

Міністерство освіти і науки України
Міжнародний гуманітарний університет
Кафедра інформаційних технологій

Горбачов В.Е.

ФІЗИКА

Опорний конспект лекцій для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня спеціальності
«Інженерія програмного забезпечення»

Одеса 2025

Затверджено Вченою Радою Міжнародного гуманітарного університету (протокол № 5 від 20 січня 2025 р.).

В.Е. Горбачов Фізика. Опорний конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Інженерія програмного забезпечення» [Електронне видання]. Кафедра інформаційних технологій Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 28 с.

Вища освіта за спеціальністю «Інженерія програмного забезпечення» передбачає наявність не лише практичних умінь розробки програмних систем, а й здатність аналізувати фізичні основи функціонування обчислювальної техніки, оцінювати ефективність технічних рішень та коректність моделей, що використовуються у програмних засобах. Для цього необхідна фундаментальна природничо-наукова підготовка. Курс фізики разом із курсом вищої математики становить основу фізико-математичної бази підготовки майбутніх фахівців з інженерії програмного забезпечення, забезпечуючи розуміння електромагнітних процесів, що лежать в основі роботи комп'ютерних систем, мереж та пристроїв обробки і передавання даних.

ЗМІСТ

Тема 1. Фізика, як наука і навчальна дисципліна.....	4
Тема 2. Системний підхід до вивчення дисципліни фізика.	4
Тема 3. Три види фізичних полів у природі. Електрична взаємодія.	7
Тема 4. Напруженість електричного поля.....	9
Тема 5. Потенціал. Різниця потенціалів і її розрахунок.	11
Тема 6. Електроємність.	13
Тема 7. Постійний електричний струм. Однорідна ділянка кола.	14
Тема 8. Електрорушійна сила.	16
Тема 9. Розгалужені кола.	18
Тема 10. Магнітне поле.	19
Тема 11. Магнітні сили.	21
Сила Ампера	21
Сила Лоренца.....	21
Тема 12. Рух заряджених частинок в магнітному полі.	21
Тема 13. Зовнішній магнітний потік.	23
Тема 14. Елементи теорії поля.	24
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	27

Тема 1. Фізика, як наука і навчальна дисципліна

Інструментарій фізики, необхідний для рішення задач дисципліни. Фізичні величини, закони фізики, моделі фізики. Структура дисципліни «Фізика».

Інструментарій, необхідний для рішення задач дисципліни Фізика:

Фізика – описує природні явища за допомогою:

фізичних величин	законів фізики	фізичних моделей
Фізичні величини кількісно описують природні явища	Закони фізики дозволяють передбачити поведінку однієї величини, коли інші величини змінюються	це максимально спрощені природні явища, для яких сформульовані закони фізики
$S, v, a, F,$	$t = S / v$	$A \bullet \text{-----} \bullet B$ $v \mid \rightarrow \quad S \quad t = S / v$

Знати: фізичні величини, закони фізики та відповідні фізичні моделі.

Структура розділів фізики:

1. Механіка
2. Молекулярна фізика
3. Електростатика
4. Постійний струм
5. Магнетизм
6. Коливання та хвилі
7. Оптика
8. Атомна фізика
9. Ядерна фізика

Тема 2. Системний підхід до вивчення дисципліни фізика.

Система розділів та підрозділів дисципліни «Фізика». Системний підхід при вивченні фізики та розв'язуванні задач фізики.

СИСТЕМА ФІЗИКИ

Інструментарій фізики:

1. Фізичні величини (ν , T , E , $\underline{U}$, B , f , λ , n , E_1 , Z)
2. Закони фізики
3. Моделі фізики



Структура фізики

1. <u>Механіка</u> (ν , F , E_K , E_P)			
2. <u>Молекулярна фізика</u> (T , ρ ,			
3. <u>Електростатика</u> (q , E , $\Delta\phi$, C)/			
4. <u>Постійний струм</u> (U , I , R , P)			
5. <u>Магнетизм</u> (B , ϵ)			
6. <u>Коливання та хвилі</u> (f , λ)			
7. <u>Оптика</u> (n)			
8. <u>Атомна фізика</u> (E_1 , E_2)			
9. <u>Ядерна фізика</u> (Z)			

Рішення будь-якої задачі з фізики складається з трьох основних етапів:

1. Необхідно відповідним чином обробити умову задачі (поки навіть не замислюючись над її вирішенням):

1. Короткий запис умови: перерахувати всі дані умови, навіть константи.

Наприклад, для завдання: Знайти силу тертя, яка діє на санки масою 8 кг, які тягнуть рівномірно по горизонтальній поверхні, якщо коефіцієнт тертя 0,7.	
Дано: $m = 8$ кг; $\mu = 0,7$; $g = 9,8$ м/с ² .	
Найти: $F_{\text{тер}} - ?$	

2. Переведення всіх чисельних значень величин в систему СІ та заміна приставок до одиниць вимірювання на множники. (80% всіх помилок при вирішенні задач – це неправильне переведення в систему СІ).

Для цього необхідно знати напам'ять множники, які відповідні приставкам:

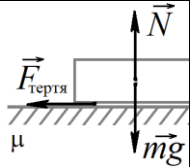
Приставка	Множник	Приставка	Множник
сант і (с)	10^{-2}	деці (д)	10^{-1}
мілі (м)	10^{-3}	кіло (к)	10^3
мікро о (мк)	10^{-6}	мега (М)	10^6
нан о (н)	10^{-9}	гіга (Г)	10^9
піко (п)	10^{-12}	тера (Т)	10^{12}

Звернути увагу на ступені одиниць вимірювання, наприклад, см $\Rightarrow 10^{-2}$ м, см² $\Rightarrow 10^{-4}$ м², см³ $\Rightarrow 10^{-6}$ м³ и т.д.

3. Зображення схеми умови: схематично зобразити фізичні явища, описані в завданні з перерахуванням літерних позначень (без чисельних значень) всіх величин з умови задачі.

На схемі умови можна просто перерахувати всі літерні дані, але для якнайшвидшого вирішення завдання необхідно спробувати схематично зобразити відповідне явище природи.

Наприклад, для завдання: Знайти силу тертя, яка діє на санки масою 8 кг, які тягнуть рівномірно по горизонтальній поверхні, якщо коефіцієнт тертя 0,7.	
$F_{\text{тертя}}$, μ , m	Якщо на схемі зобразити просто буквені позначення величин, то буде незрозуміло, як вирішувати задачу, оскільки згідно формули $F_{\text{тер}} = \mu \cdot N$.

	Виконавши схематичне зображення явища рівномірного руху санок, стає очевидним, що сила реакції опори дорівнює силі тяжіння $N = mg$ (оскільки санки не рухаються у вертикальному напрямку), і тоді легко отримуємо літерне рішення задачі $F_{\text{тер}} = \mu \cdot N = \mu \cdot mg$.
---	---

II. Рішення задачі в літерному вигляді:

4. Визначити до яких розділів фізики відносяться описані в завданні явищ природи.

Розділи фізики та знати напам'ять.

5. Виписати у вигляді формул основні закони, які описують визначені в завданні явища природи. Зрозуміло, що записувати необхідно тільки ті закони, які містять літерні позначення фізичних величин, перерахованих у схемі умови (пункт 3).

6. Рішення рівняння (або системи рівнянь) в буквенному вигляді відносно невідомої величини.

III. Чисельне рішення задачі:

7. Перевірка розмірності шуканої величини.

8. Підстановка чисельних значень величин з пункту 2.

9. Записати відповідь.

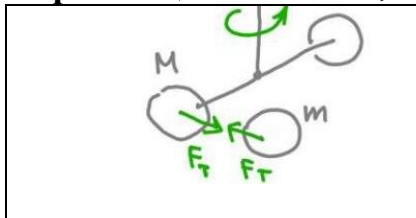
Тема 3. Три види фізичних полів у природі. Електрична взаємодія.

Три види фізичних полів: гравітаційне, електричне та магнітне. Об'єкти взаємодії в фізичних полях, закони взаємодії, силові характеристики фізичних полів (вектори поля). Електростатика. Заряд тіла. Взаємодія зарядів. Електростатична сила. Закон Кулона.

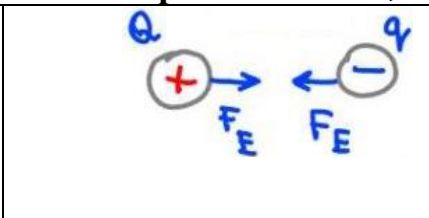
а) Три фізичні поля.

У природі існує три можливості змінити рух тіла, не торкаючись його (дальнодійність) за допомогою:

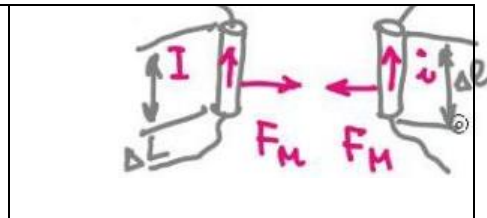
гравітаційного поля,



електричного поля,



магнітного поля.



Фізичні поля хоч і невидимі, але *вони можуть бути виявлені своїми силами:*

Крутільні ваги з масами	Пінопласт і полікарбонат	Взаємодія паралельних струмів
закон гравітаційної взаємодії	закон електричної взаємодії	закон магнітної взаємодії

$F_G = G \cdot m \cdot M / r^2$	$F_E = k \cdot q \cdot Q / r^2$	$F_M = k \cdot i_1 \cdot I_2 / r^2$
---------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------

С точки зору **математики** ці три формули ідентичні, тому що:

1) сили пропорційні ~ **добутку** двох змінних; 2) сили обернено пропорційні ~ **квадрату відстані** (~1/ r²).

С точки зору **фізики** ці три формули різні, тому що фізично різні **об'єкти взаємодії**:

$m \cdot M$ - маси	$q \cdot Q$ - заряди	$i_1 \cdot I_2$ - елементи струму
--------------------	----------------------	-----------------------------------

Для спрощення розрахунку сили вводять нові величини **вектори поля**:

$F_G = G \cdot m \cdot M / r^2 = m \underline{g}$	$F_E = k \cdot q \cdot Q / r^2 = q \underline{E}$	$F_M = k \cdot i_1 \cdot I_2 / r^2 = i_1 \cdot \underline{B}$
g - прискорення сили тяжіння	E - напруженість електричного поля	B – магнітна індукція

б) Заряд тіла.

Елементарний заряд - в природі існує самий малий заряд: $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Елементарний заряд мають дві елементарні частинки: **електрон** $q_n = -q_e$,

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

і **протон** $q_p = +q_e$, $m_p = 1\,836 \cdot m_e$ – електрон **практично невагомий** в порівнянні з протоном.

Основне положення молекулярно-кінетичної теорії: всі тіла складаються з атомів.

Атом складається з масивного ядра (включаючи протони) і невагомих електронних оболонок.

Нейтральний атом – кількість електронів дорівнює кількості протонів: $n_p = n_e$.

Іонізація - видалення з нейтрального атома кількох електронів. Отримуємо позитивний іон.

Протон неможливо видалити з ядра атома – його утримують в ядрі потужні ядерні сили.

Позитивно заряджене тіло має **дефіцит** електронів: $n_p > n_e$.

Негативно заряджене тіло має **надлишок** електронів: $n_p < n_e$.

Визначення Фізичної Величини: Величина заряду:

1) Представлена: $Q = (n_p - n_e) \cdot q_e$, де $n_p - n_e = n$ – додатне $n_p > n_e$ або від'ємне $n_p < n_e$ ціле число;

2) Розмірність (одиниці вимірювання): $[Q] = \text{Кл (Кулон)}$;

3) Фіз.сенс: **Q** - властивість тіла, яка показує, на скільки в тілі менше електронів, ніж протонів.

в) Закон Кулона.

Фізична модель: два точкові заряди q і Q , в вакуумі $\epsilon(\text{вакууму}) = 1$.

$$F_E = k \cdot q \cdot Q / r^2.$$

F_E - пропорційна добутку величини зарядів $q \cdot Q$ та зворотна до квадрату відстані між ними.

Властивості закону Кулона:

- Коеф. пропорційності $k=1/4\pi\epsilon_0$,
 $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м (Фарад на метр) - електрична постійна чи електрична проникність вакууму.
- РІЗНОЙМЕННІ заряди притягуються, а ОДНОЙМЕННІ - відштовхуються.
- Сила електричного поля в середовищі зменшується у ϵ разів $F_{\text{сер}} = F_{\text{вак}} / \epsilon$.

ВизнФізВел *Відносна діелектрична проникність середовища*

1) Представлена: $\epsilon = F_{\text{вак}} / F_{\text{сер}}$; 2) Од. вим.: $[\epsilon]=1$ (безрозмірна величина);

3) Фіз.сенси: властивість середовища, яка показує, в скільки разів електричне поле в середовищі зменшується. Приклад: $\epsilon(\text{повітря})=1$; $\epsilon(\text{керосину})=2$; $\epsilon(\text{парафіну})=12$.

Тема 4. Напруженість електричного поля.

Напруженість електричного поля. Електричне поле точкового заряду. Електричне поле заряджених тіл різної форми. Принцип суперпозиції електричних полів.

Вектор поля в електриці – напруженість електричного поля.

а) **ВФВ Напруженість ел. поля** – це силова характеристика електричного поля.

1) Предст. $\vec{E} = \vec{F}_E / q$, де $\vec{F}_E$ - ел. сила, що діє на заряд q ; 2) Од.вим. $[E]=H / K\lambda = V / m$;

3) Ф.С.: $\vec{E}$ - це властивість поля, яке створене зарядом Q : $\vec{E} = \vec{F}_E + 1K\lambda$.

б) Властивості Напруженості ел. поля:

• **Вл.1.** $\vec{E}$ вводиться закону як вектор поля з закону $F_E = k \cdot q \cdot Q / r^2$ для спрощення розрахунку сили: $F_E = q[E]$.

• **Вл.2. Напрямок** $\vec{E}$ є такий же, як напрямок сили $\vec{F}_E$, що діє на позитивний пробний заряд.

• **Вл.3. В середовищі** E зменшується в ϵ разів $E_{\text{сер}} = E_{\text{вак}} / \epsilon$, де ϵ – відн.діел.пр.сер.

• **Вл.4.** Людина завжди прагне зобразити те, що неможливо побачити!

Силкові лінії електричного поля – це графічне зображення поля. Правила їх побудови:

-вектор напруженості електричного поля **повинен лежати** вздовж

дотичної до лінії поля;

- лінії **спрямовані** від позитивних зарядів до негативних, тому: позитивні заряди – це **джерела** силових ліній, а негативні заряди – **стоки**;

-силові лінії **перпендикулярні** до поверхні заряджаючого тіла;

-лінії поля **щільніші** де інтенсивність більша (більший заряд створює більше ліній).

• **Вл.5.** Для зручності вводять характеристику поля, що не зменшується в середовищі:

ВФВ Вектор електричного зміщення :

1) Предст.: $\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$; 2) Од.вим.: $[D] = \text{Кл} / \text{м}^2$;

3) ФС: D – властивість поля, яка не залежить від середовища:

Модуль $|D| \equiv \sigma$ – в точності дорівнює поверхневої густині заряду плоского конденсатору.

• **Вл.6.** Принцип суперпозиції: ел.поле одного заряду не залежить від позиції інших зарядів.

$\vec{E}_{PE3} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ - результуючий вектор є векторною сумою векторів електричних полів окремих зарядів: **Напрямок** визначається за правилом паралелограма;

Абс.значення - за теоремою косинусів $E_{RES} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$

в) Електричне поле різних приладів.

•• Нескінченна пластина: $E_{\Pi} = \sigma / 2\varepsilon \varepsilon_0$; $D_{\infty} = \sigma / 2$ – не залежить від відстані до пластини:

Однорідне поле: $\vec{E} = \text{const}$ (є однакові у всіх точках поля).

ВФВ Поверхнева густина заряду: 1) $\sigma = Q / S$, де S – це площа поверхні пластини;

2) $[\sigma] = \text{Кл} / \text{м}^2$; 3) ФС: $\sigma \equiv Q / 1\text{м}^2$ – заряд 1м^2 пластини.

•• Нескінченний циліндр (нитка): $E_{\Pi} = 2k\tau / r$ $\sim 1/r$ – обернено до відстані (зменшується).

ВФВ Лінійна густина заряду: 1) $\tau = Q / L$, де L – це довжина нитки; 2) $[\tau] = \text{Кл} / \text{м}$;

3) фізичний сенс: $\tau \equiv Q / 1\text{м}$ – заряд 1м довжини нитки.

•• Сфера (точковий заряд): $E_T = kQ/r^2$ $\sim 1/r^2$ – обернено до квадрата відстані від заряду до

центру сфери (сильно зменшується в залежності відстані).

•• Диполь (фізична модель поляризованого атома) – це система двох рівних за величиною та протилежних по знаку точкові заряди $+q$ і $-q$, які розділені невеликою відстанню d (плече диполя).

Вісь диполя – пряма, проведена через заряди диполя.

Перпендикуляр до осі проведений через центр – нейтраль (потенціал $\varphi=0$).

На осі диполя	$E_{од} = 2kp / r^3$	$\sim 1/r^3$ – обернено до куба відстані до центра диполя, (найсильніше зменшується в залежності від відстані).
На нейтралі	$E_{нд} = kp / r^3$	

ВФВ Дипольний момент: 1) $p=qd$; 2) $[p]=\text{Кл}\cdot\text{м}$;

3) PS: p – показує величину зарядового зміщення електронних оболонок атома від ядра.

Тема 5. Потенціал. Різниця потенціалів і її розрахунок.

Потенціал. Різниця потенціалів і її розрахунок. Робота по переміщенню зарядів в електричному полі. Зв'язок між потенціалом і напруженістю поля. Енергія заряду в електричному полі. Зв'язок між потенціалом і напруженістю поля.

Електричний потенціал

а) **ВФВ** Електричний потенціал: 1) $\phi = W_{\text{пот}}/q$, $W_{\text{пот}}$ – пот. енергія пробн. зар. q в точці ел. поля; 2) $[\phi]=V$ (Вольт); 3) ФС: властивість поля: $\phi \equiv W_{\text{пот}} + 1 \text{ Кл}$ – потенціальна енергія одиничного позитивного пробного заряду.

Властивості електричного потенціалу:

Вл1 Введено для спрощення розрах. Пот.ен. заряду в точці: $W_1 = q\phi_1$.

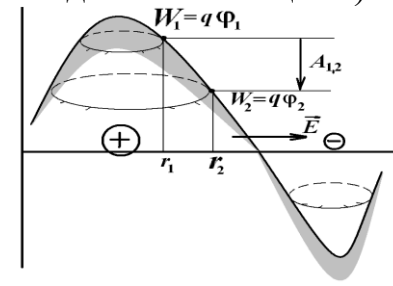
Вл2 Позитивний заряд створює потенційний бар'єр, негативний – потенційну яму.

Вл3 Потенціал є скалярною величиною. Скаляр не має напрямку!

Вл4 ϕ зменшується середовищі в ϵ разів $\phi_{\text{в сер.}} = \phi_{\text{в вак}} / \epsilon$.

Вл5 Еквіпотенціальні лінії – графічне представлення потенціалу на площині.

(Всі точки однієї лінії мають однакові потенціали):



• **Поверхня** зарядженого тіла є першою або останньою еквіпотенціальною поверхнею.

• Тому еквіпотенціальні лінії повторюють форму поверхні зарядженого тіла.

• Еквіпотенціальні лінії є замкнутими лініями (як поверхня зарядженого тіла).

• Еквіпотенціальні лінії не перетинаються. Одна точка не пов'язана з двома потенціалами.

• Еквіпотенціальні лінії щільніші де потенціал більше (більший заряд створює більше ліній)

Вл6 Принцип суперпозиції: Ел. поле одного заряду не залежить від положення інших зарядів.

$\varphi_{\text{RES}} \equiv \varphi_1 + \varphi_2$ – результуючий потенціал є скалярною сумою потенціалів окремих зарядів.

б) **DPQ** Різниця потенціалів (напруга):

1) $\Delta\varphi = U = A/q$, A_{12} – робота електричного поля з переміщення пробного заряду q від 1 до 2;

2) $[U] = [\Delta\varphi] = V$; 3) PS: властивість поля: $\Delta\varphi = A_{+1Kl}$ – робота з переміщення одиничного позитивного пробного заряду.

Властивості різниці потенціалів:

Вл1) Введено для спрощення розрахунку роботи: $A = -(W_2 - W_1) = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q \cdot U$
– робота електричної сили дорівнює зменшенню потенційної енергії.

Вл2) $A > 0$ – сила сприяє переміщенню; $A < 0$ – сила проти переміщення.

Вл3) U не залежить від траєкторії руху. Визначається тільки величиною поля.

в) **Зв'язок між напруженістю E та ел. потенціалом φ** (одновимірний випадок).

1) Напруженість ел. поля E є похідною від потенціалу φ по відстані x :

$E = -\frac{d\varphi}{dx}$. Для однорідного поля: $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$. Ось чому **В/м**.

Приклад: $\varphi_1 = +2V$ $\varphi_2 = +8V$ $\Delta x = 2m$	$E_x = -\frac{\Delta\varphi_{1,2}}{\Delta x_{1,2}}; \quad E = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta x} = -\frac{8 - 2}{2} = -3V/m$
--	---

2) З рівняння $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ для однорідного поля різниця потенціалів: $\Delta\varphi = -E\Delta x$.

В = В/м*м

Інтеграл є оберненою функцією до похідної, тому потенціал φ є інтегралом

від напруженості ел. поля E на відстані dx : $\varphi_x = -\int_{x_1}^{x_2} E_x dx$.

г) Розрахунок потенціалу різних приладів.

1) Конденсатор - дві металеві протилежно заряджені пластини, розділені шаром діелектрика d .

Нейтраль $\varphi=0$ знаходиться на негативній пластині $x=0$. Поле спрямоване від + до -: $E_{\text{КОНД}} = -\frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$, тоді: $\Delta\varphi = -E \cdot \Delta x = -E \cdot d = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} d = U$.	$\begin{array}{ c } \hline [-] \\ \hline [+] \\ \hline [-] \\ \hline [+] \\ \hline \end{array} \quad \leftarrow \vec{E}$ $x=0$ $x+=d$ $\varphi=0$ U_+
--	---

2) Поверхня сфери R :

Нейтраль $\varphi=0$ знаходиться на нескінченності $r=\infty$. Якщо на поверхні $r=R$ $E_{\text{СФ}} = +k\frac{Q}{R^2}$, то $\varphi_{\text{СФ}}^R = E_{\text{СФ}} \cdot R = k\frac{Q}{R^2} \cdot R = k\frac{Q}{R} = U_R$.	$\begin{array}{ c } \hline +) \\ \hline + \\ \hline +) \\ \hline \end{array} \quad \rightarrow \vec{E}$ $\varphi = U_R (r=R)$ $\varphi=0 (r=\infty)$
--	---

Тема 6. Електроємність.

Електроємність віддалених тіл та системи тіл. Енергія електричного поля. Конденсатори. Енергія електричного поля конденсатора. Електроємність. З'єднання конденсаторів.

Електроємність.

а) **ВФВ** Електроємність: 1) Представляється: C ; 2) Од. виміру: $[C]=\Phi$ (Фарада); 3) Фіз.сенси:

C – здатність пристрою накопичувати заряд (конденсувати енергію електричного поля W).

C визначається розмірами пристрою (як місткість порожньої пластикової пляшки 1л, 2л, ...):

2

2) Плоский конденсатор (спеціальний пристрій для накопичення енергії ел. поля):

$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$	– від S площини пластин та d відстані між ними: великі пластини $S \uparrow$ на невеликій відстані $d \downarrow$ можуть накопичувати більше енергії.
---------------------------------------	---

3) Двох провідна лінія (фізична модель кабелю) (два паралельні дроти):

$C_{(1м)} = \pi \epsilon \epsilon_0 / \ln(d/a)$ – від d відстані між дротами та a діаметру їх перетину: товсті дроти на невеликій відстані можуть зберігати більше енергії.

4) Коаксіальний кабель (реальний кабель в/ч зв'язку) (два концентричні провідні циліндри):

$C_{(1м)} = \pi \epsilon \epsilon_0 / \ln(R/r)$ – від радіусів циліндрів r і R : товста жила $r \uparrow$ з тонким обплетенням $R \downarrow$ можуть зберігати більше енергії.

Висновки:

В.1) C визначається розмірами пристрою, ні зарядом Q або напругою U .

В.2) Навіть незаряджений пристрій $Q=0$ має електричну електроємність ($C=1\text{мкФ}$, $C=2\text{мкФ}$), так само, як порожня пластикова пляшка має місткість ($V=1\text{л}$, $V=2\text{л}$).

б) Основна властивість конденсатора – конденсувати енергію в один момент часу, і віддати її в електричний ланцюг в інший момент часу (конденсатор працює на змінному струмі):

Якщо до пристрою прикласти напругу U , то пристрій, <u>накопичує заряд $Q=C \cdot U$ та конденсує енергію:</u>	$W_C = \frac{CU^2}{2}$
--	------------------------

в) В якому вигляді зберігається Енергія в конденсаторі?

$W_C = \frac{CU^2}{2}$. Зробимо заміну: $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$ та $U = E \cdot d$, де E – напруженість електричного поля.

Враховуючи, що об'єм простору всередині конденсатора $V = S \cdot d$, отримуємо:

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S / d \cdot (E \cdot d)^2}{2} = S \cdot d \cdot \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = V \cdot w_C; \quad \boxed{w_C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}}$$

ВФВ Об'ємна густина енергії: 1) $w_C = \frac{W_C}{V}$ 2) $[W] = \text{Дж/м}^3$; 3) Фіз.сенси: $w \equiv$

$W_{I.M}^3$ – енергія в 1 м^3 .

Висновок: Енергія в конденсаторі зберігається в вигляді електричного поля в просторі між пластинами.

2) Конденсатори в електричних колах.

Паралельне з'єднання		Послідовне з'єднання
	Схема	
	Розподіл потенціалу	
$U_{3AG} = U_1 = U_2$ – однакова;	Напруга	$U_{3AG} = U_1 + U_2$ – більша;
$Q_{3AG} = Q_1 + Q_2$ – більший;	Заряд	$Q_{3AG} = Q_1 = Q_2$ – однаковий;
$C_{3AG} = C_1 + C_2$ – більша;	Еквівалентна ємність	$\frac{1}{C_{3AG}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{3AG} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ – менша;

Три однакові конденсатори:

Два послідовних, а до них паралельно один	Два паралельних, а до них послідовно один
$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C^2}{2C} = \frac{C}{2}; C_{3AG} = \frac{C}{2} + C = \frac{3C}{2}$ – більша	$C_{1,2} = C_1 + C_2 = 2C; C_{3AG} = \frac{2C \cdot C}{2C + C} = \frac{2C^2}{3C} = \frac{2C}{3}$ – менша

Тема 7. Постійний електричний струм. Однорідна ділянка кола.

Мікроскопічна теорія протікання струму. Густина струму. Закон Ома в диференціальній формі. Макроскопічна теорія протікання струму. Сила струму, напруга. Закон Ома в інтегральній формі. Потужність струму. Закон Джоуля-Ленця. З'єднання опорів.

Однорідна ділянка. опір. Електрична енергія.

a) Закон Ома в мікроскопічному вигляді. Ел. енергія передається по металевих проводах.

1) Метал містить практично нескінченну кількість вільних ел. (концентрація $n \sim 10^{28}$ ел/м³).

Коли до метал. дроту прикл. напруга U , то всі електрони **бруть участь** у двох типах руху:

хаотичні теплові коливання і **дрейф** протилежно електричному полю (від – до +).

2) **Теплові** коливання призводять до зіткнень між електронами та атомами (електрон **передає** кінет. енергію W до атома). При цьому процесі електрон **іспитує опір руху**, а провідник нагрівається.

3) **Дрейфове** прискорення ел $a_d = F/m = q_e E/m$; тоді швидкість дрейфу $v_d = (v_0 + v_t)/2 = a\tau/2 = (q_e \tau / 2m) \cdot E$, де τ - середній інтервал часу між зіткненнями.

ВФВ Густина струму:

1) $j = \Delta q / S \Delta t$, Δq – заряд, що протікає по всій ділянці дроту; 2) $[j] = A / m^2$;

3) PS: властивість струму: $j \equiv \Delta q_{1s} / m^2$ - що протікає за 1 секунду через $1 m^2$ перерізу дроту.

Рівняння густ.стр.: $j = q_e n v_d$, де n – концентрація (кількість електронів в $1 m^3$).

Тоді $j = n \cdot (q_e^2 \tau / 2m) \cdot E$. Коефіцієнт – електропровідність $\gamma = n \cdot (q_e^2 \tau / 2m)$, $[\gamma] = 1 / \Omega \cdot m = C/m$,

Отримаємо Закон Ома в мікроскопічному вигляді: $j = \gamma E$.

ВФВ Питомий опір (основна характеристика металів):

1) $\rho = 1/\gamma$; 2) $[\rho] = \Omega \cdot m$; 3) PS: хар-ка металу (таблична величина при $20^\circ C$ $\rho_{MID} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$).

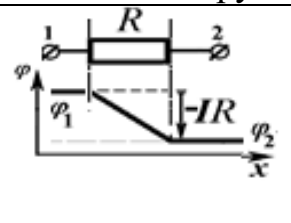
При зростанні температури $T \uparrow$, інтенсивність теплових коливань зростає, кількість зіткнень стає більше, електрон частіше віддає свою кінетичну енергію.

ВИСНОВОК: Питомий опір провідників зростає зі зростанням температури:

$\rho_2 \uparrow = \rho_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t_{12} \uparrow)$, α - температурний коефіцієнт питомого опору.

б) Закон Ома в макроскопічному вигляді

DPQ Сила струму: 1) $I = \Delta q / \Delta t$, де Δq - заряд, що протікає по дроту; 2) $[I] = A$; 3) PS: властивість струму: $I \equiv \Delta q_{1s}$ – заряд, що протікає за 1 с через весь переріз дроту.



ВФВ Опір: 1) $R = \rho l / S$; де l - довжина дроту площею перетину S . 2)

$[R] = \Omega$; 3) PS: R – властивість дроту: міра протидії протіканню струму, яка залежить від розмірів (l та S).

ВФВ Напруга: 1) $U = A/q$, 2) $[U] = B$; 3) PS: властивість поля: $U = A_{+IKL}$ – робота з переміщення одиничного позитивного пробного заряду. Робота $A = F \cdot l$, тоді $U = F/q = E \cdot l$, $[U] = [B/m] [m] = B$.

В закон Ома в мікроскопічному вигляді: $j = \gamma E$, підставляємо $j = I/S$, $E = U/l$ і $\gamma = 1/\rho$ до $j = \gamma E$

$\Rightarrow$ Закон Ома в макроскопічному вигляді: $I = U/R$,

ВИСНОВОК: Для однорідної ділянки: (напруга) $U = IR$ (падіння напруги). Коли $I \uparrow$, то $U \uparrow$.

в) Резистори в електричних колах.

Електрична	Резистори паралельно:	Електрична	Резистори послідовно:
------------	-----------------------	------------	-----------------------

принципова схема	Напруга однакова: $U_{\text{сoм}} = U_1 = U_2$; Струм розподіляється між резисторами: $I_{\text{сoм}} = I_1 + I_2$. Еквівалентний опір <u>менше</u> : $\frac{1}{R_{\text{EQ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{\text{EQ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	принципова схема	Напруга суммується: $U_{\text{сoм}} = U_1 + U_2$; Струм зберігається: $I_{\text{сoм}} = I_1 = I_2$. Еквівалентний опір <u>більше</u> : $R_{\text{EQ}} = R_1 + R_2$.
Розподіл потенціалу		Розподіл потенціалу	

2) Електроенергія.

Робота, необхідна для переміщення заряду Δq через різницю потенц. U є:
 $A = \Delta q U = IU \cdot \Delta t$,

Тоді потужність струму: $P = IU$. , $[P] = \text{Вт}$ (ват). $P = IU = U^2/R = I^2 R$

Закон Джоуля-Ленца: Робота струму призводить до нагрівання провідника:
кількість теплоти $Q = I^2 R \Delta t$ - пропорційна R .

Тема 8. Електрорушійна сила.

Джерело ЕРС. Розподіл потенціалу вздовж неоднорідної ділянки кола.
Закон Ома для неоднорідної ділянки кола. Падіння напруги. Потужність струму.

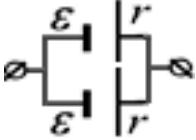
Неоднорідна ділянка. Умова узгодження навантаження.

а) Джерело ерс (джерело живлення) – пристрій, в якому виконується робота сторонніх сил (магнітні сили, сили хімічної реакції, енергія світла) створює надлишок позитивних зарядів на одній клемі пристрою.

	Два параметри джерела ерс: DPQ ЕРС джерела: 1) $\varepsilon = A_{\text{стор}} / q$, де q - заряд, що протікає через джерело; 2) $[\varepsilon] = \text{В}$; 3) PS: ε - максимальна напруга на клемі джерела, коли $I = 0$ (холостий хід). DPQ Внутрішній опір: 1) $r = \varepsilon / I_{\text{макс}}$, де $I_{\text{макс}}$ –максимально можливий струм; 2) $[r] = \text{Ом}$; 3) PS: r – визначає межу продуктивності джерела $I_{\text{макс}} = \varepsilon / r$ (коротке замикання).
--	--

б) Джерела в електричних колах. Два однакових джерела

	паралельно: Напруга однакова: $\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$;		послідовно: Напруга <u>вдвічі більша</u> : $\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2\varepsilon$;
--	--	--	--

 Для збільшення струму (продуктивності)	Струм вдвічі більший: $I_{\text{заг}} = I_1 + I_2 = 2I.$ Еквівалентний опір менший, чим індивідуальні опори: $r_{\text{ЕК}} = r / 2.$ $I_{\text{МАХ}} = \varepsilon / r_{\text{ЕК}} = 2I$	Для збільшення напруги (продуктивність не гірше)	Струм зберігається: $I_{\text{заг}} = I_1 = I_2 = I.$ Еквівалент опір більший, чим індивідуальні опори: $r_{\text{ЕК}} = 2r.$ $I_{\text{МАХ}} = \varepsilon / r_{\text{ЕК}} = 2\varepsilon / 2r = I$
--	---	--	--

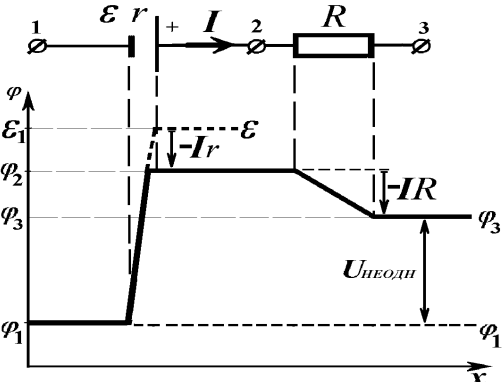
в) Режим роботи джерела.

Режим генератора напруги: коли $R \gg r$, то $U_{\text{МАХ}} = \varepsilon$.

Режим генератора струму: коли $R \ll r$, то $I_{\text{МАХ}} = \varepsilon / r$.

г) Закон Ома для НЕОДНОРІДНОЇ ділянки кола, що містить джерело ЕРС.

Два види роботи сторонніх сил: сторонні сили джерела виконують обидва типи роботи

1) по переміщенню заряду протилежно електричному полю (збільшення потенціальної енергії) $A_1 = q \cdot \Delta\phi$ 2) роботу по подоланню внутрішнього опору (нагрівання джерела) $A_2 = I^2 r \Delta t = Ir \cdot I \Delta t = Ir \cdot q$	$\begin{cases} \varepsilon = A_{\text{СТОП}} / q = \Delta\phi \\ +Ir \end{cases}$ $\Rightarrow \Delta\phi = \varepsilon - Ir$ $\Rightarrow U_r = \varepsilon - Ir$ – напруга на джерелі
	ВИСНОВОК: Для неоднорідної ділянки, що містить джерело ЕРС: Напруга на неоднорідній ділянці $U = \varepsilon - Ir - IR$ падіння напруги, Коли $I \uparrow$, то $U \downarrow$. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола $I = \frac{\varepsilon - U}{R + r}$

е) ККД електричного кола.

Прозведена джерелом загальна потужність P використовується: як корисна потужність $P_K = I^2 R$, нагрівання опору навантаження R; і як марна потужність $P_M = I^2 r$ нагрівання джерела та дротів: $P = P_K + P_M.$	
---	---

ВФВ ККД: 1) $\eta = P_K / P$; 2) $[\eta] = 1$;

3) PS: властивість кола, яка показує частину загальної енергії, що є корисною.

Теорема про максимальну потужність: Коли $R = r$ (умова узгодження навантаження), то $P_K = I^2 R$ є максимальною (але ефективність $\eta = 50\%$) – оптимальний режим роботи.

Тема 9. Розгалужені кола.

Елементи теорії графів для електричних кіл. Правила Кірхгофа.

а) Елементи теорії поля

Вузол – з'єднання 3-х та більше провідників.

Гілка – шлях від вузла до сусіднього вузла зі своїми елементами.

Замкнутий контур - шлях від вузла до цього ж вузла зі своїми елементами.

Висновок: В двовузловому колі маємо три гілки та три замкнутих контури.

б) Правила Кірхгофа

0-ве правило (правило гілок) (дуже важливе ствердження для визначення невідомих струмів):

В кожній гілці протікає свій струм. **Висновок:** В двовузловому колі маємо три струми.

1-ше правило (правило вузлів):

$\sum I_i = 0$, де $\sum I_i$ – алгебраїчна сума струмів, які втікають в вузол.

Якщо струм втікає $\bullet \leftarrow$, то $I > 0$. Якщо струм витікає $\bullet \rightarrow$, то $I < 0$.

2-ге правило (замкнутого контуру):

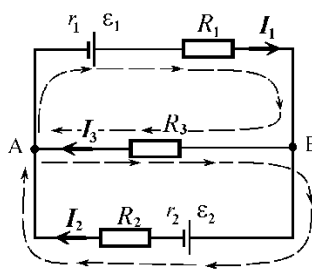
$\sum I_i R_i + \sum I_i r_i = \sum \varepsilon_i$		
алгебраїчна сума падіння напруги		дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС джерел
на зовнішніх резисторах	на внутрішніх опорах джерел	коли напрямок роботи сторонньої сили (від – до + всередині джерела) збігається з обраним заздалегідь напрямком обходу контуру $\varepsilon > 0$
коли напрямок струму збігається з обраним заздалегідь напрямком обходу контуру	$IR > 0 \quad Ir > 0$	
коли напрямок струму є протилежним	$IR < 0 \quad Ir < 0$	коли напрямок роботи є протилежним $\varepsilon < 0$

в) Приклад Скористаємося правилами Кірхгофа для розв'язування розгалуженого кола.

Дано: $R_1, R_2, R_3,$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, r_1, r_2, r_3$

Знайти: струми - ?



1) По-перше, треба визначити кількість струмів та через які елементи протікає кожен струм

0-ве правило (правило гілок). Маємо три струми I_1, I_2, I_3 – це три невідомі, тому необхідно скласти три рівняння. Вибірємо напрямки струмів довільно (бажано по напрямку роботи сторонньої сили).

2) **1-ше правило (правило вузлів):** для вузла А: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$; для вузла В: $-I_1 - I_2 - I_3 = 0$.

Для рішення придатні тільки $n-1$ рівняння, де n – кількість вузлів, тобто тільки одне.

3) **2-ге правило (замкнутого контурів):** Вибірємо напрямки обходу контурів довільно, я – за годинниковою стрілкою (на схемі пунктир).

для контуру 1: $I_1 R_1 + I_1 r_1 + I_2 R_2 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$;

для контуру 2: $I_1 R_1 + I_1 r_1 - I_3 R_3 - I_3 r_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_3$;

для контуру 3: $I_1 R_1 + I_1 r_1 + I_2 R_2 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$.

Для рішення придатні тільки $n-1$ рівняння, де n – кількість контурів, тобто тільки два.

Таким чином, отримаємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими, розв'язуємо її.

1) Знаходимо невідому величину, яка входить в усі три рівняння, знаходимо математичний вираз інших двох невідомих через неї та підставляємо у третє рівняння. Знаходимо її.

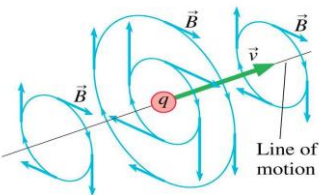
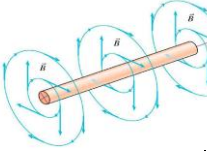
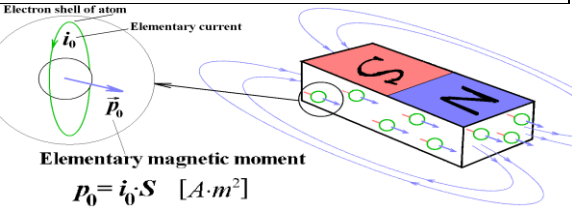
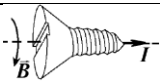
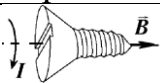
Знак мінус у значенні струму означає, що напрямок цього струму вибрано протилежним до діючого.

2) Різницю потенціалів U можна знайти по закону Ома для неоднорідної ділянки кола, У законі Ома враховується, що позитивний напрямок сили струму збігається з напрямком роботи сторонніх сил джерела, що відповідає збільшенню потенціалу. Тоді шукана різниця потенціалів дорівнює $U = \varepsilon_1 - I_1(R_1 + r_1)$. Робимо розрахунки

Тема 10. Магнітне поле.

Джерела магнітного поля (рухомі заряди, струми та постійні магніти). Магнітна індукція. Лінії індукції магнітного поля. Напруженість магнітного поля провідників зі струмом різної форми.

а) Магнітне поле створюється:

рухомою зарядженою частинкою	...струмами	...постійними магнітами
		
Напрямок визначається за правилом свердлика:		
	Поступальний рух гвинта повинен збігатися з напрямком струму I .	 Обертальний рух гвинта має збігатися з напрямком струму I .

Обертальний рух вказує напрям силових ліній В.	Поступальний рух вказує напрям В.
--	-----------------------------------

б) Закон взаємодії елементів струму (об'єкти взаємодії в магнетизмі).

Модель фізики: два елементи струму idl та IdL , + вакуум.

$$F_M = k \cdot IdL \cdot idl / r^2.$$

- Коефіцієнт пропорційності $k = \mu_0 / 4\pi$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - проникність вакууму (магн. постійна).

- односпрямовані струми притягуються, а протилежні струми – відштовхуються.

- Поле збільшується в середовищі в μ разів $F_{CER.} = \mu \cdot F_{BAK.}$

ВФВ Відносна проникність середовища: 1) $\mu = F_{CER.} / F_{BAK.}$; 2) $[\mu] = 1$; 3)

ФС: властивість середовища, яка показує, в скільки разів магнітне поле в середовищі більше.

в) Магнітна індукція – вектор магнітного поля.

ВФВ Вектор магнітної індукції:

1) абс.значення: $B = F_M / idl$, F_M – магнітна сила, яка діє на елемент струму idl в полі;

напрямок визначається за правилом свердлика.

2) $[B] = H / A \cdot m = Tл$; 3) ФС: властивість поля: $B \equiv F_{1A \bullet m}$ – сила, що діє на одиничний пробний елемент струму.

Властивості магнітної індукції:

1) Вводиться як $B = k \cdot IdL \cdot idl / r^2$ для спрощення розрахунків сили:
 $F_M = k \cdot IdL \cdot idl / r^2 = idl B$.

2) Збільшується в середовищі в μ разів $B_{CER.} = \mu \cdot B_{BAK.}$

3) Лінії магнітного поля – це графічне зображення поля. Правила побудови:

- вектор поля спрямовано по дотичній до лінії поля;
- силові лінії замкнуті (силові лінії магнітного поля не мають джерел і стоків);
- лінії поля щільніше де індукція більше (більший струм створює більше ліній).

4) Для зручності вводиться:

ВФВ Напруженість магнітного поля: 1) $\vec{H} = \vec{B} / \mu \mu_0$; 2) $[H] = A/m$; 3)

ФС: H – властивість поля, яка не залежить від середовища. $|\vec{H}| \equiv I/D$ – струм витка діаметром 1 м.

5) Принцип суперпозиції: поле одного струму не залежить від позиції інших струмів.

$\vec{B}_{RES} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ - векторна сума векторів індивідуальних струмів магнітного поля:

напрямок результуючого вектору визначається по правилу паралелограма;

модуль- визначається теоремою косинуса $B_{RES} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha}$.

г) Магнітне поле різних струмів.

1) Нескінченний прямий дріт зі струмом I на відстані r від дроту $H = \frac{I}{2\pi r}$;

2) Центр витка із струмом радіуса R зі струмом $H = \frac{I}{2R}$;

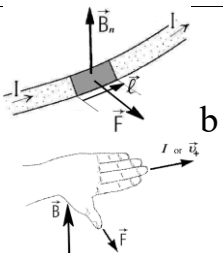
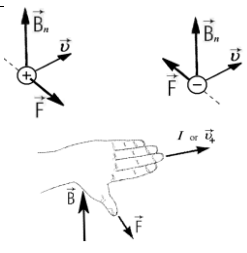
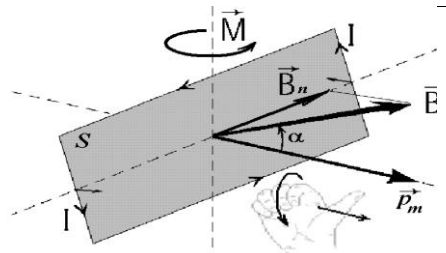
3) На осі довгого соленоїда (котушки індуктивності) $H = I \cdot n_0 = \frac{IN}{L}$,

де L – довжина котушки; N – кількість витків дроту; n_0 – кількість витків на одиницю довжини.

Тема 11. Магнітні сили.

Магнітні сили діючи на рухомі заряди та струми в магнітному полі. Закон Ампера. Сила Лоренца. Контур зі струмом в магнітному полі. Магнітний момент витка зі струмом.

а) Магнітні сили можуть діяти на:

...на елемент струму $I \cdot \Delta \ell$:	...на заряджену частинку q , що рухається зі швидкістю v :	...на контур струмів I , з площею S , який має свій магнітний момент $p_m = I \cdot S$:
Сила Ампера	Сила Лоренца	Момент магнітної сили $M_M = F_M \cdot r$:
$\vec{F}_A = [I \Delta \ell \times \vec{B}]$	$\vec{F}_L = [q \vec{v} \times \vec{B}]$	$\vec{M}_M = [\vec{p}_m \times \vec{B}]$
$F_A = I \cdot \Delta \ell \cdot B \sin \alpha = I \Delta \ell B_{\perp}$, де кут $\alpha = (\vec{I}, \vec{B})$, а $B_{\perp} \perp I$.	$F_L = q v \cdot B \sin \alpha = q v \cdot B_{\perp}$, де кут $\alpha = (\vec{v}, \vec{B})$; а $B_{\perp} \perp v$.	$M_M = p_m \cdot B \sin \alpha = p_m \cdot B_{\perp}$, де кут $\alpha = (\vec{p}_m, \vec{B})$; а $B_{\perp} \perp p_m$.
		
F_A і напрямок F_L визначається правилом лівої руки: пальці вздовж I , $B_{\perp} \Rightarrow$ в долонь, тоді великий палець визначає F . Якщо $B_{\perp} = 0$, то $F = 0$.		M_M орієнтує петлю вздовж поля (як стрілка компаса). Якщо $B_{\perp} = 0$, то $M_M = 0$.

Тема 12. Рух заряджених частинок в магнітному полі.

Сила Лоренца. Види руху заряджених частинок в магнітному полі (прямолінійний рух, циклотронний рух, спіральний рух).

а) Рух заряджених частинок у магнітному полі.

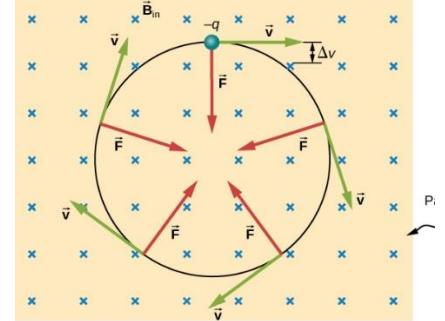
Прямолінійний рух (v паралельно B) $v = v_{\parallel}$ – частинка рухається по прямій, тому що $\alpha = 0$ і $F_L = 0$.

Циклотронний рух (v перпендикулярно B) $v = v_{\perp}$ – частинки рухаються по колу.

З рівняння руху: $F_L = ma$;

де сила Лоренца $F_L = qv \cdot B$, а прискорення $a = v^2/R$, дістаємо $qv \cdot B = m v^2/R \Rightarrow$ швидкість $v = v_{\perp} = BRq/m$.

Циклотронна частота: $\nu = Bq / 2\pi m$.



Спіральний рух (v ні паралельно, ні перпендикулярно B) $v = v_{\perp} + v_{\parallel}$

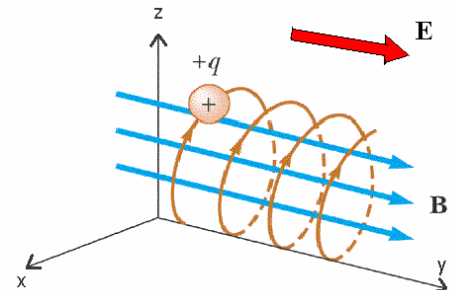
– частинки рухаються по спіралі навколо силових ліній магнітного поля.

З рівняння руху: $FL = ma_{\perp}$;

$$v_{\perp} = BRq/m,$$

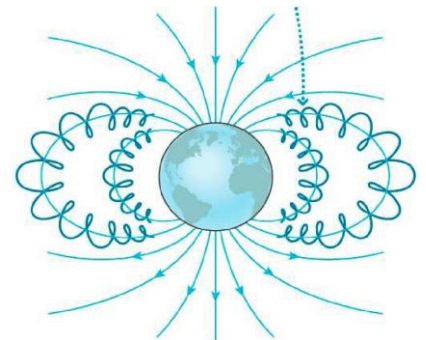
$$v_{\parallel} = h / T = h\nu = hBq / 2\pi m.$$

T – час одного оберту частинки,
 h – шаг спіралі.



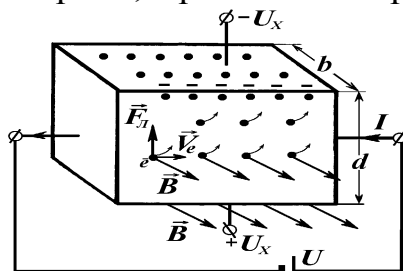
Рух заряджених частинок у магнітному полі Землі (нерівномірному!) над атмосферою:

магнітне поле Землі направляє частинки в атмосферу поблизу полюсів, викликаючи полярне сяйво.



в) Ефект Хола – виникнення напруги, коли до електричного струму, що протікає в напівпровіднику, прикладено поперечне магнітне поле.

В n-типу напівпровідника частинками-носіями заряду є негативні електрони, в р-типі напівпровідника – позитивні дірки.



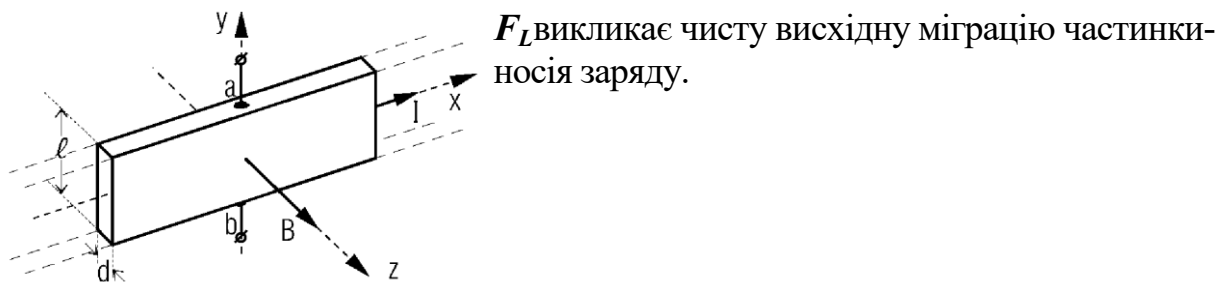
Для однакового напрямку струму F_L незалежно від знака заряду:

для отворів:

$$qr = +e, v = +v_d, \text{ потім } \Phi_{\oplus} = ev_d B,$$

для електронів:

$$qe = -e, v = -v_d, \text{ потім } \Phi_{\ominus} = ev_d B.$$



В результаті верхня частина зразка: напівпровідник n-типу буде заряджена негативно,

n-тип напівпровідника буде заряджений позитивно.

- у вертикальному напрямку з'являється напруга Холла.

Напруга Холла призведе до появи електричної сили $F_E = qE_H = eV_H/h$, спрямованої проти а $F_L \uparrow \downarrow F_L$.

Умова рівноваги: $F_L = F_E \Rightarrow e v_D B = e V_H / h ; \Rightarrow V_H = v_D \cdot B h ;$

Оскільки $I = S j = h b \cdot \mu n v_D \Rightarrow v_D = I / (h b \cdot \mu n)$,

$$\text{то } V_H = B h \cdot I / (h b \cdot \mu n) = B I / (b \mu n)$$

Напруга Холла промислово використовується для визначення невідомих магнітних полів $B = V_H \cdot b \mu n / I$.

Тема 13. Зовнішній магнітний потік.

Магнітний потік. Електромагнітна індукція. Самоіндукція. Індуктивність. Правило Ленца. Закон електромагнітної індукції. Закон самоіндукції. Енергія магнітного поля.

Електричні струми завжди створюють навколо себе магнітне поле. Зворотнє явище – електромагнітна індукція – це коли магнітне поле може викликати появу в замкнутому колі ЕРС індукції, а, виходить, і струму.

По-перше, для цього необхідно щоб замкнутий контур пронизував магнітний потік.

ВФВ: *Магнітний потік* Φ – показує яка кількість магнітної індукції $B^\perp$ пронизує площину замкнутого контуру S .

$$\Phi = B^\perp \cdot S; \quad [\Phi] = B b. \quad (4.3)$$

Магнітний потік вимірюється у Веберах.

По-друге, цей магнітний потік повинен змінюватися згодом.

Тоді за законом електромагнітної індукції величина ЕРС індукції пропорційна швидкості зміни магнітного потоку Φ , який пронизує контур:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (4.4)$$

де $\Delta \Phi = (B_2^\perp - B_1^\perp) \cdot S$ – зміна магнітного потоку, що пронизує контур за час Δt .

У генераторах, наприклад, замкнуті контури обертаються в магнітному полі, тому перпендикулярна до контуру складова магнітної індукції $B^\perp$ в один момент часу може дорівнювати нулю $B_1^\perp=0$, в іншій – бути максимальної $B_2^\perp=B_{\max}$.

Котушка індуктивності – спеціальний пристрій яке може створювати магнітний потік, тим самим запасати енергію магнітного поля.

ВФВ: *Індуктивність* L – здатність котушки створювати магнітний потік

$$L = \Phi / I; \quad [L] = \text{Гн}. \quad (4.5)$$

Індуктивність вимірюється в Генрі.

Енергія магнітного поля котушки зі струмом

$$W_L = \frac{LI^2}{2}, \quad [W] = \text{Дж}, \quad (4.6)$$

де I – сила струму в котушці.

Тема 14. Елементи теорії поля.

Взаємне перетворення електричних та магнітних полів. Рівняння Максвелла. Потік вектору та циркуляція вектору. Потенціальні поля. Теорема Остроградського-Гауса. Вихрові поля. Струм зміщення. Закон електромагнітної індукції. Закон повного струму.

Рівняння Максвелла – описують властивості електричного та магнітного полів.

а) Елементи теорії поля.

1) Вектори поля – електрична напруженість $\vec{E}_M = \vec{E}_B$ [E]=В/м;

та магнітна напруженість $\vec{H}_M = \vec{H}_B$; [H]=А/м;

2) Вектори індукції - електричне зміщення $\vec{D}_M = \vec{D}_B / \epsilon$; [D]=Кл/м²;

та магнітна індукція $\vec{B}_M = \mu \vec{B}_B$. [B]= Т;

Співвідношення між векторами поля та індукції: $\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$; $\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$;

ВФВ *Потік вектору через замкнену поверхню S:*

1) електричне зміщення $\Phi_D = \oint_S \vec{D}_n dS$

або магнітна індукція (магнітний потік) $\Phi_B = \oint_S \vec{B}_n dS$,

де $\vec{D}_n$ або $\vec{B}_n$ - нормальна до **поверхні** компонента векторів.

2) $[\Phi_D] = \text{Кл}$; $[\Phi_B] = \text{Вб}$.

3) Фізичний сенс: Коли $\oint_S \dots dS \neq 0$, тоді потенційне поле існує.

Якщо $\oint_S \dots dS > 0$ - лінії поля виходять із замкнутої поверхні,

якщо $\oint_S \dots dS < 0$ - лінії поля виходять на поверхню.

ВФВ *Циркуляція вектору вздовж замкнутого контуру L:*

1) електричної інтенсивності. $\oint_L \vec{E}_l dl$ або магнітної інтенсивності $\oint_L \vec{H}_l dl$,

де $\vec{E}_l$ або $\vec{H}_l$ - поздовжня до контуру L компонента векторів.

2) Одиниці виміру: $[\oint E_l dl] = V$; $[\oint H_l dl] = A$.

3) Фізичний сенс: Коли $\oint_L \dots dl \neq 0$, тоді вихрове поле існує.

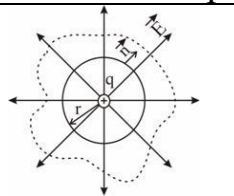
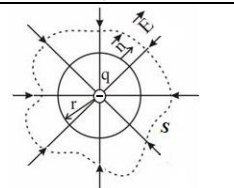
б) Потенційне поле – має джерело та стік.

1-ше рівняння Максвелла (теорема Гауса):

1) Формула: $\oiint D_n dS = \sum q_i$ (всередині S)

2) Прочитання: потік вектору електричного випромінювання D скрізь замкнену поверхню S = сумі зарядів q_i всередині поверхні S .

3) Фізичний сенс: потенціальне електричне поле генерується зарядами: позитивні заряди - джерела, негативні - стоки.

	Коли $\sum q_i > 0$, тоді лінії виходять з S .
	Коли $\sum q_i < 0$, тоді лінії приходять до S .

2-ге рівняння Максвелла (теорема Гауса для магнітного поля):

1) Формула: $\oiint B_n dS = 0$

2) Прочитання:

потік вектору магнітної індукції B скрізь замкнену поверхню $S = 0$.

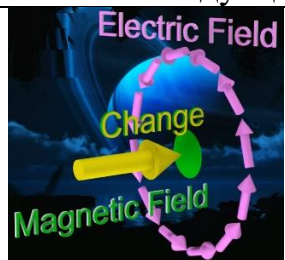
3) Фізичний сенс: потенційного магнітного поля не існує, тому що силових ліній входять в замкнену поверхню, таке ж число силових ліній виходять з цієї поверхні.

в) Вихрове поле – має замкнуті силові лінії.

3-тє рівняння Максвелла (закон електромагнітної індукції):

1) Формула: $\oint E_l dl = - \frac{\partial}{\partial t} \iint B_n dS$

2) Прочитання: циркуляція вектору напруженості електричного поля E вздовж замкнутого контуру L , пропорційна до похідної за часом потоку вектору магнітної індукції B скрізь поверхню S , обмежену контуром L .

	3) Фізичний сенс: Вихрове електричне поле генерується зміним магнітним потоком, коли $\frac{\partial}{\partial t} \Phi_B \neq 0$,
---	--

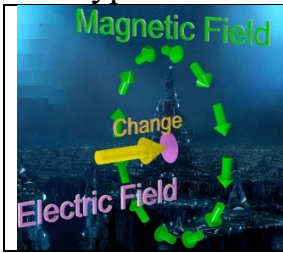
У статичному магнітному полі $\frac{\partial}{\partial t} \Phi_B = 0$, тому вихрове електричне поле не генерується.

У провідниках котушки виникають вихрові індуковані струми $i_{IND} = \epsilon_{IND} / R$, тому виникає індукована напруга $\epsilon_{IND} = \oint E_l dl$ (закон електромагнітної індукції).

4-тє рівняння Максвелла (закон повного струму):

1) Формула: $\oint H_l dl = I_{\text{COND}} + \frac{\partial}{\partial t} \iint D_n dS$

2) Прочитання: циркуляція вектору напруженості магнітного поля $\mathbf{H}$ вздовж замкнутого контуру L дорівнює сумі струмів провідності I_{COND} + похідної за часом потоку вектору електричного зміщення $\mathbf{D}$ скрізь поверхню S , обмежену контуром L .



3) Фізичний сенс: Вихрове магнітне поле $\mathbf{H}$ генерується струмами провідності I_{COND} (навіть постійними) та струмами зміщення (змінним електричним потоком)
$$I_{\text{DISPL}} = \frac{\partial}{\partial t} \iint D_n dS = \frac{\partial}{\partial t} \Phi_D.$$

У статичному електричному полі $\frac{\partial}{\partial t} \iint D_n dS = 0$, тому вихрове магнітне поле не генерується.

ВИСНОВОК: Обидва вихрові поля більші, коли частота їх зміни $\frac{\partial}{\partial t} \Phi$ є вищою.

Електромагнітна хвиля може існувати лише на високій частоті від $f > 20 \text{ кГц}$ коли довжина хвилі $\lambda < 15 \text{ км}$.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Горбачов В. Е. Фізика. Методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук усіх спеціальностей. [Електронне видання]. МГУ: кафедра інформаційних технологій. Одеса, 2025. 45 с.
2. Дідух Л. Д. Загальна фізика. Електрика та магнетизм. Тернопіль : Вид-во «Підручники і посібники», 2020. 280 с.
3. Носачов Ю. Ф., Савченко Д. В. Загальна фізика: збірник задач [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Ю. Ф. Носачов, Д. В. Савченко ; Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 120 с.
4. Січкарь А. Д., Рокицький І. В., Касперський В. І. Загальна фізика. Практикум з розв'язування задач (Електрика і магнетизм). Київ : Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, 2020. 224 с.
5. Ling S. J., Sanny J., Moebs W. University Physics Volume 2. Houston : OpenStax, 2016. 1000 p.

Допоміжна

6. Дзісь В.Г., Дячинська О.М. Фізика. Методичні вказівки для самостійної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за галуззю знань: 12 Інформаційні технології. Дзісь В.Г., Дячинська О.М. Вінниця, 2021. 175с.
7. Longair, M. S. (2020). Theoretical Concepts in Physics: An Alternative View of Theoretical Reasoning in Physics. Cambridge: Cambridge University Press. 636p. ISBN: 9781108484534, 1108484530
8. Flicker, F. (2023). The Magick of Physics: Uncovering the Fantastical Phenomena in Everyday Life. New York: Simon & Schuster. 336p. ISBN: 9781982170622, 198217062X
9. Клімук С. М., Якуніна Л. М., Козленко С. І. та ін. Загальна фізика. Частина І. Механіка. Електромагнетизм. Київ : Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. 300 с.

Інформаційні ресурси

10. MIT OpenCourseWare (Physics). URL: <https://ocw.mit.edu>
 11. PhET Interactive Simulations (University of Colorado Boulder). URL: <https://phet.colorado.edu>
 12. OpenStax – University Physics. URL: <https://openstax.org/subjects/science>
 13. Khan Academy – Physics. URL: <https://www.khanacademy.org/science/physics>
 14. The Physics Classroom. URL: <https://www.physicsclassroom.com>
- HyperPhysics (Georgia State University). URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

Навчальне видання

Горбачов Віктор Едуардович

ФІЗИКА

Опорний конспект лекцій для здобувачів, першого (бакалаврського) рівня спеціальності
«Інженерія програмного забезпечення»

Українською мовою