Заняття № 14 (76) Семінар (D3)

Тема: Енергія магнітного поля. Магнітні властивості речовини

Мета заняття

- **Навчальна:** сформувати у здобувачів освіти поглиблені знання про явище самоіндукції, електрорушійну силу самоіндукції, фізичний зміст індуктивності та енергії магнітного поля; вивчити класифікацію та фізичні механізми намагнічування діа-, пара- та феромагнетиків; навчити застосовувати закони електромагнетизму для аналізу технічних пристроїв і рекреаційного обладнання.
- **Розвивальна:** розвивати аналітичне мислення, вміння порівнювати механічні та електромагнітні явища (аналогія між масою та індуктивністю), встановлювати причинно-наслідкові зв'язки при зміні магнітного потоку та магнітної проникності середовища.
- **Виховна:** виховувати відповідальне ставлення до збереження електрообладнання, екологічну свідомість, підтримувати інтерес до використання фізичних явищ у сучасних туристичних технологіях, енергозбереженні та безпеці відпочинку.

Література: *Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.* Фізика (рівень стандарту, за навч. прогр. авт. кол. під кер. Локтєва В. М.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — § 14, 15, с. 79–88214.

Ключові компетентності

- **Предметна компетентність у галузі природничих наук, техніки і технологій:** розуміння фізичної суті вихрового електричного поля, самоіндукції, параметрів індуктивності та магнітної проникності речовин.
- **Математична компетентність:** вміння розраховувати ЕРС самоіндукції, індуктивність котушок, енергію магнітного поля та відносну магнітну проникність за відповідними формулами.
- **Навчання впродовж життя:** оволодіння навичками самостійного аналізу науково-популярної та технічної літератури щодо застосування магнітних матеріалів у сучасній інфраструктурі.
- **Екологічна грамотність і здорове життя:** оцінка впливу штучних магнітних полів та магнітних властивостей матеріалів на безпеку довкілля та стан здоров'я рекреантів.
- **Підприємливість та фінансова грамотність / Енергоефективність:** розуміння принципів роботи індуктивних захисних пристроїв, безконтактних карт доступу, індукційних варильних панелей у готельно-ресторанних комплексах для зменшення енерговитрат та попередження аварійних ситуацій.

Актуалізація опорних знань

(Експрес-контроль теоретичного базису з попередніх тем)

1. **Запитання:** У чому полягає явище електромагнітної індукції та за якою формулою обчислюється ЕРС індукції?
- *Відповідь / Ключ:* Явище електромагнітної індукції полягає у виникненні вихрового електричного поля або електричної поляризації в провіднику при зміні магнітного потоку1819. Закон Фарадея: $\mathcal{E}_i = -\Delta\Phi\backslash\Delta t$.

2. **Запитання:** Сформулюйте правило Ленца.
- *Відповідь / Ключ:* Індукційний струм, який виникає в замкненому провідному контурі, має такий напрямок, що створений ним магнітний потік перешкоджає зміні зовнішнього магнітного потоку, який спричинив появу цього струму.

3. **Запитання:** Що таке магнітний потік і в яких одиницях СІ він вимірюється?
- *Відповідь / Ключ:* Магнітний потік Ф — це скалярна фізична величина, що дорівнює добутку модуля магнітної індукції B на площу поверхні S та на косинус кута α між

вектором індукції й нормаллю до поверхні: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$. Фізичний зміст: магнітний потік наочно характеризує загальну кількість ліній магнітної індукції, що пронизують дану поверхню. Вимірюється у веберах (1 Вб = 1 Тл · м²).

4. **Запитання (якісна задача):** Чому при швидкому витягуванні постійного магніту з замкненої котушки виникає опір рухові магніту?

- *Відповідь / Ключ:* За правилом Ленца індукційний струм створює власне магнітне поле, яке намагається втримати магніт (притягує його), протидіючи зменшенню магнітного потоку, що вимагає виконання зовнішньої механічної роботи.

Мотивація навчальної діяльності

(Професійно-орієнтований кейс для спеціальності J3 «Туризм і рекреація»)

Професійний кейс: Під час проектування автономного високогірного готельно-рекреаційного комплексу встановили потужний дизель-генератор та мережу індукційних плиток для ресторану, а також безконтактну систему замків на основі феромагнітних зчитувачів та RFID-карт. Під час раптового вимкнення головного рубильника високоіндуктивного навантаження (електродвигунів витяжки та насосів) виникла потужна електрична дуга, яка призвела до підгоряння контактів та виходу з ладу частини електронних контролерів дверей. Крім того, шеф-кухар зауважив, що нові мідні та алюмінієві сотейники зовсім не нагріваються на індукційних плитах, тоді як чавунний та сталевий посуд працює ідеально.

Проблемне запитання:

1. Чому виникла високовольтна дуга при розімкненні кола і як явище самоіндукції впливає на безпеку електромереж готелю?
2. Чому індукційна плита розпізнає лише певні матеріали і як магнітні властивості речовин (діа-, пара- та феромагнетики) визначають вибір обладнання та інвентарю для туристичного комплексу?

Короткий конспект (тези) семінару

1. Явище самоіндукції. ЕРС самоіндукції. Індуктивність

- **Фізична сутність явища:** Електричний струм, що тече в провіднику (котушці), створює навколо нього власне магнітне поле. Якщо сила струму в колі змінюється, то змінюється й власне магнітне поле, а отже, і власний магнітний потік Ф, що пронизує цей контур. Зміна власного магнітного потоку породжує вихрове електричне поле всередині самого провідника. **Явище самоіндукції** — це виникнення вихрового електричного поля (і відповідної ЕРС) у провіднику, в якому тече змінний електричний струм.

Правило Ленца при самоіндукції:

- при *замиканні кола* (зростанні струму I↑) ЕРС самоіндукції протидіє наростанню струму, тому струм досягає робочого значення поступово.

- при *розімкненні кола* (зменшенні струму I↓) ЕРС самоіндукції намагається підтримати струм, створюючи додаткову напругу між контактами, що нерідко викликає іскріння або електричну дугу.

Математичний апарат та формули: Власний магнітний потік контуру прямо пропорційний силі струму в ньому: $\Phi = L \cdot I$ де L — коефіцієнт пропорційності, який називають **індуктивністю провідника** (або коефіцієнтом самоіндукції).

Згідно закона Фарадея $\mathcal{E}is = - \Delta\Phi / \Delta t$. Ураховуючи, що $\Delta\Phi = L \cdot \Delta I$ (при L = const) закон самоіндукції: $\mathcal{E}is = - L \cdot (\Delta I / \Delta t)$
Фізичний зміст закону: ЕРС самоіндукції прямо пропорційна індуктивності провідника L та швидкості зміни сили струму в ньому ($\Delta I/\Delta t$). Знак "мінус" відображає правило Ленца.
Індуктивність (L): Фізична величина, яка характеризує індивідуальні електричні та магнітні властивості провідника (котушки) і чисельно дорівнює ЕРС самоіндукції, що виникає в провіднику при зміні сили струму в ньому на 1 Ампер за 1 Секунду: $L = |\mathcal{E}is| / (\Delta I / \Delta t)$
Одиниця вимірювання індуктивності в СІ: Генрі (Гн). Названа на честь американського фізика Джозефа Генрі. 1 Генрі — це індуктивність такого провідника, у якому при зміні сили струму на 1 А за 1 с виникає ЕРС самоіндукції 1 В: 1 Гн = 1 В · 1 с / 1 А

Від чого залежить індуктивність соленоїда (котушки):

1. Від геометричних розмірів та форми котушки (довжини l, площі поперечного перерізу S).
2. Від кількості витків N (індуктивність пропорційна квадрату кількості витків N^2).
3. Від магнітної проникності середовища / осердя μ.

Формула індуктивності соленоїда: $L = (\mu_0 \cdot \mu \cdot N^2 \cdot S) / l$ де $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10\text{-}7$ Гн / м — магнітна стала. Індуктивність **не залежить** від сили струму в колі чи напруги джерела.

2. Енергія магнітного поля

Теоретичне обґрунтування накопичення енергії: джерело струму під час встановлення струму виконує роботу проти сил вихрового електричного поля самоіндукції. Ця робота накопичується у вигляді енергії магнітного поля котушки. При розімкненні кола ця енергія вивільняється у вигляді теплової енергії іскри, дуги або світлового спалаху ламп.

Формула енергії магнітного поля: $W_м = (L \cdot I^2) / 2$

Фізична аналогія між механікою та електродинамікою

Механічний процес	**Електромагнітний процес**
Маса тіла m (інертність)	Індуктивність L (електромагнітна інертність)
Швидкість руху υ	Сила струму I
Кінетична енергія: $E_k = (m \cdot \upsilon^2)/2$	Енергія магнітного поля: $W_м = (L \cdot I^2)/2$
Робота проти сил тертя	Робота проти вихрового поля

3. Магнітні властивості речовини (Діа-, пара- і феромагнетики)

Відносна магнітна проникність середовища μ: фізична величина, яка показує, у скільки разів модуль магнітної індукції B поля в речовині відрізняється від модуля магнітної індукції B_0 поля у вакуумі: $\mu = B/B_0$

Класифікація магнітних речовин:

Група	*Магнітна проникність (μ)*	*Властивості та поведінка*	*Приклади*
Діамагнетики	*μ<1 (дуже мало)*	*Слабко виштовхуються з магнітного поля.*	*Вода, мідь, срібло, азот.*
Парамагнетики	*μ>1 (дуже мало)*	*Слабко втягуються в магнітне поле.*	*Алюміній, платина, кисень.*
Феромагнетики	*μ≫1 (до десятків тисяч)*	*Сильно втягуються в магнітне поле. Здатні до намагнічування.*	*Залізо, нікель, кобальт, сталь.*

Особливості феромагнетиків:

Наявність магнітних доменів (областей, де спіни атомів орієнтовані однаково). Намагнічування відбувається шляхом переорієнтації цих доменів

Температура Кюрі: температура, вище якої феромагнетик втрачає доменну структуру і перетворюється на звичайний парамагнетик (наприклад, для заліза T = 1043 K = 770 °C, для нікелю T = 631 K.

Магнітножорсткі матеріали: Зберігають намагніченість після зняття зовнішнього поля; використовуються для виготовлення постійних магнітів, магнітних смуг туристичних карт-ключів, жорстких дисків.

Магнітном'які матеріали: Легко намагнічуються і швидко розмагнічуються; використовуються для виготовлення осердь трансформаторів, дроселів, електромагнітів.

Застосування у туристично-рекреаційній сфері

1. *Індукційні плити в закладах ресторанного господарства:* використовують вихрові струми Фуко, наведені у феромагнітному дні спеціального посуду (чавун, сталь), що забезпечує високий ККД та пожежну безпеку.
2. *Безпека готельних електромереж:* Застосування дугогасних камер та автоматичних вимикачів із магнітним розчіплювачем для захисту від сплесків ЕРС самоіндукції при відключенні потужних насосів чи ліфтів.
3. *Магнітні інспекційні пристрої (металодетектори):* Робота базується на виявленні зміни індуктивності та вихрових струмів при внесенні металевих речей через рамку безпеки в аеропортах та готелях.

Нотатка для здобувача освіти

Здобувач освіти повинен мати оформлений конспект за наступною структурою:

1. Записати номер та тему заняття.
2. Короткий конспект (тези) лекції або семінару (виписати всі ключові визначення, фізичні величини (із позначеннями та одиницями вимірювання в СІ); зафіксувати основні формули та закон(и) теми).
3. Занотувати розв'язаний приклад професійно-орієнтованого кейсу / задачі.

4. Дати письмові відповіді на контрольні запитання підсумкової рефлексії.
5. Виконати ДЗ 76 (задачі)

Підведення підсумків та рефлексія

1. Чому струм у котушці з великою індуктивністю при замиканні зростає поступово, а при розімкненні виникає сильне іскріння?
2. Поясніть аналогію між інертністю тіла в механіці та індуктивністю в електродинаміці.
3. Чому алюмінієва або мідна каструля не нагрівається на індукційній варильній панелі готельного ресторану?
4. Що станеться з постійним магнітом, якщо його нагріти вище температури Кюрі?

Критерії оцінювання теоретичних знань

Бал	Рівень	Деталізований опис вимог до відповіді здобувача освіти
1	Початковий	Розпізнає окремі терміни («самоіндукція», «магніт»), але не може дати їм визначення чи розрізнити види магнетиків.
2	Початковий	Називає одиницю індуктивності (Генрі), проте припускається грубих помилок у формулюваннях і не знає основних формул.
3	Початковий	Відтворює фрагменти закону самоіндукції за допомогою викладача; плутає поняття індуктивності та магнітного потоку.
4	Середній	Знає базові визначення самоіндукції та індуктивності, але не може пояснити причин накопичення енергії в магнітному полі.
5	Середній	Наводить формули $\mathcal{E}is = - L \cdot (\Delta I / \Delta t)$ та $W_м = (L \cdot I^2) / 2$, але припускається помилок при переведенні одиниць вимірювання в СІ.
6	Середній	Самостійно описує класифікацію речовин на діа-, пара- та феромагнетики, проте має труднощі з поясненням мікроскопічної картини намагнічування.
7	Достатній	Вільне володіння теоретичним матеріалом; виправляє дрібні неточності при поясненні дослідів із замиканням і розімкненням кола з котушкою.
8	Достатній	Логічно викладає теорію, пояснює фізичний зміст відносної магнітної проникності μ, наводить приклади феромагнітних матеріалів.
9	Достатній	Повно аналізує механічну аналогію між масою та індуктивністю; обґрунтовано пояснює роль доменів у феромагнетиках і явище температури Кюрі.
10	Високий	Системні та глибокі знання; здобувач освіти вільно оперує векторними та скалярними величинами, пояснює фізичні принципи роботи захисних реле та трансформаторів.
11	Високий	Виявляє високий рівень аналітичного мислення; бездоганно розв’язує професійний кейс, обґрунтовує вимоги до матеріалів для індукційного обладнання в туризмі.
12	Високий	Творчий рівень засвоєння; демонструє глибоку естетичну та технічну ерудицію, пропонує інноваційні шляхи застосування магнітних систем у рекреаційній інфраструктурі.

Рекомендовані відео:

Самоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля (Наталія Андрієнко 10,3 хв) https://www.youtube.com/watch?v=Cx6zvfpjY44

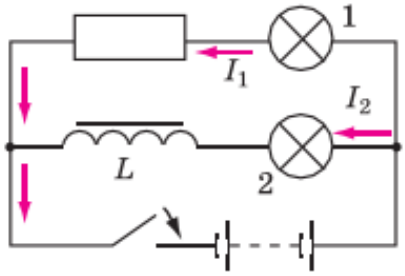
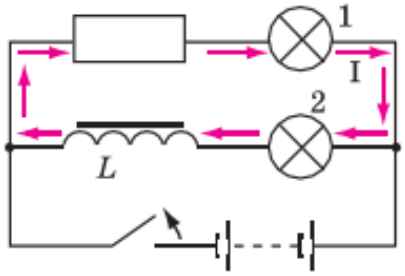
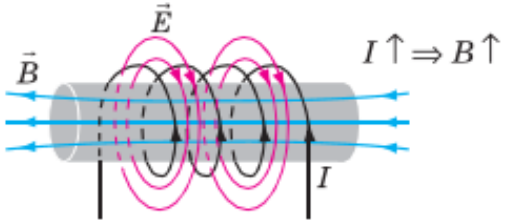
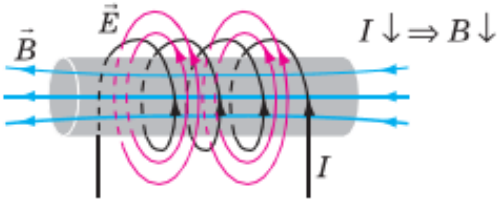
11 клас. Фізика. Самоіндукція. Індуктивність (Всеукраїнська школа онлайн Анастасія Ротозєй 8 хв) https://www.youtube.com/watch?v=cZ7FHStWkck

11 клас. Фізика. Енергія магнітного поля (Анастасія Ротозєй) 7 хв
https://www.youtube.com/watch?v=ykBtcCZpggE

Самоіндукція Індуктивність Енергія магнітного поля (Електронні книги "РАНОК" 5 хв)
https://www.youtube.com/watch?v=QJ1XEYVlsyA

Як Працює Котушка Індуктивності. Що Таке Котушка Індуктивності. Індуктивність (Palsan Technology 3 хв) https://www.youtube.com/watch?v=Z-TAYa52xfw

14-11 Самоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля. (Заряд Знань, ШІ) 7 хв https://www.youtube.com/watch?v=NGnZhOHvHVw

Коло замикають	**Коло розмикають**
Відразу після замкнення кола сила струму I в колі збільшується. 	Відразу після розімкнення кола сила струму I в колі зменшується. 
Усередині котушки виникає змінне магнітне поле, магнітна індукція $\vec{B}$ якого теж збільшується. Змінне магнітне поле створює *вихрове електричне поле* $\vec{E}$, яке в цьому випадку буде *протидіяти струму* в котушці (правило Ленца).  Саме тому сила струму в колі котушки (а отже, і в лампі 2) зростатиме не відразу, а поступово. Зрозуміло, що в провідниках, які підводять струм до лампи 1, також виникає вихрове електричне поле, але створена ним ЕРС є незначною.	Магнітна індукція $\vec{B}$ поля, створеного струмом, теж зменшується. Змінне магнітне поле створює *вихрове електричне поле* $\vec{E}$, яке в цьому випадку *підтримуватиме струм* у котушці (правило Ленца).  Здається, що лампа 2 повинна згаснути пізніше, ніж лампа 1, але обидві гаснуть одночасно! Річ у тім, що коло, яке складається із двох ламп, котушки і резистора, залишається замкненим. *Котушка* в цьому колі слугує *джерелом струму*: вихрове електричне поле, що виникло в котушці, підтримує в колі струм. Струм через котушку і лампу 2 продовжує йти в тому самому напрямку, а напрямок струму в лампі 1 і резисторі змінюється на протилежний.

*