

поверхневий натяг рідини

капілярні явища, використання цих властивостей рідини в побуті

властивості водяної пари, вологість повітря

1. Пароутворення і конденсація.

Розділ фізики, який вивчає речовину на рівні молекул, називається **молекулярною фізикою**.

Пароутворення - процес переходу речовини з рідкого стану у газоподібний. Сукупність речовини, що вилетіла з рідини при пароутворенні, називають паром.



Є два види пароутворення:

- а) випаровування;
- б) кипіння.

Випарювання - це пароутворення, яке відбувається лише з вільної поверхні рідини, що межує з газоподібним станом.

Під час випаровування вилітають молекули з найбільшою кінетичною енергією, внаслідок чого внутрішня енергія рідини зменшується, тобто рідина охолоджується.

Швидкість випаровування залежить від:

- 1) роду рідини;
- 2) площі вільної поверхні;
- 3) температури рідини;
- 4) тиску на рідину;
- 5) густини пари над рідиною.

Перехід речовини з твердого стану в газоподібний, оминаючи рідкий, називають **сублімацією**.

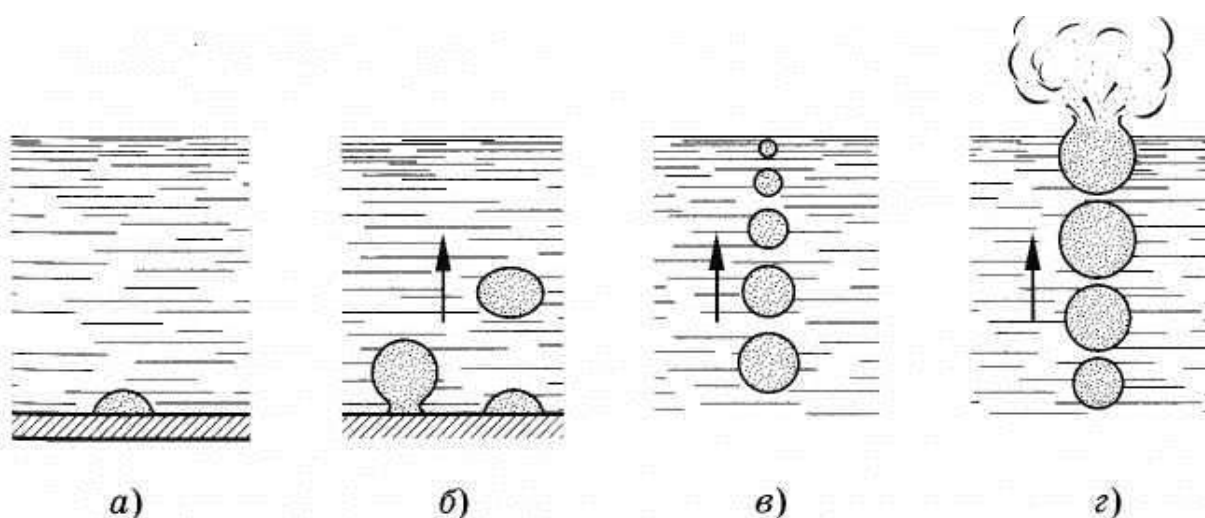
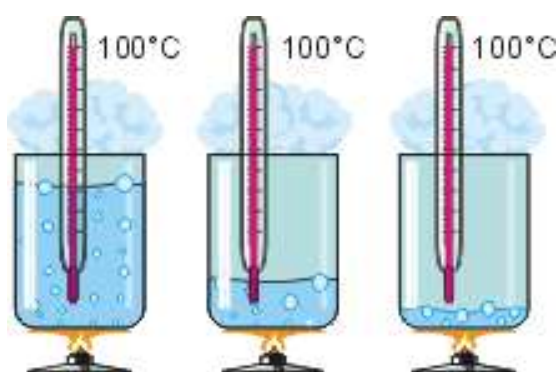


Кипіння - процес пароутворення у всьому об'ємі рідини (перехід речовини з рідкого в газоподібний стан), з виникненням межі поділу фаз.

- Кипіння відбувається лише за певної для даної рідини та даних умов температури.
- Під час кипіння рідини її температура не змінюється.
- Температура кипіння суттєво залежить від зовнішнього тиску

Під час кипіння в усьому об'ємі рідини утворюються бульбашки пари, які швидко збільшуються і спливають на поверхню. Температура кипіння рідини залишається сталою. Це

відбувається тому, що вся енергія, яка підводиться до рідини, витрачається на перетворення її в пару. З'ясуємо умови, при яких починається кипіння. У рідині завжди є розчинені гази, які виділяються на дні і стінках посудини, а також на завислих у рідині порошинках. Під дією виштовхувальної сили вони спливають угору. Якщо верхні шари рідини мають нижчу температуру, то в цих шарах відбувається конденсація пари в бульбашках. Це відбувається так швидко, що під час стикання стінок бульбашки чути ніби маленький вибух. Велика кількість таких мікробибухів створює характерний шум. Коли рідина достатньо прогріється, бульбашки перестають захоплюватися і спливають на поверхню і рідина закипає. Кипіння починається при температурі, при якій тиск насиченої пари в бульбашках зрівнюється з тиском у рідині. Чим більший зовнішній тиск, тим вища температура кипіння.



Конденсація - процес переходу газу або насиченої пари в рідину чи тверде тіло внаслідок охолодження або стиснення їх.

Швидкість процесу конденсації залежить від зовнішніх умов — тиску, температури, інколи — наявності інших речовин.

В атмосфері конденсація відбувається при наявності ядер конденсації при зниженні температури до **точки роси**.

Точка роси — температура, при якій повітря досягає стану насиченості при даному вмісті водяної пари.



2. Властивості рідин.

Рідина - 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.

Рідина – конденсований агрегатний стан речовини, проміжний між твердим та газоподібним. Фізичне тіло, якому притаманна:

- а) плинність на відміну від твердого тіла;
- б) достатньо мала зміна об'єму (при зміні тиску й температури), на відміну від газу.

Збереження об'єму, густина, показник заломлення, теплота плавлення, в'язкість – властивості, які зближують рідини з твердими тілами, а незбереження форми – з газами. Для рідин характерний ближній порядок розташування молекул (відносна впорядкованість у розташуванні молекул найближчого оточення довільної молекули, подібна до порядку в кристалічних тілах, але на відстані кількох атомних діаметрів ця впорядкованість порушується). Рідини, крім розсолів та зріджених металів, погані провідники електричного струму.

Рідина здатна утворювати вільну поверхню. Така поверхня є поверхнею розділу фаз даної речовини: по один бік знаходиться рідка фаза, по інший — газоподібна (пара), і, можливо, інші гази, наприклад, повітря.

Поверхневий натяг — фізичне явище, суть якого в прагненні рідини скоротити площу своєї поверхні при незмінному об'ємі. Своєю появою сили поверхневого натягу завдячують поверхневій енергії. Поверхневий натяг може бути пояснений притяганням між молекулами рідини. Він виникає як у випадку поверхні розділу між рідиною й газом, так і у випадку поверхні розділу двох різних рідин.

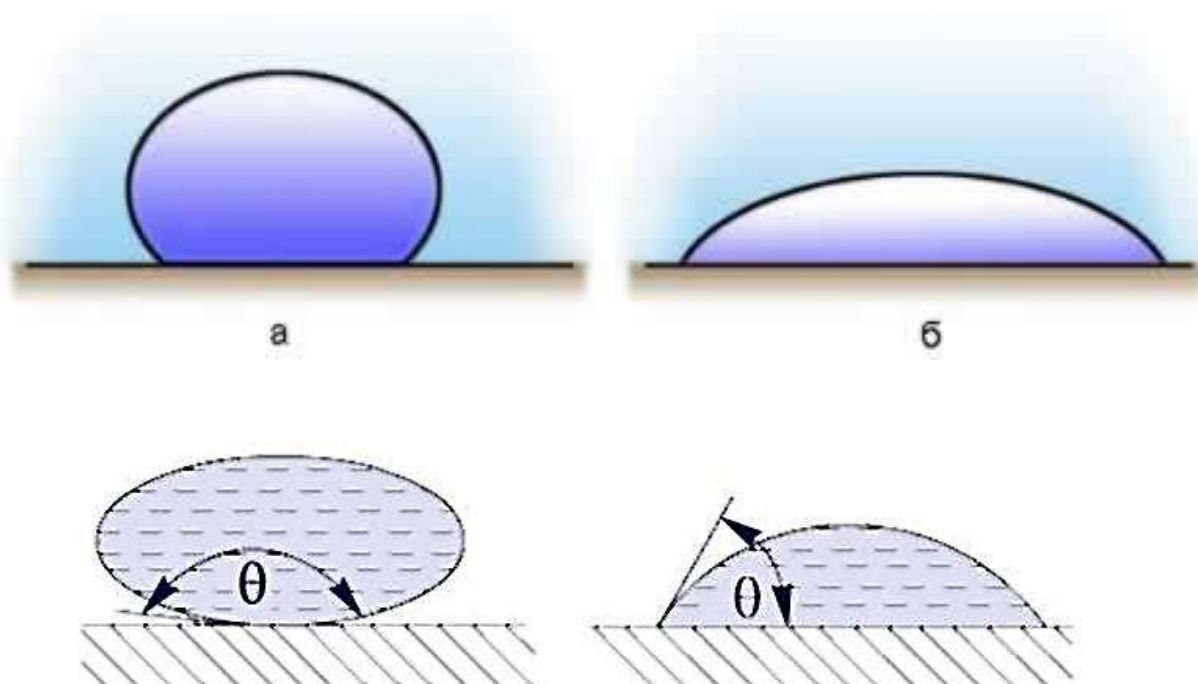
Поверхневий натяг дорівнює відношенню сили поверхневого натягу F , яка діє на межу поверхневого шару довжиною l , до цієї довжини.

$$\sigma = \frac{F}{l} ;$$

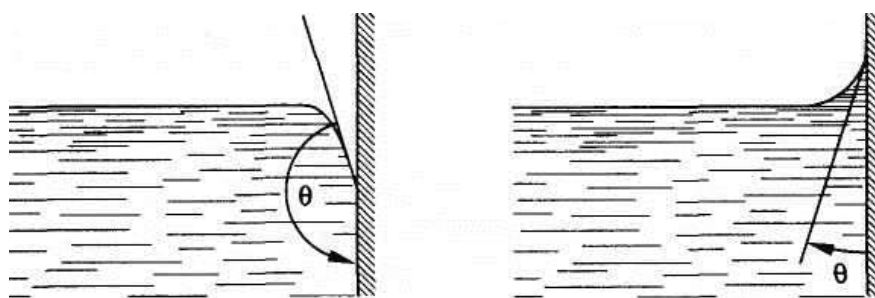
σ - величина стала і не залежить від довжини l . В СІ ця величина виражається в $\left(\frac{H}{м}\right)$.

У повсякденному житті можна спостерігати, що крапля води розпливається по чистій поверхні скла, але не розпливається по забрудненій жиром поверхні і має при цьому

форму майже правильної кулі. У першому випадку говорять, що вода **змочує** поверхню, у другому - **не змочує**.

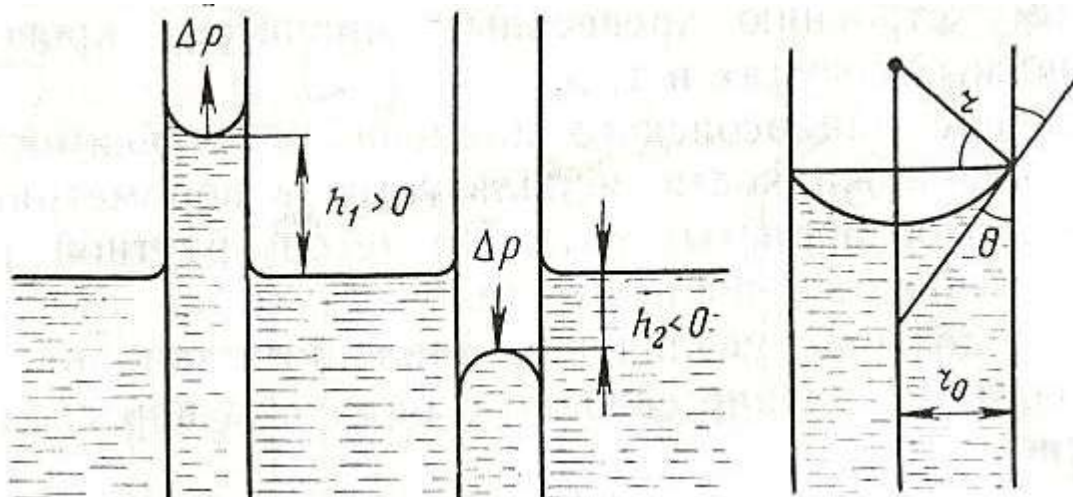


Якщо межа розділу вертикальна, поверхня рідини (меніск) у разі змочування має увігнуту форму. Поверхня рідини за вертикального розміщення тіла внаслідок незмочування має опуклу форму.



Явища змочування і незмочування відіграють важливе значення в побуті і техніці, якби вода не змочувала тіло людини, то марним було б купання. Добре змочування потрібне під час фарбування і прання, паяння, збагачення руд цінних порід та інших технічних процесів.

Явище змочування і незмочування виявляється у піднятті і спусканні рідини в тонких трубках (капілярах). Розглянемо капілярні явища.



Якщо діаметри трубок невеликі, то майже вся поверхня води в них буде викривленою. Викривлену поверхню називають **меніском**, вузькі трубки – **капілярними**, а підняття рідини в них – **явищем капілярності**, або просто капілярністю.

Висоту підняття рідини в капілярних трубках можна легко обчислити. Якщо рідина повністю змочує стінки трубки, її меніск можна прийняти за півсферу, радіус меніска дорівнюватиме радіусові капіляра, а надмір тиску $p = \frac{2\sigma}{r}$

Під дією цього тиску рідина піднімається на таку висоту h , щоб її гідростатичний тиск ρgh зрівноважував надмір тиску p :

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

h - висота підняття рідини в капілярній трубці прямо пропорційна поверхневому натягу і обернено пропорційна радіусу трубки і густині рідини.

Цю формулу застосовують і до капілярної трубки із незмочуючою рідиною, тільки в цьому випадку обчислюється висота не підняття, а опускання в ній рідини.

Капілярні явища мають велике значення в природі і техніці. Завдяки цим явищам відбувається проникнення води

з ґрунту в стебла і листя рослин. Саме в капілярах відбуваються основні процеси, пов'язані з диханням і живленням організмів. У тілі дорослої людини приблизно $160 \cdot 10^9$ капілярів, загальна довжина яких сягає 60 - 80 тис. км.

У будівництві враховують можливість підняття вологи по капілярних порах будівельних матеріалів. Для захисту фундаменту і стін від дії ґрунтових вод та вологи застосовують гідроізоляційні матеріали: толь, смоли тощо.

Завдяки капілярному підняттю вдається фарбувати тканини. Часто капілярні явища використовують і в побуті. Застосування рушників, серветок, гігроскопічної вати, марлі, промокального паперу можливе завдяки наявності в них капілярів.

3. Водяна пара, її види та властивості.

Водяна пара - газоподібний стан води. Не має кольору, смаку і запаху. Міститься в тропосфері. Утворюється молекулами води при її випаровуванні.

Вода займає близько 70,8% поверхні земної кулі. Живі організми містять від 50 до 99,7% води. В атмосфері міститься 13-15 тис. км³ води у вигляді крапель, кристалів снігу і водяної пари.

Атмосферна водяна пара впливає на клімат Землі. Важливе значення вологість повітря має у метеорології для передбачення погоди. Підтримання сталої вологості – обов'язкова умова для ткацького, кондитерського, фармацевтичного виробництв, для музеїв та бібліотек. Від вологості повітря залежить самопочуття людини, що пов'язане з випаровуванням вологи і підтриманням сталої температури тіла. Отже, вимірювання вологості є однією з необхідних і важливих навичок як для виробничих цілей, так і для побутового життя.

Вологість - вміст водяної пари в повітрі. Вологість можна охарактеризувати парціальним тиском, абсолютною і відносною вологістю.

Тиск, який чинила б водяна пара, коли б не було інших газів, називають парціальним тиском водяної пари.

Величину, яка вимірюється кількістю водяної пари (в грамах), що міститься в 1 м³ повітря, називають **абсолютною вологістю повітря**. Інакше кажучи, абсолютну вологість вимірюють густиною водяної пари, яка знаходиться в повітрі. Наприклад, при абсолютній вологості 6 мм рт. ст. в жаркий липневий полудень повітря дуже далеко від насичення, а в холодний осінній день ця ж кількість водяної пари може насичувати його так, що у повітрі з'явиться туман, мряка.

Відносною вологістю повітря називають виражене в процентах відношення абсолютної вологості до кількості пари, необхідної для насичення 1 м³ повітря при тій самій вологості.

$$\varphi = \frac{p_a}{p_n} \cdot 100\%; \quad \varphi = \frac{\rho_a}{\rho_n} \cdot 100\%$$

$$p = \frac{m}{V} \cdot \frac{R \cdot T}{M} = \rho \frac{R \cdot T}{M}, \text{ тобто } p \text{ пропорційний } \rho.$$

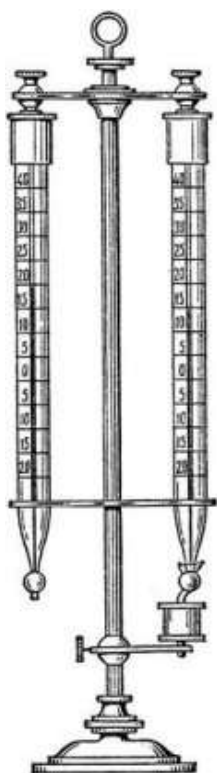
$$\frac{\rho_a}{\rho_n} = \frac{p_a}{p_n}.$$

Температуру, при якій відносна вологість повітря становить 100% називають **точкою роси**.

4. Прилади для вимірювання вологості повітря.

Психрометр - метеорологічний прилад для вимірювання вологості повітря, простий тип гігрометра. У найпростішому випадку складається з сухого і змоченого термометрів (резервуар обгорнутий змоченим батистом). За різницею показів цих термометрів і за допомогою таблиць, номограм визначають абсолютну і відносну вологість повітря. Крім того, за показаннями термометрів знаходять точку роси, максимальний парціальний тиск парів у повітрі, дефіцит вологості.

Розрізняють стаціонарні, аспіраційні та дистанційні психометри.



При температурах нижче - 5° для визначення вологості повітря користуються гігрометром.

Гігрометр - прилад для вимірювання величин, які характеризують вологість речовини в газоподібному стані.

Використовуються волосяні гігрометри та конденсаційні (психрометри) гігрометри.

Принцип дії волосяного гігрометра заснований на здатності натягнутої знежиреної людської волосини змінювати свою довжину в залежності від вологості повітря.



Сучасні інструменти використовують електронні датчики для вимірювання вологості. Найбільш поширені датчики вимірюють зміну ємності або опору під дією вологи.

В ємнісних датчиках на дві пластини подається змінна напруга. В залежності від кількості водяної пари між пластинами змінюється діелектрична проникність і відповідно ємність, яка впливає на реактивний опір конденсатора.

В опірних датчиках вимірюється опір полімерної мембрани, який змінюється в залежності від кількості поглинутої вологи.



Запитання до самоперевірки:

1. Які властивості має поверхневий шар рідини?
2. Що називають поверхневим натягом?
3. Виконавши рисунок, установіть фізичний зміст поверхневого натягу як величини, пов'язаної з енергією поверхневого шару рідини.
4. Наведіть приклади дії сил поверхневого натягу.
5. Що називають коефіцієнтом поверхневого натягу? Від чого він залежить? У яких одиницях вимірюється коефіцієнт поверхневого натягу в СІ?
6. Що являє собою сила поверхневого натягу? Яка формула виражає зміст цього поняття?
7. Як зміниться сила поверхневого натягу води у разі розчинення в ній мила?
8. Якої форми набувають краплі рідини в умовах невагомості? Чому?
9. Виконавши пояснювальний рисунок, розкрийте фізичну сутність явищ змочування і незмочування.
10. Чому жирові плями на одязі не вдається змити водою?
11. Що називають меніском?
12. Що таке крайовий кут? Яким є його значення у разі змочування? Незмочування?
13. Що називають капілярністю?
14. Обґрунтуйте, у якому випадку рідина в капілярі піднімається, а в якому опускається.
15. Що розуміють під вологістю повітря?
16. Що називають абсолютною вологістю повітря? Яка формула виражає зміст цього поняття? У яких одиницях її виражають?
17. Що називають відносною вологістю повітря? Які формули виражають зміст цього поняття у фізиці і метеорології? У яких одиницях її виражають?
18. Що називають точкою роси?
19. За допомогою яких приладів визначають вологість повітря?

Тема 3. Особливості будови та властивості твердих тіл. Кристалічні та аморфні тіла. Анізотропія кристалів

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з основними структурами та формами, твердих тіл, кристалічними решітками їх властивостями

виховна

- формування наполегливості студентів у навчальній роботі

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток вміння застосовувати математичний апарат при розв'язуванні типових задач
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Структура та властивості твердих тіл.
2. Аморфні тіла та їх властивості.
3. Рідкі кристали.
4. Анізотропія кристалів.

Головне з теми:

поняття твердих тіл

основні типи зв'язків між частинками в кристалах

властивості аморфних тіл

типи кристалів та їх властивості

анізотропія кристалів

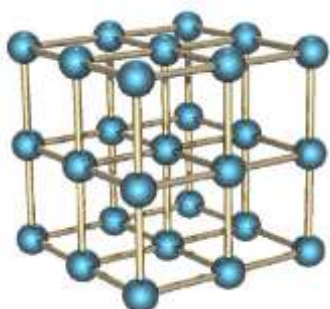
1. Структура та властивості твердих тіл.

Твердими - називають такі тіла, які зберігають об'єм і форму навіть під час дії на них інших тіл (сил). Причиною такої стійкості є характер руху і взаємодії молекул: вони не можуть змінювати положення своєї рівноваги, здійснюючи малі коливання і обертаючись навколо нього. Енергія і амплітуда коливань тим більша, чим вища температура тіла.

За впорядкованістю положення рівноваги тверді тіла поділяють на **кристали** і **аморфні** тіла.

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

Можна виділити маленький об'єм (елементарну комірку), завдяки якій можна побудувати весь кристал, як будинок із цегли. Елементарна комірка може мати форму куба, паралелепіпеда, призми тощо. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала в природних умовах (візерунки на вікнах під час морозу, правильні форми сніжинок, кристалів кухонної солі, гірського кришталю тощо).



Кристали однієї і тієї самої речовини можуть мати різну форму, яка залежить від умов їх утворення; вони можуть відрізнятися і кольором. Іноді весь шматок твердої речовини може становити один кристал. Такими є, наприклад, шматочки цукру в цукровому піску, шматочки солі, гірського кришталю тощо. Усе це окремі кристали, їх називають **монокристалами**.

Тіло, яке складається з безлічі невпорядковано розміщених кристалів, називають **полікристалічними** або **полікристалом** ("морозні візерунки" на вікнах, цукор рафінад, метали тощо). Полікристалічні тіла, як і аморфні, є **ізотропними**, тобто їх фізичні властивості в усіх напрямках однакові.



Умовно можна назвати чотири типи зв'язків між частинками в кристалах - іонний, атомний, металічний, молекулярний - і відповідно поділити тверді тіла на чотири типи кристалів.

У вченні про будову твердих тіл важливу роль відіграє поняття про їх симетрію. Під симетрією кристалів розуміють закономірність, яка спостерігається у положенні їх частин на площині та в просторі. Кристалічні ґратки здебільшого мають одночасно кілька видів симетрії.

Проте не кожне поєднання елементів симетрії виявляється можливим. Існує обмежена кількість, а саме: 32 можливих комбінації площин та осей симетрії і відповідно 32 класи симетрії кристалів.

Особливостями кристалів є їх **анізотропність**, тобто неоднаковість фізичних властивостей у різних напрямках. Анізотропія механічних, теплових, електромагнітних і оптичних властивостей кристалів пояснюється тим, що за упорядкованого розміщення атомів, молекул або іонів сили взаємодії між ними і міжатомні відстані виявилися неоднаковими в різних напрямках.

Кристали утворюються в природних умовах і штучно. За припущеннями вчених в природних умовах багато кристалів утворилось внаслідок охолодження рідкої речовини земної кори - магми, що є розплавом різних речовин. Багато мінералів виникли з перенасичених водних розчинів. Першим серед них слід назвати кам'яну сіль NaCl . Товщина пластів кам'яної солі, що утворилися під час випаровування води солоних озер, досягає в деяких родовищах кількох сотень метрів.



Штучні кристали можна здобути із розплаву шляхом кристалізації з розчину і газу. Останнім часом швидкими темпами розвивається технологія вирощування монокристалів всіма відомими способами на космічних орбітальних станціях. Невагомість і космічний вакуум дають можливість вирощувати монокристали небачених раніше розмірів і хімічної чистоти.

Монокристали знайшли широке застосування в сучасній фізиці і техніці. Всі напівпровідникові прилади (діоди, транзистори) є кристалами із спеціально введеними домішками. Виникла нова галузь електроніки - **молекулярна електроніка**. Монокристали є основною деталлю багатьох типів сучасних

приладів, які дістали назву квантових підсилювачів і генераторів (мазерів і лазерів).

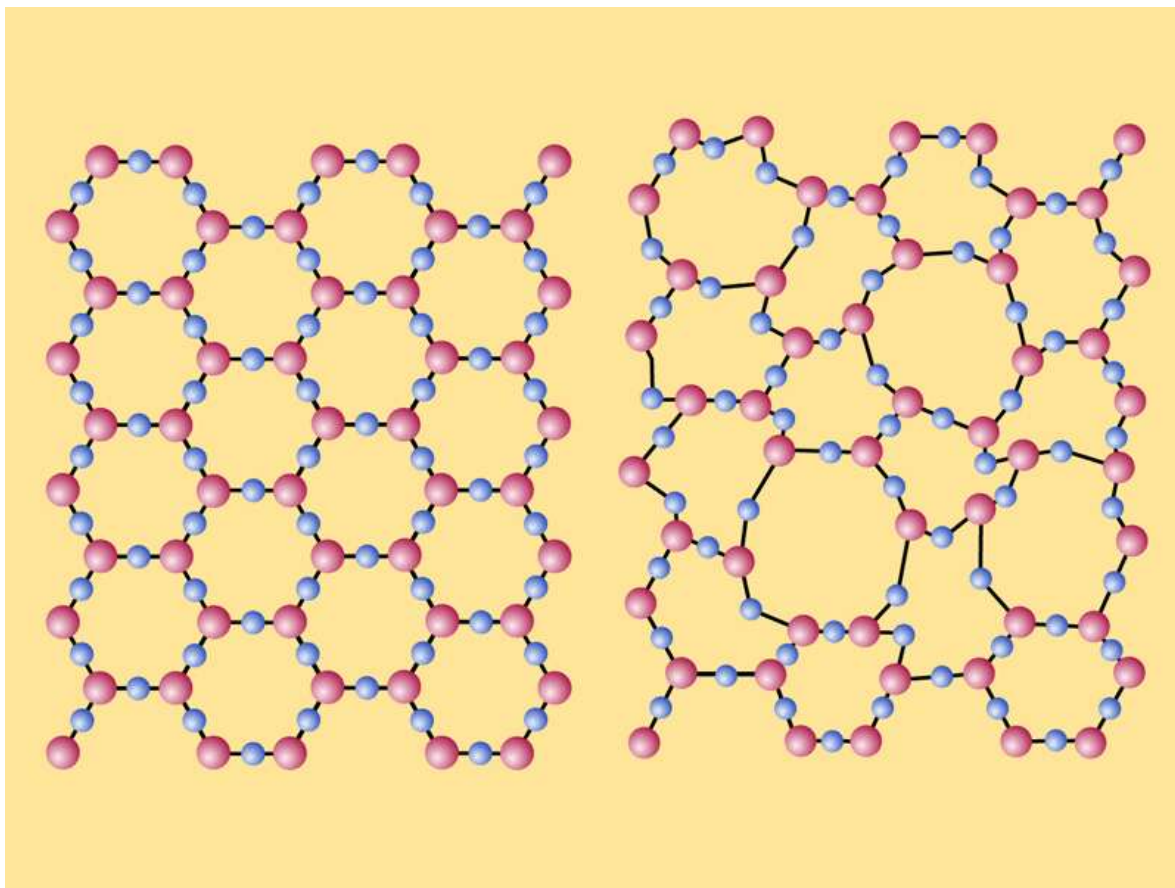


2. Аморфні тіла та їх властивості.

Аморфні тіла - це тіла, фізичні властивості яких однакові у всіх напрямках.

Прикладами аморфних тіл є шматки затверділої смоли, янтар, вироби із скла. Аморфні тіла ізотропні. За своєю будовою аморфні тіла нагадують дуже густі рідини. Унаслідок

підвищення температури час осілого життя молекул зменшується, через що аморфне тіло поступово м'якне. Аморфні тіла не мають температури плавлення і питомої теплоти плавлення. Вони на відміну від кристалів з підвищенням температури неперервно перетворюються в рідину.



Друга особливість аморфних тіл - це їх пластичність, тобто вони не мають межі пружності. Аморфний стан нестійкий: через деякий час аморфна речовина переходить в кристалічний стан. Але часто цей час буває дуже тривалим (роки і десятиріччя). До таких тіл належить скло. Будучи спочатку прозорим, протягом багатьох років воно мутніє: у ньому утворюються дрібні кристалики силікатів.

У практичній діяльності людини великого значення набули аморфні речовини, які називають **полімерами**. Це високомолекулярні сполуки. Відносна молекулярна маса полімерів може змінюватися від декількох тисяч до мільйонів. Молекули полімеру складаються із величезної кількості однакових ланок - мономерів, об'єднаних у довгі ланцюги

міцними хімічними зв'язками. До них належать такі природні речовини, як бавовна, шерсть, дерево, шкіра, натуральний шовк, каучук, ебоніт тощо. Величезну кількість полімерних матеріалів видобувають штучно: віскозний шовк, синтетичний каучук, целофан, органічне скло, поліетилен, пластичні маси, штучні волокна, епоксидні смоли та ін. До природних полімерів належать і біополімери: білки, нуклеїнові кислоти. Із біополімерів побудовано клітини всіх живих організмів.

Полімери - основа гуми, лаків, фарб, клеїв, іонітів тощо. Завдяки введенню до полімерів домішок, можна створювати речовини з дуже цінними якостями: високою твердістю, легкістю, вогнестійкістю та ін.

3. Рідкі кристали.

Крім аморфного, відкрито ще один стан речовини з подвійною природою - і рідини, і твердого тіла - це так звані **рідкі кристали**, особливий стан деяких органічних речовин. Для них характерна плинність і вони утворюють краплі. Однак їх краплі можуть мати не кулеподібну, а видовжену форму. Молекули у краплі розміщуються порядком, не властивим звичайним рідинам і твердим тілам. Якщо в твердих кристалах спостерігається дальній порядок розміщення частинок у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, то в рідких - за одним напрямом (одновісний дальній порядок).

Існують рідкі кристали в певному інтервалі температур, різному для різних речовин. Під час нагрівання вони перетворюються в звичайну рідину, внаслідок охолодження стають твердими кристалами.

Розрізняють три основні типи рідких кристалів: смектичні, нематичні, холестеричні. У **нематичних** рідких кристалах (від грец. "нема" - нитка) молекули схожі на нитки. У **смектичних** рідких кристалах (від грец. "смегма" - мило) рівень впорядкованості вищий. Молекули смектика згруповані у шари. Прикладом смектика є розчин мила у воді. Коли ми миємо з милом руки, то шари молекул мила легко ковзають один

відносно одного і шкіри, забираючи з неї бруд і передаючи його воді.

Властивість **холестеричних** рідких кристалів змінювати колір у разі зміни температури використовують у медицині (для визначення ділянок тіла з підвищеною температурою) і в техніці (для перетворення невидимого й інфрачервоного проміння від нагрітих тіл у видиме зображення).



Дотепер вивчено понад 3000 речовин, що утворюють рідкі кристали. До них належать речовини біологічного походження, наприклад, дезоксирибонуклеїнова кислота, що несе код спадкової інформації, і речовина мозку. Подальші дослідження цих речовин не тільки розширяють їх застосування в техніці, але й допоможуть проникнути в таємниці біологічних процесів.

4. Анізотропія кристалів.

Ізотропністю - називається незалежність фізичних властивостей тіла від напрямку всередині нього. Якщо такі фізичні властивості тіла, як модуль пружності, коефіцієнт теплопровідності, показник переломлення й т.п., однакові в усіх напрямках, то таке тіло буде ізотропним.

Фізичні властивості твердого тіла можна розділити на дві категорії: одна з них включає властивості, які не пов'язані з вибором напрямку усередині твердого тіла (густина, питома теплоємність) і властивості іншої категорії (механічні модулі, термічний коефіцієнт розширення, коефіцієнт теплопровідності, питомий опір, показник заломлення й ін.), які можуть бути різними для різних напрямків у твердому тілі.

Якщо ж для різних напрямків усередині даного тіла ці властивості будуть різними, то говорять, що такому тілу властива **анізотропія**. Ізотропними є аморфні тіла, рідини й гази. Анізотропія є характерною рисою кристалів, але виявити її можна не у будь-яких кристалічних тіл, а тільки у монокристалів. Більшість кристалічних тіл навколо нас, наприклад метали, є полікристалічними, тобто вони складаються з дуже великого числа зрослих один з одним дрібних кристалічних зерен, по-різному орієнтованих. **Кристалічним зерном** називається область кристала, усередині якої зберігаються незмінними напрямки кристалографічних осей. Якщо в орієнтації цих дрібних кристаликів немає певного порядку, то полікристалічне тіло буде ізотропним. Причина анізотропії полягає в тому, що кристали мають строго впорядковану будову. На підставі викладеного можна зробити узагальнення, що фізичні властивості кристала (теплові, електричні, магнітні, оптичні) можуть бути різними по різних напрямках.

Висновки.

Кристалічні тіла мають певну температуру плавлення, незмінну при сталому тиску; в'язкість аморфних речовин під час нагрівання зменшується; вони переходять у рідкий стан, розм'якшуючись поступово.

Кристали характеризуються наявністю значних сил міжмолекулярної взаємодії і зберігають сталим не лише свій об'єм, а й форму. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала в природних умовах. Розглядаючи окремі кристали, можна переконатися, що вони

обмежені плоскими, ніби шліфованими гранями у вигляді правильних багатокутників.

Кристали певної речовини можуть мати різну форму, оскільки вона залежить від умов їх утворення.



Монокристали і полікристали. Іноді весь шматок твердої речовини може становити собою один кристал. Такі, наприклад, шматочки цукру, солі, гірського кришталю тощо. Це все окремі кристали, їх називають монокристаллами. В інших випадках тіла складаються з безлічі кристалів, які зрослися між собою. Кристалічну будову мають всі метали у твердому стані. Тіло, яке

складається з безлічі неупорядковано розміщених дрібних кристалів називають **полікристалічним**, або **полікристалом**.

Анізотропія механічних властивостей монокристалів проявляється насамперед у тому, що їх міцність у різних напрямках різна. Монокристали легше руйнуються в одних напрямках, ніж в інших, і саме тому їх злами плоскі.

Полікристалічні тіла є ізотропними, тобто їх фізичні властивості, як і аморфних тіл, у всіх напрямках однакові. Це пояснюється тим, що полікристали складаються з величезної кількості неупорядковано орієнтованих дрібних кристаликів, які зрослися між собою.

Широке застосування в сучасній фізиці і техніці дістали монокристали. Майже всі напівпровідникові прилади – це монокристали зі спеціально введеними домішками, які надають їм тих чи інших властивостей.

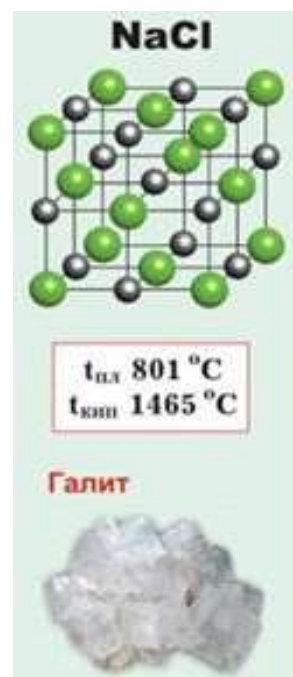
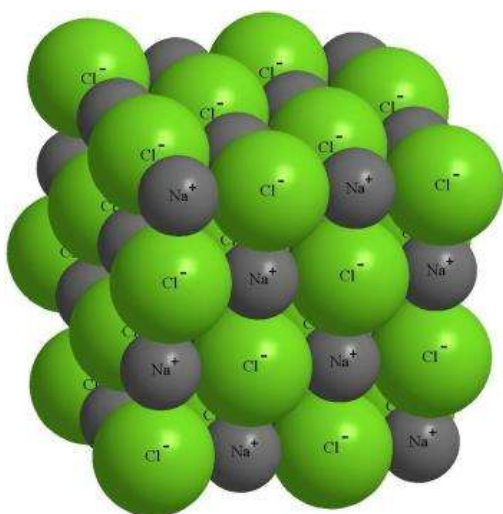
Внутрішня будова кристалів. Залежність фізичних властивостей кристалів від напрямку і правильність їхніх геометричних форм давали підстави для припущення про впорядкованість частинок, які утворюють кристал.

Частинки, з яких складається кристал, при тепловому русі коливаються навколо положень рівноваги, які називають **вузлами**.

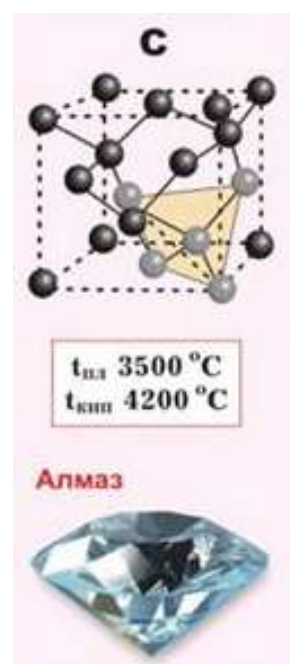
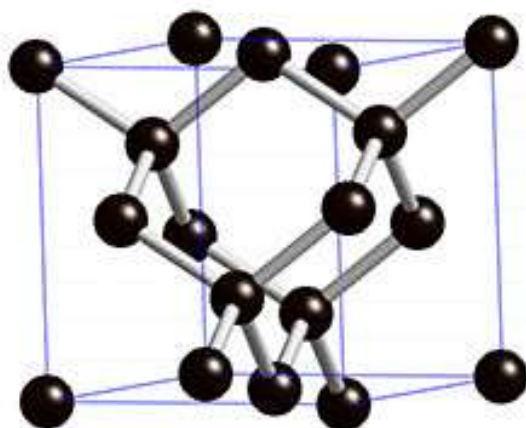
Інші кристали мають складнішу будову. В їхніх вузлах містяться атоми вуглецю. **Вузол** – це положення рівноваги частинки, яка входить до складу кристала, тобто точка. Відстань між вузлами умовно позначає відстань між центрами атомів і молекул.

Розрізняють чотири типи кристалів (і кристалічних решіток): **іонні, атомні, металічні і молекулярні**.

Іонні кристали. У вузлах решітки іонних кристалів знаходяться позитивно і негативно заряджені іони. Сили взаємодії між ними в основному електростатичні.

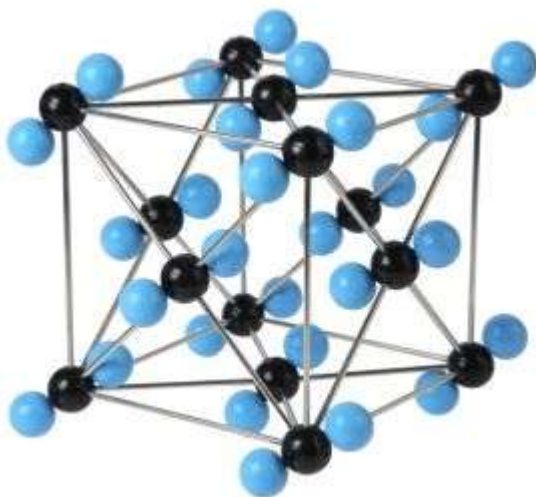


Атомні кристали. Їхні кристалічні решітки утворюються внаслідок щільної упаковки атомів, найчастіше однакових (під час взаємодії однакових атомів іони не утворюються). Атоми, що знаходяться у вузлах, зв'язані із своїми найближчими сусідами ковалентним зв'язком.

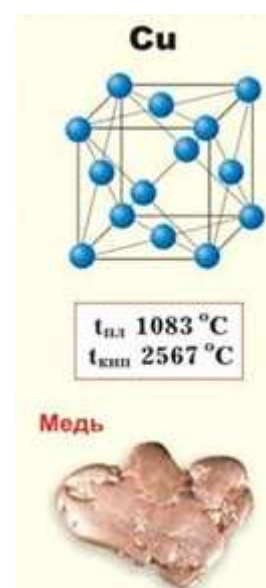
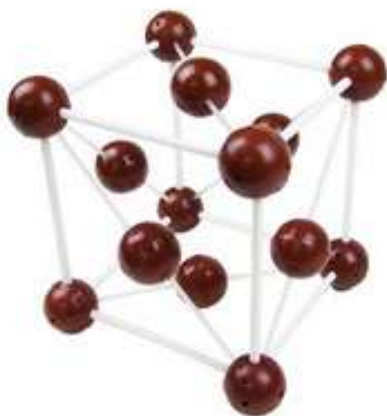


За умови ковалентного зв'язку електрони не переходять від одного атома до іншого (іони не утворюються), а виникає одна чи кілька спільних електронних пар.

Молекулярні кристали. У вузлах їх кристалічної решітки знаходяться молекули речовини, зв'язок між якими забезпечується силами молекулярної взаємодії.



Металічні кристали. У всіх вузлах ґратки металічних кристалів розміщені позитивні іони металу. Між ними хаотично, подібно до молекул газу, рухаються електрони, які відокремилися від атомів під час кристалізації металу. Разом з тим і електрони утримуються іонами в її межах. Наявність вільних електронів у металі забезпечує добру електропровідність і теплопровідність цих речовин.





Запитання до самоперевірки:

1. Чим відрізняються кристалічні тіла від аморфних?
2. Назвіть основні властивості кристалічних тіл.
3. Які основні властивості аморфних тіл.
4. Що називають монокристалом?
5. Які тіла називають полікристалічними?
6. Що таке анізотропія? Ізотропність?
7. Наведіть приклади монокристалічних, полікристалічних і аморфних тіл.
8. Чому протягом усього часу плавлення температура кристалічного тіла не змінюється?
9. Чому аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення?
10. Назвіть і охарактеризуйте класи рідких кристалів.
11. Перелічіть типи зв'язків у твердих тілах і коротко охарактеризуйте їх.

Тема 4. Принцип дії теплових двигунів та їх ККД. Цикл Карно. Сучасні холодильні машини, їх види та принцип дії

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з принципом дії теплових двигунів та холодильних машин, навчити визначати ККД

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток вміння застосовувати математичний апарат при розв'язуванні типових задач
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Принципи дії теплових двигунів.
2. ККД теплових машин.
3. Цикл Карно.
4. Холодильні машини, їх види та принцип дії.

Головне з теми:

види теплових двигунів, їх принцип дії

ККД теплових машин

способи вимірювання ККД теплових машин

цикл Карно

принцип дії сучасних холодильних машин

1. Принципи дії теплових двигунів, ККД.

Запаси внутрішньої енергії в земній корі й океанах можна вважати практично необмеженими. Але володіти запасами енергії ще недостатньо, необхідно вміти за рахунок енергії приводити в рух верстати, засоби транспорту, машини, обертати ротори генераторів електричного струму тощо. Людству потрібні двигуни, тобто пристрої, здатні виконувати роботу. Більша частина двигунів на землі - теплові двигуни.

Теплові двигуни - пристрої, які перетворюють внутрішню енергію палива в механічну енергію .

Для того, щоб двигун виконував роботу, необхідна різниця тисків по два боки поршня двигуна або лопатей турбіни. Незважаючи на велику різноманітність видів теплових двигунів, усі вони мають однакові принципи дії.

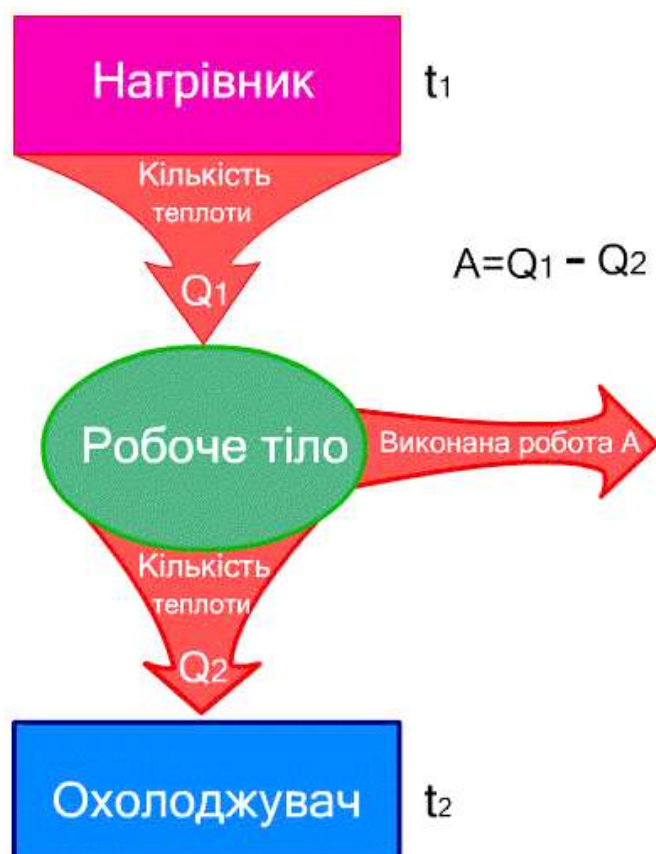
У роботі двигунів можна виділити такі загальні ознаки:

1) у будь-якому тепловому двигуні відбувається перетворення енергії палива в механічну енергію;

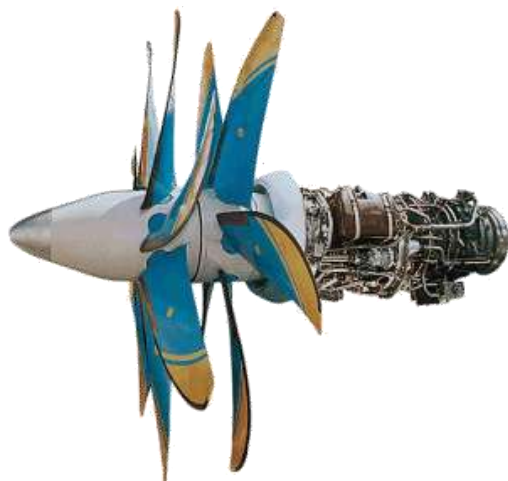
2) для роботи теплового двигуна потрібні нагрівник, холодильник і робоче тіло. У процесі роботи теплового двигуна робоче тіло забирає від нагрівника певну кількість теплоти Q_1 і перетворює частину цієї теплоти в механічну енергію, а не перетворену частину теплоти Q_2 передає холодильнику. За законом перетворення і збереження енергії $Q_1 = Q_2 + A$;

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

У теплових двигунах енергія палива перетворюється на внутрішню енергію пари або газу, які, розширюючись, виконують механічну роботу та охолоджуються при цьому.



Існує кілька видів теплових двигунів: парова машина, , парова та газова турбіни, реактивний і , холодильник.



Нагрівник – джерело теплової енергії;

Робоче тіло – газ або пара;

Охолоджувач – відбирає залишок теплової енергії у робочого тіла.

$$A = Q_1 - Q_2$$

2. ККД теплових машин.

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$$

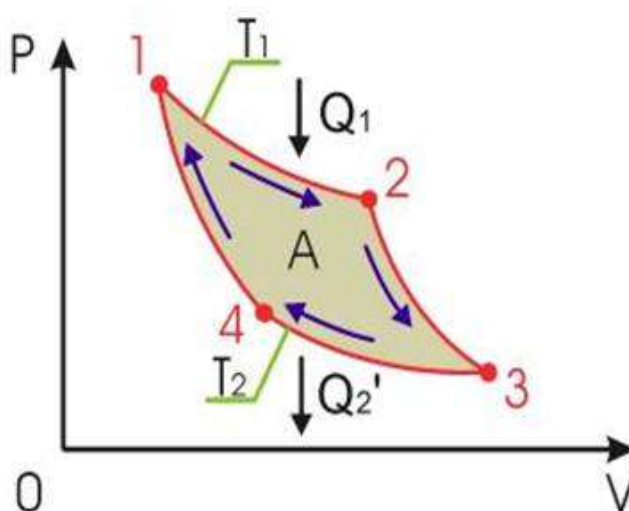
ККД виражають у %.

ККД двигуна - це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії Q , що виділяється в процесі повного згоряння палива, перетворюється на корисну роботу A .

У всіх машин, крім теплових, за відсутності втрат ККД дорівнює 100 %, а в теплових двигунах ККД - менший за 100 %.

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$$



3. Цикл Карно.

Нікола Леонар Саді Карно син відомого політичного діяча і математика Лазара Карно і дядько Марі-Франсуа Саді Карно, колишнього президента Франції. Саді Карно здобув хорошу домашню освіту. У 1812 блискуче закінчив ліцей Карла Великого і поступив в Політехнічну школу — найкращий на той час навчальний заклад Франції. У 1814 він закінчив Політехнічну школу шостим за успішністю і був направлений в Інженерну школу в місті Мец. Після завершення Інженерної школи у Меці в 1816 був розподілений в інженерний полк, де провів кілька років.

У 1819 виграв конкурс на заміщення вакансії в Головному штабі корпусу в Парижі і перебрався туди. У Парижі Карно продовжив навчання. Відвідував лекції в Сорбонні, Колеж де Франс, Консерваторії мистецтв і ремесел. Там він познайомився з хіміком Нікола Клеманом, який займався вивченням газів. Спілкування з ним збудило інтерес у Карно до вивчення парових машин.

У 1824 вийшла перша і єдина робота Саді Карно — «Роздуми про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу». Ця робота вважається основоположною в термодинаміці. У ній було проведено аналіз існуючих у той час парових машин, і було виведено умови, за яких ККД досягає максимального значення (у парових машинах того часу ККД не перевищував 2%). Крім цього у цій же роботі були запроваджені основні поняття термодинаміки: ідеальна теплова машина, ідеальний цикл, оборотність і необоротність термодинамічних процесів.

У 1828 Карно полишив військову службу. Він багато працював. Помер Карно в 1832 році від холери. За тодішніми правилами боротьби з епідемією все його майно, в тому числі і папери, було спалено. Таким чином, його наукова спадщина була втрачена. Вцілів лише один записник — у ньому зокрема було сформульовано Перший закон термодинаміки.



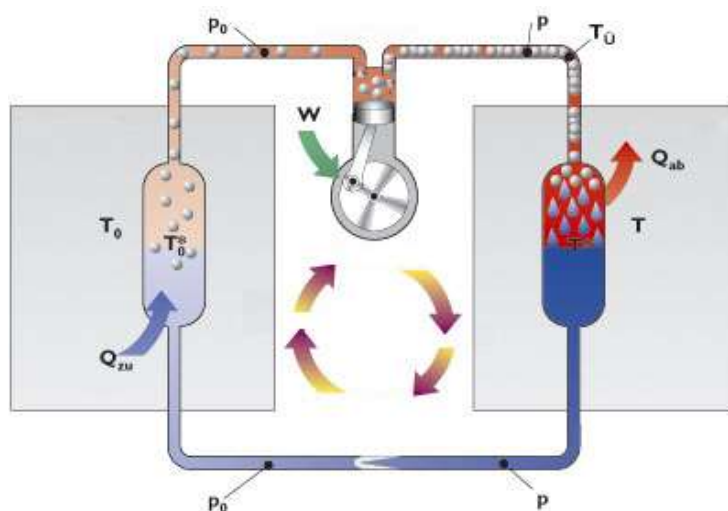
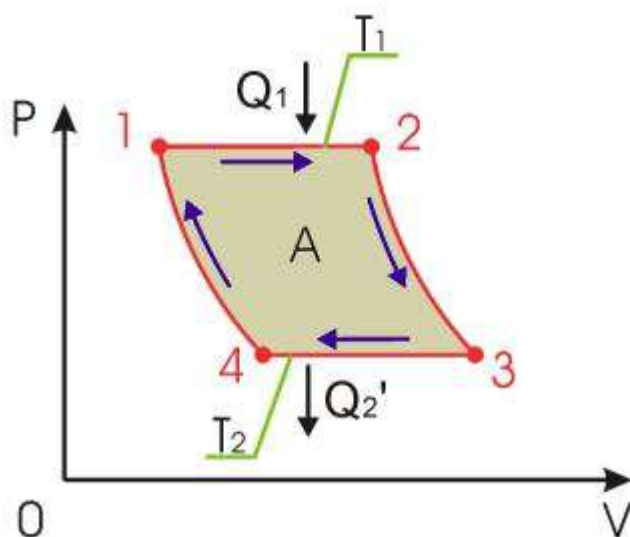
Розглянемо чотирикратний цикл роботи ідеального двигуна, який вперше відкрив С. Карно. Газ, поміщений в теплопровідний циліндр з рухомим поршнем, приведемо в контакт з нагрівником, що має температуру T_1 . При цьому газ, нагріваючись до T_1 , буде ізотермічно розширюватись, переходячи із стану 1 в стан 2. У результаті газ отримає від нагрівника теплоту Q_1 і виконає проти зовнішніх сил роботу $A_{12} = Q_2$. Після досягнення газом стану 2 перервемо контакт робочого тіла (газу) з нагрівником і помістимо циліндр в теплоізольовану адіабатну оболонку. Залишимо газу можливість додатково адіабатно розширитись до стану 3. При цьому:

- газ виконає проти зовнішніх сил роботу A_{23} за рахунок своєї внутрішньої енергії U ;

- температура газу знизиться від T_1 до T_2 , оскільки його внутрішня енергія U зменшиться.

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

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



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

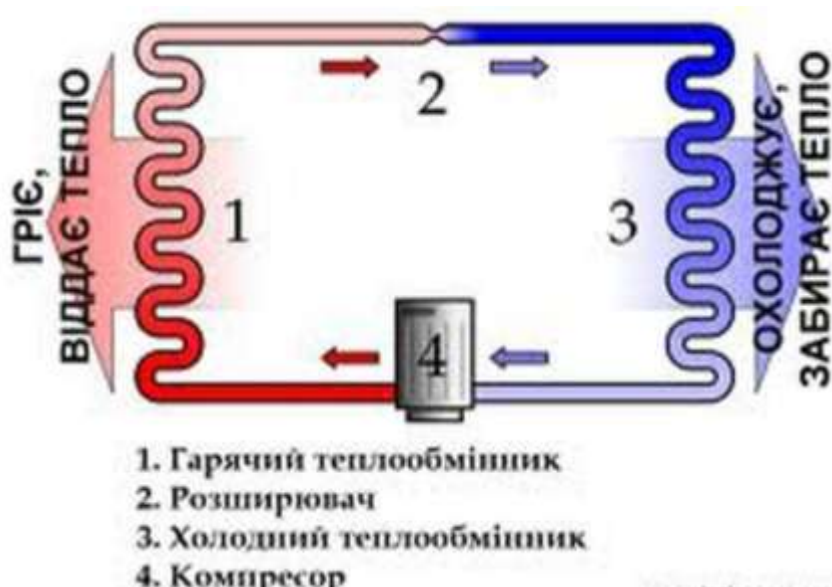
4. Холодильні машини, їх види та принцип дії.

Холодильна машина - пристрій, що служить для відводу теплоти від охолоджуваного тіла при температурі нижчій, ніж температура навколишнього середовища.

Процеси, що відбуваються в холодильних машинах, є окремим випадком термодинамічних процесів, тобто таких, в яких відбувається послідовна зміна параметрів стану робочої речовини: температури, тиску, питомої обсягу, ентальпії. Холодильні машини працюють за принципом теплового насоса - віднімають теплоту від охолоджуваного тіла і з витратою енергії (механічної, теплової і т. д.) передають її охолоджувачу (зазвичай воді або навколишньому повітрю), що має більш високу температуру, ніж охолоджуване тіло. Холодильні машини використовуються для отримання температур від 10°C до -150°C . Область нижчих температур відноситься до кріогенної техніки. Робота холодильної машини характеризується її холодопродуктивністю.

Перша холодильна машина з'явилася в середині XIX ст. Одна з найстаріших холодильних машин - **абсорбційна**. Її винахід і конструктивне оформлення пов'язано з іменами Дж. Леслі (Великобританія, 1810), Ф. Карре (Франція, 1850) і Ф. Віндхауза (Німеччина, 1878). Перша **парокомпресійна машина**, яка працювала на ефірі, побудована Дж. Перкінсом (Великобританія, 1834). Пізніше були створені аналогічні машини з використанням в якості холодоагенту метилового ефіру і сірчистого ангідриду. У 1874 К. Лінде (Німеччина) побудував аміачну **парокомпресійну** холодильну машину, яка поклала початок холодильного машинобудування.

В основі роботи холодильників лежить холодильний цикл. Простий паровий цикл механічної холодильної машини реалізується за допомогою чотирьох елементів, що утворюють замкнутий холодильний контур, - компресора, конденсатора, дросельного вентиля і випарника або охолоджувача.



Пара з випарника поступає в компресор і стискається, внаслідок чого її температура підвищується. Після виходу з компресора пар, що має високі температуру і тиск, надходить у конденсатор, де охолоджується і конденсується. У деяких конденсаторах використовується режим переохолодження, тобто подальше охолодження сконденсованої рідини нижче її температури кипіння. З конденсатора рідина проходить через дросельний вентиль. Оскільки температура кипіння (насичення) для даного тиску виявляється нижче температури рідини, починається її інтенсивне кипіння; при цьому частина рідини випаровується, а температура опускається до рівноважної температури насичення (тепло рідини витрачається на її перетворення в пар). Процес дроселювання іноді називають внутрішнім охолодженням або самоохолодженням, оскільки в цьому процесі температура рідкого холодоагенту знижується до потрібного рівня. Таким чином, з дросельного вентиля виходять насичена рідина і насичений пар. Насичена пара не може ефективно відводити тепло, тому вона пропускається повз

випарник і подається прямо на вхід компресора. Між дроселем і випарником встановлений сепаратор, в якому пар і рідина розділяються.

Принцип дії компресійних холодильних машин

Компресійні холодильники - найбільш поширені та універсальні.



Основними складовими частинами такого холодильника є: компресор, який одержує енергію від електричної мережі; конденсатор, що знаходиться зовні холодильника; випарник, що знаходиться всередині холодильника; терморегулюючий розширювальний вентиль, ТРВ, що є дроселюючим пристроєм; холодоагент, що циркулює у системі речовина з певними фізичними характеристиками. До всіх елементів холодної машини ставиться вимога високої герметичності. Залежно від виду холодильного компресора компресійні машини поділяються на **поршневі, турбокомпресорним, ротаційні і гвинтові**.

Холодоагент під тиском через дроселюючий отвір (капіляр або ТРВ) надходить у випарник, де за рахунок різкого зменшення тиску відбувається випаровування рідини і перетворення її в пару. При цьому холодоагент віднімає тепло у внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого відбувається охолодження внутрішнього простору холодильника.

Компресор засмоктує з випарника холодоагент у вигляді пари, стискає його, за рахунок чого температура холодоагенту підвищується й виштовхує в конденсатор. У конденсаторі, нагрітий у результаті тиску холодоагент охолоджується, віддаючи тепло в зовнішнє середовище, і конденсується, тобто перетворюється в рідину. Процес повторюється знову. Таким чином, у конденсаторі холодоагент під впливом високого тиску конденсується і переходить в рідкий стан, виділяючи тепло, а в випарнику під впливом низького тиску скипає і переходить в газоподібний, поглинаючи тепло.

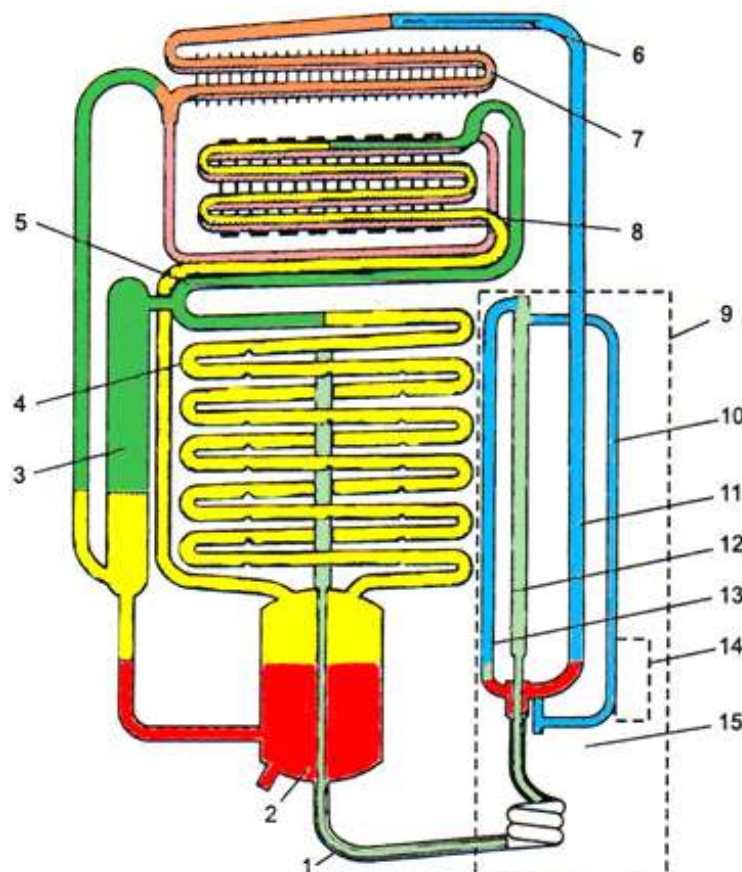
Терморегулюючий клапан (ТРВ) необхідний для створення необхідної різниці тисків між конденсатором і випарником, при якій відбувається цикл теплопередачі. Він дозволяє правильно (найбільш повно) заповнювати внутрішній обсяг випарника парами холодоагенту. Пропускний перетин ТРВ змінюється в міру зниження теплового навантаження на випарник, при зниженні температури в камері кількість циркулюючого холодоагенту зменшується. **Капіляр** - це аналог ТРВ. Він не змінює своє розтин, а дроселює певну кількість холодоагенту, залежне від тиску на вході і виході капіляра, його діаметру і типу холодоагенту. Звичайно також присутній теплообмінник, що вирівнює температуру на виході з конденсатора і з випарника. У результаті до дроселя надходить вже охолоджений холодоагент, який потім ще сильніше охолоджується в випарнику, в той час як холодоагент, що надійшов з конденсатора підігрівається, перш ніж вступити в компресор і конденсатор. Це дозволяє збільшити ефективність холодильника.

При досягненні необхідної температури температурний датчик розмикає електричний ланцюг і компресор зупиняється. При підвищенні температури (за рахунок зовнішніх факторів) датчик знову включає компресор.

Для підвищення економічної ефективності холодильної машини (зниження витрат енергії на одиницю відібраного від охолоджуваного тіла кількості теплоти) іноді перегрівають пар, усмоктувану компресором, і переохолоджують рідину перед дроселюванням. З цієї ж причини для отримання температур нижче -30°C використовують багатоступеневі або каскадні холодильні машини.

Принцип дії абсорбційних холодильних машин.

Робочою речовиною в абсорбційних холодильниках служать розчини двох компонентів з різними температурами кипіння при однаковому тиску. Компонент, киплячий при більш низькій температурі, виконує функцію холодоагенту; другий служить абсорбентом. В області температур від 0 до -45°C застосовуються машини, де робочою речовиною служить водний розчин аміаку (холодоагент - аміак). При температурах охолодження вище 0°C переважно використовують абсорбційні машини, що працюють на водному розчині броміду літію (холодоагент - вода).



У абсорбційних системах зберігаються конденсатор, дросельний вентиль і випарник, але замість компресора використовуються чотири інших елемента: абсорбер, насос, парогенератор (кип'ятильник) і редукційний клапан. Пара з випарника потрапляє в абсорбер. Там вона стикається з абсорбуючою рідиною, яка поглинає холодоагент що знаходиться в паровій фазі; тиск в абсорбері при цьому знижується, що забезпечує безперервне надходження пари з випарника. У процесі абсорбції відбувається виділення тепла, отже, абсорбер повинен охолоджуватися, наприклад, за рахунок циркуляції води. Холодна суміш абсорбуючої рідини і холодоагенту надходить у насос, в якому її тиск підвищується. Оскільки підвищення тиску рідини супроводжується лише незначною зміною її обсягу, необхідна для цього робота мала.

Після виходу з насоса холодна рідина високого тиску надходить в кип'ятильник, де до неї підводиться тепло, і велика частина холодильного агента випаровується. Цей помірно перегрітий пар високого тиску проходить через конденсатор і робить звичайний холодильний цикл, а абсорбент охолоджується і повертається в абсорбер (через редукційний клапан) для повторення циклу. Механічна робота абсорбційних холодильних установок значно менше, ніж компресійних, проте загальні витрати енергії значно вище. Енергія, яка підводиться до кип'ятильника, багато більше тієї, яка відводиться від абсорбера охолоджуючою водою. Там, де електроенергія дороща, а теплова енергія і охолоджуюча вода дешевші, абсорбційні установки більш вигідні, ніж компресійні. Застосування абсорбційних машин вигідно на підприємствах, де є вторинні енергоресурси (відпрацьований пар, гаряча вода, гази, що відходять промислових печей і т.д.).

Принцип дії пароежекторних холодильних машин

Спосіб отримання холоду без здійснення механічної роботи полягає в ежекції пара з випарника. У такій установці холодоагентом є вода, тому температура в холодильній камері не може бути нижче 0 °С.

Пароежекторний холодильник складається з ежектора, випарника, конденсатора, насоса і ТРВ. Холодоагентом є вода, як джерело енергії використовується пар тиском $0,3-1 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$, який надходить в сопло ежектора, де розширюється. У результаті в ежекторі, як наслідок, у випарнику машини створюється знижений тиск, якому відповідає температура кипіння води трохи вище 0°C (зазвичай близько 5°C). У випарнику за рахунок часткового випаровування відбувається охолодження та подається споживачеві холодна вода. Відсмоктана з випарника пара, а також робоча пара ежектора надходить у конденсатор, де переходить у рідкий стан, віддаючи теплоту охолоджуючому середовищу. Частина води з конденсатора подається у випарник для поповнення убутку охолоджувальної води.



Пароежекторні установки знаходять застосування в промисловості, там, де є пара високого та середнього тиску і дешева вода для охолодження. Ці установки використовуються також на суднах, оскільки невелике число рухомих частин спрощує їхнє обслуговування і ремонт.

Принцип дії холодильних машин на вихрових охолоджувачах

Охолодження здійснюється за рахунок розширення попередньо стисненого компресором повітря в блоках спеціальних вихрових охолоджувачів.

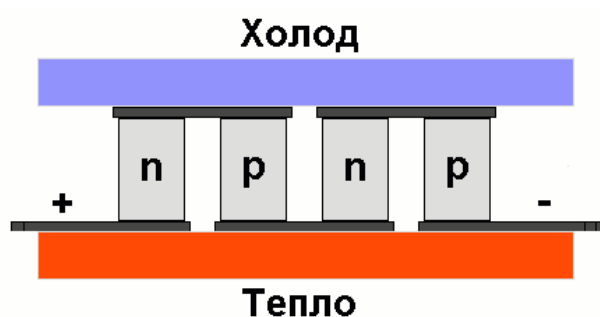
Поширення не одержав з-за великої гучності, необхідності підведення стисненого (до 10-20 атм) повітря і дуже великої його витрати, низького ККД. Переваги - більша безпека використання, так як не використовується електрика і немає ні рухомих механічних частин, ні небезпечних хімічних сполук в конструкції; довговічність, надійність.



Повітряно-розширювальні холодильні машини відносяться до класу холодильно-газових машин. Холодоагентом служить повітря. В області температур приблизно до -80°C економічна ефективність повітряних машин нижча, ніж парокompресійних. Більш економічними є регенеративні повітряні холодильні машини, в яких повітря перед розширенням охолоджується. У залежності від тиску використаного стисненого повітря повітряні холодильні машини підрозділяються на машини високого та низького тиску. Розрізняють повітряні машини, що працюють по замкненому і розімкненому циклах.

Принцип дії термоелектричних холодильних машин

Термоелектричний холодильник будується на елементах Пельтьє, безшумний, але великого розповсюдження не отримав через дорожнечу охолоджуючих термоелектричних елементів. Тим не менш, сумки-холодильники, невеликі автомобільні холодильники та кулери пітної води часто робляться з охолодженням від елементів Пельтьє.



Термоелектричний холодильник працює на основі ефекту Пельтьє, який полягає у виділенні або поглинанні теплоти при проходженні електричного струму через спай термопари. У верхній частині розташовані термоелементи, що забезпечують охолодження, які споживають велику частину електроенергії, необхідної для роботи холодильника. У каналі обдування повітрям розташовані спеціальні ребра для кращого скидання тепла, а в камері встановлені пластини для збільшення поверхні теплообміну. Промисловість випускає й інші типи термохолодильників, зокрема термостати для лабораторних потреб.



Запитання до самоперевірки:

1. Що таке тепловий двигун?
2. Назвіть види теплових двигунів.
3. Для чого використовуються теплові машини?
4. Чому дорівнює ККД теплового двигуна?
5. Назвіть величини що змінюють у циклі Карно?
6. Накресліть графічне зображення циклу Карно.
7. Наведіть приклади де використовується цикл Карно.
8. Що таке холодильна машина?
9. Назвіть види холодильних машин?
10. Сформулюйте принцип дії основних холодильних машин.
11. Які з холодильних машин ефективніше використовувати у сучасних умовах життя?

Тема 5. Діелектрики в електричному полі. Поляризація діелектриків. Конденсатори, їх види, будова та використання в техніці

Мета:

навчальна

- розгляд основних процесів що відбуваються в діелектриках під впливом електричного поля

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення
- формування наполегливості студентів у навчальній роботі

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Діелектрики та їх властивості.
2. Поляризація діелектриків.
3. Конденсатори, їх види, будова та використання в техніці.
4. Послідовне та паралельне з'єднання конденсаторів

Головне з теми:

властивості діелектриків

основні відмінності діелектриків від напівпровідників і провідників

види поляризації діелектриків

конденсатори їх види та принцип дії

види з'єднання конденсаторів

1. Діелектрики та їх властивості.

Діелектрики — це матеріали, в яких заряди не можуть пересуватися з однієї частини тіла в іншу (зв'язані заряди). Зв'язаними зарядами є заряди, що входять в склад атомів або молекул діелектрика, заряди іонів, в кристалах з іонною ґраткою.

Термін діелектрики (від грецький *diá* — через і англійський *electric* — електричний) введений **М. Фарадеем** для позначення речовин, через які проникають електричні поля.

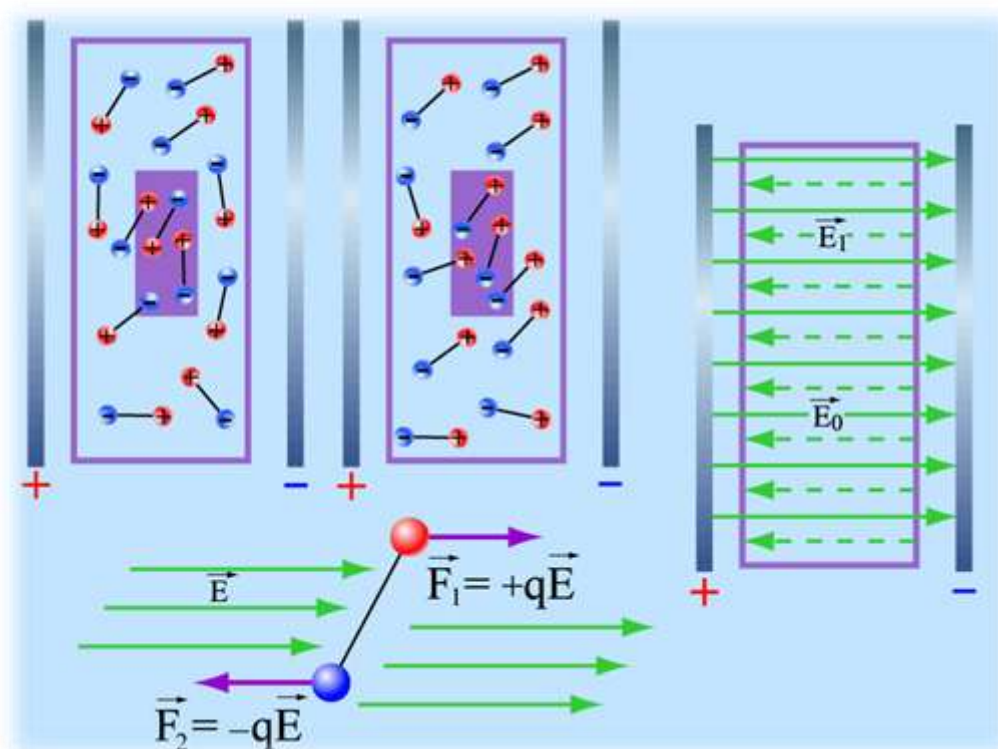


У будь-якій речовині, поміщеній в електричному полі, складові його електричні заряди (електрони, атомні ядра) випробовують сили з сторони цього поля. В результаті частина зарядів напрямлено переміщається, утворюючи електричний струм. Останні ж заряди перерозподіляються так, що «центри тяжіння» позитивних і негативних зарядів зміщуються один відносно одного. У останньому випадку говорять про поляризацію речовини. Залежно від того, який з цих двох процесів — електропровідність або поляризація — переважає, прийнято ділення речовин на ізолятори (діелектрики) і

провідників (метали, електроліти, плазма). Електропровідність діелектриків в порівнянні з металами дуже мала. Їх питомий опір $r = 10^8 \text{ — } 10^{17} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а в металів $r = 10^{-6} \text{ — } 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Існує і проміжний клас — напівпровідники, властивості яких визначаються процесами як електропровідності, так і поляризації.

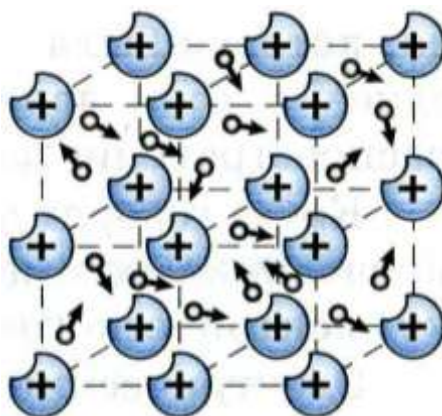
Кількісна відмінність в електропровідності твердих діелектриків і металів класична фізика намагалася пояснити тим, що в металах є вільні електрони, а в діелектриках всі електрони зв'язані, тобто належать окремим атомам, і електричне поле не відриває, а лише злегка зміщує їх. Проте таке пояснення неточне. Як показує сучасна квантово-механічна теорія, тверде тіло є як би гігантською «молекулою», де кожен електрон належить всьому кристалу в цілому. Це однаковою мірою справедливо і для діелектриків, і для металів. Причиною різної поведінки електронів в металі і в діелектрику є різний характер розподілу електронів по рівням енергії.



Енергія електронів в твердому тілі не може мати довільного значення. Області енергій, якими електрон може володіти (дозволені зони), чергуються з інтервалами енергій, які електрон

не може приймати (заборонені зони), з одного боку, електрони прагнуть зайняти рівні з найменшою енергією, а з ін. сторони, в одному стані може знаходитися лише один електрон, то електрони заповнюють енергетичні рівні від нульового до деякого максимального. У діелектриків верхній заповнений електронами енергетичний рівень збігається з верхнім кордоном одним з дозволених зон. У металах же верхній заповнений електронами енергетичний рівень лежить усередині дозволеної зони.

Для того, щоб в твердому тілі під дією електричного поля виник електричний струм (направлений рух електронів), необхідно, щоб частина електронів могла збільшувати свою енергію під дією поля, тобто переходити з нижніх енергетичних рівнів на вищі. У металі такий перехід можливий, так як заповненим рівням безпосередньо примикають вільні.

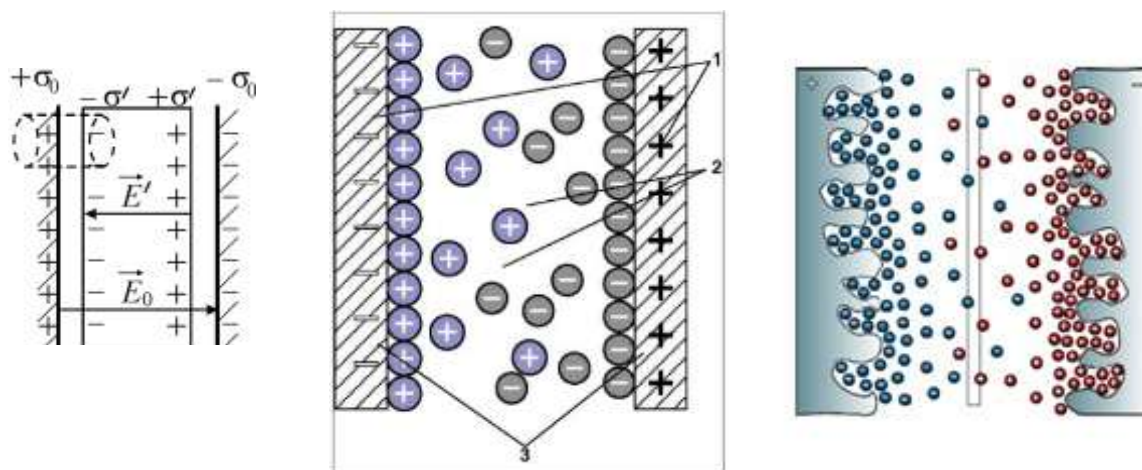


У діелектриків же найближчі вільні рівні відокремлені від заповнених забороненою зоною, яку електрони під дією звичайних не дуже сильних електричних полів здолати не можуть. У діелектриків дія електричного поля зводиться до перерозподілу електронної щільності, яке приводить до поляризації діелектриків.

Діелектриками можуть бути також рідини і гази. У звичайних умовах всі гази складаються в основному з нейтральних атомів і молекул і тому не проводять електричного струму. З підвищенням температури атоми і молекули іонізуються і газ поступово перетворюється на плазму, яка добре проводить електричний струм.

2. Поляризація діелектриків.

Ще Майкл Фарадей звернув увагу на такий експериментальний факт : якщо в заряджений і від'єднаний від джерела напруги плоский конденсатор ввести речовину, яка не проводить струм, так званий діелектрик, то різниця потенціалів між пластинами конденсатора зменшиться.



Розглянемо плоский конденсатор, заряджений до напруги U_0 і від'єднаний від джерела напруги. Оскільки для плоского конденсатора $U = Ed$, де d – відстань між пластинами, то зменшення різниці потенціалів одночасно приведе до зменшення напруженості електричного поля всередині конденсатора.

Якщо застосувати до системи **теорему Гауса**, взявши замкнену поверхню у вигляді циліндру, зображеного на рисунку, то поле в металевій пластині відсутнє, і потік вектора напруженості електричного поля проходить тільки через праву основу циліндра.

Зменшення напруженості електричного поля $\vec{E}$ у конденсаторі з точки зору теореми Гауса означає, що всередині замкненої поверхні заряд зменшився. До введення діелектрика цей заряд був σ_0 , а створене ним поле $E_0 = 4\pi\sigma_0$. Після введення діелектрика, очевидно, на поверхні діелектрика з'явився заряд

протилежного знаку σ' , який створює поле $E' = 4\pi\sigma'$, направлене протилежно полю E_0 , так що нове сумарне поле

$$E = E_0 - E' = 4\pi\sigma_0 - 4\pi\sigma' < E_0.$$

Зауважте, що якби ми ввели в конденсатор пластину провідника, то якісно ефект не змінився би, хоча за тих самих умов для провідника він був би більшим. В цьому випадку $|\sigma_0| = |\sigma'|$, і поле у провіднику перетвориться на нуль. Таким чином, ми можемо зробити висновок:

При внесенні діелектрика в електричне поле на його поверхні виникають заряди протилежного знаку, які зменшують поле в речовині. Це явище має назву **поляризація речовини**. Заряди, що індукуються у діелектрику в електричному полі, називаються **поляризаційними або зв'язаними зарядами**.

Візьмемо електрометр – прилад для вимірювання заряду. Прилад складається із металевого диску і прикріпленого до нього металевого стрижня. На стрижні знаходиться металева стрілка, яка обертається, і у відсутності заряду за рахунок сили тяжіння розташовується вздовж стрижня. Якщо зарядити електрометр, то однойменно заряджені стрижень та стрілка відштовхуються, і стрілка відхилиться на кут, який залежить від заряду, наданого електрометру.

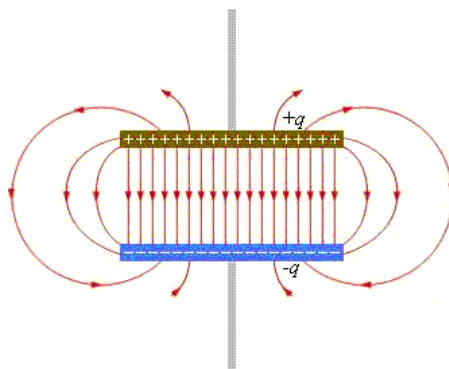


Якщо піднести до зарядженого електроскопа незаряджений діелектрик, то кут нахилу стрілки зменшиться і повертається до вихідного положення при віддаленні пластини. У діелектрику виникають поляризаційні заряди : на ближній до диску стороні протилежного знаку, на дальній – однойменний. Поляризаційні заряди на діелектрику притягують до диску частину заряду, наданого електроскопу, сила взаємодії між стрижнем і стрілкою зменшується. Такий же ефект, але більший за величиною, спостерігається при піднесенні до зарядженого електроскопу незарядженого провідника.



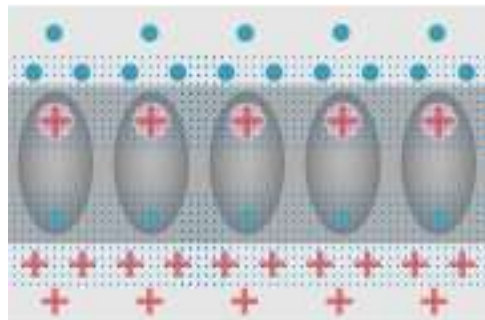
Можна провести ще й такий дослід. Якщо взяти заряджений конденсатор, який з'єднано із джерелом різниці потенціалів і розмістити діелектрик біля краю пластин конденсатора, то діелектрик буде втягуватись всередину конденсатора.

Ефект виникає внаслідок крайового ефекту. Силкові лінії поля конденсатора біля країв його пластин не є паралельними. За рахунок викривлення силових ліній з'явиться тангенціальна складова поля E_t .

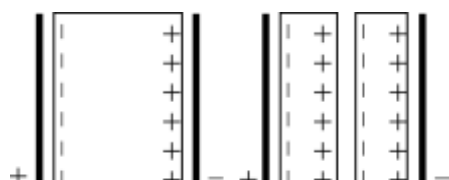


Під дією крайового поля діелектрик поляризується, а на поляризаційні заряди діятимуть сили, направлені всередину конденсатора, де поле вище (згадайте рух диполя у неоднорідному електричному полі). При русі діелектрика в ланцюзі конденсатора протікатиме струм, який можна зафіксувати приладом. Цей струм обумовлений тим, що поляризаційні заряди на поверхні діелектрика, який втягується у конденсатор, будуть збільшувати заряд пластин, тому що із джерела до пластин буде прямувати додатковий заряд.

Отже, всі ці експериментальні факти свідчать : як тільки діелектрик потрапляє у електричне поле, на ньому виникає поляризаційні заряди. При видаленні його із поля поляризаційні заряди зникають.

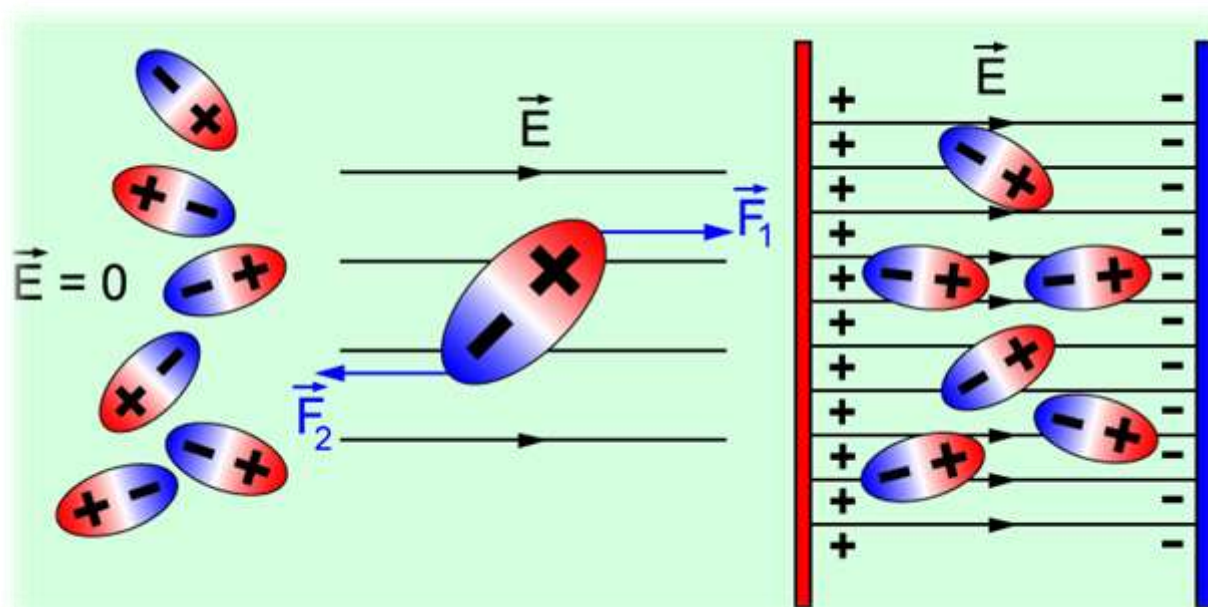


Явище поляризації схоже на індукцію заряду у металах. Що було б, якби ми зарядили метал, а потім його розрізали ? Заряд у металі існує лише на поверхні, тому все, що знаходиться за нею на відстані кількох атомних шарів, можна безболісно відрізати, не змінивши заряду. Тому і після зникнення електричного поля роз'єднані частини провідника залишаються зарядженими.



На відміну від провідника, поділ діелектрика на дві частини і виключення поля не дозволяють одержати два протилежно заряджених тіла. Якщо діелектрик розрізати, то отримаємо всередині конденсатора два однаково поляризованих діелектрики. А при усуненні поля кожна частина діелектрика стає незарядженою, це експериментальний факт.

Отже, **відокремити поляризаційні заряди один від одного неможливо**. Саме тому поляризаційні заряди, що виникають на поверхні діелектрика, який міститься в електричному полі, називають **зв'язаними зарядами**. Зв'язані поляризаційні заряди можна видалити з поверхні тільки виключенням поля. Для зручності всі величини, які відносяться до цих зарядів, будемо позначати штрихом E', σ' . Заряди, що виникають внаслідок тертя, індукції і т. п., які ми можемо передавати від тіла до тіла, будемо називати вільними. Наприклад, на пластинах конденсатора вільні заряди. А на поверхні діелектрика всередині конденсатора – зв'язані.

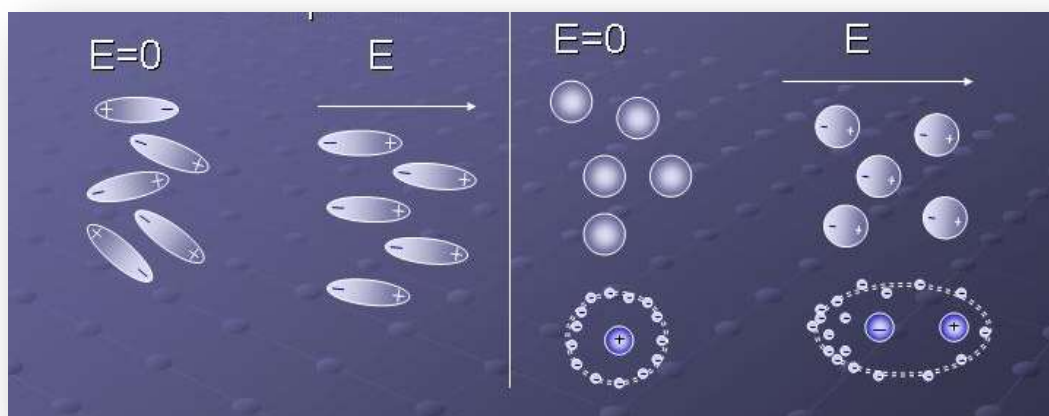


Відмінність виникнення індукованого заряду у металах і діелектриках пов'язана із тим, що у металах негативний заряд існує у рухомому стані у вигляді електронів, які можуть зміщуватись на великі відстані, тому індукційні заряди в металі можна розділити.

Той факт, що зв'язані заряди у діелектрику неможливо відокремити один від одного поділом діелектрика на все більш дрібні частини, свідчить про те, що у них заряди можуть зміщуватись лише у межах атому чи молекули, із яких складається речовина. Елементи теорії поляризації діелектриків будуть наведені нижче, тут ми розглянемо тільки якісну картину

явища. Розрізняють три основні механізми поляризації: **електронний**, **іонний** та **орієнтаційний**.

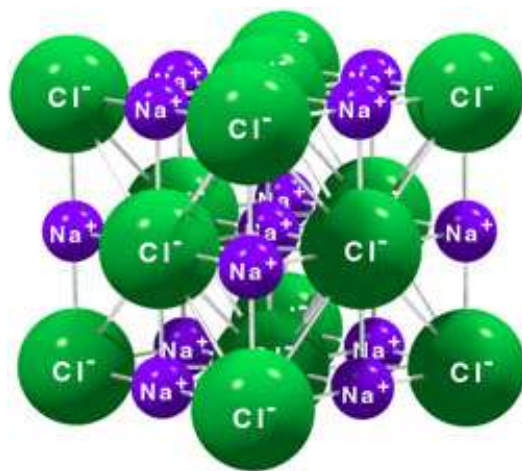
Електронна поляризація властива всім речовинам. Відомо, що атом складається із позитивно зарядженого малого за розмірами ядра і негативно зарядженої електронної хмари, яка оточує ядро. Центр позитивних і негативних зарядів співпадає, тому атом не має дипольного моменту. Якщо помістити атом у зовнішнє електричне поле, то центр позитивних зарядів зміщується за полем, а негативних – проти поля.



По мірі зміщення виникають сили протидії, які намагаються повернути систему у вихідний стан. В результаті дії поля і цих сил встановлюється рівновага, в якій атом має дипольний момент $\vec{p}$. Звісно, виключення поля приводить до зникнення поляризації атомів.

Поля диполів, в які перетворились атоми, всередині речовини компенсують одне одного. Тому всередині однорідної речовини можна в ряді випадків не враховувати ефект перетворення атомів у диполі. Однак, на поверхні діелектрика такої компенсації немає. Тому на різні сторони поверхні виходять протилежні кінці диполів, які створюють поверхневий заряд з густиною σ' .

Іонна поляризація властива твердим речовинам, у вузлах ґратки яких розташовані іони протилежних знаків. Наприклад, кристали NaCl складаються із двох кубічних гранецентрованих ґраток іонів Na і Cl, які вставлені одна в одну. Проте, центри елементарних комірок кожної під ґратки співпадають сумарний позитивний і негативний заряд комірки, і вона не має дипольного моменту. Якщо помістити такий кристал у зовнішнє електричне поле, то підґратка позитивних іонів зміститься вздовж поля, негативних – проти поля, кожна елементарна комірка буде мати дипольний момент. Подальші міркування аналогічні наведеним для електронної поляризації.

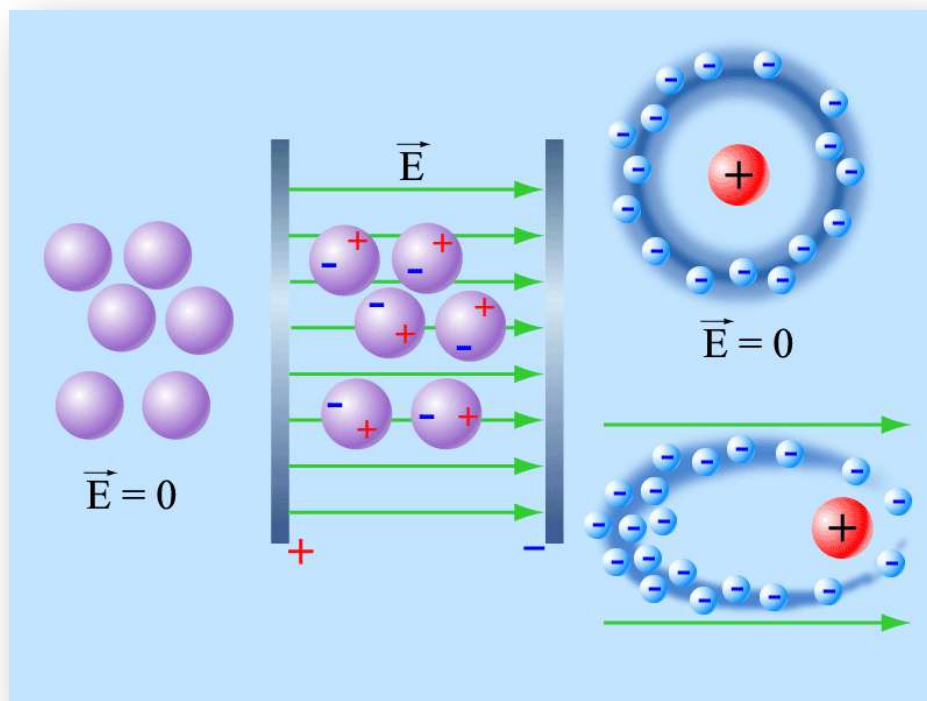


Орієнтаційна поляризація виникає у речовинах, молекули яких мають дипольний момент за відсутності зовнішнього поля, так би мовити, від народження. Це, наприклад, молекули води H_2O , в яких центр позитивних зарядів зміщений до двох атомів водню, а центр негативних – до атому кисню.

Розглянемо газ, який складається з таких дипольних молекул. За відсутності зовнішнього електричного поля дипольні молекули орієнтовані у просторі хаотично, речовина в цілому не виявляє поляризації.

Якщо включити зовнішнє поле, то диполі будуть орієнтуватись вздовж поля. Проте, тепловий рух буде перешкоджати такій орієнтації. В результаті при кожному значенні напруженості поля $\vec{E}_0$ і температури T можна казати

лише про переважну орієнтацію диполів. Ефект буде тим більшим, чим більше $\vec{E}_0$ і менше T . Результатом такого компромісу буде поляризація речовини.



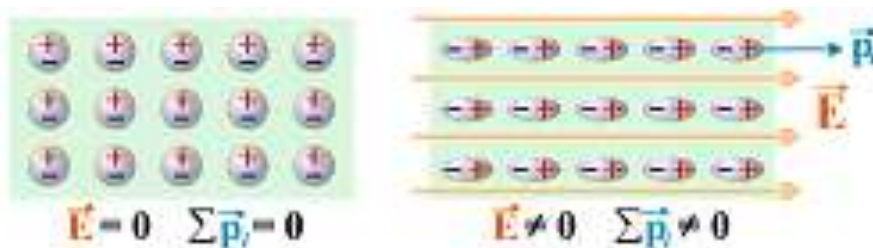
Вектор поляризації

Отже, якісно процес поляризації діелектриків у електричному полі та типи поляризації ми розглянули. Як оцінити ступінь поляризації?

Візьмемо речовину із діелектричними властивостями і помістимо у електричне поле. Діелектрик поляризується. Явище поляризації пов'язане із виникненням дипольного моменту в окремому атомі (електронна поляризація), в елементарній комірці (іонна поляризація), середнього значення проекції сталого дипольного моменту молекули на напрям вектора напруженості електричного поля $\vec{E}$ для орієнтаційної поляризації. Нам не важливо, яким саме є механізм поляризації. Для нас важливо знати, що утворилась сукупність диполів будь-якої природи.

Звісно, сумарний ефект залежить від концентрації цих диполів та від величини їх моменту $\vec{p}$. Тому, якщо взяти

одиницю об'єму діелектрика і скласти вектори дипольних моментів в межах цього об'єму, то одержимо кількісну характеристику явища поляризації.



3. Конденсатори, їх види, будова та використання в техніці.

Конденсатори є неодмінним елементом будь-яких електронних схем, від простих до самих складних. Важко собі уявити яку б то не було електронну схему, в якій не використовуються конденсатори. За два з половиною століття свого існування вони досить значно змінили свій вигляд і сьогодні відповідають усім вимогам передової технології. Деякі конденсатори коштують не більше рубля, але їх виробництво у світовому масштабі обчислюється мільярдами доларів.



Принципи виготовлення конденсаторів стали відомі ще 250 років тому, коли в 1745 р. в Лейдені німецький фізик Евальд Юрген фон Клейст і нідерландський фізик Пітер ван Мушенбрук створили перший конденсатор - "лейденську банку" - у ній діелектриком були стінки скляної банки, звідки і виникла назва. Ці принципи не змінилися до цих пір, проте вдосконалення технологій та застосування нових матеріалів дозволили значно поліпшити конструкцію конденсаторів. Сумарний заряд, який міг накопичуватися в лейденської банку ємністю 1 літр, тепер можна "вмістити" в пристрій розміром не більше шпилькової головки. За останні 30 років розміри конденсаторів зменшувалися настільки ж швидко, наскільки швидко відбувалася мініатюризація в електроніці. Адже легко можна згадати як ще 15 - 20 років тому комп'ютери (ЕОМ) були настільки величезними, що займали цілі зали. Зараз же, мініатюрний комп'ютер з легкістю уміщається у нас на долоні, хоча його продуктивність в десятки разів вище.

Мало кому відомо, що наш великий електротехнік Павло Миколайович Яблочков, який винайшов дугову лампу особливої конструкції, одночасно займався розробкою та використанням конденсаторів і досяг видатних результатів. Основні роботи з конденсаторам відображені в його публікаціях (доповідях і патентах) 1877 - 1880 рр..

В кінці 1877 і на початку 1878г. П. Н. Яблочков демонстрував конденсатори, що призначалися для його системи електричного освітлення.

Вони були згорнуті у рулон листи олов'яної фольги, розділені шарами пластиру і гутаперча. У рефераті доповіді П. Н. Яблочкова зазначалося, що такі конденсатори «дозволяють

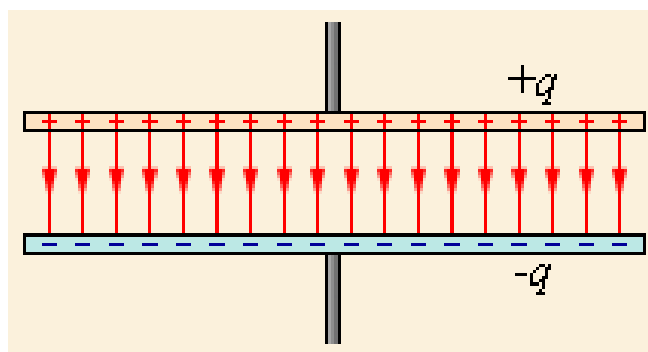
одержувати в невеликому обсязі величезні електричні потужності».



У доповненні від 12 жовтня 1878 заявляє свої права на «металеві листки, вкриті ізолюючим речовиною, спеціально з метою пристрої конденсатора за допомогою занурення таких ізолюючих пластин в рідину, що містилася в резервуарі ».

Запропонована Яблочкова конденсаторна обкладка у вигляді провідної рідини підвищує електричну міцність і ємність конденсатора, звертаючи на користь не рівність покриття. Цією ідеєю П. Н. Яблочков передбачив конструкцію оксидного (електролітичного) конденсатора, запатентованого незабаром після його смерті.

Зараз існує безліч видів і різновидів конденсаторів. Але в основі своїй вони всі повторюють найпростіший конденсатор, який утворюють дві металеві пластини, ізольовані одна від одної. Найчастіше пластини називають обкладинками, а ізолюючий шар -діелектриком.



Мініатюризація - основний напрямок в удосконаленні конструкції конденсаторів, оскільки від цього залежить подальше зменшення розмірів інтегральних схем. Існують дві найбільш поширені конструкції конденсаторів: одна заснована на використанні тендітних керамічних шарів товщиною 0,002 см і менше, а в основі другого лежить технологія, що дозволяє "згортати" плоскі структури площею з газетний лист в об'ємні конструкції розміром з шматок цукру. Щоб зрозуміти теоретичні основи цих технологій, повернімося до самих перших конденсаторів.



Прообразом сучасних конденсаторів, як уже було сказано, була лейденська банку. У 1746 р. її удосконалив англійський вчений, астрономі фізик Дж. Бевіс. являє собою скляну посудину, внутрішня і зовнішня поверхня якого покриті двома аркушами фольги. Через гумову пробку в судину вставлений металевий стрижень так, що він стосується внутрішнього листа фольги. Внутрішній і зовнішній листи фольги, в звичайних умовах мають нейтральний заряд, відіграють роль електродів, якщо їх підключити до зовнішнього джерела електричних зарядів.

Джерелом зарядів може бути електрична батарейка, генератор або проста ебонітових паличка, затерта по шерсті або хутру. Якщо такий паличкою, що несе в собі вільні електрони, торкнутися металевого стержня в горлечку судини, електрони перетечуть з палички на внутрішній електрод.

Таким чином негативний заряд буде перенесено на внутрішній електрод.

Оскільки здатність накопичувати заряди у судини обмежена їх взаємним відштовхуванням, їх перехід на електрод не може бути нескінченним.

Здатність накопичувати або утримувати заряди називається ємністю.

У лейденської банку ємність збільшується завдяки наявності другого електрода на зовнішній стінці судини. Якщо цей електрод заземлити, то заряд, накопичений на внутрішньому електроді, буде притягувати із землі такий же за величиною заряд протилежного знаку. Накопичений на зовнішньому електроді позитивний заряд притягує що

знаходяться на внутрішньому електроді негативно заряджені електрони, частково нейтралізує сили відштовхування, стримуючі накопичення електронів. Завдяки цьому місткість посудини збільшується. Однак рости нескінченно вона не може.

Є два шляхи збільшення ємності лейденської банки. Один з них полягає у збільшенні площі електродів, щоб дати можливість зарядам розосередитися в більшому просторі і тим самим зменшити силу взаємного відштовхування електронів. Інший шлях - зменшити товщину скляної стінки судини, що розділяє заряди, які скупчуються на внутрішньому і зовнішньому електродах. Не треба забувати при цьому, що якщо скло буде дуже тонким, електрони зможуть пройти крізь нього, створюючи іскровий розряд, що призведе до розсіювання заряду.

Третій напрям збільшення ємності - врахування особливостей поведінки електронів в ізоляторах.

Конденсатор — система з двох чи більше електродів (обкладок), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок. Така система має взаємну електричну ємність і здатна зберігати електричний заряд.

Скло, що використовується в лейденської банку, має значення діелектричної проникності близько 5, а діелектрична

проникність нових матеріалів, що використовуються в сучасних конденсаторах масового виробництва, досягає 20 000.

Застосуванням цих матеріалів як раз і пояснюється висока ефективність роботи **багатошарових керамічних конденсаторів**, що є одним з двох найбільш поширених видів цього пристрою.



Інший тип - **електролітичні конденсатори**; їх питома ємність (на одиницю об'єму) ще вище, навіть без використання діелектриків з високою діелектричною проникністю. Обсяг виробництва тих і інших становить 95% загальної кількості конденсаторів.



Багатошаровий керамічний конденсатор - зменшений варіант лейденської банки. На практиці в якості діелектрика в керамічних конденсаторах використовується титанат барію з додаванням невеликої кількості інших оксидів. Такі кераміки, що мають діелектричну проникність в межах від 2000 до 6000, в

початковому стані являють собою тонко дисперсний порошок, частки якого мають діаметр кілька мікрон. Порошок змішують з розчинником, що містить речовину, що пов'язує, яке потім з'єднає рівномірно розосереджені в розчині частинки кераміки. Отримана суміш у вигляді рідкої глини має таку ж консистенцію, як і фарба. Суміш розливають шаром завтовшки кілька сотих часток міліметра на паперову або сталеву стрічку і висушують. Плівка ріжеться на квадратні пластини розміром 15-20 см; на кожну таку пластину методом друкованого монтажу наноситься кілька тисяч обкладинок через спеціальний трафарет, що задає їх конфігурацію. Для нанесення обкладок використовується срібно-паладієва суспензія.

Після того як обкладки нанесені, беруть 30-60 пластин і спресовують їх між кількома шарами таких же пластин, на які обкладки не наносилися. Отримані заготовки конденсаторів обпікаються в печі з повільним нагріванням до 1000-1400 ° С.

Електролітичні конденсатори можна уподібнити лейденської банці з дуже тонкого скла, зменшеною до розмірів невеликого куба. Він виготовляється з шматка металу з 60%-ної пористістю. Для більшості сучасних електролітичних конденсаторів використовують подрібнений тантал – твердий метал сірого кольору. Порошок танталу спресовується і потім протягом декількох годин отриману заготовку нагрівають у вакуумній камері до температури, близької до 2000 ° С. У результаті частки металу спікається, щільно одна з одною. При цьому утворюються невеликі ніші і щілини в товщі спресованого порошку вони підвищують поверхневу площу заготовки, яка потім буде служити однією з обкладок конденсатора. Потім у електролітичній ванні заготовку піддають анодуванню, щоб на

поверхнях пор отримати ізолюючий шар оксиду танталу. Потім заготовку занурюють у розчин нітрату марганцю. У її порах після нагріву осаджуються частки напівпровідникового діоксиду марганцю, шар яких грає роль однієї обкладинки, а танталові частинки під шаром оксиду танталу - інший обкладинки.

Конденсатор спочатку покривають графітовою, потім срібною фарбою, напилюють шар нікелю і закладають в корпус.

Незважаючи на те що електролітичні конденсатори мають найбільшу питому ємність у порівнянні з іншими типами конденсаторів, область їх застосування обмежена. По-перше, це пояснюється тим, що підведена до нього напруга повинна мати певну полярність, яку не можна змінювати. Ця особливість допускає використання електролітичних конденсаторів тільки в колах постійного струму. По-друге, електролітичні конденсатори більш схильні до пробоя, оскільки шари діелектрика в ньому дуже тонкі.

4. Послідовне та паралельне з'єднання конденсаторів.

Прикладання електричної напруги до обкладок конденсатора спричиняє накопичення на них електричного заряду. Після відключення від джерела напруги, заряд утримується на обкладках силами електростатики. Якщо конденсатор у цілісний елемент не є наелектризованим то заряд, що накопичений на обох обкладках є однаковим за величиною і протилежний за знаком. Здатність конденсатора накопичувати заряд характеризує його електрична **ємність**:

$$C = \frac{Q}{U}$$

де: C — ємність конденсатора у фарадах;

Q — електричний заряд, що накопичений на одній з обкладок в кулонах;

U — електрична напруга між обкладками у вольтах.

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

Ємність виражається у фарадах. Одна фарада є досить значною одиницею, тому на практиці ємність конденсаторів виражається у піко-, нано-, мікро- та міліфарадах. $[C] = \text{Кл/В} = \text{Ф}$
Конденсатор бувають плоскі, циліндричні, сферичні.

Електроємність плоского конденсатора:

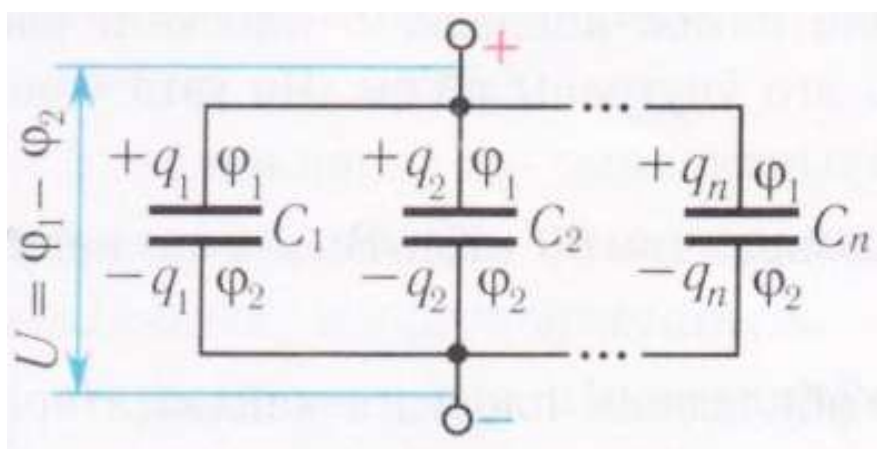
$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d}$$

S – площа пластини, d – відстань між пластинами,

ε – діелектрична проникність діелектрика.

Конденсатори з'єднують у батареї паралельно або послідовно.

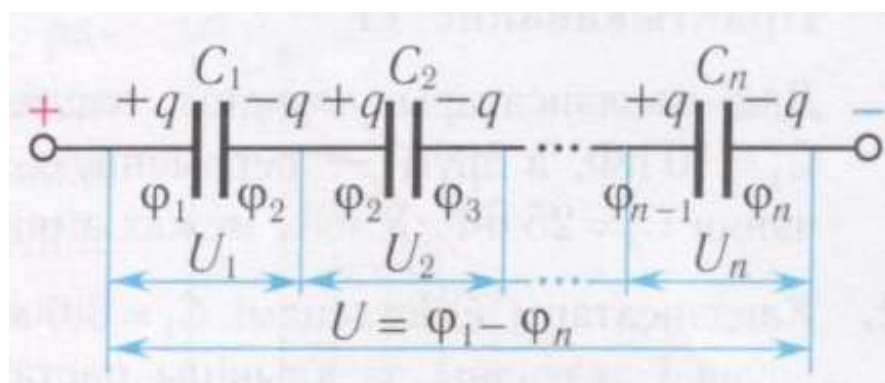
1. Паралельне з'єднання



Напруги на всіх конденсаторах однакові:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad q = q_1 + q_2 + \dots + q_n \quad C_{\text{пар}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

2. Послідовне з'єднання



Заряди усіх конденсаторів при послідовному їх з'єднанні однакові.

$$q_1 = q_2, U = U_1 + U_2, \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Запитання до самоперевірки:

1. Які матеріали називають діелектриками, їх різновиди?
2. Що таке поляризація та її види?
3. Види та механізми поляризації діелектриків.
4. Класифікація діелектриків за механізмами поляризації.
5. Що таке конденсатор?
6. Види конденсаторів та їх властивості.
7. Методи виготовлення конденсаторів.
8. Що таке лейденська банка, історія її виникнення.
9. Електроємність конденсаторів.
10. В яких одиницях вимірюється електроємність плоских конденсаторів, та від яких величин залежить?
11. Паралельне з'єднання конденсаторів.
12. Послідовне з'єднання конденсаторів.

Тема 6. Електричний струм у газах. Види розрядів у газах. Явище термоелектронної емісії та його використання в техніці

Мета:

навчальна

- розгляд основних процесів що відбуваються в газах під дією електричного струму

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Електричний струм у газах.
2. Види розрядів у газах.
3. Електричний струм в вакуумі. Явище термоелектронної емісії та його використання в техніці.

Головне з теми:

іонізація газу та її види

газовий розряд та процеси що призводять до його виникнення

види газових розрядів

електричний струм в вакуумі

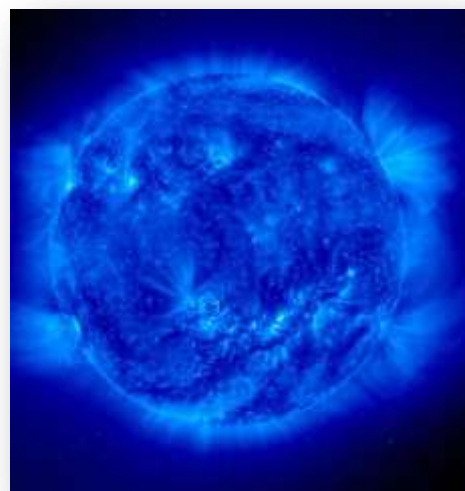
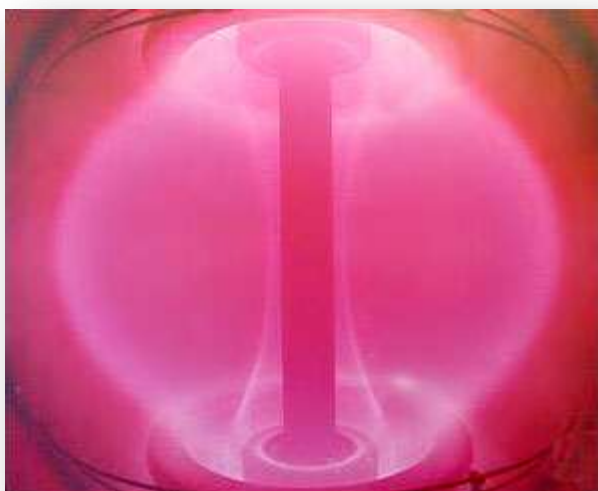
явище термоелектронної емісії та його використання в техніці

1. Електричний струм у газах.

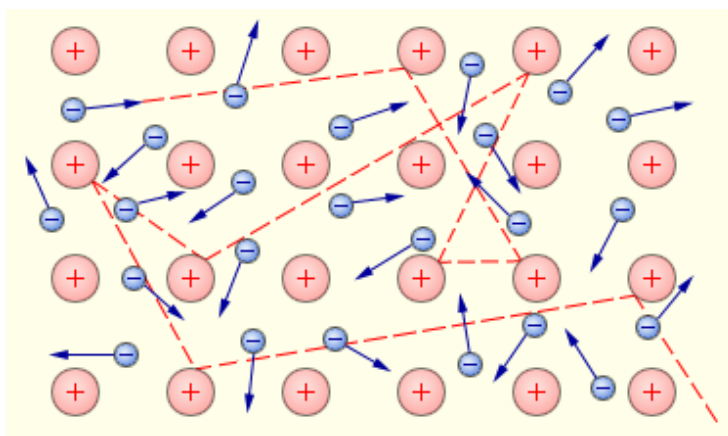
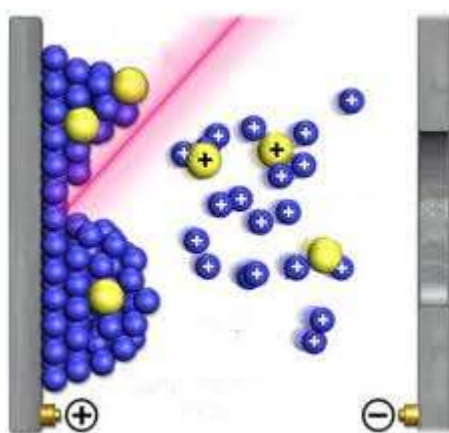
Газовий розряд - сукупність процесів, що виникають при протіканні електричного струму через речовину, що знаходиться в газоподібному стані.

Зазвичай перебіг струму стає можливим тільки після достатньої іонізації газу і утворення плазми. Іонізація відбувається за рахунок зіткнень електронів, що прискорився в електромагнітному полі, з атомами газу. При цьому виникає лавинне збільшення числа заряджених частинок, оскільки в процесі іонізації утворюються нові електрони, які теж після прискорення починають брати участь в зіткненнях з атомами, викликаючи їх іонізацію. Для виникнення і підтримки газового розряду потрібно існування електричного поля, так як плазма може існувати тільки якщо електрони набувають в зовнішньому полі енергію, достатню для іонізації атомів, і кількість освічених іонів перевищує число рекомбінували іонів.

Плазма — стан речовини, в якому її атоми іонізовані, тобто електрони відірвані від ядер. Завдяки цьому речовина стає не тільки електропровідною, але й надзвичайно чутливою до електромагнітних полів. Плазму називають четвертим агрегатним станом речовини на відміну від твердого, рідкого та газоподібного.



Якщо для існування газового розряду необхідна додаткова іонізація за рахунок зовнішніх джерел (наприклад, за допомогою іонізуючих випромінювань), то газовий розряд називається **несамостійним** (такі розряди використовуються в лічильниках Гейгера).



Для здійснення газового розряду застосовують як постійні в часі, так і змінні електричні поля.

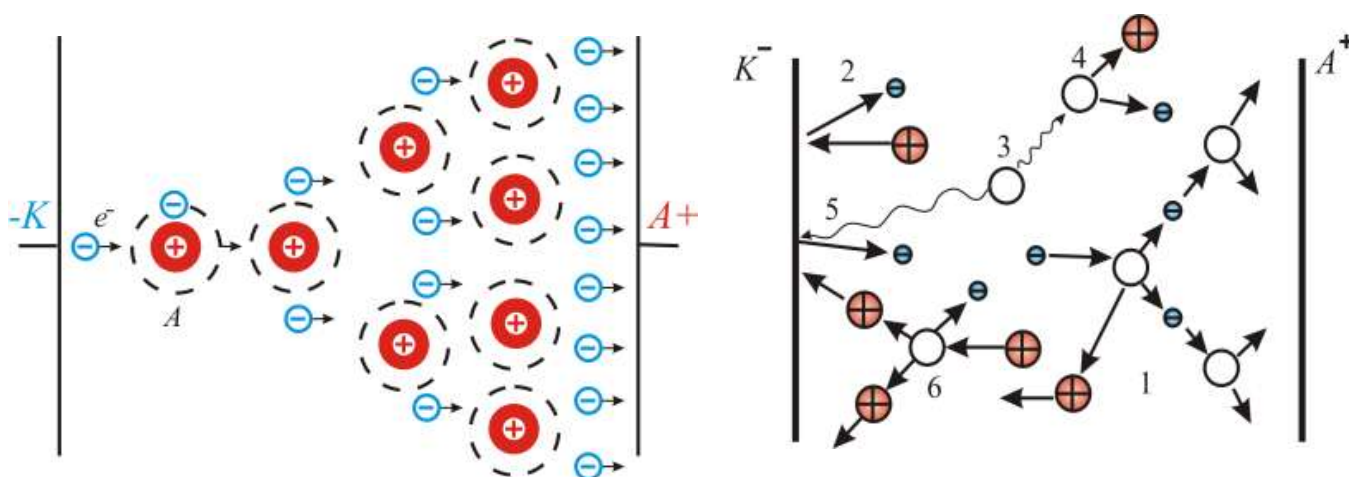
За звичайних умов (не занадто високі температури; тиски, близькі до атмосферного) гази складаються з нейтральних атомів і молекул і не містять вільних зарядів (електронів та іонів). Тому струм вони не проводять, іншими словами, є ізоляторами. Наприклад, якщо в сухе атмосферне повітря помістити заряджений електрометр із доброю ізоляцією, то його заряд довго залишається незмінним.

Щоб газ почав проводити електричний струм, потрібно створити в ньому вільні носії заряду, тобто заряджені частинки. Цей процес називається **іонізацією газу**. При цьому в газі відбувається розщеплення нейтральних атомів і молекул на іони і вільні електрони.

Іонізувати газ можна двома шляхами:

- 1) Заряджені частинки вносяться в газ ззовні або створюються дією якого-небудь зовнішнього фактора;
- 2) Заряджені частинки створюються в газі дією електричного поля.

У залежності від способу іонізації електропровідність газів (розряд у газах) називається **несамостійною** (1) і **самостійною** (2). Під дією іонізатора з електронної оболонки атома або молекули вибивається один або кілька електронів. Атом (або молекула) перетворюється на позитивний іон (катіон), і утворюються вільні електрони. Вони, у свою чергу, приєднуються до нейтральних молекул і атомів, перетворюючи їх на негативні іони (аніони). Таким чином, в іонізованому газі Містяться катіони, аніони і вільні електрони.



2. Види розрядів у газах.

Іскровий розряд (іскра електрична) - нестационарна форма електричного розряду, що відбувається в газах. Такий розряд виникає зазвичай при тиску порядку атмосферного і супроводжується характерним звуковим ефектом - «тріском» іскри. Температура в головному каналі іскрового розряду може досягати 10 000 К. У природі іскрові розряди часто виникають у вигляді блискавок. Відстань «пробива» іскрою в повітрі залежить від напруги і вважається рівним 10 кВ на 1 сантиметр.



Умови проведення іскрового розряду

Іскровий розряд зазвичай відбувається, якщо потужність джерела енергії недостатня для підтримання стаціонарного дугового розряду або тліючого розряду. У цьому випадку одночасно з різким зростанням розрядного струму напруга на розрядному проміжку протягом дуже короткого часу (від кількох мікросекунд до декількох сотень мікросекунд) падає нижче напруги згасання іскрового розряду, що призводить до припинення розряду. Потім різниця потенціалів між електродами знову зростає, досягає напруги запалювання і

процес повторюється. В інших випадках, коли потужність джерела енергії досить велика, також спостерігається вся сукупність явищ, характерних для цього розряду, але вони є лише перехідним процесом, що призводить до встановлення розряду іншого типу - найчастіше дугового. Якщо джерело струму не здатний підтримувати самостійний електричний розряд протягом тривалого часу, то спостерігається форма самостійного розряду, звана іскровим розрядом.

Електрична дуга (Дуговий розряд) - фізичне явище, один з видів електричного розряду в газі.

Вперше була описана в 1802 році російським вченим В. В. Петровим. Електрична дуга є окремим випадком четвертої форми стану речовини - плазми - і складається з іонізованого, електричного квазинейтрального газу. Присутність вільних електричних зарядів забезпечує провідність електричної дуги.



Електрична дуга між двома електродами в повітрі при атмосферному тиску утворюється таким чином: при збільшенні напруги між двома електродами до певного рівня в повітрі між електродами виникає електричний пробій. Напруга електричного пробію залежить від відстані між електродами і пр. Найчастіше, для ініціювання пробію при наявному напрузі електроди наближають один до одного. Під час пробію між електродами зазвичай виникає іскровий розряд, імпульсно замикаючи електричне коло.

Електрони в іскрових розрядах іонізують молекули в повітряному проміжку між електродами. При достатній потужності джерела напруги, в повітряному проміжку утвориться достатня кількість плазми для того, щоб напруга пробою (або опір повітряного проміжку) у цьому місці значно впало. При цьому іскрові розряди перетворюються в дугового розряд - плазмовий шнур між електродами, що є плазмовим тунелем. Ця дуга є по суті провідником, і замикає електричний ланцюг між електродами, середній струм збільшується ще більше нагріваючи дугу до 5000K - 50000K. При цьому вважається, що підпал дуги завершений.

Взаємодія електродів з плазмою дуги призводить до їх нагрівання, часткового розплавлення, випаровуванню, окислювання і інших видів корозії.

Після підпалу, дуга може бути стійка при розведенні електричних контактів до деякої відстані.

При експлуатації високовольтних електроустановок, в яких неминує поява електричної дуги, боротьба з електричною дугою здійснюється за допомогою електромагнітних котушок, суміщених з дугогасильні камерами. Серед інших способів відомі використання вакуумних і масляних вимикачів, а також методи відведення струму на тимчасове навантаження, самотійно розриває електричний ланцюг.

Електрична дуга використовується при електрозварювання металів, для виплавки сталі (Дугова сталеплавильна піч) і у висвітленні (у дугових лампах).

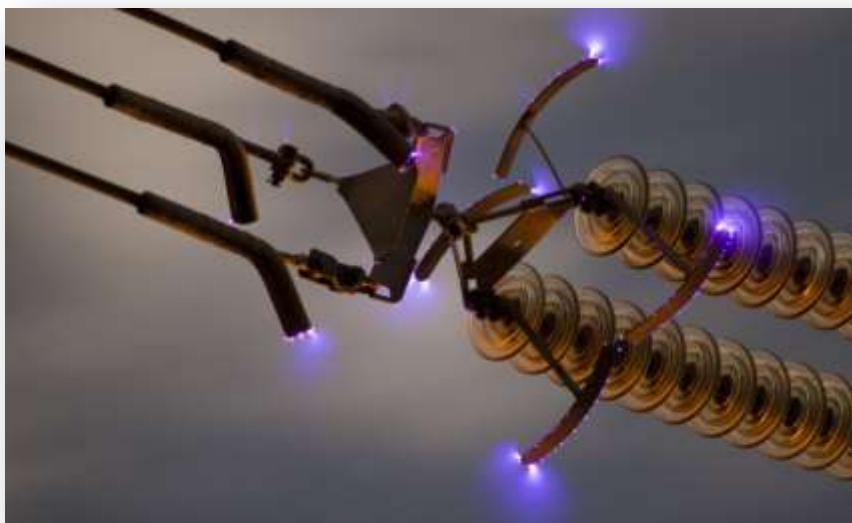


Коронний розряд - це характерна форма самостійного газового розряду, що виникає в різко неоднорідних полях. Головною особливістю цього розряду є те, що іонізаційні процеси електронами відбуваються не по всій довжині проміжку, а тільки в невеликій його частині поблизу електрода з малим радіусом кривизни (так званого коронируючого електрода). Ця зона характеризується значно вищими значеннями напруженості поля в порівнянні з середніми значеннями для всього проміжку.

Виникає при порівняно високих тисках (порядку атмосферного) в сильно неоднорідному електричному полі. Подібні поля формуються у електродів з дуже великою кривизною поверхні (вістря, тонкі проводи). Коли напруженість поля досягає граничного значення для повітря (близько 30 кВ / см), навколо електрода виникає світіння, що має вигляд оболонки або корони (звідси назва).

На лініях електропередачі виникнення коронного розряду небажано, тому що викликає значні втрати енергії, що передається. З метою скорочення втрат на загальну корону застосовується розщеплення проводів ЛЕП на 2, 3, 5 або 8 складових, залежно від номінальної напруги лінії (для зменшення струму в провіднику).

У природних умовах коронний розряд може виникати на верхівках дерев, щоглах - т. зв. вогні святого Ельма.

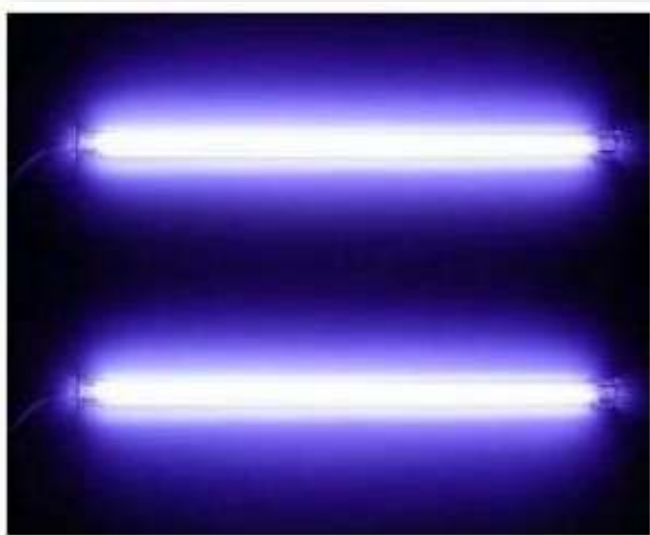


Тліючий розряд - один з видів стаціонарного самостійного електричного розряду в газах. Формується, як правило, при низькому тиску газу та малому струмі. При збільшенні проходить струму перетворюється в дуговий розряд.

На відміну від нестаціонарних (імпульсних) електричних розрядів у газах, основні характеристики тліючого розряду залишаються відносно стабільними в часі.

Типовим прикладом тліючого розряду, знайомим більшості людей, є світіння неонових лампи.

Приєднаємо електроди до джерела постійного струму з напругою кілька тисяч вольт (годиться електрична машина) і будемо поступово відкачувати з трубки повітря. При атмосферному тиску газ усередині трубки залишається темним, так як прикладена напруга в кілька тисяч вольт недостатньо для того, щоб пробити довгий газовий проміжок. Однак коли тиск газу достатньо знизиться, у трубці спалахує світиться розряд. Він має вигляд тонкого шнура (в повітрі - малинового кольору, в інших газах - інших кольорів), що з'єднує обидва електроди. У цьому стані газовий стовп добре проводить електрику.

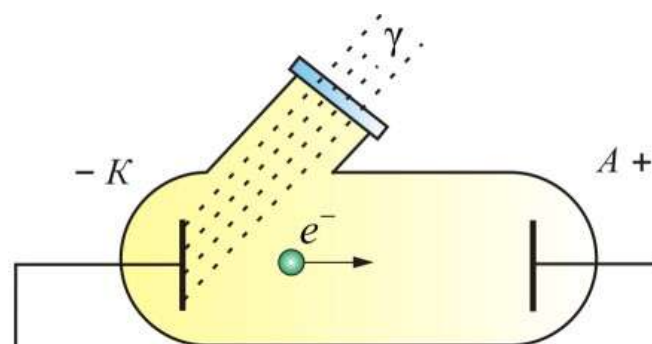
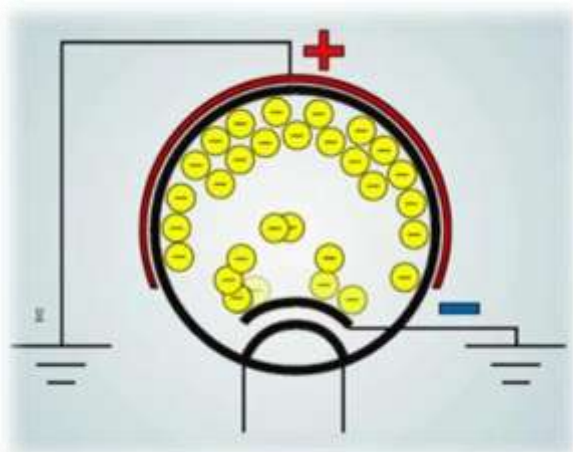


3. Електричний струм в вакуумі. Явище термоелектронної емісії та його використання в техніці.

Вакуум - це такий стан газу в посудині, при якому молекули пролітають від однієї стінки судини до іншого, жодного разу не випробувавши зіткнень один з одним.

Вакуум - ізолятор, струм в ньому може виникнути тільки за рахунок штучного введення заряджених частинок, для цього використовують **емісію** (випускання) електронів речовинами. У вакуумних лампах з нагрітих катодів відбувається термоелектронна емісія, а в фотодіоді - фотоелектронна.

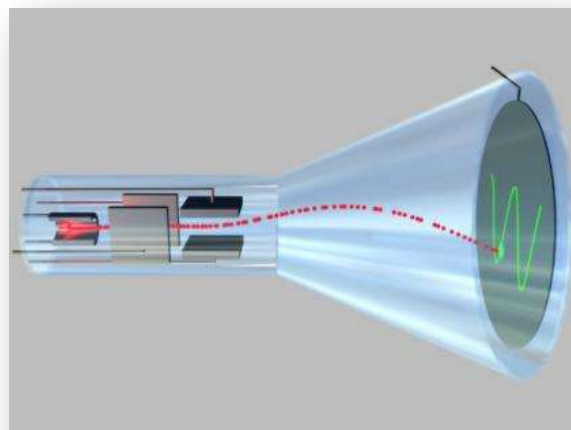
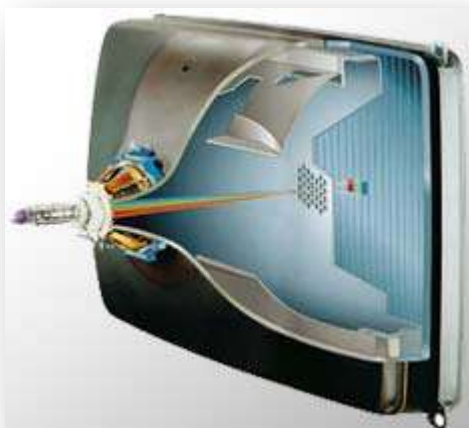
Пояснимо, чому немає мимовільного випускання вільних електронів металом. Існування таких електронів в металі - наслідок тісної сусідства атомів в кристалі. Однак вільні ці електрони тільки в тому сенсі, що вони не належать конкретним атомів, але залишаються належать кристалу в цілому. Деякі з вільних електронів, опинившись в результаті хаотичного руху в поверхні металу, вилітають за його межі. Мікро ділянка поверхні металу, який до цього був електрично нейтральним, здобуває позитивний некомпенсований заряд, під впливом якого вилетіли електрони повертаються в метал.



Процеси вильоту - повернення відбуваються безперервно, в результаті чого над поверхнею металу утворюється змінна електронна хмара, з поверхнею металу утворюють подвійний електричний шар, проти утримання сил якого повинна бути здійснена робота виходу. Якщо емісія електронів відбувається, значить, деякі зовнішні впливи (нагрівання, освітлення) здійснили таку роботу.

Термоелектронна емісія - властивість тіл, нагрітих до високої температури, випускати електрони.

Електронно-променева трубка являє собою скляну колбу, в якій створено високий вакуум (10^{-6} - 10^{-7} ступеня мм рт. ст.). Джерелом електронів є тонка дровава спіраль (вона ж - катод). Навпаки катода розташований анод у формі пустотілого циліндра, до якого електронний пучок потрапляє, пройшовши через фокусуючий циліндр, що містить діафрагму з вузьким отвором. Між катодом і анодом підтримується напруга кілька кіловольт. Прискорені електричним полем електрони вилітають з отвору діафрагми і летять до екрана, виготовленого з речовини, що світиться під дією ударів електронів.



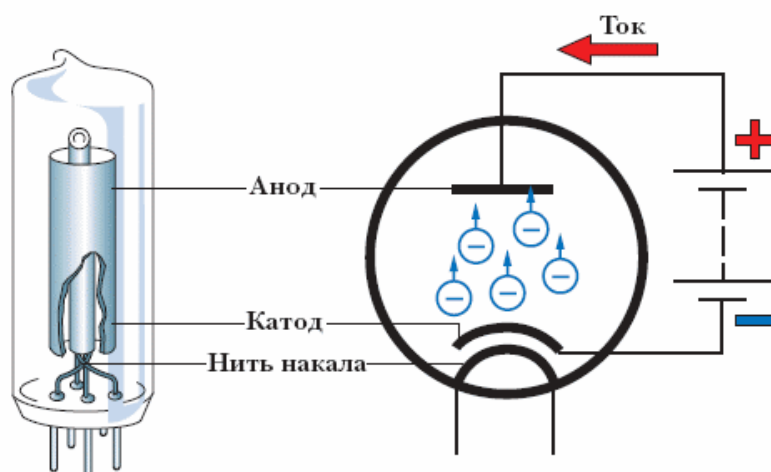
Для керування електронним променем служать дві пари металевих пластин, одна з яких розташована вертикально, а інша горизонтально. Якщо ліва з пластин має негативний потенціал, а права - позитивний, то промінь відхилиться управо, а якщо полярність пластин змінити, то промінь відхилиться вліво. Якщо ж на ці пластини подати напругу, то промінь буде робити коливання в горизонтальній площині. Аналогічно буде коливатися промінь у вертикальній площині, якщо змінна напруга на вертикально відхиляють. Попередні пластини - горизонтально відхиляють.



У електронно-променевих трубках, електронних лампах радіоприймачів і багатьох інших приладах електрони рухаються у вакуумі.

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

Будова сучасного вакуумного діода така. Усередині скляного балона відкачують повітря і туди впаюють два електроди. Катод покрито шаром оксиду лужноземельних металів. З нагріванням цього шару виділяється велика кількість електронів, які досягають анода.



В електричному колі з діодом струм проходить тоді, коли катод розігріто до високої температури, а анод з'єднано з позитивним полюсом джерела струму. У сучасних діодах використовують непряме нагрівання катода за допомогою невеликої спіралі, розміщеної всередині циліндричного катода. У цьому разі температура підігріву досягає лише 1000 K.

Вакуумні діоди використовують для випрямлення змінного електричного струму поряд з напівпровідниковими діодами.

Якщо в аноді двохелектродної електронної лампи зробити невеликий отвір, то частина електронів, прискорених електричним полем, створить за анодом електричний пучок. Кількість електронів у пучку можна регулювати, помістивши між катодом і анодом додатковий електрод і змінюючи його потенціал.

Отриманий електронний пучок має такі властивості:

- 1) попадаючи на тіла, викликає їх нагрівання і використовується для електронного плавлення надчистих металів;
- 2) під час гальмування швидких електронів пучка, що попадають на речовину, виникає рентгенівське випромінювання;

3) такі речовини, як скло, сульфід цинку і кадмію, бомбардовані електронами, світяться;

4) електронні пучки відхиляються електричним полем (наприклад, пролітаючи між пластинами конденсатора, електрон відхиляється від негативно зарядженої пластини);

5) електронні пучки відхиляються і в магнітному полі.

Властивість електронних пучків поширюватися прямолінійно, відхилятися в електричному або магнітному полі і викликати світіння люмінофорів використовують в електронно-променевих трубках.

Однак випромінювання, яке поширюється в просторі навколо електронно-променевих трубок, шкідливе і тому їх поступово замінюють на екрани з рідких кристалів.



Запитання до самоперевірки:

1. Що є носіями електричного струму у газах?
2. Які ви знаєте види розрядів у газах.
3. Перекличте способи використання газових розрядів в темниці та промисловості
4. Що таке термоелектронна емісія?
5. Поясніть будову вакуумного діода.
6. Побудувавши схему досліду, поясніть принцип роботи вакуумного діода.
7. Які функції може виконувати діод?
8. Які закономірності електричного струму у вакуумі? Чи виконується для струму у вакуумі закон Ома?
9. Що розуміють під електронним променем (пучком)?
10. Які властивості електронних променів (пучків) ви знаєте?
11. Нарисуйте схему і поясніть принцип дії електронно-променевої трубки.
12. Наведіть приклади застосування струму у вакуумі.

Тема 7. Властивості діа-, пара- та феромагнетиків. Магнітне поле Землі та інших тіл Сонячної системи

Мета:

навчальна	розгляд основних властивостей речовин в магнітному полі
виховна	- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення - формування наполегливості студентів у навчальній роботі
розвиваюча	- розвиток логічного мислення студентів - розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом - розвиток уміння пояснювати явища навколишнього середовища з фізичної точки зору

План

- Властивості діа-, пара- та феромагнетиків, їх порівняльна характеристика.
- Магнітне поле Землі.
- Магнітне поле тіл Сонячної системи.

Головне з теми:

властивості феромагнетиків
властивості парамагнетиків
властивості діамагнетиків
магнітне поле Землі
магнітні поля в Сонячній системі

1. Властивості діа-, пара- та феромагнетиків, їх порівняльна характеристика.

Розглянемо дію середовища (речовини) на магнітне поле. Досвід та теорія вказує на те, що всі речовини, які розміщені в магнітному полі, отримують магнітні властивості, тобто намагнічуються. При цьому одні речовини послаблюють зовнішнє поле, а інші його посилюють.

Діамагнетики – це речовини, які послаблюють зовнішнє магнітне поле.

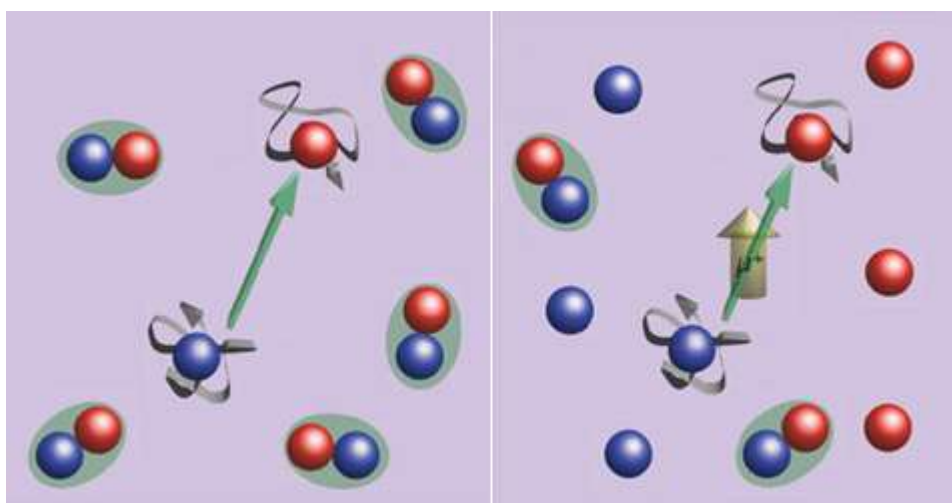
Парамагнетики – це речовини, які посилюють зовнішнє магнітне поле.

Феромагнетики – це речовини з класу пара магнетиків, які дуже сильно в 1000 разів підсилюють зовнішнє магнітне поле.

Більшість речовин – діамагнетики: фосфор, сірка, ртуть, вуглець, метали – вісмут, золото, срібло, мідь та ін. До парамагнетиків відносяться деякі гази кисень, азот, метали – алюміній, вольфрам, платина та ін. До феромагнетиків відносяться: залізо, кобальт нікель, а також сплави та оксиди цих металів та марганцю і хрому.

Фізична причина пара-, діа- та феромагнетизму виглядає таким чином: в атомах та молекулах кожної речовини існують колові струми, які утворені орбітальним рухом електронів довкола ядер. Кожному орбітальному струму відповідає свій магнітний момент: до того ж електрони ще мають власний спіновий магнітний момент; також власний магнітний момент мають ядра атомів.

Магнітний момент атома (молекули) – це геометрична сума орбітальних, спінових моментів електронів, а також власного магнітного моменту ядра.

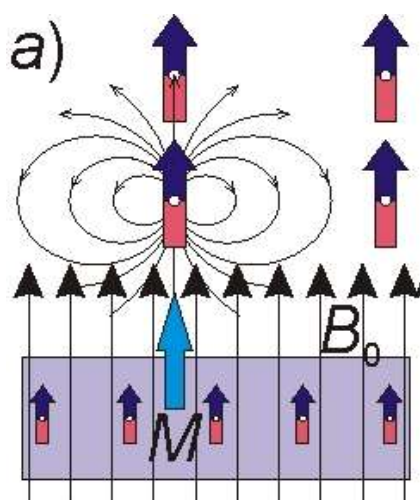


У діамагнетиків сумарний магнітний момент дорівнює нулю. Проте під дією зовнішнього магнітного поля у цих речовин індуктується магнітний момент, який спрямовується проти зовнішнього поля; діамагнітне середовище намагнічується та послаблює зовнішнє поле.

У парамагнетиків завжди існує не скомпенсований власний магнітний момент; зовнішнє поле повертає атоми парамагнетиків так, що магнітні моменти орієнтуються по полю, хоча цьому утворює перепони тепловий рух часток; внаслідок магнітної орієнтації парамагнетики утворюють власне поле, яке підсилює зовнішнє магнітне поле.

Феромагнетики

Особливу групу речовин, що намагнічуються, утворюють феромагнетики. Такі речовини, внесені в магнітне поле, під його дією намагнічуються так, що підсилюють зовнішнє магнітне поле, тобто магнітні силові лінії зовнішнього магнітного поля $\mathbf{B}$ і магнітного поля речовини $\mathbf{B}'$ мають один і той же напрям. Ці речовини намагнічуються дуже сильно і зберігають власне магнітне поле після припинення дії зовнішнього поля. Це явище називається залишковим намагнічуванням і лежить в основі утворення штучних магнітів, наприклад, магнітних стрілок.



Окрім цього, для них характерне явище магнітного насичення, яке полягає у тому, що при їхньому намагніченні і поступовому збільшенні зовнішнього поля власне поле речовини спочатку зростає пропорційно до зовнішнього, відтак ця пропорційність порушується і, зрештою, зростання власного поля припиняється: речовина знаходиться в стані магнітного насичення.

Властивості феромагнетиків пов'язані з наявністю у їхній структурі груп атомів, які називаються доменами, котрі вже мають узгоджену орієнтацію елементарних магнітних полів. Орієнтація полів самих доменів, яка відбувається при намагнічуванні, створює власне поле речовини значно сильніше, ніж у інших магнетиків, у яких відбувається лише часткова орієнтація елементарних полів атомів речовини. Орієнтація

полів доменів значною мірою зберігається і після припинення дії зовнішнього поля. Така суть залишкового намагнічування. Проте інтенсивний тепловий рух може зруйнувати цю орієнтацію, тому за високої температури феромагнітні речовини втрачають свої магнітні властивості.



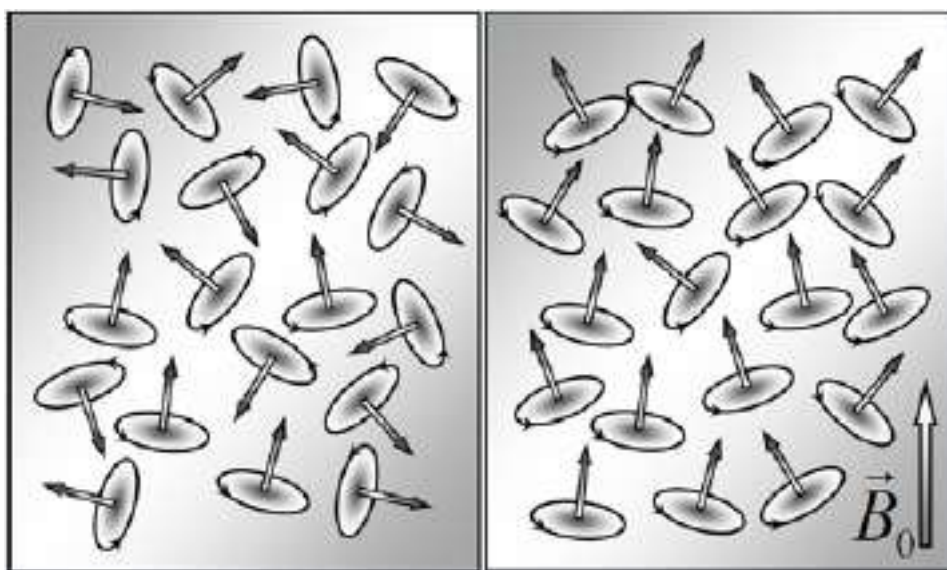
Температура, за якої це відбувається, має назву точки Кюрі (на честь французького вченого, який відкрив це явище). Якщо намагнічений цвях дуже нагріти, то він втратить здатність притягати до себе залізні предмети. Для заліза і сталі точка Кюрі дорівнює 700-800°C, для нікелю — 300-400°C. Існують магнетики, для яких точка Кюрі нижча від 100°C. Стан магнітного насичення відповідає, очевидно, найповнішій можливій орієнтації полів доменів. До феромагнетиків належать: залізо, сталь, нікель, кобальт і деякі сплави (пермалой, магніто, алніко тощо). Отже, магнітне поле, що утворюється у речовині, є результатом додавання двох полів: зовнішнього поля і власного поля речовини, яке виникає у результаті намагнічування. Магнітна індукція **B** поля у речовині — це алгебраїчна сума індукції зовнішнього поля **B₀** та індукції **B_в** власного поля речовини:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_в = \beta_0$$

Для феромагнетиків $\beta_0 \gg 1$, тобто індукція результуючого поля є значно більшою від індукції **B₀** магнітного поля у вакуумі.

Парамагнетики

Речовини атоми яких мають власне елементарне магнітне поле, що утворилося внаслідок руху електронів по орбітах атомів (цей рух може розглядатися як деякий мікрострум), називаються парамагнетиками. Тіла, що складаються з таких речовин, немагнітні. Вони власного магнітного поля не утворюють, оскільки елементарні поля атомів мають в масі речовини хаотичну просторову орієнтацію, яка в процесі теплового руху весь час змінюється, і тому вони взаємно компенсуються. Але якщо таку речовину внести в потужне магнітне поле, то орієнтація мікрострумів, у результаті якої в атомах парамагнетиків створюється власне елементарне магнітне поле, зміниться так, що ці поля набудуть напрямку такого ж, як і зовнішнє поле. Додаючись, вони утворюють власне магнітне поле речовини, яке напрямлене узгоджено із зовнішнім полем і його підсилює. Цей ефект називається парамагнетизмом.



Якщо парамагнітне тіло піднести до полюсів магніту, воно притягується, а коли стержень із парамагнетика вільно висить на нитці, то встановлюється вздовж силових ліній поля магніту. До парамагнітних тіл належать гази, лужні та лужноземельні метали, алюміній, платина, вольфрам, хром, марганець, розчини солей заліза тощо.

Таким чином, магнітне поле, що утворюється у речовині, є результатом додавання двох полів: зовнішнього і власного поля

речовини, яке виникає у результаті намагнічування. Магнітну індукцію $\mathbf{B}$ поля в речовині можна виразити як алгебраїчну суму індукції зовнішнього поля $\mathbf{B}_0$ та індукції $\mathbf{B}_v$ власного поля речовини:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_v = \beta_0$$

Для парамагнетиків відносна магнітна проникність $\beta_0 > 1$, тобто магнітна індукція зовнішнього поля за наявності парамагнетика виявляється більшою за магнітну індукцію без парамагнетика.

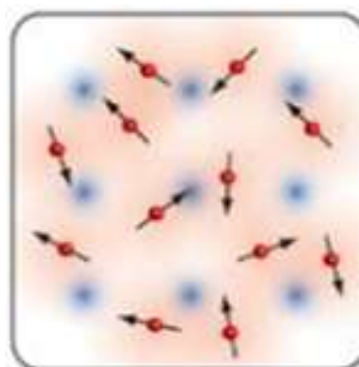
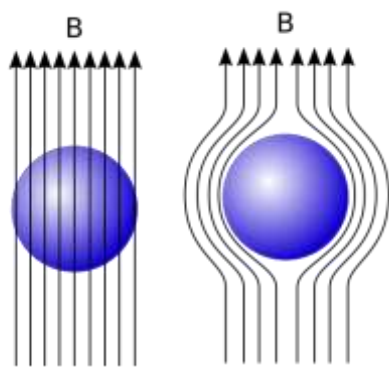
У неоднорідному магнітному полі парамагнетик втягується у ділянку з більшою індукцією магнітного поля.

Якщо парамагнетик винести з магнітного поля, то його речовина повертається у вихідний немагнітний стан.

Діамагнетики

Рух електронів по орбітах в атомах можна розглядати як деякий мікрострум. Усі ці мікроструми утворюють свої магнітні мікрополя, які, додаючись, утворюють власне елементарне магнітне поле атома. Проте в деяких випадках (за певної кількості електронів у атомі і відповідних орієнтаціях їхніх рухів) мікрополя в атомі можуть взаємно компенсуватися і тоді атом власного елементарного магнітного поля не має.

Речовини, атоми яких власного елементарного магнітного поля не мають, називаються діамагнетиками. Тіла, що складаються з діамагнетичних речовин, немагнітні. Вони власного магнітного поля не утворюють, оскільки елементарні магнітні поля атомів відсутні.



Якщо діамагнетичну речовину помістити у зовнішнє магнітне поле, то на мікроструми в його атомах з боку поля діятимуть сили Лоренца, які викличуть зміну просторової орієнтації орбіт електронів. У зв'язку з цим в атомах з'являються наведені елементарні магнітні поля, напрями яких протилежні зовнішньому полю (правило Ленца). У результаті додавання цих елементарних полів утворюється власне магнітне поле речовини, яке спрямоване назустріч зовнішньому полю, і його послаблює. Цей ефект називається діамагнетизмом і у діамагнетиків є єдиним результатом дії зовнішнього поля.

Якщо діамагнітне тіло піднести до полюсів магніту, то воно виштовхується в ділянку слабого магнітного поля, а коли стержень з діамагнетика вільно висить на нитці в однорідному магнітному полі, то встановлюється перпендикулярно до силових ліній поля. До діамагнітних речовин належать: вода, переважна частина органічних сполук (наприклад, вуглеводи і білки), алмаз, графіт, майже всі гази, а також деякі метали (вісмут, срібло, цинк, мідь, золото). Якщо діамагнетик винести із зовнішнього магнітного поля, він повертається у вихідний немагнітний стан.

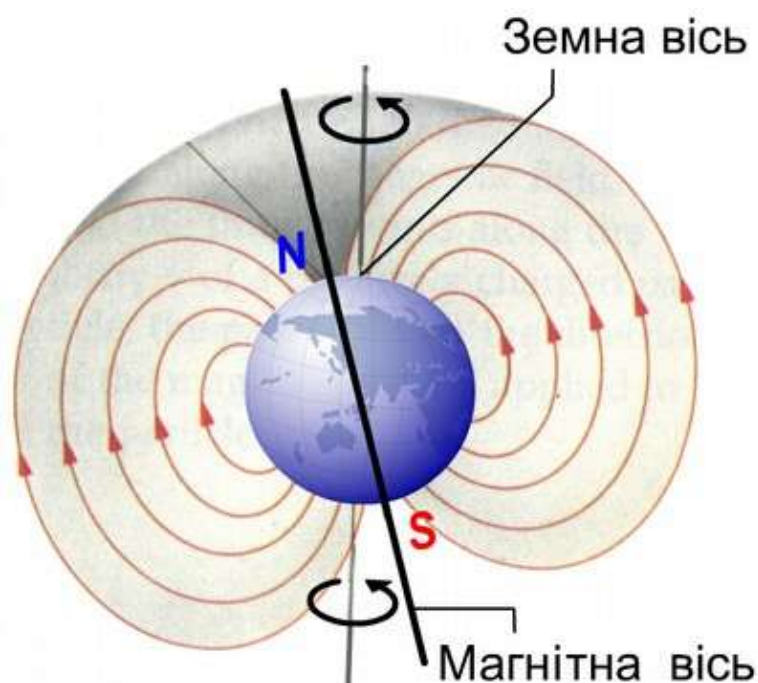
Таким чином, магнітне поле, що утворюється у діамагнетику, внесеному в зовнішнє магнітне поле, є результатом додавання двох полів: зовнішнього і власного поля речовини, яке виникає у результаті намагнічування. Магнітну індукцію $\mathbf{B}$ поля в речовині можна виразити як алгебраїчну суму індукції $\mathbf{B}_0$ поля, що намагнічує, та індукції $\mathbf{B}_в$ власного поля речовини:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_в = \beta_0$$

Для діамагнетиків відносна магнітна проникність $\beta_0 < 1$, тобто магнітна індукція поля за наявності діамагнетика виявляється меншою за магнітну.

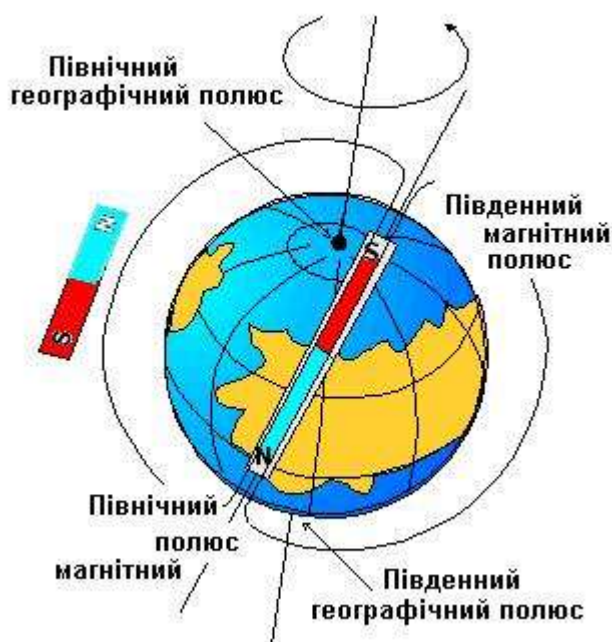
2. Магнітне поле землі.

Земля – це величезний магніт, навколо якого створюється магнітне поле. Магнітні полюси Землі не співпадають з істинними географічними полюсами – північним та південним. Силкові лінії, які йдуть від одного магнітного полюса до іншого називаються магнітними меридіанами. Між магнітним та географічним меридіаном утворюється деякий кут (біля $11,5^\circ$), званий магнітним відхиленням. Тому намагнічена стрілка компасу точно вказує на напрямлення магнітних меридіанів, а напрямлення на північний географічний полюс – лише приблизно.

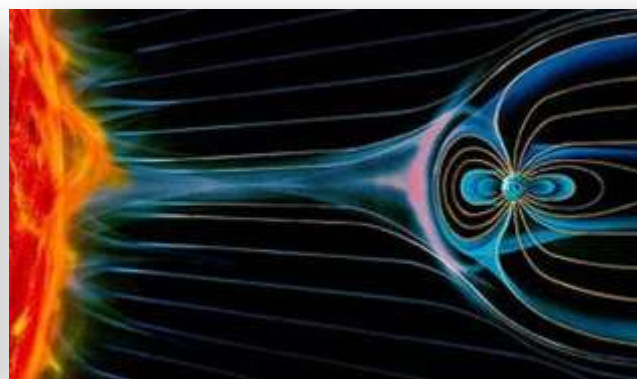


Вільно підвішена магнітна стрілка розташовується горизонтально лише на лінії магнітного екватора, який не збігається з географічним. Якщо рухатися на північ від магнітного екватора, то північний кінець стрілки поступово опускатиметься. Кут, утворений магнітною стрілкою і горизонтальною площиною, називають магнітним нахилом. На Північному магнітному полюсі (77° п.ш. і 102° з.д.) вільно підвішена магнітна стрілка встановиться вертикально північним кінцем вниз, а на Південному магнітному полюсі (65° п.ш. и 139° с.д.) її південний кінець опуститься вниз. Таким чином,

магнітна стрілка показує напрям силових ліній магнітного поля над земною поверхнею.

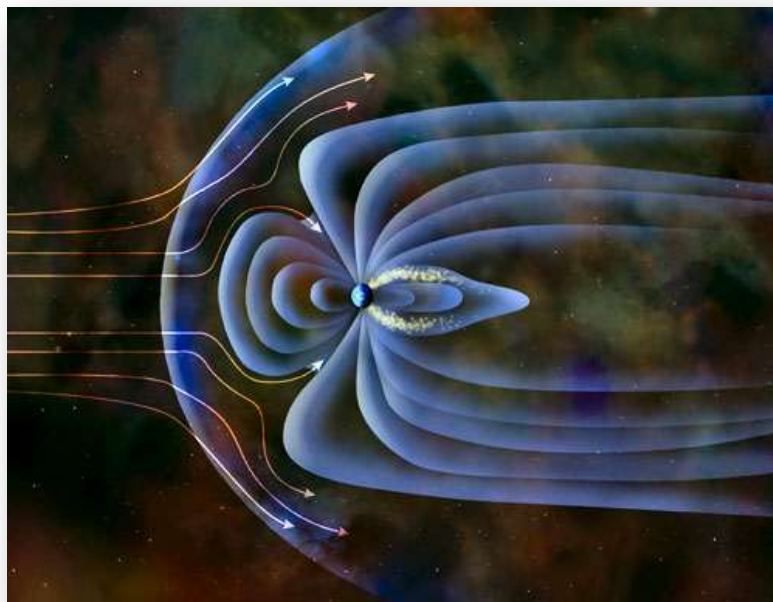


Полярне сяйво - оптичне явище у верхніх шарах атмосфери, світіння окремих ділянок нічного неба, що швидко змінюється

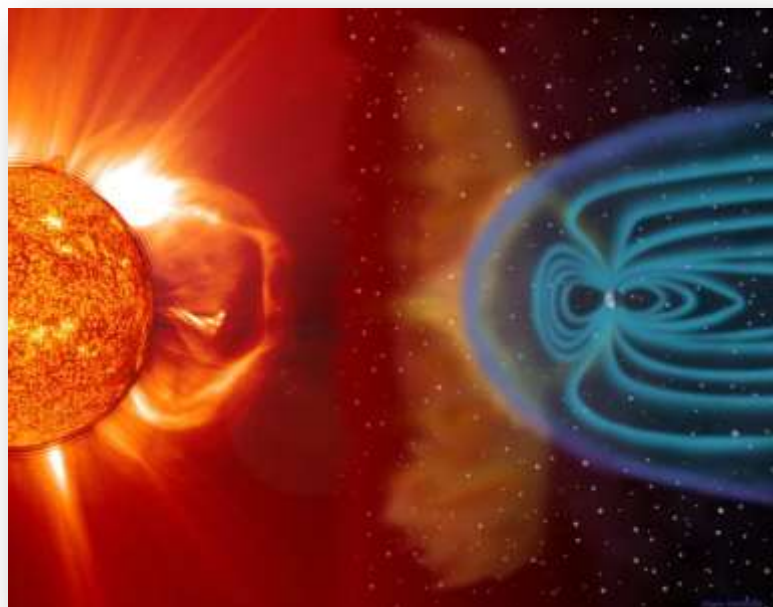


Вважається, що постійне магнітне поле наша планета генерує сама. Воно створюється завдяки системі електричних токів, що виникають при обертанні Землі і переміщенні рідкої речовини в її зовнішньому ядрі. Положення магнітних полюсів і розподіл магнітного поля по земній поверхні з часом змінюються. Магнітне поле Землі тягнеться до висоти біля 100

тис. км. Воно відхиляє або захоплює частинки сонячного вітру, шкідливі для всіх живих організмів. Ці заряджені частинки утворюють радіаційний пояс Землі, а вся область навколоземного простору, в якій вони знаходяться, називають магнітосферою.



Сонце надсилає до Землі величезний потік енергії, що складається з електромагнітного випромінювання (видимого світла, інфрачервоного і радіовипромінювання); ультрафіолетового і рентгенівського випромінювань; сонячних космічних променів, виникаючих тільки під час дуже сильних спалахів; та сонячного вітру – постійного потоку плазми, створеного головним чином протонами (іони водню).



Електромагнітне випромінювання Сонця приходить до Землі через 8 хвилин, а потоки частинок рухаються зі швидкістю біля 1000 км/с та затримуються на дві-три доби. Основною причиною збурень сонячного вітру, що істотно впливають на земні процеси, є грандіозні викиди речовини з корони Сонця. При русі до Землі вони перетворюються на магнітні хмари і приводять до сильних, інколи екстремальних збурень на Землі. Особливо сильні збурення магнітного поля Землі — магнітні бурі — порушують радіозв'язок, викликають інтенсивні полярні сяйва.

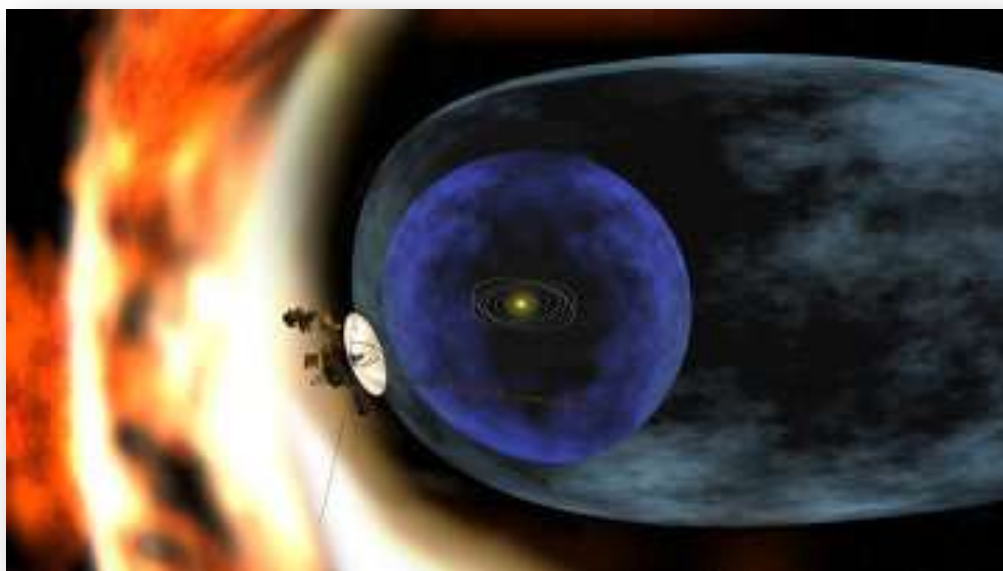
Магнітне поле Землі має напруженість близько 0,5 е і дозволяє користуватися компасом, що можливо не на кожній планеті. З віддаленням від Землі напруженість її магнітного поля слабшає. Поле відіграє велику роль у русі часток біля Землі, які несуть електричний заряд. У магнітному полі такі частинки рухаються по спіралі, віссю якої є силова лінія поля.

Після 1958 р. з'ясувалося, що магнітне поле Землі утримує електрони і протони (ядра водню), які сконцентровані навколо Землі, утворюючи радіаційний пояс. Його називають ще поясом частинок високих енергій. Внутрішня частина поясу простягається приблизно від 500 до 5000 км від поверхні Землі. В основному вона складається з протонів, що виникають при розпаді нейтронів, утворених в атмосфері при бомбардуванні її космічними променями. Радіаційний пояс - велика небезпека для космонавтів, тому що частки, стикаючись з кораблем, створюють рентгенівське випромінювання, проникаюче через оболонку корабля. Це треба враховувати при запуску космічних кораблів з людиною на борту.

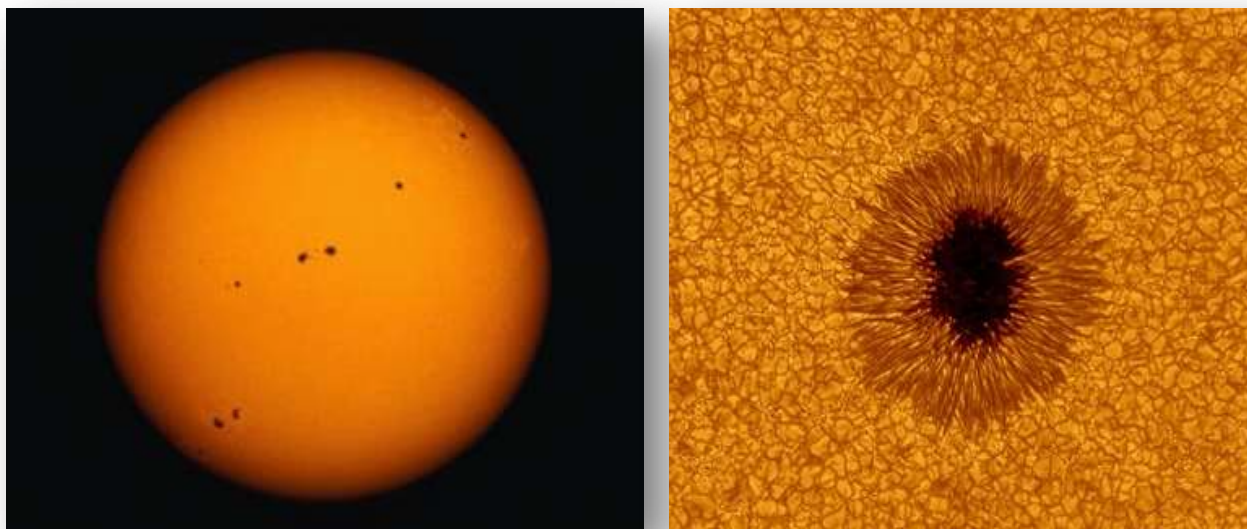
В деяких районах планети спостерігається відхилення магнітного нахилу від середніх значень для даної території. Наприклад, в Курській області в районі родовища залізної руди напруга магнітного поля в 5 разів більша, ніж середня для цього району. Родовища так і називається – Курська магнітна аномалія. Інколи подібні відхилення спостерігаються на великих площах.

2. Магнітне поле тіл Сонячної системи.

Сонце є водневою бомбою безупинної дії, правда бомбою доброзичливою, схованою під газовим покривалом товщиною понад півмільйона кілометрів. На сонячній поверхні безупинно бушують могутні розпечені урагани. Дуже цікаво, що магнітне поле Сонця відіграє значну роль у явищах, що там відбуваються.



На Землі магнітне поле підкорюється строгому порядку, воно вказує напрямком з Півдня на Північ і служить мореплавцям при роботі з компасом. На Сонці ж силові лінії магнітного поля сильно вигнуті і постійно переплітаються під дією сонячних бур. Якщо речовину нагріти настільки, що атоми будуть утрачати свої електрони при сильних зіткненнях один з одним, то вона виявиться в стані, яку фізики називають плазмою. Магнітне поле в цьому випадку відіграє роль пляшки, з якої плазма не може вийти, хіба що у виняткових випадках. На Сонці магнітне поле захоплює за собою плазму і переміщує її, як ополоником у каструлі. Часом трапляється, що області сонячної речовини, у яких магнітне поле сильне, виходять на поверхню Сонця, і плазма в них прохолоджується, випромінюючи назовні тепло, у той час як гаряча плазма із сусідніх областей проникнути до неї не може. Такі більш холодні зони виглядають темними плямами на поверхні Сонця; це і є знамениті сонячні плями, відкриті Галілеєм.



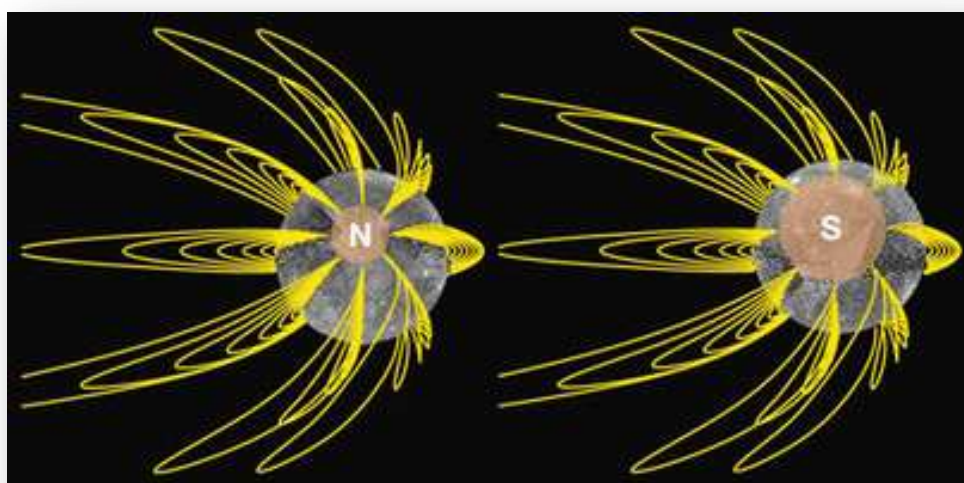
Буває також, що магнітні силові лінії так закручуються, що можуть зламатися, передаючи усю свою енергію плазмі, що тоді бурхливо нагрівається і прискорюється до швидкостей у кілька сотень кілометрів у секунду; у таких випадках спостерігаються так звані сонячні спалахи. Про сонце нам відомо вже дуже багато чого, але не все. Так, кількість сонячних плям міняється, впливаючи з одинадцятирічного циклу, але разом з тим спостерігаються і вікові зміни, що якимсь таємничим чином впливають на клімат Землі.



Планета **Меркурій** є не тільки пекельно спекотною, вона ще й цілком покрита самородною сіркою. Простори планети

покриті застиглою лавою. Її достатньо для того, щоб покрити поверхню України шаром завтовшки 5,6 м.

Це та інші дивовижні відкриття були анонсовані в кількох виданнях 30 вересня з посиланням на журнал Science. Нові дані отримані за допомогою зонду NASA – Месенджер. Цей апарат було запущено в 2004 році, а в травні 2011 він вийшов на орбіту Меркурія. До речі, це тільки другий зонд, який наблизився до Меркурія. Першим був американський зонд Марінер, який здійснив близький проліт всередині 70-х. Месенджер також дослідив магнітне поле Меркурія – єдиної планети земної групи, яка володіє глобальним магнітним полем. Ці поля утворилися внаслідок роботи «планетних динамо-машин»: протікання електропровідних рідин в рідкому металічному ядрі. Варто нагадати, що саме земна магнітосфера запобігає руйнуванню нашої атмосфери, а це робить її важливою складовою існування життя на планеті.



Дані магнітометра показали, що магнітне поле Меркурія направлене майже так само як і його вісь обертання, з відхиленням всього на 3 градуси. В той же час, його магнітний екватор знаходиться північніше від географічного приблизно на 484 кілометри. Це зміщення показує, що біля північного полюса магнітне поле в три-чотири рази сильніше ніж поблизу південного, що безперечно впливає на опромінення радіацією різних півкуль планети.

Магнітне поле Меркурія значно слабше ніж Землі. Це пояснюється тим, що «динамо-машина» Меркурія складається із значно тоншого шару розплавленого металу в його зовнішньому ядрі. Тепер вчені намагаються зрозуміти як циркуляція зовнішньої частини ядра, яке частково якого все ще залишається рідким, може генерувати поле, напрямлене так само як і вісь обертання і так сильно зміщене на північ.

Ця слабка магнітосфера звичайно забезпечує невеликий захист планети від сонячного вітру. Земна магнітосфера достатньо сильна для того, щоб відхилити більшість його потоку. Проте на Меркурії сонячний вітер безперечно «обдуває» поверхню полюсів, захоплюючи натрієві частки з планети. Ці частинки стають частиною екзосфери – надзвичайно тонким шаром молекул, який становить атмосферу Меркурія.

Месенджер також виявив, що на відміну від Землі та інших планет Сонячної системи із внутрішніми магнітними полями, Меркурій не оточений кільцями заряджених частинок. Магнітне поле Меркурія без сумніву занадто слабе для того щоб утримувати їх.

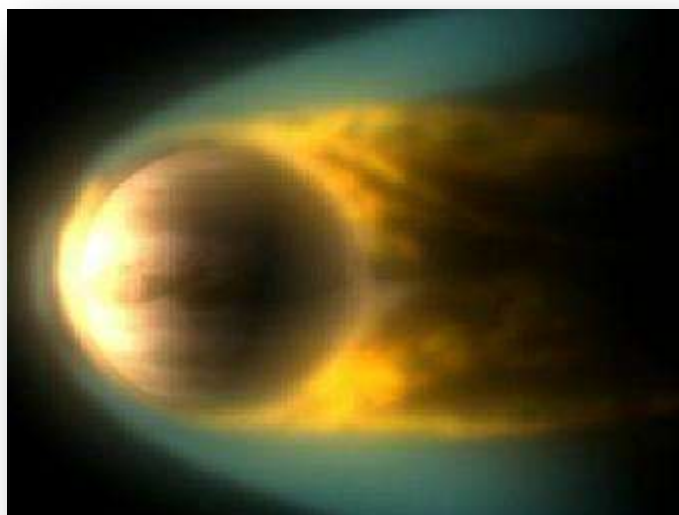
Венера.

Хоча у Венери й Землі близькі розміри, середня густина й навіть внутрішня будова, проте Земля має досить потужне магнітне поле, а Венера його не має.

За однією з сучасних теорій джерело напруженість дипольного магнітного поля залежить від прецесії полярної осі і вектора кутової швидкості. Саме цей параметр на Венері мізерно малий, але виміри свідчать про нижчу напруженість, ніж та, яку передбачає теорія.

Хоча загального дипольного поля у Венери немає, проте магнітне поле, хоча й досить слабе, на Венері є. У провідному шарі атмосфери, іоносфері, магнітне поле наводиться сонячним магнітним полем і сонячним вітром. Міжпланетне магнітне поле напруженістю близько 10 нТл взаємодіє з іоносферою планети, яка рухається в ньому. Оскільки іоносфера — провідник, у ній з'являються електричні струми, які, у свою чергу, збуджують магнітні поля. Щоправда, вони мають локальний характер,

орієнтовані випадково, мають невелику напруженість (15-20 нТл). Взаємодія цих полів з плазмою сонячного вітру ще більше ускладнює явище. Тому у Венери немає радіаційних поясів у традиційному їх розумінні.



Сонячний вітер - практично постійний потік заряджених частинок, що викидається Сонцем - поступово знищує іоносферу Венери і Марса. Іоносфера - верхній шар атмосфери, що складається в основному знову ж таки із заряджених частинок (що іонізувалися під впливом сонячного світла), які через взаємодію з сонячним вітром постійно несуться в простір. Атмосферу Землі від безпосередньої взаємодії з сонячним вітром захищає сильне магнітне поле, якого немає у сусідніх планет.

Цікаво, проте, що сама взаємодія потоків заряджених частинок створює навколо Марса і Венери слабкі магнітні поля, які витягуються в довгий хвіст з дальньої від Сонця сторони планети. Структури цих полів, як виявилось, дуже схожі, не дивлячись на те, що Венера помітно ближча до Сонця, більша і має набагато щільнішу атмосферу. На думку учених, це пояснюється тим, що на висоті близько 250 кілометрів щільності іоносфери двох планет однакові.

Дослідження виявило і відмінності. Так, Венера піддається атаці більш концентрованого сонячного вітру, тому навколо неї магнітне поле сильніше і частинки іоносфери, що покидають його, поведуться не так, як на Марсі.

На **Марсі** ж були виявлені невеликі магнітні поля навколо певних ділянок кори планети. У деяких областях ці поля захищають атмосферу, а в деяких, навпаки, прискорюють витікання частинок з неї в космос. Результати експериментів дозволяють припускати, що магнітне поле Марсу, перестало існувати мільярди років тому. Марс втратив магнітне поле, у той час, як у Землі воно існує донині. Вважається, що в Землі воно виникає через ствердіння внутрішньої частини ядра. Воно, завдяки тертю об зовнішню частину, що складається з розплавленого заліза, працює за принципом динамо-машини.

Магнітне поле **Місяця** за останні 20 років активно вивчався людиною. Місяць позбавлена дипольного поля. Через це міжпланетний магнітне поле не помічає Місяця, і магнітні лінії вільно проходять крізь супутник. На Місяці виявлено 2 типу магнітних полів: постійні та змінні.

Постійні поля створюються від намагнічених порід поверхні. Вони швидко змінюються від однієї точки до іншої. А змінні поля виникають в надрах Місяця через міжпланетних магнітних полів.

Існувало дві гіпотези про намагніченості Місяця. Перша: магнітні поля виникають на поверхні в результаті зіткнення з іншими космічними тілами. Друга: причиною магнітних полів супутника є те, що у Землі було рідке ядро. Пізніше з'явилася нова гіпотеза: Земля зіткнулася з космічним тілом і від неї відірвався шматок, який пізніше став її супутником Місяцем.

Американські астронавти під час місій Аполонів доставили на Землю зразки місячної породи, які несли в собі сліди магнітного поля, якого позбавлений сучасний Місяць.

Згідно із сучасним уявленням, маса і розміри Місяця занадто малі для виникнення в його надрах "магнітного динамо" - потоків розплавленого металу, які є джерелом магнітного поля, зокрема, на Землі.

Конвективні потоки забезпечують можливий механізм генерації юпитерианського магнітного поля. Конвективність плин у шарі рідкого металевого водню, що відхиляються

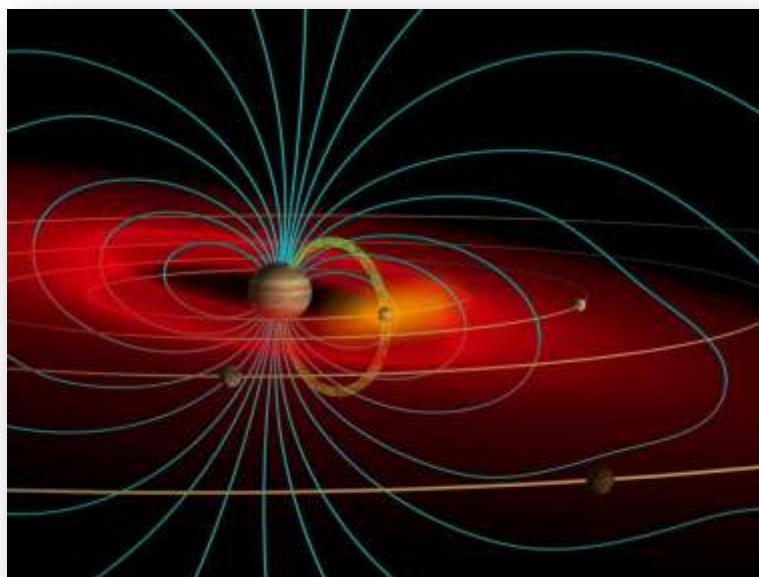
кориолісовими силами, створюють петлі електричного струму, що генерують магнітне поле.

Юпітер має сильне магнітне поле, що більше земного в 12 разів. Компас на Юпітері буде працювати дуже добре, але, на жаль, його північна стрілка буде вказувати строго на південь. Учені вважають, що сильне магнітне поле Юпітера обумовлено швидким обертанням планети.



Ні поверхня, ні внутрішня частина Юпітера недоступні нам сьогодні; коли ми дивимося на планету, бачимо тільки верхні шари атмосфери. Видимий диск планети покритий стійкою послідовністю темних і світлих поясів, орієнтованих паралельно екватору. Домовилися світлі пояси називати зонами, а темні — смугами. Зони звичайно міняють свій колір від чисто білого до ясно-жовтого, а смуги мають різні відтінки червонясто-коричневого. П'ять зон і чотири смуги в центральній частині диска є постійними утвореннями, хоча повільно міняють свій колір, ширину і яскравість. На більше високих широтах смуги менш стабільні, і на широті більше 50° шаруватий малюнок зникає зовсім, переміняючись менш вираженою структурою полярних областей

Внутрішнє магнітне поле планети створене електричними струмами, що течуть у внутрішньому ядрі планети, яке складається з металічного водню. В дійсності, магнітосфера Юпітера сформована плазмою Io і її власним обертанням, а не сонячним вітром як магнітосфера Землі. Сильні потоки, що протікають в магнітосфері, призводять до постійних полярних сьйв на полюсах планети і інтенсивних змін у радіодіапазоні, що дає можливість вважати Юпітер дуже слабким радіопульсаром. Полярні сьйва Юпітера спостерігались майже у всіх частинах електромагнітного спектру, включаючи інфрачервоні, видимі, ультрафіолетові і м'які рентгенівські промені.



Фізичні властивості простору всередині магнітосфери визначаються власним магнітним полем планети. З денного боку зовнішня границя магнітосфери знаходиться на відстані 50 — 100 радіусів Юпітера, змінюючись в цих межах в залежності від флуктуацій потоку сонячного вітру, а з нічного боку утворюється магнітний шлейф, що простягається на відстань більше 5 а.о., за орбіту Сатурна.

Всередині юпітеріанської магнітосфери лежать орбіти галілеєвих супутників. Заряджені частинки, що захоплюються магнітним полем і створюють радіаційний пояс, зумовлюють в свою чергу сильний вплив на топологію поля і конфігурацію магнітосфери. Обертаючись разом з планетою, вони утворюють у зовнішніх областях, де поле послаблене, «магнітний диск», який

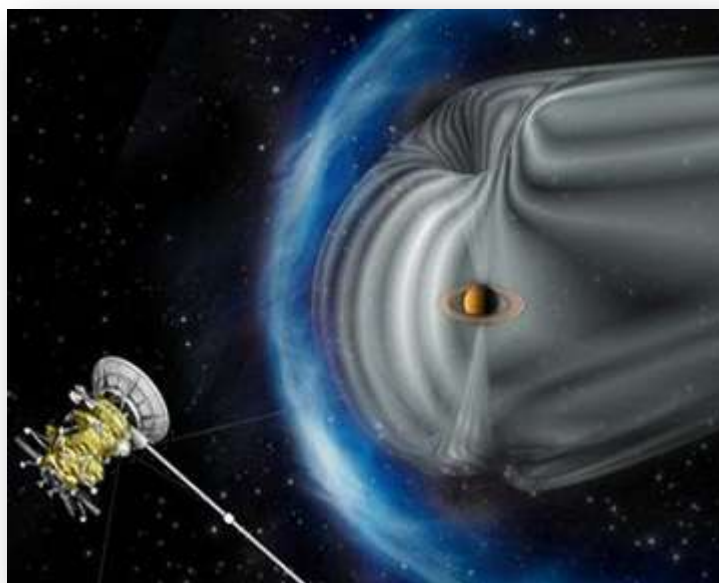
відхиляється від площини магнітного екватора до площини, перпендикулярної осі обертання.

На відміну від Землі, основним джерелом плазми в магнітосфері Юпітера є Іо. Втрати, ймовірно, визначаються головним чином розсіянням швидких частинок на хвилях турбулентної плазми, що збуджуються за рахунок циклотронної нестійкості. Додаткові втрати, вочевидь, пов'язані із потужним прискоренням електронів в магнітосфері Юпітера.

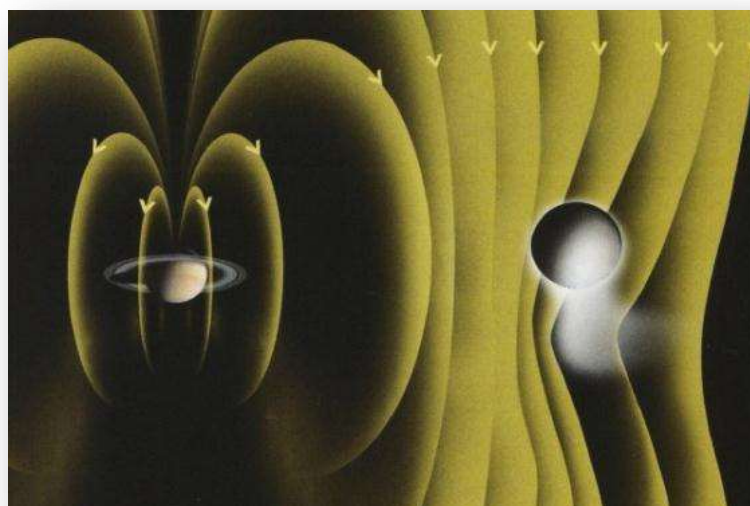
Всередині магнітосфери генеруються дециметрове і декаметрове радіовипромінювання Юпітера. Сплески декаметрового випромінювання на частоті ~ 8 МГц, ймовірно, пов'язані із плазовими нестабільностями іоносфери або з електричними розрядами в атмосфері, в той час як дециметрове випромінювання виникає при русі захоплених релятивістських електронів з енергіями ~ 10 МеВ між магнітними полюсами на відстанях $\sim 1,5 - 6$ радіусів планети. Це випромінювання модульовано з частотою, що відповідає періоду обертання Іо, що обумовлено взаємодією з його плазовим тором, створеним іонами сірки і кисню і може слугувати джерелом низькочастотного радіовипромінювання (з довжиною хвилі порядку кілометра), зареєстрованого апаратами Вояджер.

З тороїдальною хмарою плазми, яка обертається разом з магнітним полем Юпітера, по-видимому, пов'язане й інше явище, добре відоме на Землі, — полярні сяйва. Вони спостерігались в атмосфері Юпітера під час обох прольотів космічних апаратів «Вояджер» на висотах 700, 1400 і 2300 км від видимої границі хмар (в той час на Землі полярні сяйва в основному спостерігаються на висотах 100 — 200 км). Вивчення отриманих результатів виявило цікаву особливість: в зону полярних сяйв проеціюються магнітні силові лінії, що проходять через плазовий тор на орбіті Іо. В результаті утворюються токові трубки, приєднані з обох боків до Юпітера в його полярних областях. Передбачають що потоки електронів і іонів, що вторгаються в атмосферу вздовж магнітних силових ліній, інтенсифікуються сильними електричними полями. Сила струму, протікаючого всередині струмової трубки, оцінюється величиною порядку п'яти мільйонів ампер.

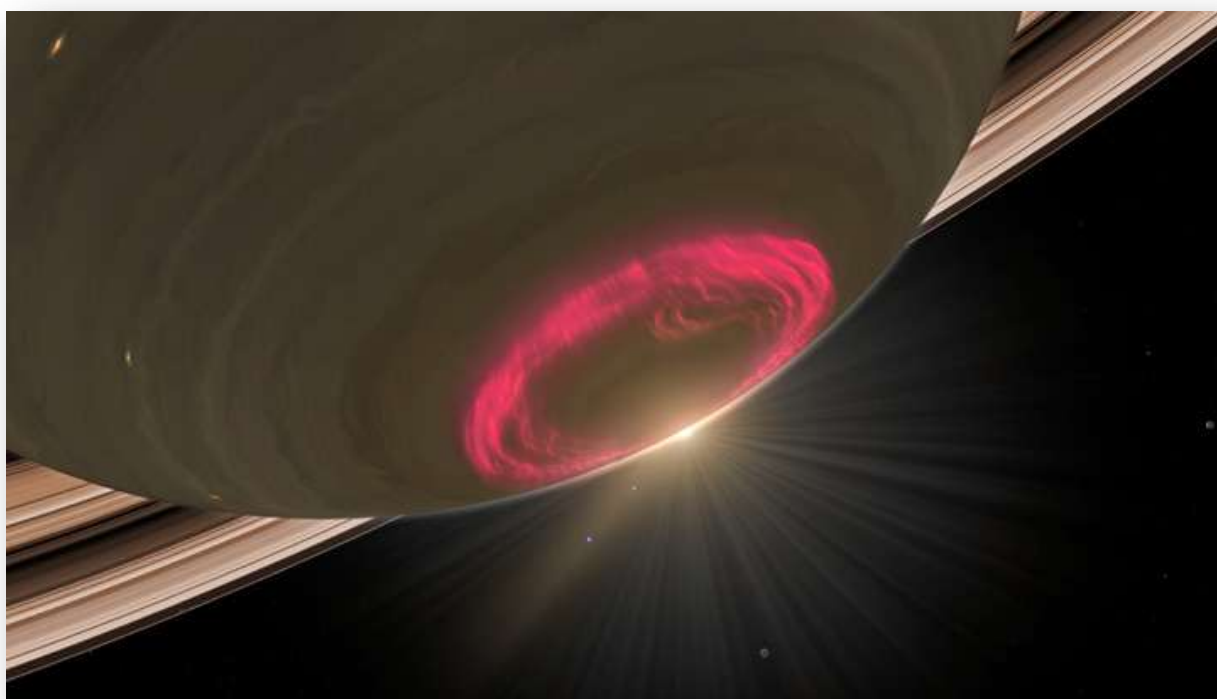
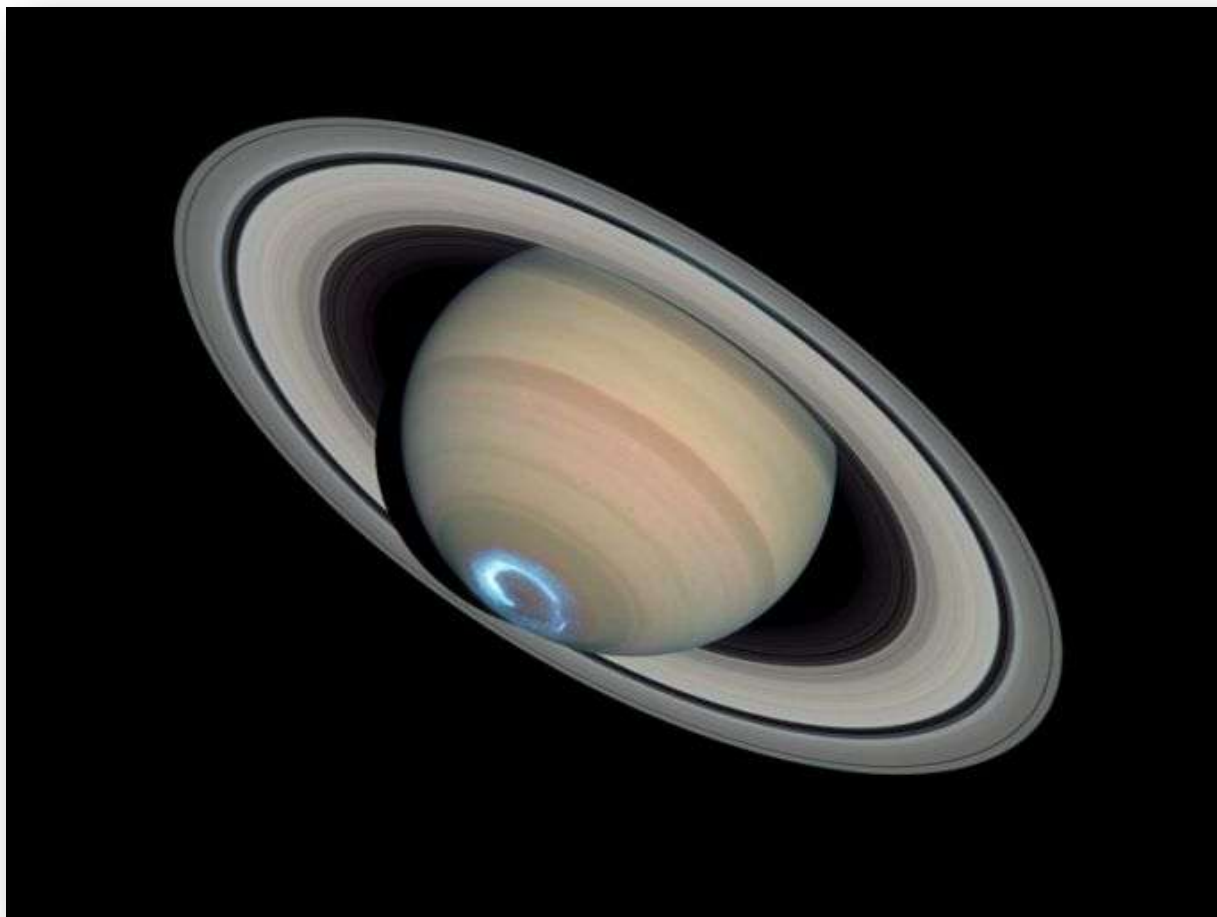
Магнітосфера **Сатурна** — це порожнина у сонячному вітрі, створена магнітним полем планети. Відкрита космічним апаратом Піонер 11 у 1979 році. За розмірами поступається лише магнітосфері Юпітера. Магнітопауза, границя між магнітосферою Сатурна та сонячним вітром, розташована на відстані порядку 20 радіусів Сатурна від його центру, а хвіст магнітосфери протягається на сотні радіусів.



Магнітосфера Сатурна наповнена плазмою, що продукується планетою та її супутниками. Серед супутників найбільшу роль грає Енцелад, гейзери якого щосекунди викидають близько 1000 кг водяної пари, частина якої іонізується магнітним полем Сатурна.



Взаємодія між магнітосферою Сатурна та сонячним вітром генерує яскраві овали полярного сяйва навколо полюсів планети, які спостерігаються у видимому, ультрафіолетовому та інфрачервоному світлі.



Магнітне поле Сатурна, так само як і Юпітера, створюється гідромагнітним динамо за рахунок циркуляції металевого водню у зовнішньому ядрі. Магнітне поле є майже дипольним, так само як і у Землі, з північним та південним магнітними полюсами. Північний магнітний полюс знаходиться у північній півкулі, а південний — у північній, на відміну від Землі, де південний полюс розташований у північній півкулі, а північний — в південній півкулі.

Величина магнітного поля на екваторі Сатурна $21 \mu\text{Ta}$ (0.21 Гс). Магнітний диполь Сатурна жорстко зв'язаний з його віссю обертання, тому магнітне поле дуже асиметричне. Диполь дещо зміщений вздовж осі обертання Сатурна до північного полюсу.

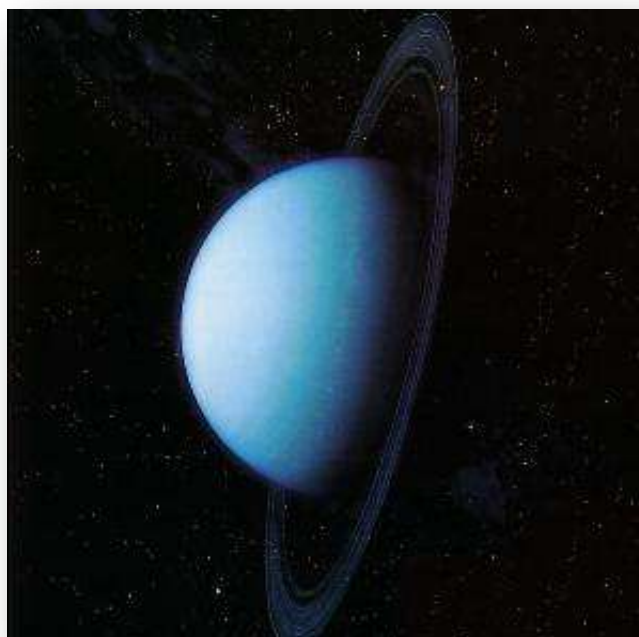
Внутрішнє магнітне поле Сатурна відхиляє сонячний вітер від поверхні планети запобігаючи його взаємодії з атмосферою і створює область, що називається магнітосферою і наповнена плазмою зовсім іншого складу, ніж плазма сонячного вітру.

Як і у магнітосфері Землі, границя між сонячним вітром та магнітосферою називається магнітопаузою. Відстань від магнітопаузи до центру планети (по прямій Сонце — Сатурн) від 16 до 27 R_s ($R_s=60,330 \text{ км}$ — екваторіальний радіус Сатурну). Відстань залежить від тиску сонячного вітру, який залежить від сонячної активності. Середня відстань до магнітопаузи становить 22 R_s .

Уран став першою планетою, відкритою у Новий час і за допомогою телескопа. Про відкриття Урана Вільям Гершель повідомив 13 березня 1781 року, тим самим вперше з часів античності, розширив межі Сонячної системи. Хоча деколи Уран помітний неозброєним оком, ранні спостерігачі ніколи не визнавали Уран за планету через його тьмяність та повільний рух по орбіті.

На відміну від інших газових гігантів — Сатурна та Юпітера, що складаються в основному з водню і гелію, в надрах Урана та схожого з ним Нептуна, відсутній металевий водень. Проте у них є багато високотемпературних модифікацій льоду — з цієї причини фахівці виділили ці дві планети в окрему

категорію «крижаних гігантів». Проте на відміну від Нептуна, надра Урана складаються в основному з льодів і гірських порід.



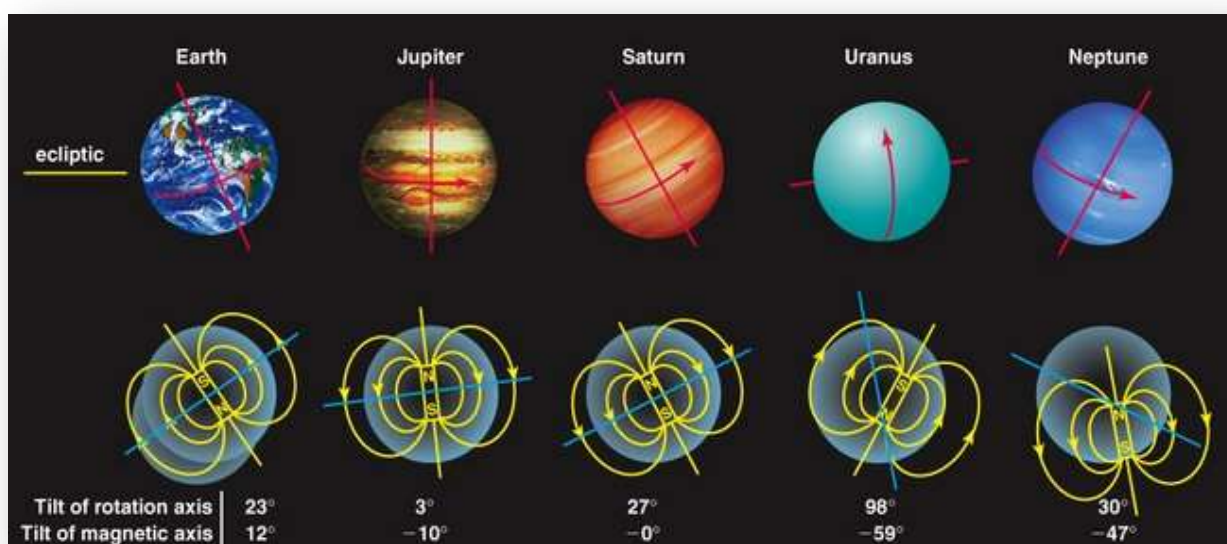
Основу атмосфери Урана складають водень та гелій. Крім того, в ній виявлені сліди метану та інших вуглеводнів, а також хмари з льоду, твердого аміаку і водню. Уран має найхолоднішу планетарну атмосферу у Сонячній системі з мінімальною температурою в 49 K (-224 °C). Вважається, що Уран має складну шарувату структуру хмар, де вода складає нижній шар, а метан — верхній.

Як і у інших газових гігантів Сонячної системи, в Урана є система кілець та магнітосфера. Крім того, навколо нього обертаються 27 супутників. Орієнтація Урана в просторі відрізняється від інших планет Сонячної системи — його вісь обертання лежить як би «на боці» відносно площини обертання цієї планети довкола Сонця. Внаслідок цього планета буває обернена до Сонця то північним полюсом, то південним, то екватором, то середніми широтами.

У 1986 році американський космічний апарат «Вояджер-2» передав на Землю знімки Урана, які він зробив пролітаючи на відстані у 81 500 кілометрів від планети. На них видно «невиразна», у видимому спектрі, планета без хмар та атмосферних штормів, характерних для інших планет-гігантів. Проте наразі наземними спостереженнями вдалося розрізнити

ознаки сезонних змін та збільшення погодної активності на планеті, викликаних наближенням Урана до точки свого рівнодення. Швидкість вітрів на Урані може досягати 240 м/с.

До початку досліджень за допомогою Вояджера-2 жодних вимірювань магнітного поля Урана не проводилося. Перед прибуттям апарату до орбіти Урана в 1986 році передбачалося, що воно буде відповідати напрямку сонячного вітру. У цьому випадку геомагнітні полюси мали б збігатися з географічними, які лежать у площині екліптики. Вимірювання Вояджера-2 дозволили виявити у Урана вельме специфічне магнітне поле, яке не співпадало з геометричним центром планети, і нахилене на 59 градусів щодо осі обертання. Фактично, магнітний диполь зміщений від центру планети до південного полюса приблизно на 1/3 від радіуса планети. Ця незвичайна геометрія призводить до дуже асиметричному магнітному полю, де напруженість на поверхні в південній півкулі може становити 0,1 Гауса, тоді як в північній півкулі може досягати 1,1 Гауса. У середньому по планеті цей показник дорівнює 0,23 Гаус. Дипольний момент Урана перевершує Земний в 50 разів.



Крім Урану, аналогічне зміщене і «накренившейся» магнітне поле також спостерігається і у **Нептуна** - у зв'язку з цим припускають, що така конфігурація є характерною для крижаних гігантів. Одна з теорій пояснює цей феномен так, що магнітне поле в планет земної групи і інших планет-гігантів

генерується в центральному ядрі, а магнітне поле у «крижаних гігантів» формується на відносно малих глибинах: наприклад, в океані рідкого аміаку, у тонкій конвективній оболонці, навколишню рідку внутрішню частину, що має стабільну шарувату структуру.

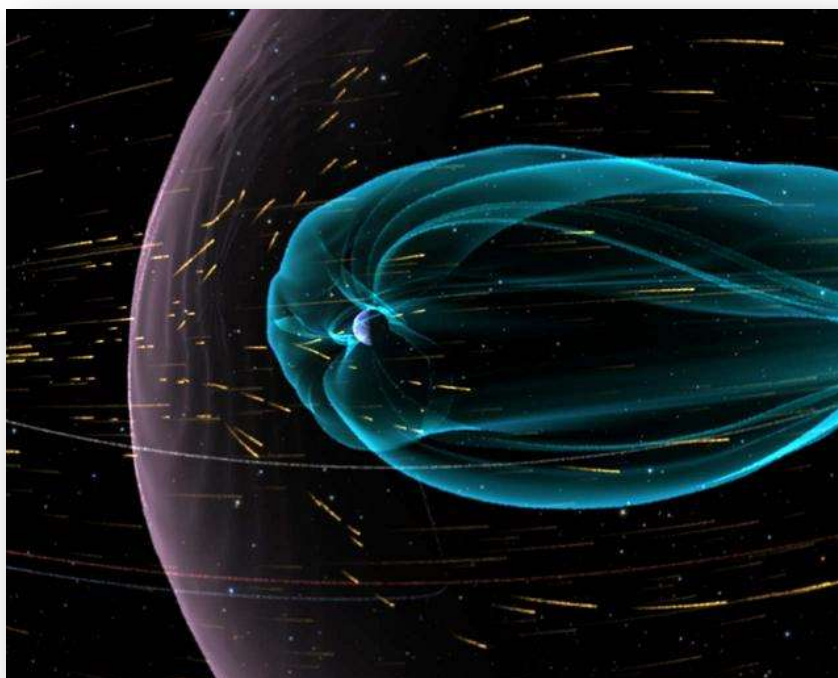
У 1986 році космічний апарат НАСА «Вояджер-2» по пролітній траєкторії пересік орбіту Урану та пролетів в 81 500 км. від поверхні планети. Це єдині в історії космонавтики відвідини околиць Урану космічним апаратом створеним людиною. «Вояджер-2» стартував в 1977 році, до прольоту поблизу Урану провів дослідження Юпітера та Сатурну (а пізніше і Нептуна). Апарат провів вивчення структури та складу атмосфери Урану, виявив 10 нових супутників, вивчив унікальні погодні умови, викликані осьовим креном в $97,77^\circ$ і дослідив систему кілець.



Також було досліджено магнітне поле і будову магнітосфери і, особливо, «магнітного хвоста», викликаного поперечним обертанням. Було виявлено 2 нових кільця і сфотографовано 5 найбільших супутників. В даний час НАСА планує запуск апарату Uranus orbiter and probe в 2020-х роках.

Своєю магнітосферою, і магнітним полем, сильно нахиленим на 47° щодо осі обертання планети, і поширюється на 0,55 від її радіуса (приблизно 13 500 км), Нептун нагадує

Уран. До прибуття до Нептуна «Вояджера-2» вчені вважали, що нахилена магнітосфера Урана була результатом його «бічного обертання». Однак тепер, після порівняння магнітних полів цих двох планет, учені вважають, що така дивна орієнтація магнітосфери в просторі може бути викликана приливами у внутрішніх областях. Таке поле може з'явитися завдяки конвективним переміщенням рідини в тонкому сферичному прошарку електропровідних рідин цих двох планет (передбачувана комбінація з аміаку, метану і води), що приводиться в дію гідромагнітним динамо. Магнітне поле на екваторіальній поверхні Нептуна оцінюється в $1,42 \mu\text{T}$.



Магнітне поле Нептуна має комплексну геометрію, яка включає відносно великі включення від не біполярних компонентів, включаючи сильний квадрипольний момент, який за потужністю може перевищувати дипольний. Головна ударна хвиля Нептуна, де магнітосфера починає уповільнювати сонячний вітер, проходить на відстані в 34,9 планетарних радіусів. Магнітопауза, де тиск магнітосфери врівноважує сонячний вітер, знаходиться на відстані в 23-26,5 радіусів Нептуна. Хвіст магнітосфери триває приблизно до відстані в 72 радіусу Нептуна.



Запитання до самоперевірки:

1. Яка фізична величина характеризує магнітні властивості речовини?
2. У чому полягає різниця між пара- і діамагнетиками?
3. Які речовини називаються феромагнетиками? Які вони мають властивості?
4. Застосування пара-, діа- та феромагнетиків в промисловості.
5. Як записується інформація в персональних комп'ютерах?
6. Основні властивості магнітного поля Землі.
7. Механізм виникнення магнітного поля Землі.
8. Назвіть особливості магнітосфер планет сонячної системи.
9. Яка з планет сонячної системи має саме потужне магнітне поле?

Тема 8. Вимушені коливання. Резонанс. Звукові хвилі та їх характеристики. Інфра-, ультразвуки та їх використання

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з основними поняттями та формулами, теми вимушені коливання, звукові хвилі

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток вміння застосовувати математичний апарат при розв'язуванні типових задач
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Вимушені коливання, резонанс.
2. Звукові хвилі та їх характеристики.
3. Інфра-, ультразвуки та їх використання.

Головне з теми:

поняття вимушених коливань

основні умови виникнення вимушених коливань в природі

резонанс та його властивості

механізм виникнення і поширення звукових хвиль

використання інфразвуку та ультразвуку в техніці

1. Вимушені коливання, резонанс.

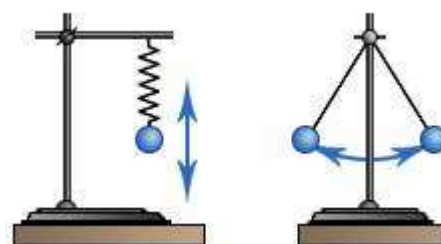
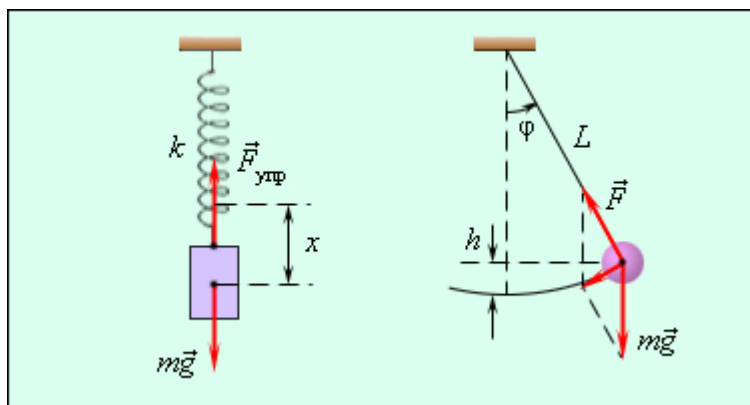
Коливання — фізичний процес, під час якого чергуються інтервали збільшення й зменшення фізичної величини.

Коливаннями або коливальними рухами називають такі види механічного руху чи зміни стану системи, які періодично повторюються в часі, наприклад, механічні коливання тіла на пружині, коливання маятників, коливання струн, вібрації фундаментів будівель, електромагнітні коливання в коливальному контурі.

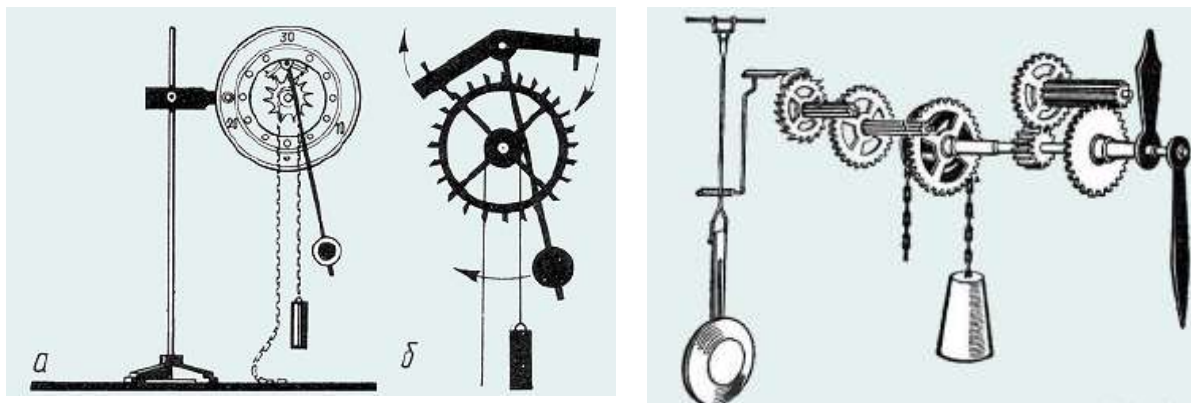
За фізичною природою коливання поділяють на **механічні** та **електромагнітні**, за характером коливань - на **вільні**, **вимушені** та **автоколивання**. Хоча коливання досить різноманітні за своєю фізичною природою, але вони мають спільні закономірності й описуються однотипними математичними методами.

Механічні коливання - періодичне зміщення тіла то в один, то в інший бік відносно положення рівноваги.

Механічна система, в якій одне або декілька тіл можуть здійснювати коливальні рухи, називають коливальною системою.

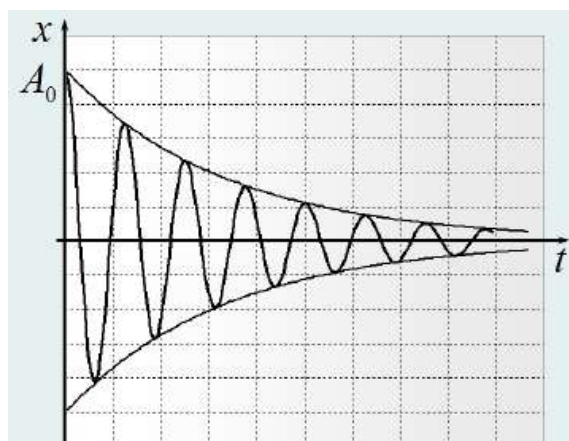
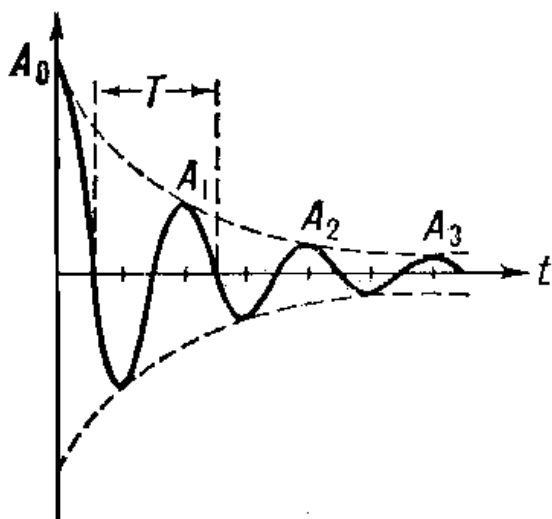


Ще одним видом не загасаючих коливань є **автоколивання**. Це коливання, які підтримуються внутрішніми джерелами енергії системи, коли не діє зовнішня періодична сила. Наприклад, настінний годинник з маятником або наручний механічний годинник - це механічні автоколивальні системи.



У годинниках потенціальна енергія тягарця (або стиснутої пружини) поступово, окремими порціями передається маятнику і компенсує втрати на тертя. Можна спостерігати автоколивання струни під дією смичка, голосових зв'язок під час розмови або співу.

Графік ідеалізованого власного коливання являє собою синусоїду або косинусоїду. Однак у будь-якій реальній коливальній системі, внаслідок неминучості дії сил тертя й опору, власні коливання згасають, тобто їх амплітуда зменшується з часом.



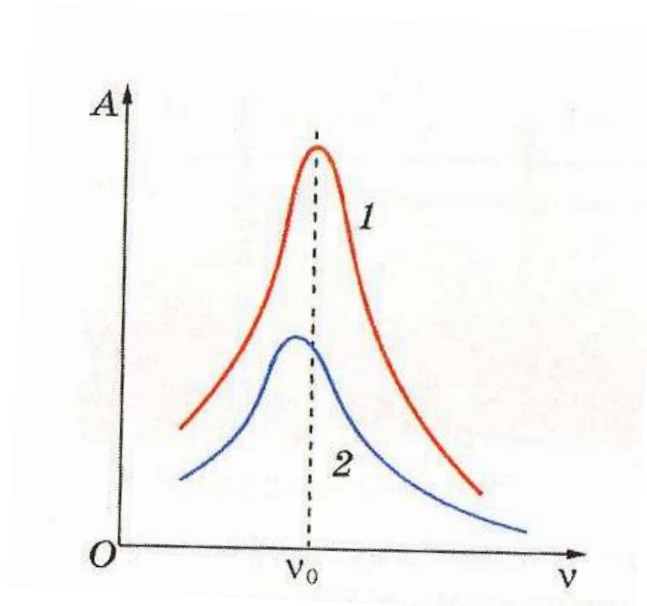
В природі і техніці дуже часто реалізуються не власні, а вимушені коливання, тобто коливання під дією зовнішньої (змушуючої) сили. Приклади: вимушені коливання здійснюють дерева і фрагменти споруд під натиском вітру; підлога машинного залу на заводі; міст під ногами людей, мембрана мікрофона та ін.

Вимушені коливання можуть бути незгасаючими, якщо зовнішня дія буде компенсувати зменшення енергії в системі, викликане дією сил тертя й опору.

Особливим проявом дії змушуючої сили є явище **резонансу**.

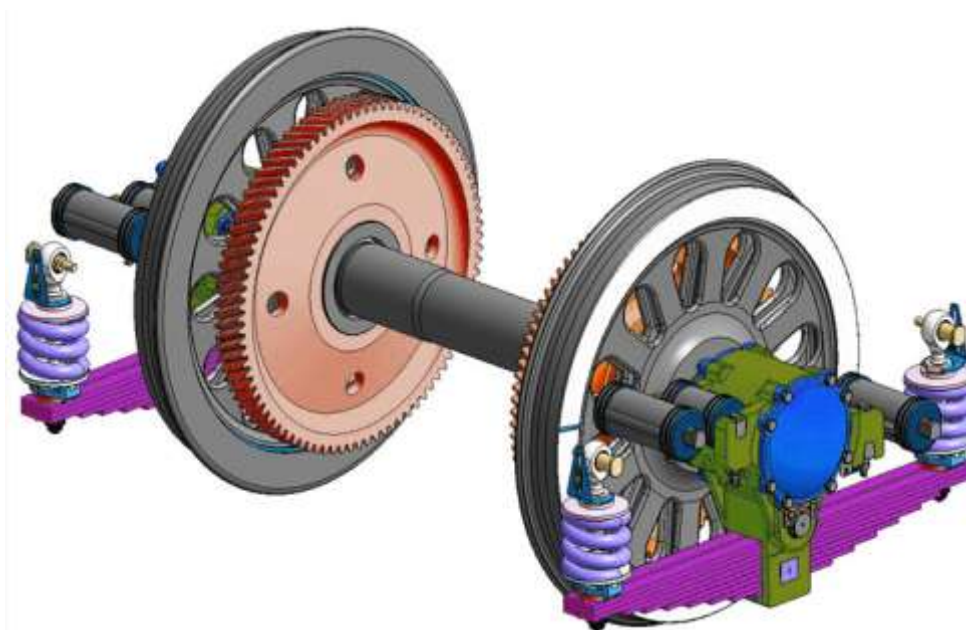
Резонанс — стрімке (різке) зростання амплітуди вимушених коливань за умови збігу частоти власних коливань системи і частоти, з якою змінюється змушуюча сила.

Графік залежності амплітуди коливань від частоти під час резонансу зображено на рисунку. Резонансна крива тим гостріша, чим менші втрати енергії в системі.



Приклад перших проявів руйнівної дії резонансу: руйнування підвісних мостів через річку Луару у Франції наприкінці XIX ст. та в Росії на початку XX ст. через річку Фонтанка. У першому випадку солдати крокували по мосту в ногу, у другому — гарцювали кінні гренадери.

Для послаблення шкідливої дії резонансу в техніці використовують гасителі коливань (демпфери), гумові та повстяні прокладки.



Але резонанс може бути не тільки шкідливим. Приклади корисних проявів резонансу: підсилення звуку музичними інструментами (корпус гітари, міхи баяна), настроювання радіоприймача на частоту потрібної радіостанції. Під час коливань відбуваються взаємні періодичні перетворення потенціальної та кінетичної енергій.

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{\kappa X_{\max}^2}{2}$$

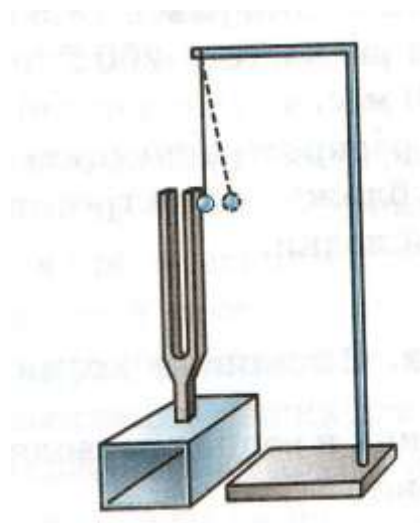
Згідно із законом збереження енергії, кінетична енергія під час проходження системою положення рівноваги дорівнює її потенціальній енергії при максимальному відхиленні від цього положення.

2. Звукові хвилі та їх характеристики.

Ми живемо у світі звуків. Звуки - це те, що чує вухо. Навколо можна чути голоси людей, спів птахів, звуки музичних інструментів, шум лісу, грім під час грози. Гуркочуть машини, механізми, транспорт тощо.

Розділ фізики, в якому вивчаються звукові явища, називають акустикою.

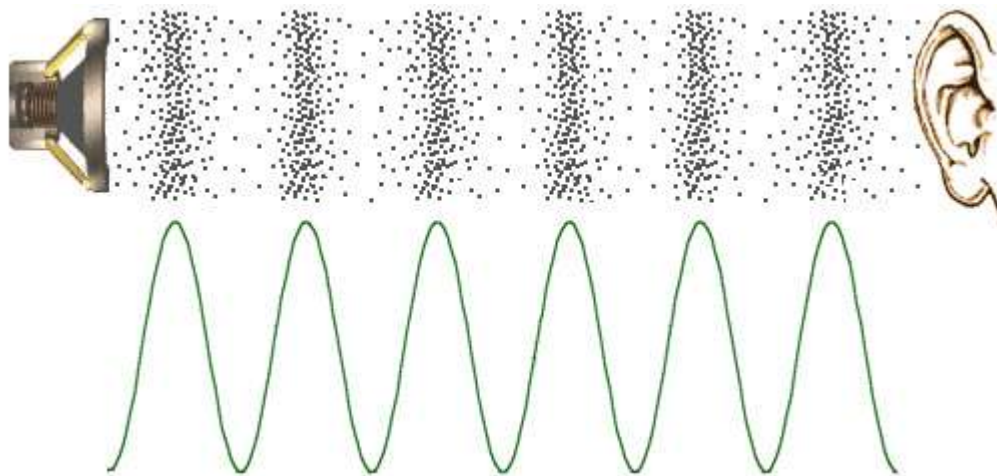
Джерелом звуку є тіло, що коливається. Це підтверджено експериментально. Якщо, наприклад, завдати удару по камертону і піднести до нього малу кульку, то звук можна буде чути доти, доки кулька буде відскакувати від камертона, що свідчить про його коливання.



Тіло, що коливається, в навколишньому середовищі створює механічні хвилі, які можуть поширюватися тільки завдяки пружним властивостям середовища, тобто є пружними.

Коли такі хвилі досягають вуха людини, вони спричиняють виникнення вимушених коливань барабанної перетинки і людина чує звук. Отже, механічні хвилі, що викликають у людини відчуття звуку, називаються звуковими.

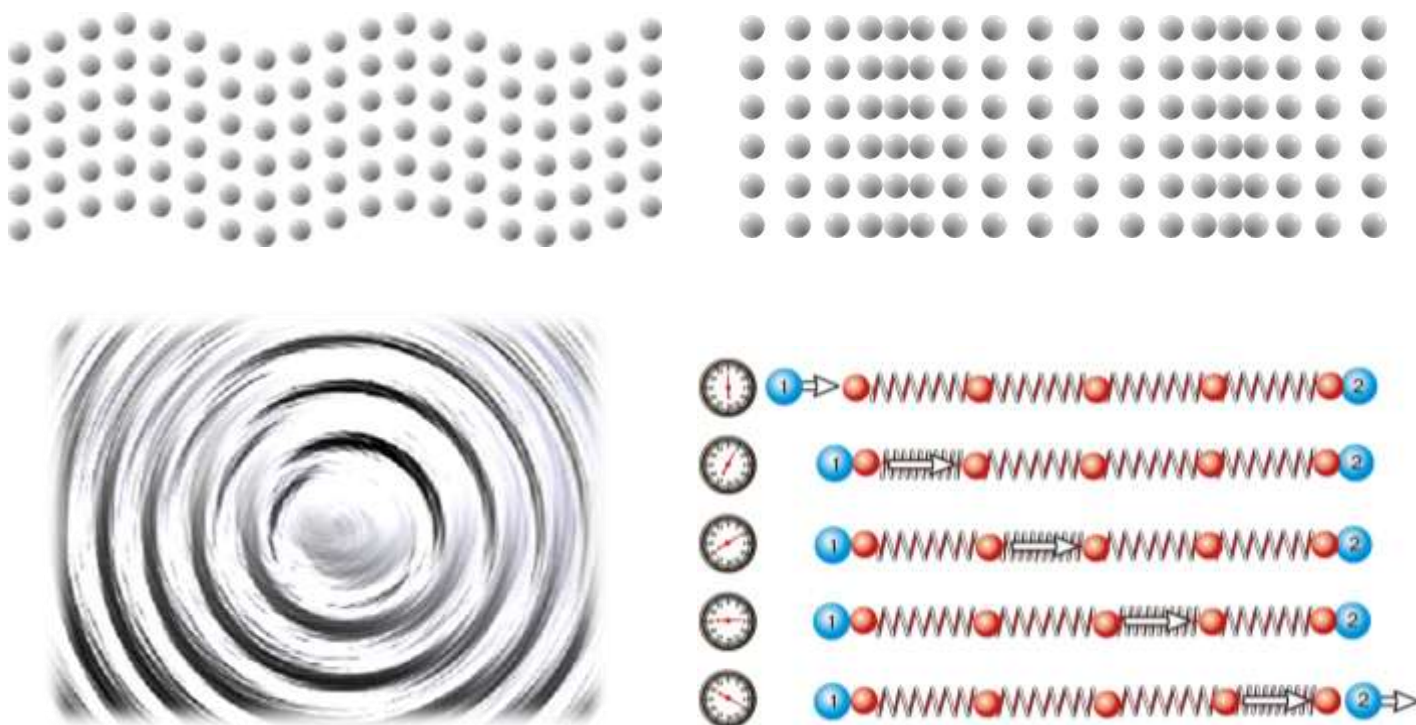
Оскільки при цьому звукові хвилі поширюються в повітрі, то ці хвилі поздовжні.



У поздовжніх хвилях коливання частинок приводять до того, що в газі виникають ділянки згущень і розріджень, які змінюють одна одну. Відстань між двома послідовними згущеннями або розрідженнями - це **довжина хвилі**. Отже, повітря - провідник звуку. Це довів 1660 року Р. Бойль на досліді. Відкачавши повітря з-під ковпака демонстраційного повітряного насоса, ми не чуємо звучання електричного дзвінка, розміщеного під ним.



У твердих тілах звук поширюється у вигляді поздовжніх і поперечних хвиль. У рідинах і газах, оскільки в них деформація зсуву неможлива, звукові хвилі поширюються тільки у вигляді поздовжніх хвиль.



Відчуття звуку виникає тільки за певних частот коливань у хвилі. Для того, щоб людина чула звук, потрібне джерело звуку. **Джерелами звуку** можуть бути будь-які тіла, що коливаються з частотою, яка потрапляє у чутний діапазон. У більшості випадків - це тверді тіла (струни, мембрани, деки, дифузори, п'єзопластинки тощо). Існують й інші джерела: повітряні стовпи у духових інструментах, завихрення повітря під час турбулентного обтікання куль, мін, снарядів, надзвукових літаків, досить рідко - коливання рідин.

Між джерелом і вухом має знаходитись пружне середовище. Дослід показує, що для органу слуху людини звуковими є тільки такі хвилі, в яких коливання відбуваються з частотами від 16 до 20000 Гц. Розмахувати руками 16 і більше разів за секунду ніхто не може, хоч хвиля під час такого розмахування виникає.

Звук ще повинен мати потужність, достатню для його сприйняття. Звуки поділяють на музикальні тони і шуми. Музикальним тоном називають звук довільної частоти, який створюється коливним тілом. Шум є складним звуком, що

утворюється в результаті тривалих неперіодичних коливань різних джерел звуку (шум моря, дерев у лісі, натовпу тощо).



За частотою коливань звукові хвилі класифікують так: **інфразвук** (0 - 16 Гц), **чутний звук** (16 - 20000 Гц), **ультразвук** (20000 Гц - 103 МГц), **гіперзвук** (понад 103 МГц).

Музикальні тони мають різну гучність і висоту. **Гучність** звуку залежить від амплітуди коливань у звуковій хвилі, тобто визначається інтенсивністю. Ця залежність складна, адже гучність звуку це його суб'єктивна характеристика, а інтенсивність - об'єктивна. Про звук різної гучності кажуть, що один гучніший від іншого не в стільки-то разів як інтенсивність, а на стільки-то одиниць. З метою порівняння інтенсивності звуку, що має різну гучність, використовують одиницю рівня гучності звуку **бел** (Б).

Якщо інтенсивність одного звуку в 10 разів більша від інтенсивності другого, то рівень гучності першого на 1 Б вищий

від другого. Найменша зміна гучності, яку може сприймати людина, дорівнює децибелу ($1 \text{ дБ} = 0,1 \text{ Б}$). Рівень гучності звука небезпечний для організму людини становить 180 дБ (інтенсивність звуку - 1012 мкВт/м^2). З навколишніх звуків, наприклад, гучність звуку шелестіння листя оцінюється в 10 дБ , шепотіння - 20 дБ , вуличного шуму - 70 дБ .

Звукові коливання, що відбуваються за гармонічним законом, сприймаються людиною як певний музикальний **тон**. Висота тону визначається частотою коливань. Коливання високої частоти сприймаються як звуки високого тону, звуки низької частоти як звуки низького тону. Діапазон звукових коливань, що відповідає подвійній зміні частоти коливань, називають октавою.

Звукові коливання, що не підлягають гармонічному закону, сприймаються людиною як складний звук, що володіє **тембром**. За однакової висоти тону звуки від скрипки і фортепіано відрізняються тембром.

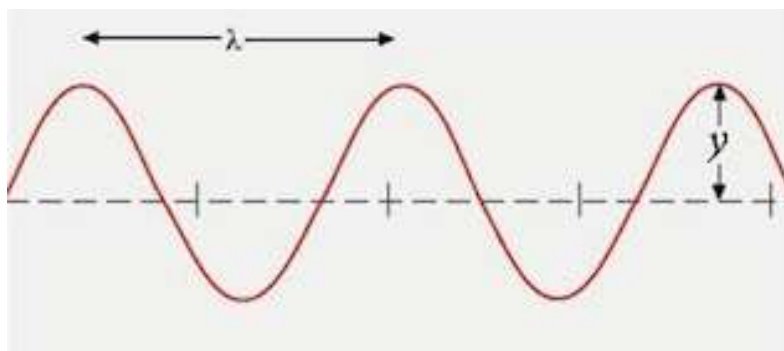
Шум відрізняється від музикального тону тим, що складається з безладної суміші коливань різної частоти і гучності.

Під час пострілів, вибухів, електричного розряду виникають звукові удари, що є різновидом шуму.

Як і будь-яка хвиля, звукова хвиля характеризується швидкістю поширення коливань у ній v . З довжиною хвилі λ і частотою коливань ν швидкість пов'язана вже відомою формулою. Досліди показують, що швидкість поширення звуку у середовищі залежить від властивостей і стану цього середовища:

$$v = \lambda \nu$$

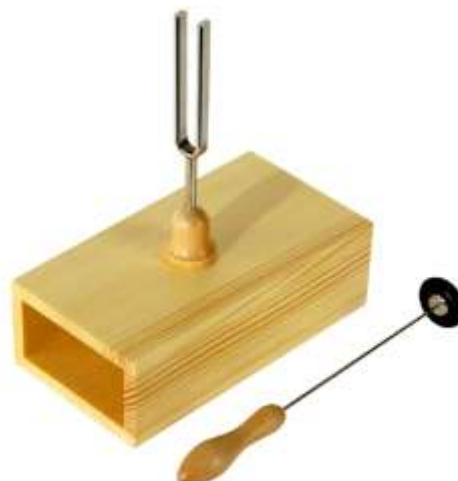
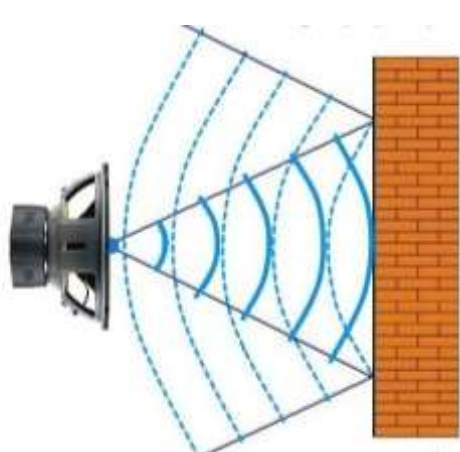
$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$



Чим пружніше середовище, тим більша в ньому швидкість звуку. Тому швидкість звуку в рідинах більша, ніж в газах, а в твердих тілах більша, ніж в рідинах.

Швидкість звуку залежить від температури середовища. Наприклад, у повітрі, якщо його температура 0°C , швидкість звуку 332 м/с , а якщо 15°C - 340 м/с . У воді швидкість звуку приблизно у 4,25 рази більша, ніж у повітрі. У твердих тілах вона ще більша, наприклад, при 15°C у сталі - 4980 м/с .

Для звукових хвиль характерні деякі цікаві явища, наприклад, відбивання звуку від перешкод, що й спричиняє відлуння. У перешкодах з пористих матеріалів звук поглинається і тому їх використовують для звукової ізоляції.



Звукові коливання, що їх переносить звукова хвиля, діють як змушувальна, періодично змінна сила для коливальних систем і спричиняють у них акустичний резонанс. Завдяки резонансу стінки ящика камертона починають коливатися з частотою власне камертона. Це коливання великої амплітуди (резонанс), та й площа поверхні ящика велика, тому звук камертона буде значно гучнішим. Ящик камертона називають резонатором. До резонаторів можна віднести деякі деки і труби в музичних інструментах, порожнину рота тощо.

3. Інфра-, ультразвуки та їх використання.

Певні особливості мають нечутні звуки, до яких відносять **інфразвуки** (до 16 Гц) та **ультразвуки** ($20 \text{ кГц} < \nu < 1 \text{ ГГц}$).

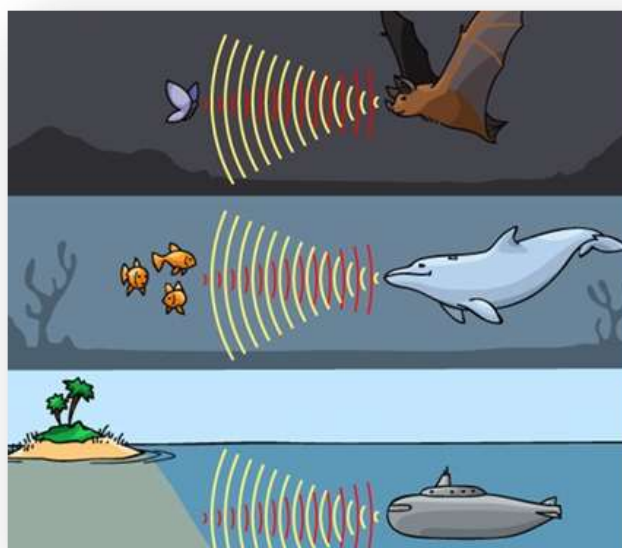
У природних умовах інфразвуки можуть зумовити махання крил птахів, коливання гілок дерев чи поверхні моря під впливом вітру. Існують інфразвуки техногенного походження. Ці низькочастотні хвилі слабо поглинаються і тому здатні поширюватися на великі відстані. Птахи і більшість тварин чутливі до цих звукових хвиль. Припускають, що завдяки цьому від інфразвуків, що передують землетрусам, тварини стривожуються, а люди їм гадки не мають про небезпеку.



Інфразвуки ще не знайшли широкого застосування. Однак їх властивості необхідно вивчати, щоб запобігти негативному впливу на здоров'я людини. Під час тривалих дій потужних інфразвуків у людини з'являються симптоми, подібні до симптомів "морської хвороби". Водночас існують новітні методи лікування хвороб дозованими імпульсами інфразвуків.



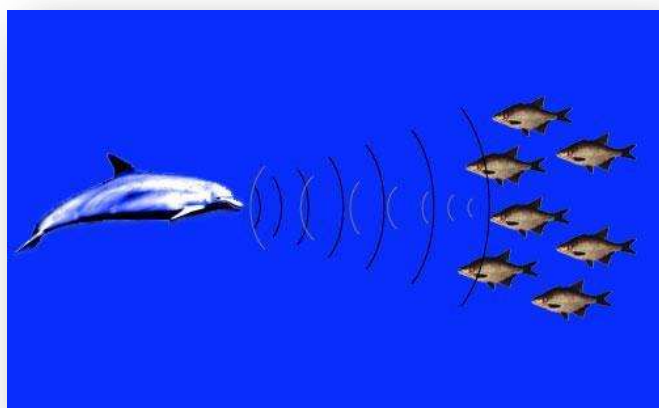
Ультразвуки у природі трапляються рідко. Кажани використовують ультразвук для орієнтування у темряві. Складний і потужний ультразвуковий локатор мають дельфіни.



Ультразвукова хвиля порівняно із звуковою має більшу інтенсивність за рахунок більшої частоти коливань в ній. Це використовують в різних галузях. Завдяки спрямованості ультразвукових хвиль і їх відбиванню від перешкод можна знайти відстань до предмета:

Звуколокатори (їх називають також ехолокаторами) дають змогу виявити і визначити місцезнаходження різних пошкоджень у виробках (порожнечі, тріщини, сторонні вклучення). У медицині ультразвук використовують для діагностики і лікування деяких захворювань.

Ультразвукові хвилі великої інтенсивності використовують для виготовлення порошків та емульсій з незмішуваних речовин тощо.



Однак існують і екологічні проблеми акустики. Звуки великої гучності, зокрема шуми, наносять шкоду навколишньому середовищу. Передозування інтенсивності інфра- і ультразвукових хвиль під час лікування деяких хвороб також є небезпечним. "Забруднення" навколишнього середовища акустичними коливаннями шкідливо впливає на здоров'я людини. З метою охорони навколишнього середовища забороняється подавати з автомобілів звукові сигнали в населених пунктах, будувати летовища у великих містах. З метою охорони здоров'я житлові масиви відділяються від автомагістралей зеленими зонами. На підприємствах з акустичним навантаженням створюють кімнати психічного розвантаження.



Запитання до самоперевірки:

1. Опишіть процес перетворення енергії під час гармонічних коливань на прикладі пружинного маятника.
2. За якими формулами визначають повну механічну енергію тіла, що гармонічно коливається, в момент проходження точки рівноваги і крайніх точок руху?
3. Чому вільні коливання маятника загасають? За яких умов коливання можуть стати незгасаючими?
4. Намалювати графік згасаючого коливання.
5. Що називають механічним резонансом? Які умови виникнення резонансу?
6. Наведіть приклади шкідливого і корисного проявів механічного резонансу.
7. Що є джерелом звуку?
8. Що називають звуковою хвилею? Які її властивості? За яких умов ми чуємо звук?
9. Назвіть основні характеристики звуку.
10. Що таке відлуння? За яких умов воно виникає? Що лежить в основі методу гідролокації?

Тема 9. Досліди Герца. Відкриття радіо. Принципи дії радіотелефонного зв'язку. Радіомовлення і телебачення

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з дослідженнями Герца та їх наслідками для науки і техніки

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Досліди Герца. Відкриття радіо О. С. Поповим.
2. Принципи дії радіотелефонного зв'язку. Радіомовлення і телебачення.

Головне з теми:

дослідження електромагнітних хвиль

досліди Герца та їх наслідки

досліди що привели до відкриття радіо

принципи дії радіотелефонного зв'язку

використання радіомовлення і телебачення у сучасному світі

1. Досліди Герца. Відкриття радіо О. С. Поповим.

Рудольф Герц – німецький фізик. Народився 22 лютого 1857 року у місті Гамбург. Закінчив Берлінський університет, де його вчителями були Герман фон Гельмгольц і Густав Кірхгоф. З 1885 по 1889 роки був професором фізики Університету в Карлсруї. З 1889 року – професор фізики університету в Бонні.



Герц довів існування електромагнітних хвиль. Він детально досліджував віддзеркалення, інтерференцію, дифракцію і поляризацию електромагнітних хвиль, довів, що швидкість їх розповсюдження співпадає із швидкістю розповсюдження світла, і що світло є не що інше, як різновид електромагнітних хвиль. Він побудував електродинаміку тіл, що рухаються, виходячи з гіпотези про те, що ефір захоплюється тілами, що рухаються.

Дослідження електромагнітних хвиль

Максвел у своїй теорії передбачив існування електромагнітних хвиль і навіть вказав умови, необхідні для успіху дослідів. Цими умовами були – висока частота

електричних коливань і відкрита форма електричного ланцюга. В своїх дослідах 1888 року Герц постарався виконати ці умови замінивши коливальний контур прямолінійним вібратором і досягнув успіхів.

Для збудження електричних коливань у той час був відомий тільки один спосіб – іскровий розряд. Для того щоб його визвати Герц використовував вібратор. Схему вібратора можна побачити на малюнку.

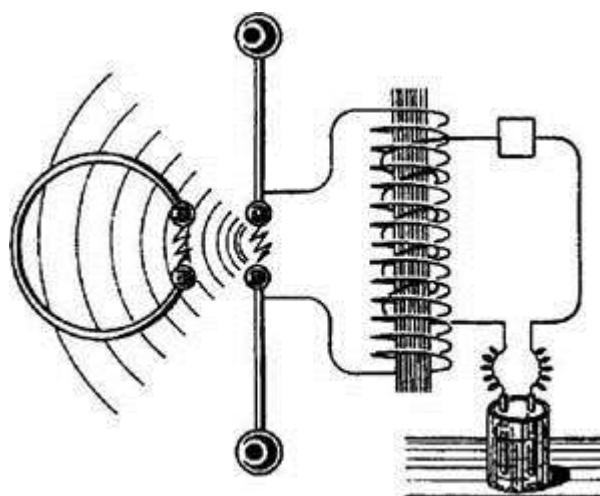


Схема є досить простою і дивлячись на неї можна зрозуміти як саме працює цей пристрій. Він має посередині розрив для іскрового розряду, до кінців якого підводиться напруга від нагнітаючого трансформатора. При роботі схеми у вібраторі виникають спалахи високочастотних затухаючих коливань, що регулярно повторюються. Період цих коливань та їх довжина випромінюваних електромагнітних хвиль задаються розмірами вібратора.

Для виявлення хвиль Герц використовував другий вібратор з набагато меншою довжиною іскрового проміжку (частки міліметра замість 7,5 мм у випромінюючому вібраторі). Окрім такого приймального вібратора, застосовувався і Приймальний виток, зігнутий з дроту у вигляді прямокутника і теж перерваний дуже малим іскровим проміжком. Під дією електромагнітної хвилі в цих приймачах виникають вимушені

коливання. Якщо приймачі побудовані в резонанс на частоту випромінювача, то за певних умов в їх іскрових проміжках проскакують дуже маленькі іскорки. Спостерігаючи появу або відсутність таких іскорок за різних умов випромінювання і розповсюдження хвиль, а також при різних розташуваннях приймачів, можна було судити про властивості спостережуваних хвиль. Про важкість цих дослідів говорить, наприклад, те, що іскорки в приймачах переважно можна було бачити тільки в темноті і потрібно було мати хороший зір. Щоб краще бачити іскру в своїх дослідах, Герц помістив приймач в затемнену коробку. При цьому він помітив, що в коробці довжина іскри в приймачі стає меншою.

В своїх дослідах Герц здійснив отримання електромагнітних хвиль і зумів відтворити з цими хвилями всі явища, типові для будь-яких хвиль: утворення «тіні» предметів, що позаду, віддзеркалення від металевих листів, заломлення у великій призмі, утворення стоячої хвилі в результаті інтерференції хвилі, падаючої прямовисно на металевий лист, із стрічною хвилею, відображеною цим листом. Був досліджений також напрям векторів електричного і магнітного полів в біоелектромагнітних хвилях; виявилось, що електромагнітні хвилі мають такі ж властивості, які були відомі у світлових хвиль.

В 1892 році у Герца була діагностована інфекція (після серйозної мігрені). Його кілька разів прооперували, щоб вилікувати хворобу, але марно. Він помер від зараження крові у віці 36 років в Бонні. Похований в Гамбурзі на кладовищі Ольсдорф.

Радіозв'язок — це колективне винайдення. Початок поклав англійський фізик **М. Фарадей**, який 1831 року відкрив явище електромагнітної індукції. Взявши за основу уявлення Фарадея і розвиваючи їх, англійський учений **Дж. Максвелл** 1865 року дійшов висновку: металевий провідник, по якому тече струм, повинен випромінювати в простір електромагнітні хвилі, які поширюються з швидкістю світла. Перший, кому в 1887 році вдалося «створити» й дослідити електромагнітні хвилі, був німецький учений **Г. Герц**. Однак детектор Герца мав дуже малу чутливість. Цей недолік компенсував французький фізик **Е.**

Бранлі в 1890 році. Він установив, що електричний опір металевих порошків різко знижується під впливом, електромагнітних хвиль. Таким чином, був винайдений «когерер» — чутливий детектор хвиль.

Олександр Степанович Попов – російський фізик, винахідник радіо. Перекоаний у можливості зв'язку без проводів за допомогою електромагнітних хвиль, він побудував перший у світі радіоприймач, застосувавши в його схемі чутливий елемент – когерер. Під час дослідів Попова вперше виявили відбивання радіохвиль від кораблів.



7 травня 1895 року на засіданні Російського фізико-хімічного товариства в Петербурзі О. С. Попов продемонстрував дію першого у світі радіо-приймача. 24 травня 1895 року було передано першу у світі телеграму (на відстань 250 м). На маневрах Чорноморського флоту в 1899 році вчений установив

радіозв'язок на відстані понад 20 км. На початку 1900 року радіозв'язок був успішно використаний під час рятувальних операцій у Фінській затоці. За участю О. С. Попова почалося впровадження радіозв'язку на флоті та в армії.

У 1901 році італійському інженерові Г. Марконі вдалося встановити радіозв'язок через Атлантичний океан. Його діяльність відіграла значну роль у розвитку радіо як засобу зв'язку й була відзначена 1909 року Нобелівською премією.

Важливим етапом у розвитку радіозв'язку стало створення в 1913 році лампового генератора незатухаючих електромагнітних коливань.

У наступні роки зусиллями багатьох видатних вчених та інженерів різних країн радіотехніка перетворилася на надзвичайно широку й різноманітну галузь техніки.

Винайдення радіо О. С. Поповим.

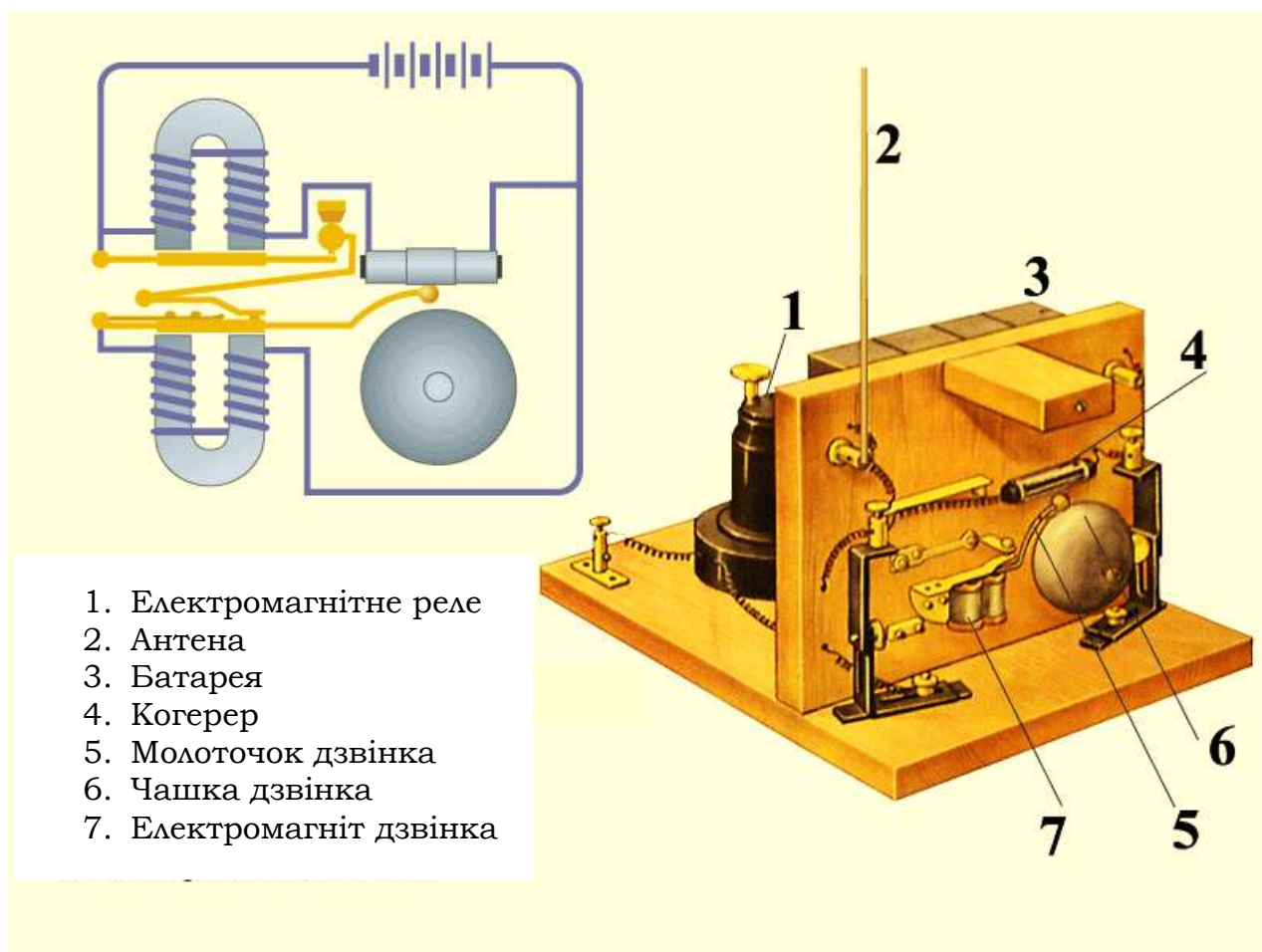
У Росії одним із перших узявся за вивчення електромагнітних хвиль викладач офіцерських курсів у Кронштадті Олександр Степанович Попов. Почавши з відтворення дослідів Герца, вчений згодом використав більш надійний і чутливий спосіб реєстрації електромагнітних хвиль.

Властивості електромагнітних хвиль вперше були експериментально вивчені Г.Герцом. Результати цих дослідів дуже зацікавили фізиків усього світу, які почали їх повторювати, шукати шляхи вдосконалення випромінювача і приймача електромагнітних хвиль. Виникають думки про можливість використання цих хвиль для зв'язку і навіть для передавання енергії без проводів.

У 1894 р. російському вченому О.С.Попову вдалося створити такий приймач, основні принципові особливості будови якого збереглися і в сучасній радіоприймальній апаратурі.

Схема створеного О. С. Поповим приймача показана на малюнку. У ньому електромагнітні хвилі сприймав (реєстрував) спеціальний прилад — **когерер**. Дія когерера ґрунтується на

властивості металевого порошку злипатися під дією високочастотних електромагнітних коливань.



Когерер мав вигляд скляної трубки з металевими ошурками, в обидва кінці якої вставлені електроди так, що вони торкаються ошурок. У звичайних умовах електричний опір між окремими ошурками порівняно великий, тому і весь когерер має великий опір. Когерер вмикається в коло батареї через обмотку електромагніту. Падаюча електромагнітна хвиля, створюючи в когерері змінний струм високої частоти, викликає пролітання між ошурками дрібненьких іскорок, які зварюють ошурки між собою. При цьому опір когерера різко зменшується і він замикає коло батареї, яка живить струмом електромагніт. Цей електромагніт притягує стальну пластинку і замикає коло другого електромагніту. Останній притягує до себе стальну пластинку, і з'єднаний з нею молоточок ударяє по дзвінку. Притягнувшись пластинка розмикає контакт і відмикає від батареї. Тоді пружина повертає пластину у вихідне положення, і молоточок ударяє через гумовий амортизатор по когереру.

Когерер струшується і контакти між ошурками руйнуються. Внаслідок цього опір когерера знову стає дуже великим, коло батареї розмикається, і приймач знову готовий до роботи. Згодом у сучасних радіоприймачах когерер замінили електронні лампи і напівпровідникові транзистори, але принцип реле залишився той самий.



Італійський вчений Г. Марконі у 1896 р. подав заявку, а в 1897 р. дістав патент (в Англії) на застосування електромагнітних хвиль для бездротового зв'язку (О. С. Попов свого винаходу не патентував). Схема приймача Марконі була такою ж, як і схема приймача Попова.

2. Принципи дії радіотелефонного зв'язку. Радіомовлення і телебачення.

Радіозв'язок — передача та прийом інформації за допомогою радіохвиль, які поширюються в просторі без проводів.

Принцип радіозв'язку полягає ось у чому: змінний електричний струм високої частоти, створений у передавальній антені, викликає в навколишньому просторі швидко змінюване електромагнітне поле, що поширюється у вигляді електромагнітної хвилі. Досягаючи приймальної антени, електромагнітна хвиля викликає в ній змінний струм тієї самої частоти, у на якій працює передавач.

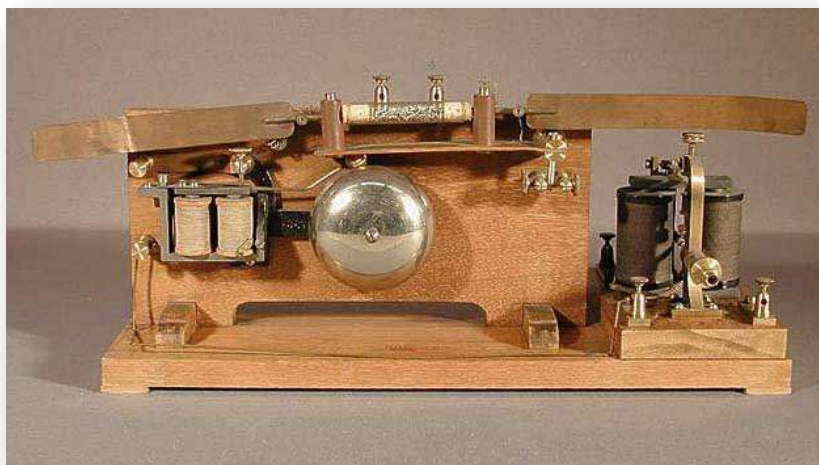
Для здійснення радіотелефонного зв'язку необхідно використовувати високочастотні коливання, інтенсивно випромінювані антенною. Для передачі звуку ці високочастотні коливання змінюють за допомогою електричних коливань низької частоти (цей процес називається **модуляцією**).

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виділяються низькочастотні коливання (цей процес називається **детектуванням**). Добутий у результаті детектування сигнал відповідає тому звуковому сигналові, який діяв на мікрофон передавача. Після підсилення коливання низької частоти можуть бути перетворені на звук.

Найпростіша система радіотелеграфного зв'язку, яка була запропонована Г. Марконі і О.С. Поповим і широко застосовувалась понад двадцять років, полягала у відправці серій затухаючих електромагнітних коливань, добытих у коливальному контурі з іскровим розрядником. Цю систему істотно поліпшено після винайдення генератора незатухаючих електромагнітних коливань. Увімкнувши в коло генератора телеграфний ключ, можна було передавати сигнали з коротких і більш тривалих імпульсів електромагнітних хвиль.



Здійснити передачу мови і музики, тобто радіотелефонний зв'язок, виявилось значно важче. На перший погляд може здатися, що бажаючи передати мову чи музику, можна за допомогою належного підсилення послати їх в антену і передати на велику відстань. Насправді ж таким способом передати сигнали не можна. Річ у тім, що коливання звукової частоти — це порівняно повільні коливання (від 100 Гц до кількох тисяч герц). А ми знаємо, що інтенсивність випромінювання електромагнітних хвиль низької частоти дуже мала. Виникає суперечність. З одного боку, високочастотні хвилі добре випромінюються, але не містять потрібної інформації (мова або музика) і в приймальній антені збуджують чисто гармонічні коливання, тобто дають інформацію лише про те, працює передавач чи ні. З іншого боку, електромагнітні коливання низької (звукової) частоти кола мікрофона містять потрібну інформацію, але дуже слабо випромінюються.



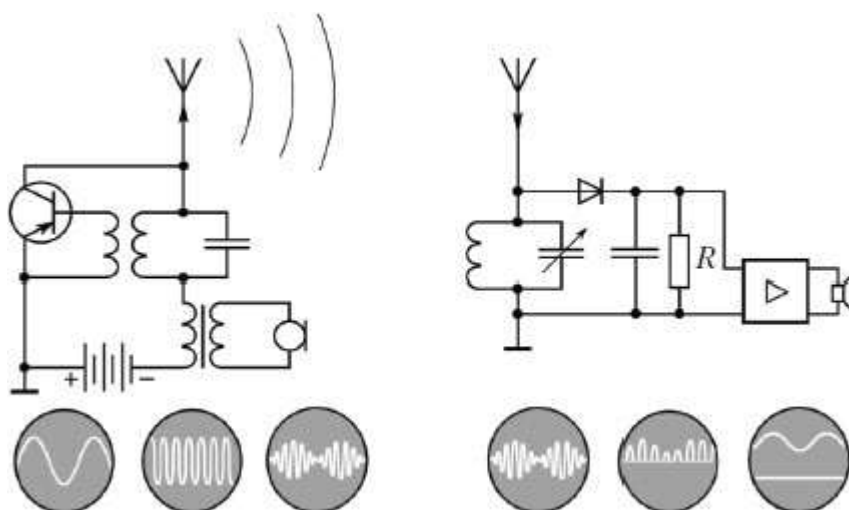
Ця суперечність була розв'язана дуже дотепним способом. Він полягає в тому, що для передачі енергії електромагнітної хвилі використовують високочастотні коливання, а коливання низької частоти застосовують лише для зміни високочастотних коливань, або, як прийнято говорити, для їх модуляції. На приймальній станції з цих складних коливань за допомогою спеціальних методів знову виділяють коливання низької частоти, які після підсилення подають на гучномовець. Цей процес

виділення інформації з прийнятих модульованих коливань дістав назву **демодуляції**, або детектування коливань.

Модуляцію коливань можна здійснювати, змінюючи їх амплітуду, частоту або фазу. Обмежимося розглядом найбільш поширеного виду модуляції — **амплітудної**.

Амплітудна модуляція електромагнітних коливань полягає в тому, що амплітуду коливань електромагнітної хвилі змінюють відповідно до низькочастотного (звукового) коливального процесу, який передається разом з електромагнітною хвилею.

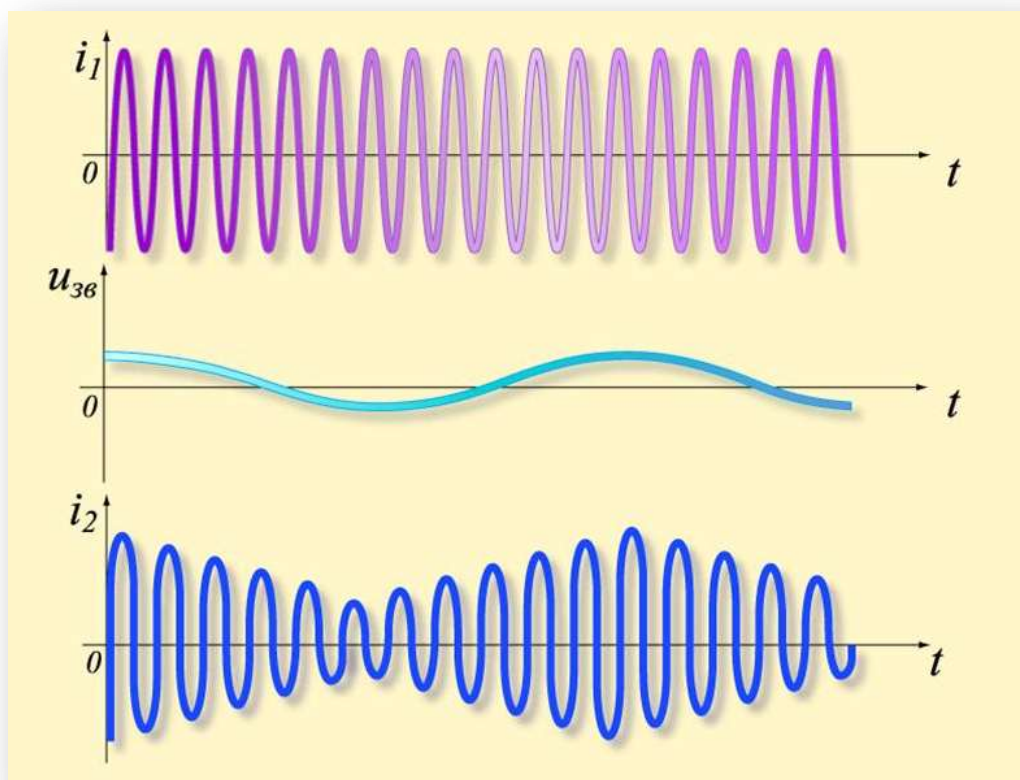
Для здійснення амплітудної модуляції електромагнітних коливань у радіотехніці опрацьовані різні способи. Одним з них є зміна напруги джерела енергії автогенератора. Для цього достатньо увімкнути послідовно з джерелом постійної напруги U_0 джерело, напруга якого U_n змінюється за певним законом.



У місці приймання сигналів під впливом електромагнітної хвилі передавача в антені приймача збуджуються модульовані струми високої частоти, тотожні струмам в антені передавача, але слабші. Однак ці струми не придатні для безпосереднього одержання сигналу. Якщо, скажімо, під час радіотелефонної передачі ми направимо їх, навіть після попереднього підсилення, в гучномовець чи телефон, то не почуємо ніякого звуку. Це станеться, по-перше, тому, що телефонна мембрана має велику масу і не може здійснювати такі швидкі коливання з помітною амплітудою. По-друге, і це головне, коли б ми і

скористалися малоінерційним телефоном (що можна зробити), то дістали б хвилі з частотою 105—108 Гц, тоді як наше вухо розрізняє звуки лише за частоти, яка не перевищує 16 000—20000 Гц.

Тому з модульованих високочастотних коливань у приймачі необхідно виділити низькочастотні звукові коливання. Це роблять так. Модульовані коливання спочатку пропускають через вакуумний чи напівпровідниковий діод — випрямляють їх. Графік коливань сили струму в колі діода матиме вигляд, показаний на малюнку. Цей струм є сумою випрямлених струмів: високочастотного і струму звукової частоти. Оскільки ці струми сильно відрізняються за частотою, їх можна легко відокремити один від одного.



Для цього досить увімкнути в коло діода таке розгалуження, щоб одна гілка становила великий опір для високочастотних струмів і малий для низькочастотних, а друга, навпаки, малий опір для високочастотних і великий для струмів звукової частоти. Таким розгалуженням є паралельне з'єднання конденсатора й навантаження (телефону). Струми високої частоти пройдуть переважно через конденсатор, а низької —

через телефон. Отже, найпростіший демодулятор складається з діода, телефону і конденсатора. Мембрана телефону коливатиметься так само, як мембрана мікрофона, і ми почуємо звук, виголошений перед мікрофоном. Невеликі пульсації струмів високої частоти помітно не впливають на коливання мембрани і не сприймаються на слух.

Модуляція.

Процес модуляції полягає в зміні одного або декількох параметрів високочастотного (ВЧ) коливання за законам, переданого повідомлення (низькочастотного коливання).

На цьому засновано два різних види радіомовлення: передані з амплітудною модуляцією та передачі з частотною модуляцією.

У разі амплітудної модуляції змінюється амплітуда високочастотних коливань (ВЧ) відповідно до зміни сигналу, який модулюється. У разі частотної модуляції — частота ВЧ коливань.

Детектування — процес виділення низькочастотних (звукових) коливань із прийнятих модульованих коливань високої частоти.

У найпростішому приймачі детектування здійснюється в два етапи: спочатку ВЧ коливання випрямляються, а потім виділяється низькочастотна обвідна високочастотних імпульсів.

Історія створення і розвитку телевізійної техніки

З давніх часів людство мріяло про передачу зображень на відстані. Всі ми чули казки і легенди про чарівні дзеркала, тарілки з яблучками, і все тому подібне. Але пройшло не одне тисячоліття, перш ніж ця мрія здійснилася.

Перші телевізори, придатні для масового виробництва з'явилися в кінці 30-х років минулого століття. Проте цьому передувало декілька десятиліть наполегливих досліджень і безлічі геніальних відкриттів.

Вперше вплив світла на електрику (це явище називається **фотоефект** - виривання електронів з речовини, при дії на нього світлом) виявив німецький фізик **Генріх Герц** в 1887 році. Він

детально описав свої спостереження, але пояснити це явище так і не зумів. У лютому 1888, російський вчений **Олександр Столетов** провів досвід що наочно демонструє вплив світла на електрику. Столетову удалося виявити декілька закономірностей цього явища. Ним же був і розроблений прообраз сучасних фотоелементів, так зване «електричне око». Пізніше, подібними дослідженнями займалася і безліч інших великих учених, у тому числі **Ф. Ленард, Дж. Томпсон, О. Річардсон, До. Комптон, Р. Міллікен, Ф. Іоффе, П. Лукирський і С. Прілежаєв**. Але повністю пояснити природу фотоефекту зміг лише **Альберт Ейнштейн** в 1905 році.

Паралельно цим дослідженням відбувалося і безліч інших, що зіграли у результаті не менш важливу роль в історії створення телевізорів. Наприклад в 1879 році англійським фізиком **Уільямом Круксом** були відкриті речовини здатні світитися при дії на них катодними променями - **люмінофори**. Пізніше було встановлено, що яскравість свічення люмінофорів безпосередньо залежить від сили їх опромінення. У 1887 році першу версію катодо-лучевой трубки (кінескопа) представляє німецький фізик Карл Браун.



До кінця 19-століття сама ідея телебачення не здається вже чимось абсурдним і фантастичним. Ніхто з учених вже не сумнівається в можливості передачі зображень на відстані. Один за іншим висуваються проекти телевізійних систем,

здебільше нездійсненні з точки зору фізики. Головні ж принципи роботи телебачення були створені французьким вченим **Морісом Лебланом**. Незалежно від нього, подібні праці створює і американський учений **Е. Соїєр**. Вони описали принцип, згідно якому для передачі зображення потрібне його швидке покадрове сканування, з подальшим перетворенням його в електричний сигнал. Ну а оскільки радіо тоді вже існувало і успішно використовувалося, то питання з передачею електричного сигналу вирішилося саме собою.

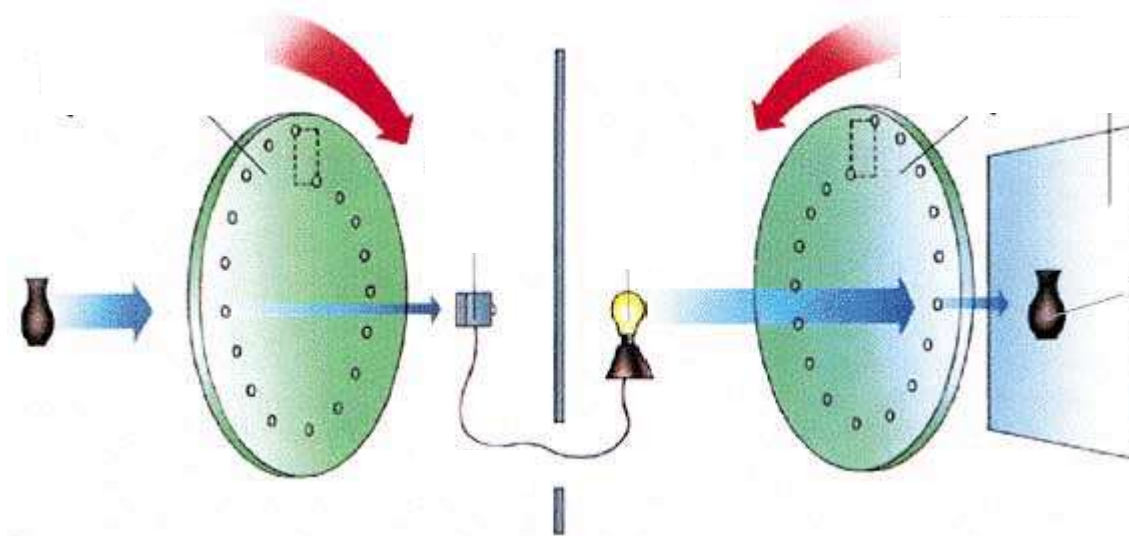
У 1907 році **Борису Розінгу** удалося теоретично обґрунтувати можливість здобуття зображення за допомогою електронно-променевої трубки, розробленої раніше німецьким фізиком До. Брауном. Розінгу так само удалося здійснити це на практиці. І хоча удалося отримати зображення у вигляді однієї єдиної нерухомої крапки, це був величезний крок вперед. В цілому, в справі розвитку електронних телевізійних систем, Розінг зіграв величезну роль.



У 1933 році, в США, російський емігрант **Володимир Зворикин** продемонстрував **іконоскоп** - передавальну електронну трубку. Прийнято вважати, що саме В. Зворикин є батьком електронного телебачення.

Приблизно в той же час, незалежно від Зворикина, передавальну трубку створює і радянський учений **С. Катаєв**.

Перший пристрій механічного сканування розробив в 1884 році німецький інженер **Пауль Ніпков**. Це пристрій зайвий раз підтвердив справедливості вислову відносно простоти всього геніального. Його пристрій являв собою непрозорий диск, що обертався, діаметром до 50 см, з нанесеними по спіралі Архімеда отворами - так званий диск Ніпкова (інколи в літературі пристосування Ніпкова називають «електричним телескопом»). Таким чином відбувалося сканування зображення світловим променем, з подальшою передачею сигналу на спеціальний перетворювач. Для сканування ж вистачало одного фотоелемента. Кількість же отворів інколи доходила до 200 (зазвичай же від 30 до 100).



У телевізорі процес повторювався в зворотному порядку - для здобуття зображення знову таки використовувався диск з отворами, що обертався, за яким знаходилася неонові лампа. За допомогою настільки нехитрої системи і проектувалося зображення. Так само відрядковий, але з достатньою швидкістю, для того, щоб людське око бачило вже цілу картинку. Таким чином, першими почали створюватися саме проєкційні телевізори. Якість картинки залишала бажати кращого - лише силуети, та гра тіней, але проте, розрізнити що саме показують було можливо.

У 1925 році шведському інженерові **Джону Берду** вдалося вперше добитися передачі розпізнаваних людських осіб. Знову

таки з використанням диска Ніпкова. Декілька пізніше, їм же була розроблена і перша телесистема, здатна передавати рухомі зображення.

Перший же електронний телевізор, придатний для практичного вживання був розроблений в американській науково-дослідній лабораторії RCA, очолюваною **Зворикиним**, в кінці 1936 року. Декілька пізніше, в 1939 році, RCA представила і перший телевізор, розроблений спеціально для масового виробництва. Ця модель отримала назву RCS TT-5. Вона вдавала із себе масивний дерев'яний ящик, оснащений екраном з діагоналлю в 5 дюймів.



Перший час розвиток телебачення йшов в двох напрямках - електронному і механічному (інколи механічне телебачення називають ще і «малорядковим телебаченням»). Причому розвиток механічних систем відбувався практично до кінця 40-х років 20-го століття, перш ніж було повністю витіснено електронними пристроями.

Паралельно розробка телевізорів відбувалася і на території Радянського Союзу. Перша дослідний сеанс телемовлення відбувся 29 квітня 1931 року. З 1 жовтня того ж року телепередачі стали регулярними. Оскільки телевізорів ще не у кого не було, проводилися колективні перегляди, із спеціально відведених для цього місцях. Багато радянських

радіоаматорів починають збирати механічні моделі телевізорів своїми руками.

У 1932 році, при розробці плану на другу п'ятирічку, телебаченню було приділено багато уваги. 15 листопада 1934 року вперше відбулася трансляція телепередачі із звуком. Досить тривалий час існував лише один канал - Перший канал. На час Великої Вітчизняної Війни трансляція була перервана, і відновлено лише після її закінчення. А в 1960 році з'явився і Другий канал.

Перший радянський телевізор випущений промисловістю називався Б-2. Ця механічна модель з'явилася в квітні 1932 року. Перший же електронний телевізор був створений набагато пізнішим - в 1949 році. Це був легендарний КВН 49.



Телевізор був оснащений настільки маленьким екраном, що для більш-менш комфортного перегляду перед ним встановлювалася спеціальна лінза, яку потрібно було наповнювати водою, що дистилює. Надалі з'явилося і безліч інших, досконаліших моделей. Втім, якість збірки і надійність радянських телевізорів були дуже низькими. Виробництво ж кольорових телевізорів, в СРСР почалося лише в середині 1967 років.

Хоча систему кольорового телебачення розробив ще Зворикін в 1928 році, лише до 1950 року стало можлива її реалізація. І то лише як випробувальні розробки. Минуло багато

років, перш ніж ця технологія стала загальнодоступною повсюдно.

Перший, придатний до продажу кольоровий телевізор створила в 1954 році все та ж RCA. Ця модель була оснащена 15 дюймовим екраном. Декілька пізніше були розроблені моделі з діагоналями 19 і 21 дюйм. Коштували такі системи дорожче за тисячу доларів США, а отже, були доступні далеко не всім. Втім, за бажання, була можливість придбати цю техніку в кредит. Із-за складнощів з повсюдною організацією кольорового телемовлення, кольорові моделі телевізорів не могли швидко витіснити чорно-білі, і довгий час обидва типа вироблялися паралельно. Єдині стандарти (PAL і SECAM) з'явилися і почали упроваджуватися в 1967 році.

Стрімкий розвиток телебачення в другій половині 20-го століття привів до того, що вже виросло декілька поколінь, що не уявляють собі життя без телевізора. Якість мовлення значно зросла і стала цифровою. Самі телевізори вже перестали сприйматися як «ящики», бо з'явилися плоскі LCD і плазмові моделі. Розміри екрану перестали вимірюватися парою десятків сантиметрів. Телебачення стало нормою.

На початку радіолампи були витиснені напівпровідниками - перший телевізор на основі напівпровідників був розроблений в 1960 році фірмою Sony. Надалі з'явилися моделі на основі мікросхем. Тепер же існують системи, коли вся електронна начинка телевізора поміщена в одну єдину мікросхему.



Запитання до самоперевірки:

1. Що називається електромагнітною хвилею?
2. Чому закритий коливальний контур погано випромінює електромагнітні хвилі?
3. Назвіть основні досліди Герца, та які вони мали наслідки для науки?
4. Чи можна, перетворивши звукові коливання на електричні?
5. У чому полягає відмінність радіомовлення від радіотелефонного зв'язку?
6. На чому базується принцип радіозв'язку?
7. У чому полягає процес модуляції?
8. У чому полягає процес детектування?
9. Назвіть основні етапи розвитку телебачення?

Тема 10. Кільця Ньютона. Інтерференція світла в природі і техніці. Дифракційна решітка і дифракційний спектр

Мета:

навчальна

- ознайомлення студентів з основними поняттями та формулами, з розділу оптики

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення
- формування наполегливості студентів у навчальній роботі

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом
- розвиток уміння пояснювати явища навколишнього середовища з фізичної точки зору

План

1. Інтерференція світла в природі і техніці. Кільця Ньютона.
2. Дифракційна решітка і дифракційний спектр

Головне з теми:

основні поняття про природу світла

інтерференція світла

інтерференція світла в природі і техніці

умови виготовлення та застосування дифракційної решітки

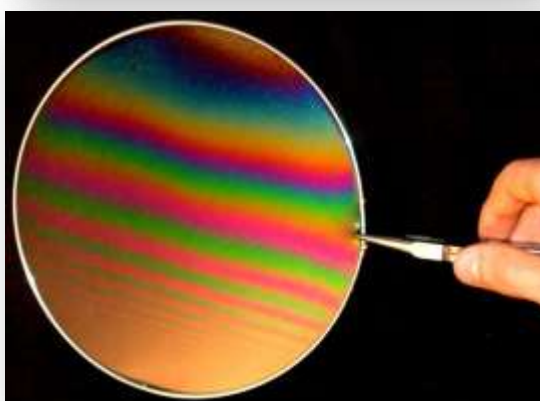
види дифракційних спектрів

1. Інтерференція світла в природі і техніці. Кільця Ньютона.

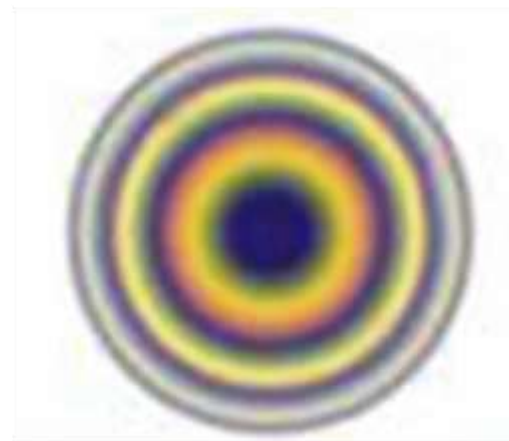
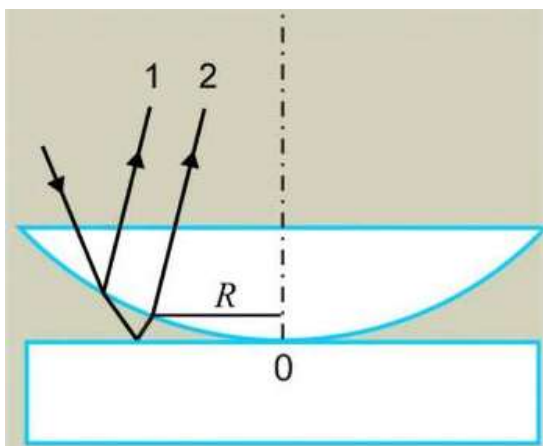
Інтерференція – одне з яскравих проявів хвильової природи світла.

Інтерференція – це явище спостерігається при накладенні двох або декількох світлових пучків. Інтенсивність світла в області перекривання пучків має вигляд світлих і темних смуг, що чергуються, причому в максимумах інтенсивність більше, а в мінімумах менше суми інтенсивностей пучків.

При використанні білого світла інтерференційні смуги виявляються пофарбованими в різні кольори спектра. З інтерференційними явищами ми зустрічаємося досить часто: кольори масляних плям на асфальті, фарбування замерзаючих шибок, вигадливі кольорові малюнки на крилах деяких метеликів і жуків – усе це прояв інтерференції світла.



Перший експеримент по спостереженню інтерференції світла в лабораторних умовах належить **І. Ньютону**. Він спостерігав інтерференційну картину, що виникає при відбитті світла в тонкому повітряному прошарку між плоскою скляною пластинкою й плоскоопуклою лінзою великого радіуса кривизни. Інтерференційна картина мала вигляд концентричних кілець, що одержали назву **кілець Ньютона**.

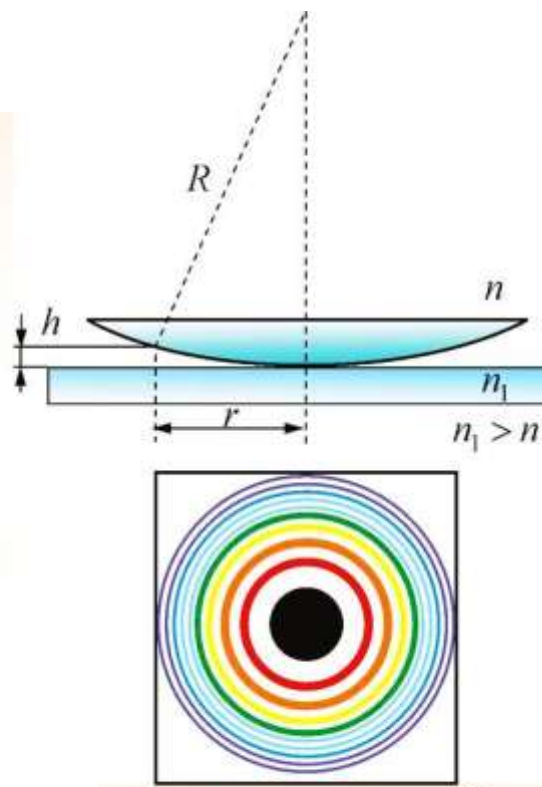


$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R}$$

$$h = \frac{m\lambda}{2}$$

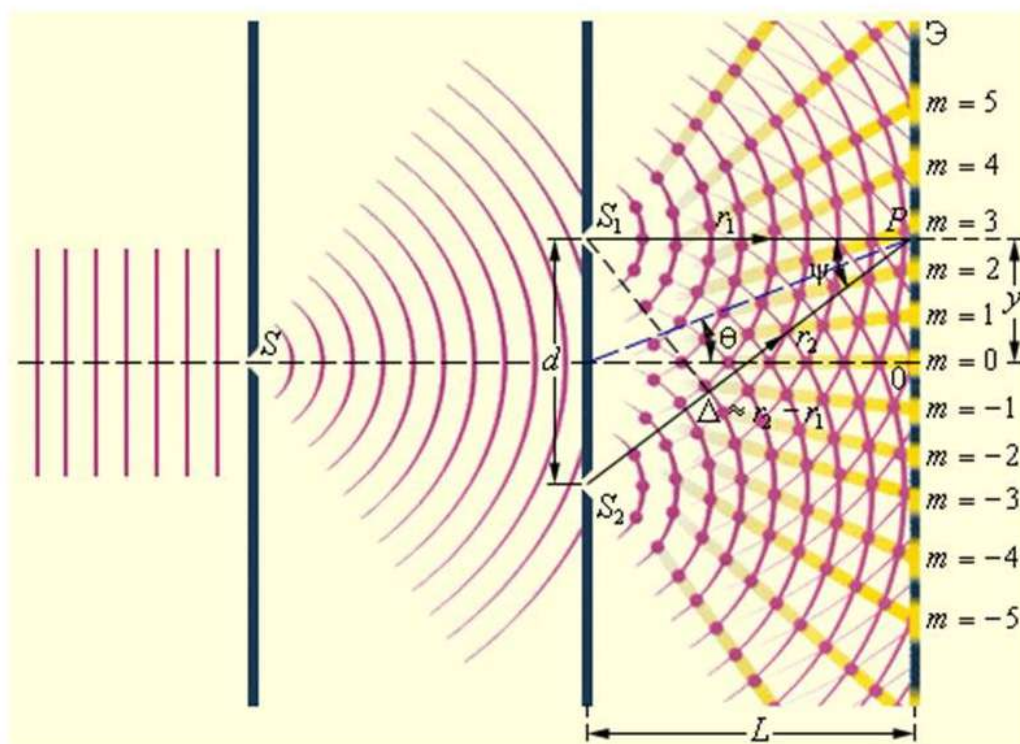
$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R}$$

$$r_m = \sqrt{mR\lambda_0}$$



Ньютон не зміг з погляду корпускулярної теорії пояснити, чому виникають кільця, однак він розумів, що це пов'язане з якоюсь періодичністю світлових процесів.

Першим інтерференційним дослідом, що одержав пояснення на основі хвильової теорії світла, з'явився дослід Юнга (1802 р.). У досліді Юнга світло від джерела, у якості якого служила вузька щілина S , падав на екран із двома близько розташованими щілинами S_1 і S_2 . Проходячи через кожен із щілин, світловий пучок розходився внаслідок дифракції, тому на білому екрані E світлові пучки, що пройшли через щілини S_1 і S_2 , перекривалися. В області перекриття світлових пучків спостерігалася інтерференційна картина у вигляді світлих і темних смуг, що чергуються.



Юнг був першим, хто зрозумів, що не можна спостерігати інтерференцію при додаванні хвиль від двох незалежних джерел. Тому в його досліді щілини S_1 і S_2 , які відповідно до принципу Гюйгенса можна розглядати як джерела вторинних хвиль, висвітлювалися світлом одного джерела S . При симетричному розташуванні щілин вторинні хвилі, що

випускаються джерелами S_1 і S_2 , перебувають у фазі, але ці хвилі проходять до крапки спостереження P різні відстані r_1 і r_2 . Отже, фази коливань, створюваних хвилями від джерел S_1 і S_2 у крапці P , різні. Таким чином, задача про інтерференцію хвиль зводиться до задачі про додавання коливань однієї й тієї ж частоти, але з різними фазами. Твердження про те, що хвилі від джерел S_1 і S_2 поширюються незалежно друг від друга, а в крапці спостереження вони просто складаються, є дослідним фактом і зветься принципом суперпозиції.

Умова максимумів: результуюче коливання максимально підсилюється тоді, коли різниця ходу додавання хвиль дорівнює парному числу півхвиль, або цілому числу довжин хвиль:

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

Умова мінімумів: результуюче коливання ослаблюється, якщо різниця ходу додаваних хвиль дорівнює непарному числу півхвиль:

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

Проблема когерентності хвиль. Теорія Юнга дозволила пояснити інтерференційні явища, що виникають при додаванні двох монохроматичних хвиль однієї й тієї ж частоти. Однак повсякденний досвід учить, що інтерференцію світла в дійсності спостерігати не просто. Якщо в кімнаті горять дві однакові лампочки, то в будь-якій крапці складаються інтенсивності світла й ніякої інтерференції не спостерігається. Теорія інтерференції монохроматичних хвиль не може дати відповіді на це питання.

Реальні світлові хвилі не є строго монохроматичними. У силу фундаментальних фізичних причин випромінювання завжди має статистичний (або випадковий) характер. Атоми світлового джерела випромінюють незалежно друг від друга у випадкові моменти часу, і випромінювання кожного атома триває дуже короткий час ($\tau \leq 10^{-8}$ с). Результуюче випромінювання джерела в кожний момент часу складається із внесків величезного числа атомів. Через час порядку τ уся сукупність випромінюючих атомів обновляється. Тому сумарне випромінювання буде мати іншу амплітуду й, що особливо важливо, іншу фазу. Фаза хвилі, випромінюваної реальним джерелом світла, залишається приблизно постійною тільки на інтервалах часу порядку τ . Окремі «обривки» випромінювання тривалості τ називаються **цугами**. Цуги мають просторову довжину, рівну $c\tau$, де c – швидкість світла. Коливання в різних цугах не погоджені між собою. Таким чином, реальна світлова хвиля являє собою послідовність хвильових цугів з безладно мінливою фазою. Прийнято говорити, що коливання в різних цугах **некогерентні**. Інтервал часу τ , протягом якого фаза коливань залишається приблизно постійною, називають **часом когерентності**.

Інтерференція може виникнути тільки при додаванні когерентних коливань, тобто коливань, що відносяться до того самого цугу. Хоча фази кожного із цих коливань також підлягають випадковим змінам у часі, але ці зміни однакові, тому різниця фаз когерентних коливань залишається постійною. У цьому випадку спостерігається стійка інтерференційна картина й, отже, виконується принцип суперпозиції полів. При

додаванні некогерентних коливань різниця фаз виявляється випадковою функцією часу. Інтерференційні смуги випробовують безладні переміщення зі сторони убик, і за час Δt їх реєстрації, яка в оптичних експериментах значно більше часу когерентності ($\Delta t \gg \tau$), відбувається повне усереднення. Обладнання, що реєструє (око, фотопластинка, фотоеlement) зафіксує в крапці спостереження усереднене значення інтенсивності, рівне сумі інтенсивностей обох коливань. У цьому випадку виконується закон додавання інтенсивностей.

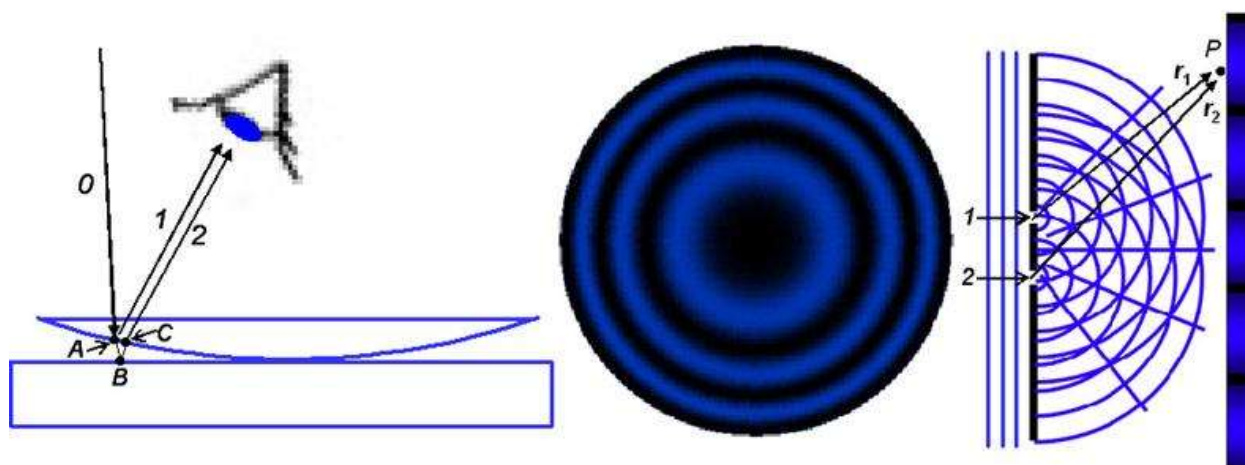
Таким чином, інтерференція може виникнути тільки при додаванні когерентних коливань. Хвилі, що створюють у крапці спостереження когерентні коливання, також називаються когерентними. Хвилі від двох незалежних джерел некогерентні й не можуть дати інтерференції. Т. Юнг інтуїтивно вгадав, що для одержання інтерференції світла потрібно хвилю від джерела розділити на дві когерентні хвилі й потім спостерігати на екрані результат їх додавання. Так робиться у всіх інтерференційних схемах. Однак, навіть у цьому випадку інтерференційна картина зникає, якщо різниця ходу Δ перевищить довжину когерентності **ст**.

2. Дифракційна решітка і дифракційний спектр

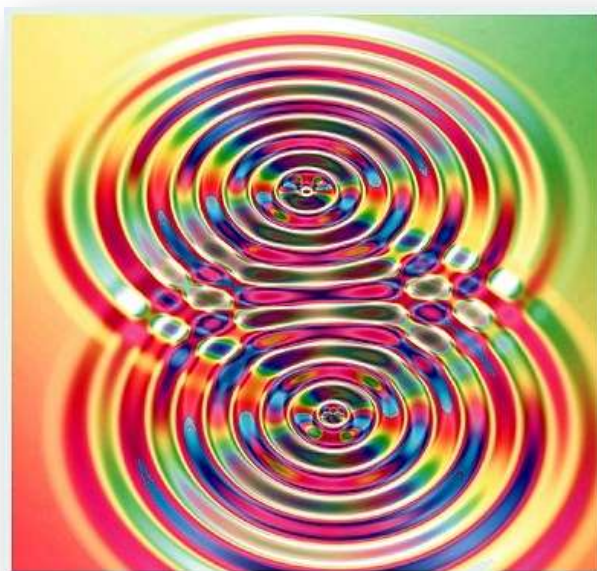
Дифракцією світла називається явище відхилення світла від прямолінійного напрямку поширення при проходженні поблизу перешкод.

Як показує дослід, світло за певних умов може заходити в область геометричної тіні. Якщо на шляху паралельного світлового пучка розташована кругла перешкода (круглий диск,

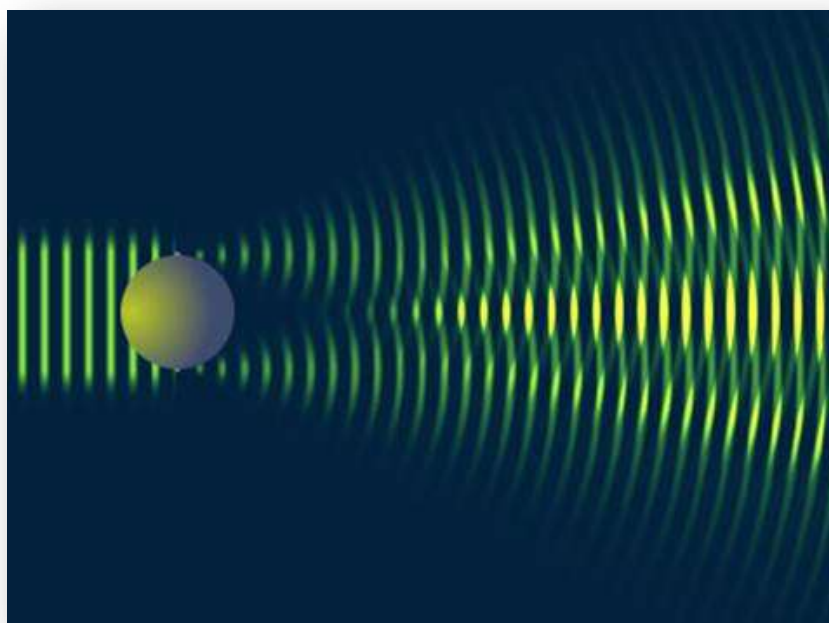
кулька або круглий отвір у непрозорому екрані), то на екрані, розташованому на досить великій відстані від перешкоди, з'являється дифракційна картина – система, світлих і темних кілець, що чергуються. Якщо перешкода має лінійний характер (щілина, нитка, край екрана), то на екрані виникає система паралельних дифракційних смуг.



Дифракційні явища були добре відомі ще в часи Ньютона, але пояснити їх на основі корпускулярної теорії світла виявилось неможливим. Перше якісне пояснення явища дифракції на основі хвильових уявлень було дано англійським ученим **Т. Юнгом**. Незалежно від нього в 1818 р. французький учений **О. Френель** розвив кількісну теорію дифракційних явищ. В основу теорії Френель поклав принцип Гюйгенса, доповнивши його ідеєю про інтерференцію вторинних хвиль.



Принцип Гюйгенса в його первісному виді дозволяв знаходити тільки положення хвильових фронтів у наступні моменти часу, тобто визначати напрямок поширення хвилі. По суті, це був принцип геометричної оптики. Гіпотезу Гюйгенса про огиначу вторинних хвиль Френель замінив фізично ясним положенням, згідно з яким вторинні хвилі, приходячи в крапку спостереження, інтерферують одна з одною. Принцип Гюйгенса–Френеля також являв собою певну гіпотезу. У ряді практично важливих випадків розв'язок дифракційних задач на основі цього принципу дає досить гарний результат.



Дифракційна решітка – це пристрій, що складається з багатьох однакових паралельних щілин, розташованих на рівних відстанях одна від одної.

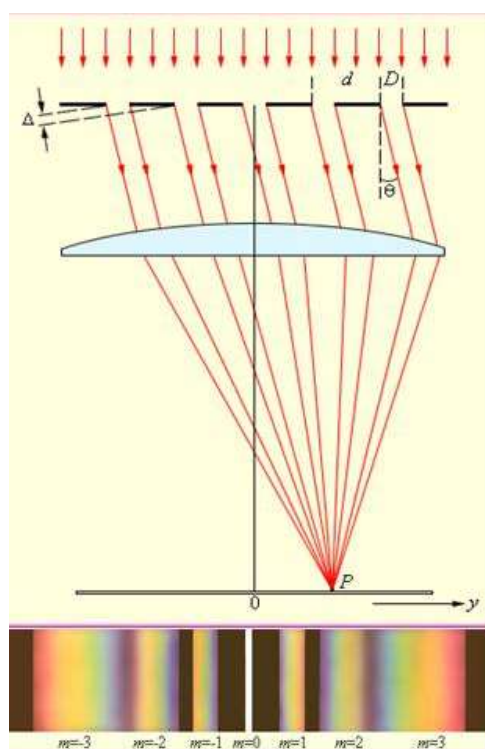
У загальному вигляді дифракційна решітка – це будь-яка структура, що має просторову періодичність. Коли періодичність структури проявляється в одному напрямі, то решітка

називається лінійною або одновимірною, якщо у двох або трьох напрямках – відповідно двовимірною, тривимірною або об'ємною.

Умова головних максимумів дифракційної решітки визначається формулою:

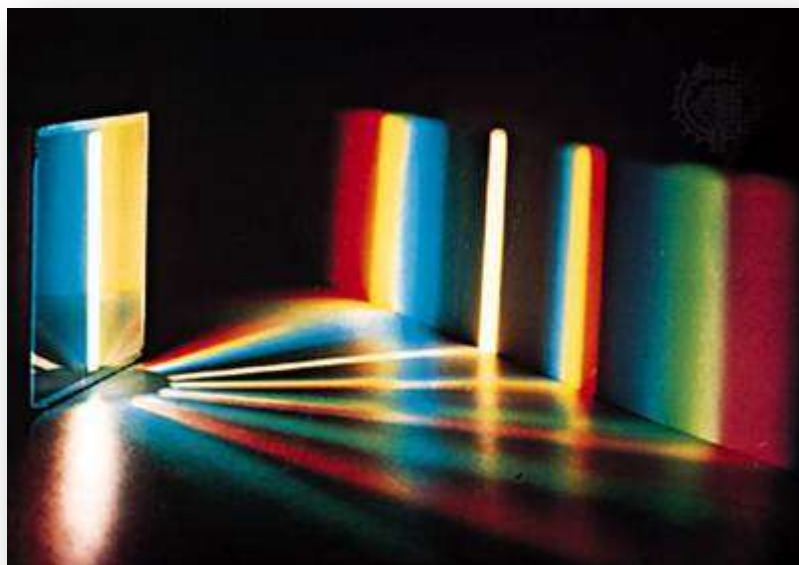
$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m \lambda$$

Де **m** порядок головного максимуму; **d** стала або період дифракційної решітки; **$d \sin \varphi$** різниця ходу хвиль, які випромінюються з точок, що перебувають на однакових відстанях від правих (лівих) країв сусідніх щілин та поширюються під кутом **φ** до нормалі.



Таким чином, завдяки інтерференції, сумарна енергія світла, що проходить системою щілин, перерозподіляється і концентрується в напрямках, які задовольняють умові головних максимумів.

Отже, кут дифракції φ залежить від довжини хвилі λ , а це означає, що розміщення головних максимумів на екрані, крім центрального, визначається довжиною хвилі λ . Тому під час пропускання через решітку білого світла всі головні максимуми, крім центрального, перетворюються на спектри.

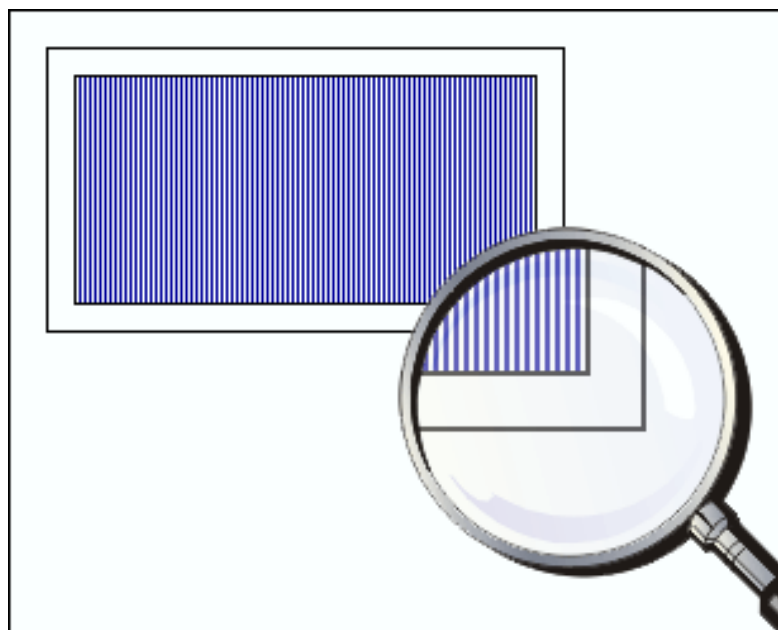


Спектром називають залежність інтенсивності світла від довжини або частоти хвилі. Головні дифракційні максимуми що перетворюються на спектри першого порядку, та на спектри другого порядку і т.д. У кожному з них найбільшого відхилення набувають хвилі більшої довжини. У спектрі будь-якого порядку його фіолетова частина завжди повернута до центрального максимуму, а червона – у протилежний бік. Отже, здатність дифракційної решітки розкласти біле світло на спектри ґрунтується на тому, що головні максимуми одного і того ж самого порядку для різних довжин хвиль розміщені в різних місцях екрану. Тому дифракційну решітку використовують як спектральний прилад. Треба зауважити, що в спектральних приладах, де диспергуючим елементом є призма найбільше відхиляються фіолетові промені, а де дифракційна решітка – червоні.

Дифракційні решітки бувають **пропускні** і **відбивні**. Першу дифракційну решітку виготовив німецький фізик **Ріттенхаус** у 1785 р., але в той час це нікого не зацікавило.

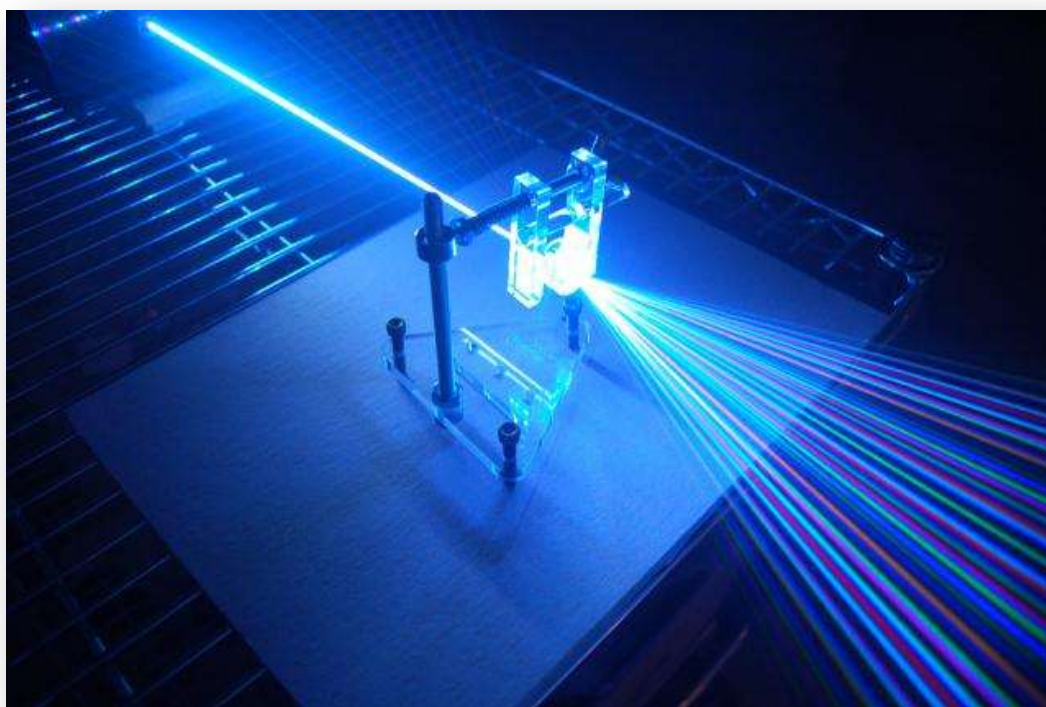
Через кілька десятиріч **Фраунгофер** застосував свою дифракційну решітку для дослідження суцільного спектра Сонця, відкривши в ньому темні лінії (фраунгоферові лінії). Він виготовляв решітки з дроту, який намотував на паралельно розміщені гвинти. Роль щілин відігравали просвіти між дротинами. Такі решітки мали до 136 щілин на 1 см. Виготовляти решітки з дроту нескладно, тому в деяких випадках ними користуються навіть в наш час, особливо в довгохвильовій (інфрачервоній) області спектра. Пізніше Фраунгофер за допомогою спеціальної машини наносив штрихи на золотій фользі, яка покривала скло, а потім за допомогою алмазного різця – на склі. Так було одержано решітки з 320 штрихами на 1 мм. Значних успіхів у техніці їх виготовлення досяг у 80-х роках XIX ст. німецький фізик **Роуланд**, який створив спеціальні гравірувальні машини і, крім цього, виготовив так звану вгнуту відбивну решітку, яка виконує одночасно роль решітки та збірної лінзи. Такі решітки і тепер використовують в прецизійних спектральних дослідженнях.

Перша гравірувальна машина Роуланда давала змогу наносити близько 570 штрихів на 1 мм, а вдосконалена – до 1200 штрихів на 1 мм. Сучасні високоякісні дифракційні решітки мають до 2400 штрихів на 1 мм.



Якщо площини щілин збігаються з площиною решітки, то вона не створює різниці фаз під час проходження плоскої хвилі.

Така решітка називається **амплітудною**. Для амплітудних решіток основна частина світлової енергії зосереджується в спектрі нульового порядку й при переході до спектрів вищих порядків інтенсивність світла зменшується. Для усунення цього недоліку необхідно змінити розподіл енергії в спектрах вищих порядків. Для цього треба змінити фазу коливань під час проходження плоскої хвилі крізь решітку, що досягається за допомогою решіток, штрихи яких мають певний профіль. Такі решітки називають **фазовими**, оскільки вони змінюють тільки фазу хвилі. Під час проходження або відбивання світла виникає різниця фаз від одного краю борозни до другого. Це приводить до того, що інтенсивність спектрів вищих порядків збільшується. Такі решітки застосовують в інфрачервоній спектроскопії. За останні роки створені подібні решітки для видимої і ультрафіолетової областей.





Запитання до самоперевірки:

1. Що називають дифракцією світла?
2. Що називають хвильовою поверхнею, хвильовим фронтом?
3. Сформулювати принцип Гюйгенса.
4. Як пояснює принцип Гюйгенса дифракцію світла?
5. У чому полягає задача дифракції?
6. Що називають кутом дифракції?
7. Згадайте схему дослідів Ньютона з інтерференції світла.
8. Що називають інтерференцією світла?
9. Що викликає явище інтерференції світла в тонких плівках?
10. У чому полягає суть методу зон Френеля?
11. Що являє собою зона Френеля?
12. Записати й пояснити формулу для площі зони Френеля.
13. Як змінюється амплітуда вторинних хвиль, що випромінюються зонами Френеля, із збільшенням номера зони?
14. Записати й пояснити формулу для радіуса зони Френеля.
15. Як пояснює принцип Гюйгенса-Френеля прямолінійне поширення світла?

Тема 11. Чорнобильська катастрофа та ліквідація її наслідків. Боротьба за ліквідацію загрози ядерної війни

Мета:

навчальна

- розгляд основних процесів що відбуваються в природі в наслідок протікання реакцій розпаду ядер різних елементів

виховна

- формування у студентів прагнення до пізнання навколишнього середовища та самовдосконалення

розвиваюча

- розвиток логічного мислення студентів
- розвиток навичок самостійної роботи з навчальним матеріалом

План

1. Чорнобильська катастрофа та ліквідація її наслідків.
2. Боротьба за ліквідацію загрози ядерної війни.

Головне з теми:

розвиток ядерної енергетики у світі

основні задачі розвитку ядерної енергетики в Україні

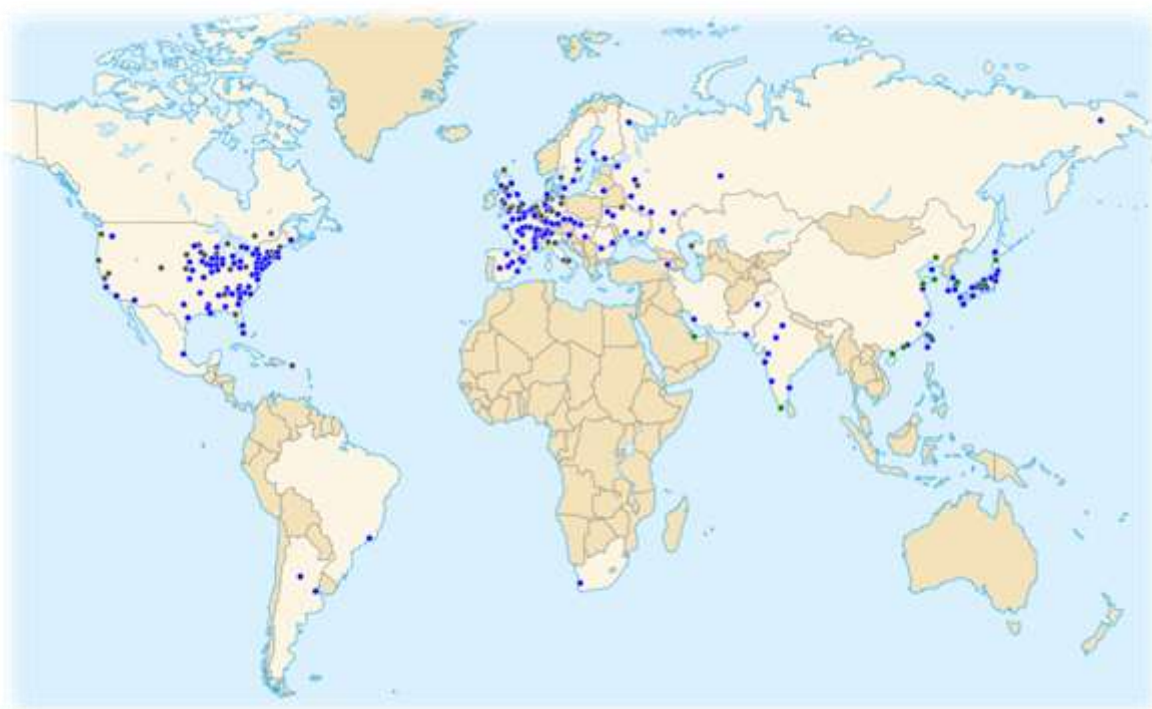
Чорнобильська катастрофа

наслідки аварії на Чорнобильський АЕС

загроза зараження великих територій радіацією

1. Чорнобильська катастрофа та ліквідація її наслідків.

Ядерна енергетика є необхідним джерелом енергії ряду країн світу. 2012 році в світі нараховувалося 438 ядерних діючих реакторів, що забезпечують 16% глобального обсягу енергії. Понад 30 країн використовують ядерну енергію як джерело для виробництва електроенергії. Її частка у Франції складає 76% всієї енергії, Бразилії - 1,4%. Будують нові станції, середній ресурс виробітку яких - 32 роки.



Аварія, яка на переконання вчених, "була неможлива", понівечила життя мільйонів людей та спричинила величезні економічні збитки, які навіть приблизно важко поррахувати. Наукова спільнота тепер вимушена визнати, що наслідки ураження радіонуклідами виявилися для людського організму набагато серйознішими, ніж будь-коли вважали енергетики-ядернікі. Крім того, мало хто замислюється над тим, яких непоправних збитків завдано жертвам катастрофи. Це трагедія, коли тисячі сімей тихо страждають, бо їх життя постійно підточують погане здоров'я та особисті кризи. Але найгірше те, що вони бояться власного майбутнього.

Чорнобильська катастрофа є планетарною катастрофою сторіччя, що за своїми масштабами не має прецедентів у світі.

Наслідки Чорнобильської катастрофи

Чорнобильська атомна електростанція розташована на півночі України, у місці впадання ріки Прип'ять у Дніпро. Будівництво розпочате в 1976 році. Усього було побудовано 4 блоки по 1000 МВт кожний.

26 квітня 1986 р. - Стався вибух на Чорнобильській атомній станції, яка розташована в 130 км від Києва. В результаті вибуху була зруйнована активна зона реактора блока № 4. Загальна площа забруднення сільськогосподарських угідь - 3,5 млн. га, із них рілля - 3,1 млн. га. Радіоактивними елементами забруднено понад 1,5 млн. га лісів України. Наслідки Чорнобиля з роками не зменшуються. Потерпіли ряд районів Росії, України, Білорусі.



Вибух у Чорнобилі забрав життя людей, багатьох залишив хворими і каліками, приніс глибокі соціальні потрясіння і

страшні екологічні наслідки. Дотепер мільйони людей знаходяться під впливом катастрофи, сотні тисяч людей не можуть повернутися до своїх осель, і сотні тисяч гектарів землі покриті радіоактивними "Чорнобильськими слідами". В усіх місцях, забруднених радіацією внаслідок аварії чи поганого проектування, спостерігаються наслідки її впливу: збільшення онкологічних захворювань, ушкодження імунної системи, мертвонароджені діти, розумова відсталість та інші вади.



Ліквідація наслідків Чорнобильської аварії була першим з великомасштабних експериментом з подолання ядерної кризи, який провалився. В катастрофі одразу загинула 31 особа, 130 тисяч отримали великі дози радіації, евакуювали й переселили сотні тисяч людей. Найшкідливішими та тривалими є наслідки, пов'язані з радіоактивним забрудненням ґрунту, посівних площ та водойм. Радіоактивні речовини містяться в харчових продуктах, а також накопичуються в тканинах та кістках людини, створюючи таким чином небезпеку для життя й здоров'я людства і дотепер, хоча минуло вже 26 років після аварії. Її соціальні наслідки не мають прецеденту в історії людства.

Уявлення людей про ядерну енергію назавжди змінилося.

ЧАЕС та міжнародні організації

Після прийняття восени 1986 року міжнародної Конвенції про оперативне оповіщення про ядерну аварію та Конвенції про допомогу у випадку ядерної радіації був створений Міжорганізаційний комітет з реагування на ядерні аварії, куди увійшли представники багатьох структур світового рівня. У забруднені регіони стали надходити чисті продукти, медичне устаткування, медикаменти, техніка тощо.

Наслідки катастрофи за своїми масштабами були глобальними. Уряди трьох республік - України, Білорусі й Росії 1990 року звернулися до ООН із пропозицією про розгляд цього питання Генеральною Асамблеєю. Того ж року Чорнобиль відвідала спеціальна місія цієї організації, що охарактеризувала чорнобильську аварію як безпрецедентну.

Робота велася за наступними пріоритетними напрямками: здоров'я, переселення, економічна реабілітація забруднених територій, соціально-психологічна реабілітація постраждалих людей, продовольчий і сільськогосподарський моніторинг, економічне оздоровлення навколишнього середовища. Практично з 1990 року всі сесії ООН включали до порядку денного питання про Чорнобиль.

Вивчення радіологічних наслідків Чорнобиля займається МАГАТЕ. Ця організація, що захищає інтереси атомної енергетики, намагалася розібратися в причинах аварії і виробити рекомендації для подальшої діяльності. У 1989р. вона приступила до розробки проекту щодо оцінок і впливу на здоров'я людей і навколишнього середовища наслідків катастрофи. Але, як показала практика, діяльність МАГАТЕ не була всебічною: як виявилось, не були обстежені 600 тисяч ліквідаторів, 100 тис. чоловік з евакуйованої 30-км зони.

1990 року у Відні представники Росії, Білорусі й України разом із МАГАТЕ підписали угоду про проведення міжнародних досліджень по Чорнобилю в науковому центрі "Прип'ять". МАГАТЕ посприяло в організації Чорнобильського центру

радіаційних досліджень. Тільки 1993 року здійснювалися п'ять проектів на суму декілька десятків мільйонів доларів.

Активну підтримку потерпілим регіонам надала ЮНЕСКО: 1991 р. розробила

Чорнобильську програму, що включила будівництво шкіл, програми досліджень і підготовку кадрів, аналіз соціальних, економічних наслідків аварії, збереження культурних цінностей. У цілому Програма ЮНЕСКО-ЧОРНОБИЛЬ включала 70 проектів.

9 січня 1991 р. у Парижі була підписана угода між ЮНЕСКО і СРСР про виконання програми з ліквідації наслідків Чорнобиля. На заклик ЮНЕСКО відгукнулися представники інтелігенції західних країн. Був створений Фонд Чорнобиля й організована Акція милосердя - "Мільйон для дітей Чорнобиля", надано сприяння в створенні реабілітаційних центрів за кордоном.

Екологічними аспектами Чорнобиля опікується Програма ООН з навколишнього середовища. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ) сприяла створенню в Обнінську (Росія), Києві, Мінську радіологічних центрів.

Робота міжнародних організацій з ліквідації наслідків аварії координувала і доповнювалися діями потерпілих республік. У Києві в 1992 році відбулася нарада представників Росії, України і Білорусі щодо основних напрямків реабілітаційної діяльності. У 1993 р. представники трьох країн у Мінську дійшли згоди з питань ядерної безпеки. Чорнобильська аварія та її наслідки розглядалися в контексті міжнародної ядерної безпеки реакторів РМБК.

Нагадую, що з 57 реакторів такого типу - 29 функціонували на території Східної Європи.

Сьогодні вже усі розуміють, що тільки об'єднавши зусилля, держави зможуть перебороти наслідки катастрофи. На жаль, активність міжнародного співтовариства полягає в наданні тільки продовольчої допомоги. А Україні, Росії і Білорусі необхідні технології з дезактивації забруднених районів,

рішення проблем національного розміщення і перерозподілу продуктивних сил країни у зв'язку з аварією на ЧАЕС.

ЧАЕС - це глобальна катастрофа, що нанесла значний збиток усій Земній кулі і цивілізації у цілому.

Чорнобиль сьогодні

Ядерне палне, що залишилося в зруйнованому енергоблоці станції, починає неконтрольовані ланцюгові реакції. З нього пробивається на світло америцій, що у сотні разів небезпечніший стронцію. Одним з чорнобильських могильників, на думку вчених, стає Дніпро. Продовжуються мутації в людей і тварин.

Академік Академії наук України Дмитро Гродзинський, який 17 років займається Чорнобилем та очолив створену при уряді країни Національну комісію з радіаційної безпеки, краще інших знає, чого чекати від Чорнобиля.

Він заявив, що якщо раніше каліцтв було - соті частки відсотка, то тепер - 24%. Існування мутацій довго не хотіли визнавати, але вони існують, і це є факт. Першими потерпілими виявилися тварини, тепер же все частіше народжуються діти із синдромом Дауна, а рак щитовидної залози в дітей виникає в тисячу разів частіше, ніж до аварії, причому не тільки в Україні, але й у Білорусії. Сьогодні вже немає великого опромінення, але генетична нестабільність продовжується. Це особливо помітно в рослин: їх вивезли в чисті зони, на незаражені землі, але з них виростають то карлики, то гіганти. Мутації пшениці, наприклад, дійшли до 60 відсотків. Академік вказав на суперечність тверджень про нешкідливість сільськогосподарської продукції, що надходить з виробництв, розташованих у зоні навколо реактора.

У чорнобильській деревині - серйозні дози америцію. При цьому закриття АЕС зовсім не вирішило всі проблеми, а лише стало початком нових. Демонтаж станції, Дезактивація її території триватимуть у кращому випадку 30-40 років. Чорнобильський саркофаг, що закрив зруйнований блок, - ненадійна, тимчасова споруда. У ньому 160-170 тонн ядерного

пального і більше кілометра дір і тріщин. Саркофаг робили нашвидкуруч, його заливали бетоном без арматури, він ненадійний з огляду на сейсмічну небезпеку чорнобильської зони.

За словами Дмитро Гродзинський, неодноразово реєструвалося збільшення нейтронних потоків. У зруйнованому реакторі йде розігрів паливних мас.

Заново опромінені, вони розпорошуються, із саркофага тече радіаційний пил.

У Чорнобильській зоні більше 800 радіаційних сховищ. Їх створили нашвидкуруч відразу ж після аварії, з розрахунком на 5-6 років. А це сотні тисяч кубометрів радіоактивних матеріалів. Тепер з них випливає америцій.

Він не безпечніший стронцію - як гарматні ядра страшніші дробу.

У стихійне радіаційне сховище перетворилася ріка Прип'ять - у ній дуже брудний мул. І те ж відбувається з Київським морем. У водах Дніпра стронцій, але ж ними поливають поля. Дніпро розносить рентгени на величезні території.

Академік Гродзинський спростував легенду про те, що чорнобильська радіація продовжує життя (до 124 років у "зоні відчуження" дожила селянка Марія Кулі). За його словами, «старим повезло». Їх кістковий мозок і нервова система мало сприйнятливі до радіації. Чорнобиль ударив по дітях – 50 відсотків з тих, що жили в "зоні" після аварії, отримали психічні відхилення.

Майже 26 років минуло від того часу, коли страшна біда прийшла в Україну, накривши чорним смертельним крилом Росію, Білорусь та інші країни. Поліське містечко Чорнобиль, якому виповнилося 800 років, зайняло місце у сумнозвісному списку поряд із Хіросімою та Нагасакі. Аварія, що трапилася на четвертому енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції, стала однією з найбільших катастроф в історії людства. Вона вплинула на долі мільйонів людей. У багатьох регіонах України виникли нові соціально-економічні умови, що спричинили кардинальні зміни в людському житті.

Україну проголошено зоною екологічного лиха. Для ліквідації наслідків аварії та створення системи надійного захисту населення від впливу Чорнобильської катастрофи залучено значні фінансові, наукові та людські ресурси.

15 грудня 2000 року Чорнобильська АЕС була закрита - таке рішення було прийнято з урахуванням оцінок експертів і міжнародних зобов'язань України.

На виконання цього політичного рішення Президентом України 19 жовтня 2000 року затверджені "Заходи до закриття Чорнобильської атомної електростанції". Зараз на ЧАЕС ведуться роботи по зведення елементів укриття та дезактивація забрудненої 30 кілометрової зони відчуження.

2. Боротьба за ліквідацію загрози ядерної війни.

Доктрина ядерної війни була прийнята в США відразу після Другої світової війни. На першому етапі розглядалася можливість ведення загальної ядерної війни, для якої характерно необмежене, масоване й сконцентроване за часом застосування усіх видів ядерної зброї, як по військових, так і по цивільних цілях у сполученні з іншими засобами. Перевага в такого роду конфлікті повинна була мати сторона, яка першою завдасть масований ядерний удар по території супротивника з метою знищення його ядерних сил.

Однак така атака могла не принести бажаного ефекту, оскільки створювала значну ймовірність нанесення відповідного удару по великих містах і промислових центрах. Крім того, виділення величезної кількості енергії в результаті вибухів, викиди сажі й попелу внаслідок пожеж (так звана «ядерна зима» чи «ядерна ніч») і радіоактивне зараження мали б катастрофічні наслідки для життя на всій Землі. Прямо чи побічно в таку війну — «третю світову» — виявилися б утягнуті всі чи більшість країн світу. Існувала ймовірність того, що розв'язання такої війни призвело б до загибелі людської цивілізації, глобальної екологічної катастрофі.



Глобально постала в наш час геополітична проблема збереження миру. Воєнні конфлікти існували завжди. Але вони ніколи так не загрожували всьому людству, як нині. У другій половині XX ст. у зв'язку з подальшим удосконаленням ядерної зброї і ракетної техніки, нагромадженням інших засобів масового знищення (хімічних і біологічних) виникла реальна можливість знищення цілих країн і континентів у випадку розв'язання третьої світової війни. В арсеналах найбільших країн світу зосереджена така кількість зброї, якої достатньо, щоб знищити все живе на планеті. Атомні й водневі бомби, якщо вибухнуть одночасно, здатні розірвати Землю на шматки. Сукупний світовий запас ядерної зброї становить близько **15 тис. мегатонн**, що приблизно дорівнює більш як **1 млн бомб**, аналогічних тій, що була скинута на Хіросіму. І хоча ядерна зброя більше не застосовувалась, викликає занепокоєння прагнення окремих держав до безконтрольного з боку міжнародного співтовариства володіння зброєю масового

знищення. Нині налічується щонайменше сім "ядерних держав", у т. ч. й таких, що конфліктують між собою (Індія та Пакистан). Ще ряд країн веде активні роботи щодо створення ядерної зброї.

У кінці 80-х - на початку 90-х років ХХ ст. з припиненням "холодної війни" між двома суспільними системами була знята загроза світового ядерного конфлікту. Однак значна небезпека криється також у локальних конфліктах, що можуть мати регіональне поширення. Так, міжнародні договори про нерозповсюдження ядерної зброї чи про повне припинення виробництва хімічної зброї підписані далеко не всіма країнами світу.

Величезними є також економічні втрати людства від гонки озброєнь. Після Другої світової війни всі країни світу витратили вже близько 10 трлн доларів США на озброєння й утримання армії. Цю величезну суму можна було б використати набагато продуктивніше, наприклад на ліквідацію глобальних проблем людства. Але до цього все ще далеко. Найбідніші, кризові країни, незважаючи на голод і злидні, продовжують вкладати величезні кошти у виготовлення зброї.

Разом із тим на проблему збереження миру на нашій планеті є різні точки зору. Так, багато хто стверджує, що винайдення атомної зброї відвернуло третю світову війну. Бо якщо в цьому конфлікті не буде переможців, то втрачається і сам сенс війни. Армія, воєнна промисловість дали роботу багатьом мільйонам людей, які інакше могли бути безробітними. Технічні досягнення у воєнній промисловості стали надбанням мирних галузей господарства. Потенційні агресори, боячись нищівного удару у відповідь, відмовились від своїх загарбницьких планів.

І все ж загалом військово-політична конфронтація і гонка озброєнь є вкрай небезпечними для людства. Будь-яка випадковість, технічні неполадки, помилки людей можуть стати причиною виникнення нової світової війни. І тоді щось змінити вже буде пізно.

Лише спільними зусиллями людство зможе вирішити проблему війни і миру. Світове співтовариство, ООН, НАТО, окремі країни та їх лідери намагаються покращити ситуацію у

світі, відвернути загрозу війни. Необхідно ліквідувати військові бази, передусім Росії та США, на чужих територіях. Велике значення має підписання міжнародних угод про скорочення озброєння. А найвагомішим внеском у справу миру на Землі є добровільна відмова від ядерної зброї. Першою державою світу, яка зробила це, стала Україна.



Запитання до самоперевірки:

1. Як ви вважаєте потрібна чи ні ядерна енергетика людству?
2. Які альтернативні джерела отримання енергії, окрім ядерної, ви знаєте?
3. Хто винен в катастрофі на Чорнобильський АЕС ?
4. Які методи було застосовано при ліквідації катастрофи на Чорнобильський АЕС?
5. Які наслідки мала катастрофа на Чорнобильський АЕС для України?
6. Яку участь брала міжнародна спільнота в ліквідації катастрофі на Чорнобильський АЕС?
7. В чому полягає небезпека застосування ядерної зброї ?
8. Як міжнародна спільнота запобігає використанню ядерної зброї в сучасному світі ?