***ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ***

Виконала учитель

сш № 82 ім. Т.Г.Шевченка

Шевченківського району

м. Києва

Краміна Людмила Миколаївна

Категорія вища

**Пояснювальна записка**

Учням уже знайомі наступні поняття:

Постійний електричний струм; електростатичне та магнітне поля; вектор індукції магнітного поля; сила Ампера; сила Лоренца; магнітний потік.

За допомогою експериментів учні мають можливість ще раз усвідомити, які властивості має магнітне поле, як діє сила Ампера та сила Лоренца, та ознайомитися з умовами виникнення електричного струму в провідному контурі. Аналізуючи результати експериментів, нескладно зробити відповідні висновки та самому сформулювати закон електромагнітної індукції, встановити кількісну залежність між фізичними величинами. Все геніальне як завжди виявляється простим. Учні мають можливість порівняти властивості електростатичного та вихрового електричного поля, усвідомити взаємозв'язок між електричним і магнітним полями.

Саме єдність електричного і магнітного полів дозволяє зробити висновок про існування електромагнітного поля, за допомогою якого здійснюється взаємодія між електричними зарядами. Дж. Максвелл в 60- х роках 19 століття узагальнив цю єдність математично за допомогою основних рівнянь електродинаміки, які описують електромагнітні явища в вакуумі та середовищі.

Набуті знання дозволять учням в подальшому зрозуміти, наприклад, що являє собою змінний електричний струм та хвильові властивості світла, поєднати вивчене з наступними темами, які вивчатимуться.

Таким чином, кожний учень. використовуючи логічне мислення, має можливість на підставі побаченого зробити прогнозований висновок, створити наукову модель явища, усвідомити фундаментальність закону збереження енергії, усвідомити можливість наукового пізнання природи, розкрити роль фізики в сучасній цивілізації.

Сподіваюсь,що у учнів виникне зацікавленість в подальшому вивченні фізики.

Урок№1,2. **«Явище електромагнітної індукції. Індукційне електричне поле. Закон електромагнітної індукції. Правило Ленца» «Явище самоіндукції. Індуктивність.»**

Цілі уроку:

1. Познайомити учнів з явищем електромагнітної індукції, самоіндукції; пока­зати значення цього явища для фізики і техніки; навчити учнів визначати напрямок індукційного струму; на прикладі правила Ленца сформувати уявлення про фундаментальність закону збе­реження енергії; ввести поняття вихрового електричного поля, ознайомити з його властивостями і застосуванням; визначити енергію магнітного поля.

2. Розвивати в учнів спостережливість, уміння сприймати і перер­обляти інформацію, робити висновки, розвивати образне й аналі­тичне мислення, продовжувати формування наукового мислен­ня і світогляду, сприяти усвідомленню можливостей наукового пізнання природи й ознайомленню з його методами; підтримува­ти пізнавальний інтерес до фізики, розкрити роль фізики в сучас­ній цивілізації.

Тип уроку: урок засвоєння нових знань.

Використання технологій: технологія критичного мислення

Демонстрації:

1. Дослід Ерстеда.
2. Явище електромагнітної індукції (3-4 досліди).
3. Правило Ленца.
4. Явище самоіндукції (2 досліди).

5. Презентація « Явище електромагнітної індукції.»

**ХІД УРОКУ**

Орієнтовний план проведення уроку

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Дії вчителя | Демонстрації | Дії учнів | Примітка |
| І | Організовує клас, оголошує тему та мету уроку | Слайд  1 |  |  |
| ІІ | Перевіряє набуті знання за допомогою фізичного диктанту | Слайд 2,3,4,5 | Усно дають відповіді |  |
| ІІІ | Історична довідка | Слайд  6 | Доповідь учнів |  |
| ІІІ | Створює проблемну ситуацію, демонструючи досліди Фарадея | Слайд  7,8,9 | Аналізують проблемну ситуацію, намагаючись пояснити досліди |  |
| ІІІ | Ставить проблемні питання про виникнення струму в провіднику | Слайд  10 | Аналізують результати дослідів |  |
| ІІІ | Оцінює запропоновані учнями розв’язки проблеми | Слайд 11 | Роблять висновок |  |
| ІІІ | Узагальнює висновки учнів та формулює закон електромагнітної індукції | Слайд  12,13 | Приймають участь в узагальненні, перевіряють отриманий висновок та записують конспект |  |
| ІІІ | Пояснює , чому дорівнює ЕРС індукції в рухомому провіднику | Слайд  14 | Приймають участь в обговоренні та записують конспект |  |
| ІІІ | Ставить запитання про напрям індукційного струму,  знайомить учнів з дослідом Ленца,формулює правило Ленца | Слайд  15 | Відповідають на запитання про напрям постійного електричного струму, аналізують результати досліду |  |
| ІІІ | Знайомить учнів, як застосовувати правило Ленца | Слайд  16,17 | Здобувають нові знання, записують конспект |  |
| ІІІ |  | Слайд  18 | Виконують самостійну роботу на застосування правила Ленца |  |
| ІІІ | Ставить питання про причини виникнення ЕРС, вводить поняття про вихрове електричне поле та його властивості, застосування | Слайд 19,20 | Висловлюють припущення,здобувають нові знання |  |
| ІІІ | Створює проблемну ситуацію, демонструючи досліди Герца | Слайд  21,22 | Аналізують, використовуючи набуті знання, та роблять висновок |  |
| ІІІ | Оцінює запропоновані варіанти вирішення проблеми, дає визначення самоіндукції,вводить поняття індуктивності, енергії магнітного поля | Слайд  23,24,25 | Здобувають нові знання, записують конспект |  |
| ІІІ |  | Слайд  26,27 | Доповідь учнів про використання явища електромагнітної індукції |  |
| ІV | Узагальнює здобуті знання, задає питання на закріплення вивченого, пропонує розв’язати задачу | Слайд  28 | Відповідають на питання, розв’язують письмово запропоновані задачі |  |
| V | Оцінює роботу учнів на уроці, дає домашнє завдання | Слайд  29,30 | Записують домашнє завдання |  |

**І. Організаційна частина**

Сьогодні ми повинні узагальнити знання про магнітне поле, розкрити особливості магнітного та електричного полів, продовжимо формувати вміння спостерігати, узагальнювати, синтезувати вивчене.

**ІI.Повторення вивченого матеріалу та набутих знань і умінь**

**Фізичний диктант:**

1. Напишіть формули для розрахунків:

а) сили Лоренца; (Fл.= В **.** υ **.** q **.** sin α)  
б) магнітної проникності середовища; (μ.= В/В0)  
в) модуля вектора магнітної індукції; (В = F/І ∆L)  
г) магнітного потоку; ( Ф = В **.** S **.** cos α)  
д) сили Ампера; ( FА.= В **.** І **.** L **.** sin α)

2. Доповніть наступні визначення:

а) сила Лоренца - це...(сила, з якою магнітне поле діє на заряд)  
б) сила Ампера - це ...(сила дії магнітного поля на провідник з струмом)  
в) магнітна проникність середовища характеризує ...(у скільки разів магнітне поле в даному середовищі сильніше за поле в вакуумі)

3. Назвіть джерела електростатичного поля.

4. Які властивості електричного поля?

5. Якими способами можна отримати магнітне поле?

6. Які властивості магнітного поля?

7. Які величини характеризують це поле?

8. Як можна визначити напрям ліній магнітної індукції?

9. Яке правило дозволяє визначити напрям сили, яка діє на провідник з струмом?

10.Як можна змінити магнітні полюса котушки з струмом?

**ІІІ. Виклад нового матеріалу**

**Історія відкриття явища електромагнітної індукції**

Виявлена Ерстедом 1820 року дія електричного струму на магнітну стрілку показала, що електричні та магнітні явища, які вважалися до цього ізольованими, взаємозалежні. Однак дослід Ерстеда показав тільки один бік цього зв'язку — породження магнітного поля електричним струмом.

Учитель застосовує саморобний прилад для демонстрації досліду Ерстеда — навколо провідника зі струмом ви­никає магнітне поле.

Цього ж року англійський фізик Майкл Фарадей, дізнавшись про досліди Ерстеда, ставить перед собою задачу: якщо за допомо­гою електрики одержують магнетизм, то, очевидно, можна «одержа­ти електрику зі звичайного магнетизму». Таку ж задачу поставили перед собою Араго й Ампер у Парижі, але вони незабаром вирішили, що справа безнадійна. Пошуки Фарадея продовжувалися до 1831 р. 29 серпня 1831 р. було відкрито явище електромагнітної ін­дукції.

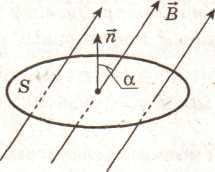
Через кілька днів після відкриття електромагнітної індукції Фара­дей накидає пером на папері і будує перший у світі електрогенератор. Фарадей винайшов уніполярний генератор, тобто найбільш складний за принципом дії з усіх генераторів, відомих сьогодні.

Крім того, з інтервалом у 9 років учений зробив два найбільших відкриття, що, можна сказати з упевненістю, спричинили револю­цію в житті людства,— він винайшов електродвигун та електроге­нератор.

**Демонстрація дослідів** з **виявлення явища електромагнітної індукції**

Для збудження електричного струму в замкнутому контурі необхідно змінювати магнітний потік через цей контур.

Давайте пригадаємо, що являє собою магнітний потік.

 Магнітний потік Ф (потік магнітної індукції) через поверхню пло­щею S — це величина, що дорівнює добуткові |В| на S і cos α .

Ф = В**.**S**.** cos α

Магнітний потік — величина, пропорційна числу ліній магнітної індукції, що пронизують поверхню площею S.

[Ф] = 1 Вб(вебер) = 1 Тл • м2 = 1В • с

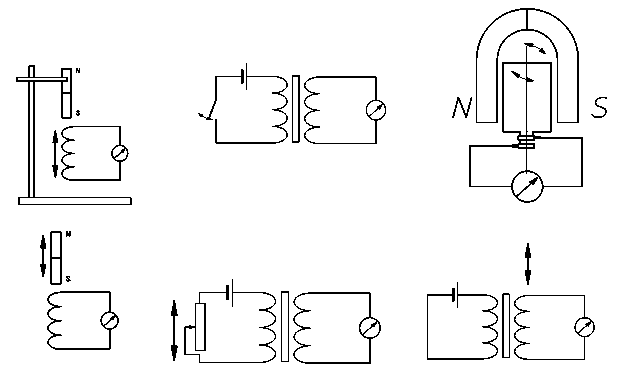
Отже, 1 Вб — магнітний потік, створюваний однорідним магніт­ним полем з індукцією 1 Тл через плоску поверхню площею 1 м2, роз­ташовану паралельно лініям індукції магнітного поля.

Три групи дослідів:

1.Досліди, у яких змінюється вектор магнітної індукції В.

2.Досліди, у яких змінюється площа контуру S.

3.Досліди, у яких змінюється кут між напрямком вектора магніт­ної індукції і нормаллю до площадки.



Схеми дослідів Фарадея.

**Ставимо проблемні запитання**.

Що спільного в усіх дослідах? Що спільного в піднесенні постійного магніту та котушки з струмом? Що відбувається з струмом в під’єднаній до джерела котушці в моменти замикання та розмикання кола? Коли електричний струм виникає, а коли він відсутній? Від чого залежить сила струму?

**Робимо висновок:** виникнення електричного струму впровідному контурі при будь-якій зміні магнітного потоку, що пронизує контур провідника. Такий струм називають індукційним. Чим швидше змінюється магнітний потік, тим більша сила індукційного струму. Необхідною і достатньою умовою існування індукційного струму в контурі є зміна магнітного потоку через площу, обмежену цим контуром. В цьому полягає явище електромагнітної індукції. В провіднику виникають сторонні сили (характеризуються електрорушійною силою індукції):

а) якщо контур провідника замкнутий, то в ньому виникає струм,що називається індукційним;

б) якщо контур розімкнути, то на його кінцях виникає різниця по­тенціалів.

**Закон електромагнітної індукції**

Перейдемо до кількісного формулювання закону електромагнітної індукції. Індукційний струм Іі у замкненому провіднику опором R виникає під дією електрорушійної сили індукції Еі, яку можна виразити за законом Ома як Еі = Iі **.**R. Оскільки та сама ЕРС у провідниках з різними опорами створює неоднакові струми, то для кількісної характеристики явища електромагнітної індукції зручніше користуватись величиною ЕРС індукції Еі, а не силою індукційного струму Іі .  
М. Фарадей у ході досліджень встановив, що ЕРС індукції, що виникає в разі зміни магнітного потоку через контур провідника, прямо пропорційна швидкості зміни цього потоку з протилежним знаком, (знак «мінус» відображає дію правила Ленца). Якщо ЕРС індукції спостерігається в котушці з N витків, то її величина буде відповідно в N разів більшою, ніж для одного витка.  
ЕРС індукції, як і електрорушійна сила будь-якого іншого походження, вимірюється у вольтах.

З дослідів установлено, що Іі ~

Знаємо, що Іі ~ Еі ~ .

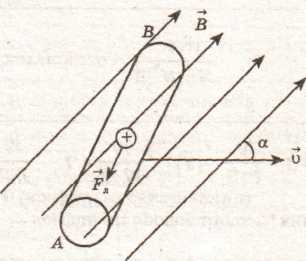
Згідно з правилом Ленца, закон електромагнітної індукції

(закон Фарадея): Еі = –

ЕРС індукції дорівнює за модулем швид­кості зміни магнітного потоку через площу контуру замкненого про­відника.

Знак « — » означає, що при збільшенні магнітного потоку напря­мок Іі протилежний обумовленому правилом буравчика.

Визначимо, чому дорівнюватиме ЕРС індукції в прямолінійному провіднику.

Нехай в однорідному магнітному полі з індукцією В знаходиться прямолінійний провідник довжиною L.Якщо він рухатиметься зі швидкістю υ так, що кут між векторами В і υ становитиме   
 α, то разом з провідником рухатимуться і його електрони. В магнітному полі на них повинна діяти сила Лоренца, під дією якої в провіднику відбудеться перерозподіл зарядів. Між кінцями провідника виникне різниця потенціалів U, яка викличе появу електричних сил, які зрівноважать сили Лоренца.Fк = Fл, в цьому випадку зміщення електронів припиниться.

Fк = Е **.** q = U/L **.** q

Fл = В **.** υ **.** q **.** sin α.

U/L **.** q = В **.** υ **.** q **.** sin α

U = В **.** υ **.** L **.** sin α

Але напруга на кінцях провідникано дорівнює ЕРС індукції.  
 Еі = В **.** υ **.** L **.** sin α

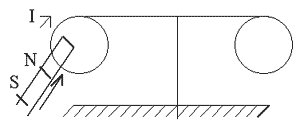
Якщо провідник включити в коло, в ньому виникне індукційний струм. Напрям індукційного струму визначається за правилом правої руки: якщо праву руку розмістити так, щоб магнітні лінії входили в долоню, а відігнутий на 90˚ великий палець показував напрям руху провідника, то чотири витягнуті пальці покажуть напрям індукційного струму в провіднику.

**Напрямок індукційного струму. Правило Ленца**

Напрямок індукційного струму І і залежить від характеру зміни магнітного потоку. Демонстрація «Правила Ленца» за допомогою приладу. На роз’єднане кільце магніт не діє. Для суцільного кільця:

**-** магніт наближається (ΔФ>0) – кільце відштовхується;

**-** магніт віддаляється (ΔФ<0) – кільце притягується.

Російський учений X. Е. Ленц запропонував таке правило для ви­значення напрямку струму, індукованого в провіднику:

Індукційний струм завжди спрямований так, що його магнітне поле протидіє тій зміні магнітного потоку, що викликає цей струм. Правило є наслідком закону збереження енергії.

**Алгоритм застосування правила Ленца**

1. Указати напрямок Взовнішнього магнітного поля.
2. З'ясувати чи зростає магнітний потік ∆Ф>0 або зменшується ∆Ф<0.
3. Установити напрямок В'магнітного поля Іі(вони спрямовані  
   протилежно лініям Впри ∆Ф>0 і співспрямовані при ∆Ф<0).
4. Знаючи напрямок В', знайти напрямок Іі , користуючись прави­лом буравчика.

**Учитель дає самостійну роботу** на застосування правила Ленца.

**Вихрове електричне поле**

З’ясуємо причини виникнення ЕРС. Еівиникає:

1.Магнітне поле постійне, а провідник рухається з перетинанням магнітних ліній В*.*

2. Коли контур нерухомий, а магнітне поле змінюється.

В обох випадках Еі = – , але природа Еірізна!

Прикладом першого випадку виникнення ЕРС індукції може слу­жити рух прямолінійного провідника в однорідному магнітному полі. У цьому випадку поява ЕРС індукції обумовлена не вихровим елек­тричним полем, а дією сил Лоренца, тобто ЕРС індукції має магніт­ну природу.

У другому випадку виникнення ЕРС індукції обумовлена тим, що магнітне поле, що змінюється і у якому знаходиться нерухомий кон­тур, викликає появу в ньому електричного поля, яке за своїми влас­тивостями сильно відрізняється і від електростатичного поля, і від стаціонарного електричного поля постійного струму.

Електричне поле, що з'являється при зміні магнітного поля, на­зивають індукційним (вихровим) електричним полем.

Максвелл установив, що індукційне електричне поле з'являється в будь-якій точці простору, де існує змінне магнітне поле, незалеж­но від того, чи наявний там провідний контур. Тим самим Максвелл узагальнив уявлення Фарадея про явище електромагнітної індукції,

показавши, що саме в появі індукційного електричного поля, зумов­леного зміною магнітного поля, полягає фізичний зміст явища елек­тромагнітної індукції.

Основні відмінності індукційного електричного поля від інших видів електричних полів:

1. Це поле не зв'язане з електричними зарядами, а нерозривно  
   пов'язано зі змінним магнітним полем.
2. Аналогічно магнітному полю дане поле є вихровим , тобто лінії на­пруженості являють собою замкнені криві.
3. Вихровий (тобто непотенціальний) характер даного поля є причи­ною того, що при переміщенні в ньому електричного заряду по за­мкненому колу відбувається відмінна від нуля робота.  
   Висновок:

Вихрове електричне поле не є потенційним полем.  
ЕРС індукції, що виникає в нерухомому замкненому контурі,

який знаходиться в змінюваному магнітному полі, дорівнює роботі сил вихрового електричного поля з переміщення по всьому цьому кон­туру одиничного додатного заряду.

**Застосування вихрового електричного поля**

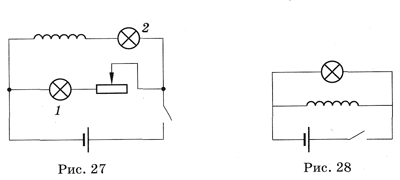
Оскільки вихрове електричне поле існує і під час відсутності про­відника, то його можна застосовувати для прискорення зарядів у ва­куумі. Саме на цьому принципі заснована дія прискорювачів електронів-бетатронів.

Масивні провідники мають дуже малий опір. Якщо їх помістити у змінне магнітне поле, то в них будуть наводитися індукційні стру­ми дуже великої величини (вихрові струми, струми Фуко). Ці струми можна використовувати для нагрівання провідників. На цьому прин­ципі заснований пристрій індукційних печей. Особливо широкого за­стосування вони набули для плавлення металів у вакуумі.

У багатьох поширених пристроях виникнення струмів Фуко (па­разитні струми) призводить до марних втрат енергії на виділення теп­лоти. Тому залізні сердечники трансформаторів, електродвигунів, ге­нераторів тощо є не суцільними, а складаються з окремих пластин, ізольованих одна від одної.

Індукційні струми застосовують у заспокійливих системах деяких електровимірювальних приладів*.*

**Демонстрація дослідів на виявлення явища самоіндукції**.



Спостерігаємо, що при замиканні першого кола лампа в колі з котушкою загориться пізніше.

Чому друга лампочка загоряється пізніше першої?

Обидві лампи спалахують при відключенні джерела. Чому?

При розмиканні другого кола лампа на мить спалахує. Чому відбувається цей спалах?

Відповісти на ці запитання нам допоможе явище самоіндукції, відкрите Джозефом Генрі в 1832 році.

Що відбувається в провіднику при зміні сили струму в ньому? Наприклад, в моменти замикання та розмикання кола. Сила струму при замиканні кола з джерелом постійної ЕРС не одразу досягає максимуму, оскільки енергія витрачається на створення магнітного поля. Це доводить, що магнітне поле має енергію, за рахунок якої при розмиканні кола в ньому виникає електричний стум.

Електричний струм, який змінюється в провідному контурі, створює змінне магнітне поле, яке в свою чергу внаслідок виникнення Еі спричинює появу індукційного струму в тому ж таки контурі. Це явище називають явищем самоіндукції. Еі називають ЕРС самоіндукції. За правилом Ленца Есі протидіє зміні струму в колі. Тому струм не може змінюватись миттєво. Це окремий випадок електромагнітної індукції. Зміна магнітного потоку прямо пропорційна зміні сили струму в колі

∆Ф ~ ∆І

∆Ф = L∆І,

де L – коефіцієнт пропорційності, який називають індуктивністю контуру; індуктивність – фізична величина, яка чисельно дорівнює Есі, що виникає в контурі внаслідок зміни сили струму в ньому на 1А за 1с.

[L] = 1 Гн (генрі) = 1 Вб / А = 1В • с/А

Через провідники різної форми та розмірів при однаковій силі струму буде проходити різний магнітний потік, тому індуктивність – це власна характеристика провідника, залежить від форми і розмірів провідника та середовища, в якому він знаходиться. Є мірою інертності контуру по відношенню до зміни сили струму в ньому подібно до того, як маса є мірою інертності по відношенню до зміни швидкості.

Зі зміною сили струму в контурі пропорційно змінюється магнітний потік. За законом електромагнітної індукції:

Еcі = – = –L

За правилом Ленца Есі при зменшенні сили струму в контурі діє в напрямі підтримки струму, а при збільшенні сили струму Есі протидіє збільшенню струму.

Під час замикання кола частина енергії джерела струму завжди йде на створення магнітного поля. Тому воно повинно мати енергію, що дорівнює роботі, затраченій струмом на створення цього поля. Саме наявністю енергії в магнітному полі пояснюється явище електромагнітної індукції, зокрема самоіндукції. При замиканні кола, яке містить джерело постійної ЕРС, сила струму не відразу досягає свого максимального значення (яке визначається законом Ома), а зростає протягом певного інтервалу часу, тому що частина енергії джерела затрачається в цей час на створення магнітного поля. Досягнувши максимального значення, сила струму в колі стає постійною. При цьому стає постійним і магнітне поле цього струму. Під час роз­микання кола магнітне поле струму зникає. Однак, згідно з законом збереження енергії, енергія магнітного поля не може зникнути. Вона перетворюється в енергію струму самоіндукції, який підтримує струм, що зникає. Магнітне поле має енергію подібно до того, як в зарядженому конденсаторі є запас енергії. Таким чином, явище електромагнітної індукції грун­тується на взаємних перетвореннях енергій електричного струму і магнітного поля.Виходячи з цих уявлень, можна дістати вираз для енергії магнітного поля:

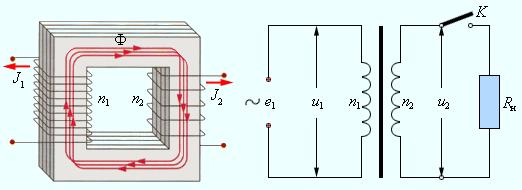
W=

Явище самоіндукції відіграє важливу роль в електротехніці та радіотехніці. Індуктивність кола впливає на проходження по ньому змінного струму.

**Застосування явища електромагнітної індукції:**

За допомогою електромагнітної індукції можна отримати струм будь-якої потужності, що дозволяє широко використовувати електроенергію в промисловості та побуті. Тому М. Фарадея можна по праву вважати засновником електротехніки.

Трансформатор  
– пристрій, який дозволяє змінювати напругу змінного струму при сталій частоті.   
Схемаатрансформатора.

[](http://school.xvatit.com/index.php?title=%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:0-430-fizika11-ttttt.jpg)

**ІV.Узагальнення й закріплення вивченого матеріалу**

1.    Хто досліджував явище електромагнітної індукції?  
2.    В чому полягає фізична суть електромагнітної індукції?  
3.     Як формулюється закон електромагнітної індукції?  
4.    Що означає знак «мінус» у математичному записі закону електромагнітної індукції?

5. Які умови існування індукційного електричного струму?

6.Розв’язати задачі:

Задача 1.

Проволочне кільце радіусом 5 см, розташоване в однорідному магнітному полі з індукцією 1 Тл так, що вектор індукції перпендикулярний до площини кільця. Знайдіть середню ЕРС індукції, яка виникає в кільці, якщо його повернути на кут 90° за 0,1с.

Розвязок:

Дано Ф = В**.**S**.** cos α

∆t = 0,1 с Коли кільце розташовано так, що вектор В

R = 5 см = 0,05 м перпендикулярний до площини кільця, то

В = 1 Тл магнітний потік Ф1 = ВS = В∙π∙R2

α = 90 ͦ Якщо кільце повернути на 90 ͦ , то магнітний

потік через площуФ2 = 0

Еі - ? Зміна магнітного потоку

∆Ф = Ф2 - Ф1 = - В∙π∙R2

За законом електромагнітної індукції

Еі = – =

Зробивши обчислення, отримуємо Еі = 78,5∙10-3 В

Задача 2.

Літак летить горизонтально зі швидкістю 1200 км/год. Знайдіть різницю потенціалів, яка виникає на кінцях крил, якщо вертикальна складова індукції магнітного поля Землі 5•10-5 Тл.

Розмах крил 40м. Знайдіть максимальну різницю потенціалів, яка може виникнути під час руху літака, якщо горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі 2•10-5 Тл.

Дано: Різниця потенціалів на кінцях крил

υ = 1200 км/год U = Еі = В **.** υ **.** L **.** sin α

Ву = 5∙10-5 Тл Максимальною різниця потенціалів буде,

Вх = 2∙10-5 Тл якщо sin α = 1;

L = 40 м Зробивши обчислення отримаємо Uмак = 0,72 В

Uмак - ?

**V. Домашнє завдання**

В.Сиротюк; В.Баштовий. Фізика.11 клас. — Харків: „Сиция“,2011 — §16,17; впр. стор. 85

**Література**

1. Карцев В. Приключения великих уравнений. — Москва, ”Знание“, 1986.

2. Кудрявцев П.С. Фарадей. — Москва, ”Просвещение“ ,1969.

3. Дягилев Ф.М. Из истории физики и жизни её творцов. — Москва, ”Просвещение“, 1986.

4. Лободюк В.А., Рябошапка К.П., Шулишова О.И. Справочник по елементарной физике. — Киев, ”Наукова думка“, 1978.

5.ЗадніпрянецьІ.І Сучасні технології у викладанні фізики. — Київ, ”Шкільнийвсвіт“,м2011.

6. Савченко Н.Е., Решение задач по физике. — Минск, ”Вишейшая школа“, 1977.

7. Шарко В.Д., Сучасний урок фізики. — Київ, ”Есе“, 2005