

Урок 25 Досліди Фарадея. Закон електромагнітної індукції

Мета уроку:

Навчальна: Формувати уявлення про взаємозв'язок між електричним і магнітним полями; поглибити знання учнів про явище електромагнітної індукції; продовжити формувати вміння аналізувати досліди; формувати знання про явище електромагнітної індукції та його практичне значення, закон електромагнітної індукції; формувати вміння учнів визначати напрям індукційного струму.

Розвивальна. Розвивати вміння узагальнювати і систематизувати знання; з метою розвитку мислення розвивати вміння: пояснювати подібні матеріали; виявляти аналогії; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; встановлювати головне, суттєве у матеріалі, що вивчається.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник, прилади і матеріали для демонстрації явища виникнення індукційного струму, підтвердження правила Ленца.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Ми знаємо, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле.

Чи можна здійснити зворотний процес, тобто за допомогою магнітного поля створити електричний струм?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

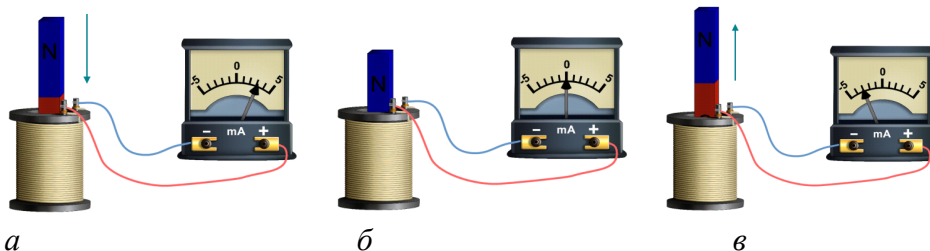
1. Досліди Фарадея

29 серпня 1831 р. після понад 16 тисяч дослідів англійський фізик і хімік Майкл Фарадей одержав електричний струм за допомогою магнітного поля постійного магніту.

Проведемо дослід

Візьмемо котушку, замкнемо її на гальванометр і введемо в котушку постійний магніт. Під час руху магніту стрілка гальванометра відхилиться – це свідчить про наявність струму (рис. а). Чим швидше рухати магніт, тим сильнішим буде струм; якщо рух магніту припинити, припиниться і струм – стрілка повернеться на нульову позначку (рис. б). Виймаючи магніт із котушки, помітимо, що стрілка гальванометра відхилиться в іншому напрямку (рис. в); після припинення руху магніту стрілка повернеться на нульову позначку.

Якщо залишити магніт нерухомим, а рухати котушку, в котушці теж виникне електричний струм.



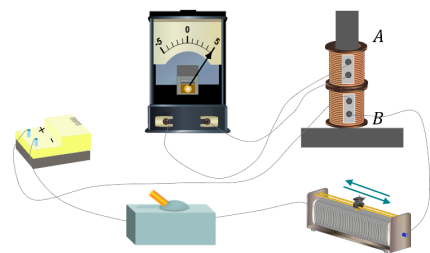
Проведемо дослід

Візьмемо дві котушки – А і В – і надінемо їх на спільне осердя. Котушку В через реостат приєднаємо до джерела струму, а котушку А замкнемо на гальванометр. Якщо пересувати повзунок реостата, то через котушку А буде йти електричний струм.

Струм в котушці А виникатиме як під час збільшення, так і під час зменшення сили струму в котушці В.

А от напрямок струму буде різним: у разі збільшення сили струму стрілка гальванометра відхилиться в один бік, а в разі зменшення – в інший.

Струм у котушці А виникатиме також у момент замикання або в момент розмикання кола котушки В.



Індукційний струм – це струм, отриманий у замкненому провіднику внаслідок зміни зовнішнього магнітного поля.

2. Потік магнітної індукції

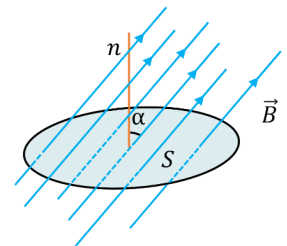
Індукційний струм у замкненому провідному контурі виникає тоді, коли змінюється кількість ліній магнітної індукції, що пронизують поверхню, обмежену контуром. Кількість ліній магнітної індукції, що пронизують певну поверхню, характеризує фізична величина, яку називають *потік магнітної індукції* або *магнітний потік*.

Потік магнітної індукції (магнітний потік) Φ – це фізична величина, яка характеризує розподіл магнітного поля по поверхні, обмеженій замкненим контуром, і чисельно дорівнює добуткові магнітної індукції B на площу S поверхні та на косинус кута α між вектором магнітної індукції і нормаллю до поверхні.

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

Одиниця магнітного потоку в СІ – **вебер** (названа на честь німецького фізика Вільгельма Едуарда Вебера (1804-1891)):

$$[\Phi] = 1 \text{ Вб}$$



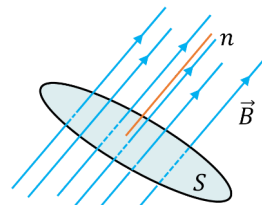
1 вебер – це максимальний магнітний потік, який створюється магнітним полем індукцією 1 тесла через поверхню площею 1 метр квадратний.

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$$

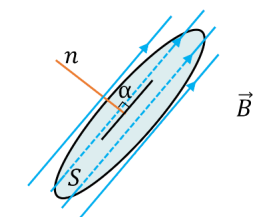
Зверніть увагу!

- Магнітний потік буде максимальним, якщо поверхня перпендикулярна до ліній магнітної індукції, і дорівнюватиме нулю, якщо поверхня паралельна цим лініям.

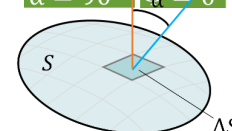
- Якщо магнітне поле неоднорідне і (або) поверхня не є плоскою, можна знайти магнітні потоки через невеликі ділянки ΔS поверхні та їх алгебраїчним додаванням визначити загальний магнітний потік.



$$\alpha = 0 \quad \Phi = BS$$



$$\alpha = 90^\circ \quad \Phi = 0$$



$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n$$

3. Закон електромагнітної індукції

Проблемне питання

- Коли виникає індукційний струм?

Загальні закономірності в дослідях Фарадея:

1. Електричний струм у замкненому провідному контурі індукується тільки тоді, коли змінюється магнітний потік через поверхню, обмежену контуром.

2. Чим швидше змінюється магнітний потік, тим більшою є сила індукційного струму в контурі.

3. Напрямок індукційного струму в контурі залежить від того, збільшується чи зменшується магнітний потік через поверхню, обмежену контуром.

Проблемне питання

- Чому в контурі взагалі є електричний струм, адже контур не приєднаний до джерела живлення?

Поява струму може означати тільки одне: під час зміни магнітного потоку виникають сторонні (не кулонівські) сили, які й «працюють» у контурі, переміщуючи в ньому електричні заряди.

Електрорушійна сила індукції (ЕРС індукції) ε_i – це робота сторонніх сил $A_{\text{ст}}$ із переміщення одиничного позитивного заряду.

$$\varepsilon_i = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

Силу індукційного струму I_i в контурі опором R визначають за законом Ома: $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$

Закон електромагнітної індукції:

Електрорушійна сила індукції дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, який пронизує поверхню, обмежену контуром.

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Знак «мінус» відображає *правило Ленца*.

Зверніть увагу!

• Якщо магнітний потік змінюється нерівномірно, слід розглядати його зміну за дуже малий інтервал часу $\Delta t \rightarrow 0$; у такому випадку закон електромагнітної індукції набуває вигляду:

$$\varepsilon_i = - \Phi'(t)$$

• Якщо контур містить N витків проводу, то ЕРС індукції дорівнює:

$$\varepsilon_i = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - N\Phi'(t)$$

4. Правило Ленца

Правило для визначення напрямку індукційного струму сформулював російський учений Генріх Ленц (1804-1865).

Правило Ленца:

Індукційний струм, який виникає в замкненому провідному контурі, має такий напрямок, що створений цим струмом магнітний потік перешкоджає зміні магнітного потоку, який спричинив появу індукційного струму.

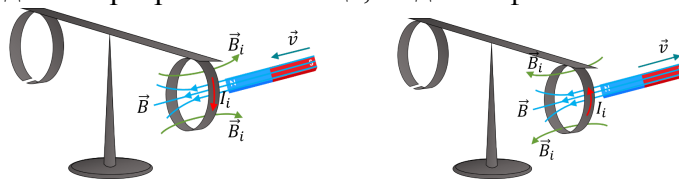
Проведемо дослід

Для демонстрації правила Ленца зручно скористатися пристроєм конструкції самого Ленца «Кільцями Ленца». Пристрій являє собою два алюмінієві кільця (суцільне та розрізане), закріплені на алюмінієвому коромислі, яке може легко обертатися навколо вертикальної осі.

• Якщо магніт наближати до суцільного кільця, то в кільці виникне індукційний струм I_i .

Цей струм створить біля кільця магнітне поле $\vec{B}_i$, напрямлене проти зовнішнього поля $\vec{B}$, тому кільце відштовхнеться від магніту.

- Якщо магніт віддаляти від суцільного кільця, то кільце притягуватиметься до магніту.
- Рухаючи магніт відносно розрізаного кільця, жодних ефектів не спостерігатимемо.



5. Причини виникнення ЕРС індукції

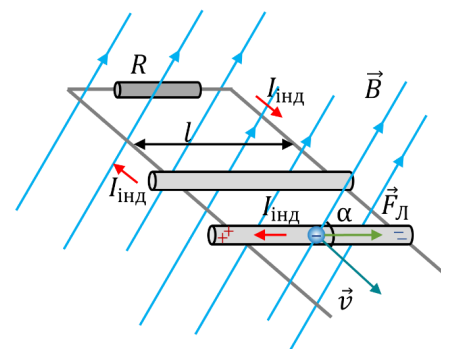
Проблемне питання

- Звідки беруться сторонні сили, що діють на заряди в провіднику?

Причини виникнення ЕРС індукції:

1. Провідник рухається в магнітному полі

У цьому випадку на вільні електрони, що рухаються разом із провідником, діє *сила Лоренца*: $F_L = |q|Bv \sin \alpha$. Під дією цієї сили електрони *відповідно до правила лівої руки* зміщуються вздовж провідника. У результаті **провідник поляризується**: один його



кінець набуває *негативного заряду* (туди «прийшли» електрони), а другий кінець – *позитивного*.

Якщо провідник замкнути, то в колі виникне індукційний струм. Джерелом струму в колі буде рухомий провідник, а сторонньою силою, що виконує роботу всередині джерела, – сила Лоренца: $A_{\text{ст}} = F_{\text{л}} \cdot l = |q|Bv \sin \alpha \cdot l$

Оскільки $\varepsilon_i = \frac{A_{\text{ст}}}{|q|}$, маємо формулу для розрахунку ЕРС індукції в рухомому провіднику:

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha$$

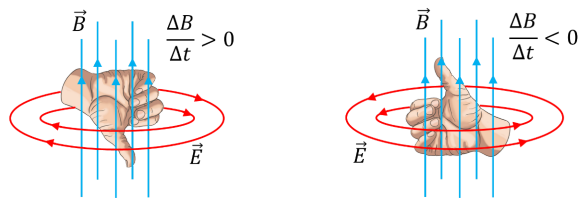
У випадку з рухомих провідником *сторонні сили мають магнітну природу*.

2. Магнітне поле, в якому перебуває нерухомий провідник, змінюється

У цьому випадку *сторонні сили мають електричну природу*, адже змінне магнітне поле завжди супроводжується появою вихрового електричного поля. Саме вихрове електричне поле діє на вільні заряджені частинки в провіднику та надає їм напрямленого руху, створюючи індукційний струм.

Властивості вихрового електричного поля:

- Лінії напруженості вихрового електричного поля є замкненими. Напрямок цих ліній можна визначити за допомогою правої руки: якщо магнітна індукція магнітного поля, яке є причиною створення вихрового поля, збільшується, то великий палець спрямовуємо протилежно до напрямку $\vec{B}$; якщо магнітна індукція магнітного поля зменшується, то великий палець спрямовуємо за напрямком $\vec{B}$.



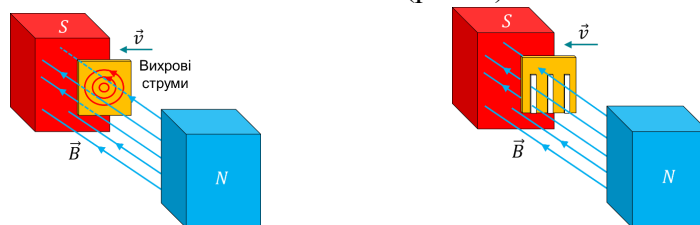
- Робота вихрового електричного поля на замкненій траєкторії зазвичай не дорівнює нулю.

Явище електромагнітної індукції – це явище виникнення вихрового електричного поля або електричної поляризації провідника під час зміни магнітного поля або під час руху провідника в магнітному полі.

6. Струми Фуко

У магнітному полі коливальний рух суцільної мідної пластини швидко припиняється (рис. а). Це відбувається через збудження в пластині *вихрових струмів*, які (за правилом Ленца) створюють магнітне поле, що перешкоджає рухові пластини.

Рух мідного гребінця майже не сповільнюється (рис. б).



Якщо суцільній мідній пластині, підвішеній між полюсами магніту, надати коливального руху, то цей рух швидко припиниться (рис. а). Чим більший електричний опір тіла, яке коливається, тим меншою є сила цих струмів.

Вихрові струми ретельно дослідив французький фізик *Леон Фуко* (1819-1868), тому їх називають *струмами Фуко*.

Струми Фуко – вихрові індукційні струми, які виникають у провіднику під час зміни магнітного потоку через поверхню провідника.

Сповільнення коливань унаслідок виникнення струмів Фуко застосовують для *демпфування* – примусового гасіння коливань рухливих частин гальванометрів, сейсмографів.

Теплову дію струмів Фуко використовують в індукційних печах для плавлення металів або для швидкого готування їжі. Провідник (метал або їжу) поміщують усередину котушки, по якій пропускають змінний струм високої частоти. Змінний струм створює змінне магнітне поле, яке спричиняє появу струмів Фуко в провіднику та його нагрівання.

Струми Фуко в осердях трансформаторів, роторах електричних генераторів та двигунів викликають непотрібне нагрівання та призводять до втрат енергії. Для ослаблення вихрових струмів опір таких деталей збільшують – їх виготовляють з листів сталі, розділених тонкими шарами діелектрика.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Чому в печах НВЧ не можна використовувати металевий посуд?

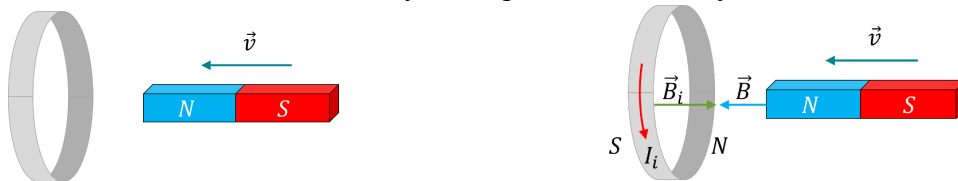
У металі, розташованому в змінному магнітному полі, виникають струми Фуко.

2. Чому в досліді з «кільцями Ленца» не можна застосовувати кільця та перекладину, виготовлені зі сталі?

Сталь є феромагнетиком і вона швидко намагнічується. Тому якщо використовувати сталь то до магніту буде притягуватися як суцільне кільце так і кільце з розрізом. І ми не зможемо спостерігати явища електромагнітної індукції.

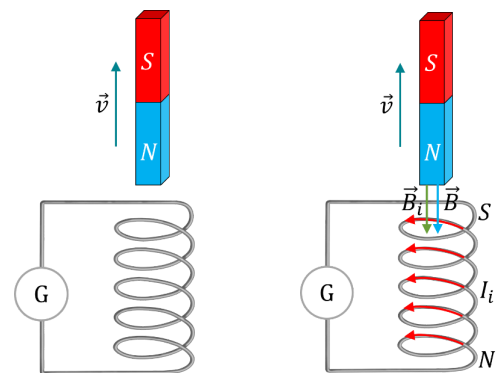
3. Визначте напрямок індукційного струму в кільці. Свою відповідь обґрунтуйте.

Якщо вводити магніт, то зовнішнє магнітне поле посилюється, за законом збереження енергії в кільці виникає такий індукційний струм, магнітне поле якого заважає посиленню зовнішнього магнітного поля, кільце буде обернене до магніту однойменним полюсом (N).



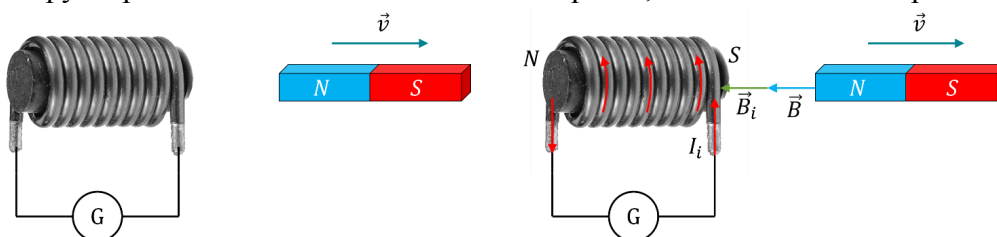
4. Із замкнутої дротяної котушки виймають постійний магніт, як показано на рисунку. Визначте напрямок індукційного струму в котушці.

Якщо віддаляти магніт, то зовнішнє магнітне поле послаблюється, за законом збереження енергії в котушці виникає такий індукційний струм, магнітне поле якого посилює зовнішнє магнітне поле, котушка буде обернена до магніту різнойменним полюсом (S).

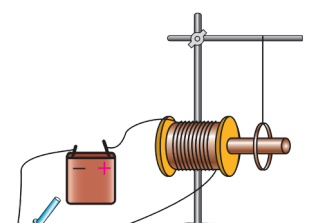


5. Визначте напрямок індукційного струму в обмотці електромагніту для випадку, зображеного на рисунку.

Якщо віддаляти магніт, то зовнішнє магнітне поле послаблюється, за законом збереження енергії в електромагніті виникає такий індукційний струм, магнітне поле якого посилює зовнішнє магнітне поле, електромагніт буде обернений до магніту різнойменним полюсом (S). Індукційний струм протікає за ходом годинникової стрілки, якщо дивитися з правого боку.



6. Котушка й алюмінієве кільце розміщені на спільному осерді. Визначте напрямок індукційного струму в кільці, якщо ключ замкнути. Як буде



поводитися кільце в момент замикання ключа? через певний час після замикання ключа? в момент розмикання ключа?

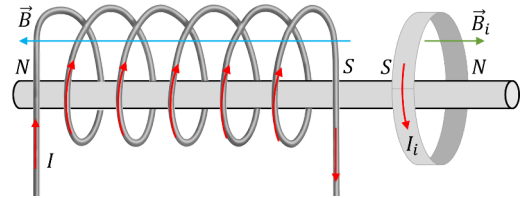
Аналіз фізичної проблеми, розв'язання

1) Струм у котушці напрямлений по її передній стінці вгору (від «+» до «-»). Скориставшись правою рукою, визначимо полюси котушки: ближчим до кільця буде південний полюс котушки.

2) У момент замикання ключа сила струму в котушці збільшується, тому магнітне поле всередині кільця посилюється.

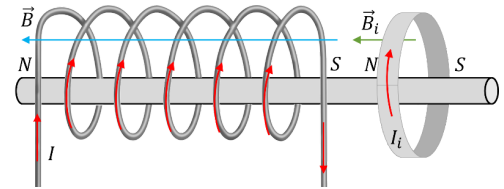
3) У кільці виникає індукційний струм такого напрямку, що кільце буде обернене до котушки однойменним полюсом (південним) і відштовхнеться від неї.

4) Скориставшись правою рукою, визначимо напрямок індукційного струму в кільці (він буде протилежним напрямку струму в котушці).



Через певний час після замикання ключа струм в котушці буде постійним, магнітне поле всередині кільця не змінюватиметься й індукційного струму в кільці не буде. Оскільки кільце виготовлене зі слабоманітного матеріалу, то воно майже не буде взаємодіяти з котушкою.

У момент розмикання ключа сила струму в котушці швидко зменшується, створене котушкою магнітне поле послаблюється. У кільці виникає індукційний струм такого напрямку, що кільце буде обернене до котушки різнойменними полюсами і на короткий час притягнеться до неї.



7. Лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля вертикальні. Який магнітний потік пронизує плоску поверхню площею 50 см^2 , якщо магнітна індукція 60 мТл ?

Дано:

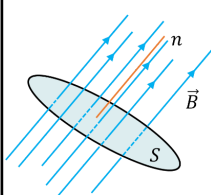
$$S = 50 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$B = 60 \text{ мТл} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 0$$

$$\Phi = ?$$

Розв'язання



α – кут між вектором магнітної індукції і нормаллю до поверхні

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

$$(\cos 0^\circ = 1)$$

$$[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$$

$$\Phi = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ (Вб)}$$

Відповідь: $\Phi = 0,3 \text{ мВб}$.

8. Яка ЕРС індукції виникає в металевій рамці, якщо за 8 мс магнітний потік через її поверхню рівномірно збільшується на 4 мВб ?

Дано:

$$\Delta t = 8 \text{ мс} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$|\Delta \Phi| = 4 \text{ мВб} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

$$\varepsilon_i = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_i = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\varepsilon_i = 0,5 \text{ В}$.

9. Скільки витків містить обмотка соленоїда, якщо при рівномірній зміні магнітного потоку на 120 мВб за 2 с виникає ЕРС індукції 60 В ?

Дано:

$$|\Delta\Phi| = 120 \text{ мВб} = 0,12 \text{ Вб}$$

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$\varepsilon_i = 60 \text{ В}$$

$$N = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = N \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow N = \frac{\varepsilon_i \Delta t}{|\Delta\Phi|}$$

$$N = \frac{60 \cdot 2}{0,12} = 1000$$

Відповідь: $N = 1000$.

10. Реактивний літак з розмахом крил 43,3 м летить горизонтально зі швидкістю 800 км/год. Визначте різницю потенціалів, що виникає на кінцях крил, якщо вертикальна складова індукції магнітного поля Землі 50 мкТл.

Дано:

$$l = 43,3 \text{ м}$$

$$v = 800 \frac{\text{км}}{\text{год}} \approx 222,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 50 \text{ мкТл} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\varepsilon_i = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha = Bvl \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$[\varepsilon_i] = \text{Тл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

$$\varepsilon_i = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 222,2 \cdot 43,3 \approx 0,48 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\varepsilon_i \approx 0,48 \text{ В}$.

11. На скільки протягом 0,08 с змінився модуль вектора індукції магнітного поля через поверхню, обмежену дрітвяною рамкою площею 400 см², розташовану перпендикулярно до магнітних ліній, якщо у рамці виникла ЕРС 125 мВ?

Дано:

$$\Delta t = 0,08 \text{ с} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ с}$$

$$S = 400 \text{ см}^2 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

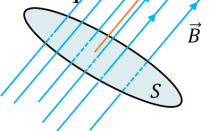
$$\alpha = 0$$

$$\varepsilon_i = 125 \text{ мВ} = 0,125 \text{ В}$$

$$|\Delta B| = ?$$

Розв'язання

α – кут між вектором магнітної індукції і нормаллю до поверхні.



$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$$

$$|\Delta\Phi| = |\Delta B| S \cos \alpha = |\Delta B| S$$

$$(\cos \alpha = 1)$$

$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta B| S}{\Delta t} \Rightarrow |\Delta B| = \frac{\varepsilon_i \Delta t}{S}$$

$$[\Delta B] = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}$$

$$|\Delta B| = \frac{0,125 \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-2}} = 0,25 \text{ (Тл)}$$

Відповідь: $|\Delta B| = 0,25 \text{ Тл}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Опишіть досліди Фарадея. Коли виникає індукційний струм?
2. Дайте означення магнітного потоку. Якою є його одиниця в СІ?
3. Сформулюйте закон електромагнітної індукції. Якого вигляду набуде цей закон, якщо контур містить N витків проводу?
4. Що визначають за правилом Ленца?

5. Чому правило Ленца є наслідком закону збереження енергії?
6. Дайте означення електромагнітної індукції.
7. Якою є природа ЕРС індукції в таких випадках: провідник рухається в магнітному полі; нерухомий провідник перебуває у змінному магнітному полі?
8. Назвіть основні властивості вихрового електричного поля.
9. Де, коли і чому виникають струми Фуко?

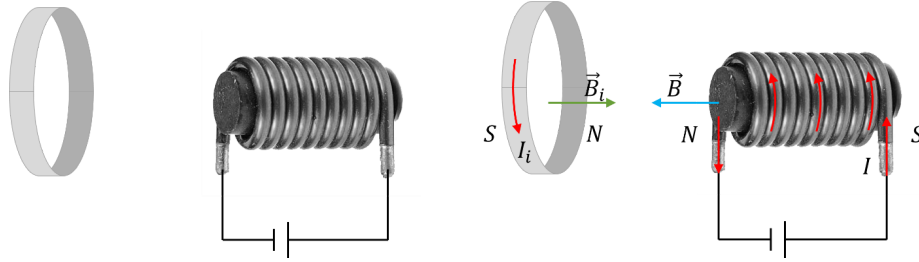
VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 13, Вправа № 13 (1, 4)

Додаткові задачі

1. Навпроти замкнутого кільця розташований електромагніт. Що відбудеться, якщо замкнути коло? Свою відповідь обґрунтуйте.

У момент замикаання ключа сила струму в котушці збільшується, тому зовнішнє магнітне поле всередині кільця посилюється. У кільці виникає індукційний струм такого напрямку, що кільце буде обернене до котушки однойменним полюсом (N) і відштовхнеться від неї.



2. Визначте потік магнітної індукції через поверхню, яку утворює горизонтальна (носійна) лопать гвинта гелікоптера, що завис над Землею. Вважайте, що довжина лопаті становить 14 м, а магнітна індукція магнітного поля Землі дорівнює $5 \cdot 10^{-5}$ Тл і утворює з поверхнею Землі кут 60° .

Дано:

$$R = 14 \text{ м}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$\Phi = ?$$

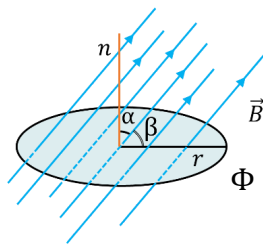
Розв'язання

α – кут між вектором магнітної індукції і нормаллю до поверхні

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

$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

$$S = \pi r^2$$



$$\Phi = B\pi r^2 \cos \cos (90^\circ - \beta)$$

$$[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$$

$$\Phi = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 3,14 \cdot 14^2 \cdot \cos \cos 30^\circ \approx 26,6 \cdot 10^{-3} \text{ (Вб)}$$

Відповідь: $\Phi \approx 26,6 \text{ мВб}$.

3. Унаслідок рівномірної зміни магнітного потоку протягом 0,2 мс у замкнутому металевому кільці виникає ЕРС індукції 4 В. Визначте зміну магнітного потоку, що проходить крізь кільце.

Дано:

$$\Delta t = 0,2 \text{ мс} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

$$\varepsilon_i = 4 \text{ В}$$

$$|\Delta \Phi| = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\Delta \Phi| = \varepsilon_i \Delta t$$

$$[\Delta \Phi] = \text{В} \cdot \text{с} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{с} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} \cdot \text{с} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}^2 = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$$

$$|\Delta \Phi| = 4 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ (Вб)}$$

Відповідь: $|\Delta \Phi| = 0,8 \text{ мВб}$.

4. Магнітний потік, що пронизує контур провідника, рівномірно змінився на 0,45 Вб, внаслідок чого виникла ЕРС індукції 1,5 В. Визначте час зміни магнітного потоку.

Дано:

$$|\Delta \Phi| = 0,45 \text{ Вб}$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{|\Delta \Phi|}{\varepsilon_i}$$

$$\varepsilon_i = 1,5 \text{ В}$$

$$\Delta t = ?$$

$$[\Delta t] = \frac{Вб}{В} = \frac{Тл \cdot м^2}{В} = \frac{\frac{Н}{А \cdot м} \cdot м^2}{\frac{Дж}{Кл}} = \frac{\frac{Н \cdot м}{А}}{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}} = с$$

$$\Delta t = \frac{0,45}{1,5} = 0,3 \text{ (с)}$$

Відповідь: $\Delta t = 0,3 \text{ с.}$

5. По горизонтальній залізничній колії шириною 1,2 м, рейки якої ізольовані одна від одної, рівномірно рухається поїзд. Вертикальна складова магнітного поля Землі дорівнює 50 мкТл. Вольтметр, увімкнений між рейками, показує 1 мВ. З якою швидкістю рухається поїзд?

Дано:

$$l = 1,2 \text{ м}$$

$$B = 50 \text{ мкТл}$$

$$= 50 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$$

$$\varepsilon_i = 1 \text{ мВ} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$v = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha = Bvl \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$v = \frac{\varepsilon_i}{Bl}$$

$$[v] = \frac{В}{Тл \cdot м} = \frac{\frac{Дж}{Кл}}{\frac{Н}{А \cdot м} \cdot м} = \frac{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}}{\frac{Н}{А}} = \frac{м}{с}$$

$$v = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2} \approx 16,67 \left(\frac{м}{с} \right)$$

Відповідь: $v \approx 16,67 \frac{м}{с}.$

6. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл із постійною швидкістю переміщується провідник під кутом 45° до ліній магнітної індукції. Внаслідок руху провідника у ньому індукується ЕРС 1,2 В. З якою швидкістю переміщається провідник, якщо довжина його активної частини дорівнює 1,2 м?

Дано:

$$B = 0,4 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\varepsilon_i = 1,2 \text{ В}$$

$$l = 1,2 \text{ м}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha$$

$$v = \frac{\varepsilon_i}{Bl \sin \alpha}$$

$$[v] = \frac{В}{Тл \cdot м} = \frac{\frac{Дж}{Кл}}{\frac{Н}{А \cdot м} \cdot м} = \frac{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}}{\frac{Н}{А}} = \frac{м}{с}$$

$$v = \frac{1,2}{0,4 \cdot 1,2 \cdot \sin 45^\circ} \approx 3,5 \left(\frac{м}{с} \right)$$

Відповідь: $v \approx 3,5 \frac{м}{с}.$

7. Під яким кутом до ліній індукції однорідного магнітного поля з індукцією 200 мТл треба переміщати зі швидкістю $7,5 \text{ м/с}$ провідник, довжина активної частини якого 80 см, щоб у ньому виникла ЕРС індукції 0,85 В?

Дано:

$$B = 200 \text{ мТл} = 0,2 \text{ Тл}$$

$$v = 7,5 \frac{м}{с}$$

$$l = 80 \text{ см} = 0,8 \text{ м}$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{\varepsilon_i}{Bvl}$$

$$[\sin \alpha] = \frac{В}{Тл \cdot \frac{м}{с} \cdot м} = \frac{\frac{Дж}{Кл}}{\frac{Н}{А \cdot м} \cdot \frac{м^2}{с}} = \frac{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}}{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}} = 1$$

$\varepsilon_i = 0,85 \text{ В}$	$\sin \alpha = \frac{0,85}{0,2 \cdot 7,5 \cdot 0,8} \approx 0,708$
$\alpha = ?$	$\alpha = \arcsin 0,708 = 45^\circ$
Відповідь: $\alpha = 45^\circ$.	

8. Провідник, довжина якого 50 см, переміщується зі швидкістю 4,8 м/с в однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл. Внаслідок руху провідника у ньому виникла ЕРС індукції 0,85 В. Під яким кутом до ліній магнітної індукції переміщується провідник?

Дано:

$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

$$v = 4,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 0,4 \text{ Тл}$$

$$\varepsilon_i = 0,85 \text{ В}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\varepsilon_i}{Bvl}$$

$$[\sin \alpha] = \frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}}{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}} = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}}} = 1$$

$$\sin \alpha = \frac{0,85}{0,4 \cdot 4,8 \cdot 0,5} \approx 0,886$$

$$\alpha = \arcsin 0,886 = 62^\circ$$

Відповідь: $\alpha = 62^\circ$.

9. На високе вертикальне осердя електромагніту надіто: а) кільце зі скла; б) кільце з металу. Що буде спостерігатися, якщо електромагніт ввімкнути в коло змінного струму?

а) Ніяких змін не відбудеться; б) У кільці виникне індукційний струм, внаслідок чого кільце відштовхуватиметься від електромагніту й може зависнути над ним, причому кільце буде нагріватися струмом.

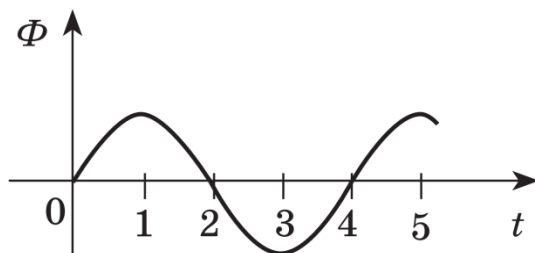
10. З короткозамкненої котушки вийняли магніт. Чи залежить від швидкості руху магніту: а) електрорушійна сила індукції; б) заряд, що проходить по провіднику; в) робота, що виконується для видалення магніту; г) струм у котушці? Свою відповідь обґрунтуйте.

а) Так; б) ні; в) так; г) так.

11. У магнітному полі з вертикальними силовими лініями розташований соленоїд, площа витків якого горизонтальна. Як має змінюватися з часом індукція магнітного поля, щоб індукційний струм у соленоїді був незмінним?

Швидкість зміни магнітної індукції має бути помітною.

12. Потік магнітної індукції через дрітiane кільце змінюється, як показано на графіку (див. рисунок). У які моменти часу ЕРС індукції у кільці: а) дорівнює нулю; б) має максимальне значення?



а) ЕРС дорівнює нулю в моменти часу 1 с, 3 с, 5 с; б) максимального значення ЕРС досягає в моменти часу 2 с і 4 с.

13. Чому осердя трансформатора не роблять суцільним?

У металі, розташованому в змінному магнітному полі, внаслідок електромагнітної індукції виникають струми Фуко. Наявність індукційних струмів призводить до теплових втрат в осерді. Для зменшення теплових втрат осердя роблять із тонких металевих пластин, ізольованих одна від одної.