

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ

Кафедра інформаційних технологій факультету №4

Текст лекції

навчальної дисципліни Фізика обов'язкової компоненти
освітньої програми першого рівня вищої освіти

125 Кібербезпека (безпека інформаційних та комунікаційних систем)

за темою – (Магнітне поле і його характеристики)

Харків 2018

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від _____ № _____

СХВАЛЕНО

Вченою радою факультету № 4
Протокол від _____ № _____

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від _____ № _____

Розглянуто на засіданні кафедри інформаційних технологій
протокол від _____ № _____

Розробники:

1. доцент кафедри, кандидат технічних наук Світличний В.А.

Рецензенти:

1. доцент кафедри кібербезпеки факультету №4 ХНУВС, к.т.н., доцент Носов В.В.,
2. професор кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів ХНУРЕ, к.т.н., доцент Хорошайло Ю.Є.

План лекції

1. Вступ.
2. Природа магнітного поля. Властивості магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа. Розрахунок магнітних полів. Магнітна індукція.
3. Висновки.

Основна література

1. Трофимова Т.И. Курс физики – М.: "Высшая школа", 1999.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том. 3. Электричество – М.: Высшая школа", 1979, 703 с.
3. Бланк А.Я. Физика. – Харьков, "Каравелла", 1996.
4. Лопатинський Є.І., Зачек І.Р., Ільчук Г.А., Романишин Б.М. Фізика. Підручник. – Львів: Афіша, 2005. 394 с.

Додаткова література:

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики \в 3-х томах\ - Киев, "Дніпро", 1994.
2. Савельев И.В. Курс физики \в 3-х томах\ - М: Наука, 1989.
3. Айзензон А.Е. Курс физики – Москва, "Высшая школа", 1996.
4. Детлаф А.А., Яворський В.М. Курс общей физики \ в 3-х томах\ – М.: Высшая школа, 1983.
5. Богацька І.Г., Головка Д.Б., Маляренко А.А., Ментковський Ю. Л., Загальні основи фізики \ у двох книгах\ – К: Либідь, 1998.
6. Орір Дж. Фізика в 2-х томах. – М: Мир, 1981.
7. Біленко І.І. Фізичний словник. К: Вища школа, 1993.

Текст лекції

1.Вступ. Мета лекції полягає в ознайомленні курсантів з такими фізичними поняттями і явищами як: природа магнітного поля; властивості магнітного поля; закон Біо-Савара-Лапласа; розрахунок магнітних полів; магнітна індукція

2.Природа магнітного поля. Властивості магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа. Розрахунок магнітних полів. Магнітна індукція. Магнітне поле і його характеристики

2.1. Природа магнітного поля

У 1820 р. датський фізик Ерстед виявив, що електричний струм у провіднику чинить орієнтуючу дію на магнітну стрілку. З цього було зроблено висновок, що електричний струм породжує магнітне поле. Експериментальні дослідження були виконані французькими вченими Біо та Саваром, які встановили, що напруженість магнітного поля струму пропорційна його силі, залежить від відстані до провідників електричного кола та від іонної конфігурації. З дослідів Ерстеда витікає, що магнітне поле має спрямований характер і повинне характеризуватися векторною величиною. Таким чином, заряди, що рухаються, змінюють властивості оточуючого їх простору – створюють у ньому магнітне поле. Магнітне поле чинить силову дію на заряд, що рухається в ньому. Той факт, що нерухомий заряд створює електричне поле, а рухомий – магнітне, дозволяє стверджувати, що електричне і магнітне поля є різними проявами електромагнітного поля заряду. У залежності від відносної швидкості руху двох зарядів, сила їх взаємодії буде мати електричний або магнітний характер. Тобто уявлення про електричне або магнітне поле є відносним. Якщо у системі відліку, що рухається, заряд є нерухомим, ми будемо спостерігати тільки електричне поле, а у системі відліку, де заряд рухається, і електричне, і магнітне поля одночасно. Ми будемо вивчати магнітне поле зарядів, що рухаються (струмів) у нерухомій лабораторній системі відліку. При русі електронів у провідниках їх заряд скомпенсований зарядом решітки, внаслідок цього присутнє тільки магнітне поле, а електричне – дорівнює нулю.

2.2. Властивості магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа

Властивості магнітних полів струмів були досліджені у 1820 р. Біо і Саваром. Лаплас з аналізу дослідних даних зробив висновок, що магнітне поле будь-якого струму може бути визначено як векторна сума

(суперпозиція) полів, що створюються окремими елементарними ділянками струмів.

За аналогією з електричним полем, магнітне поле характеризується: силовими лініями та вектором напруженості. Дотичні до силових ліній називаються векторами напруженості H . Вектор напруженості H є пропорційним потоку заряду у провіднику.

Розглянемо нескінченно малий елемент провідника dl . Введемо вектор $d\vec{l} = \vec{n} dl$, де \vec{n} – одиничний вектор у напрямі потоку електронів у елементі. Визначимо потік заряду $d\vec{I}Q$ як добуток заряду в обраному об'ємі на швидкість переносу електронів у напрямі $d\vec{l}$.

$$d\vec{I}Q = dQ\vec{v} = qn\vec{v}dV = qn\vec{v}Sdl = qnvSd\vec{l},$$

де заряд в обраному об'ємі $dQ = qndV$, n – густина електронів, $\vec{v}dl = v d\vec{l}$ – бо напрям швидкості та переміщення електронів у провіднику співпадають. Оскільки $qnvS = I$, то потік заряду запишемо як

$$d\vec{I}Q = Id\vec{l}$$

і будемо вважати елементарним джерелом магнітного поля $d\vec{H}$.

Напруженість магнітного поля у довільній точці A буде складатися за принципом суперпозиції із суми dH – елементарних напруженостей по всій довжині провідника. Таким чином, для кожного конкретного провідника повної форми напруженості \vec{H} будуть різними в той час, як елементарні напруженості $d\vec{H}$ будуть однаковими.

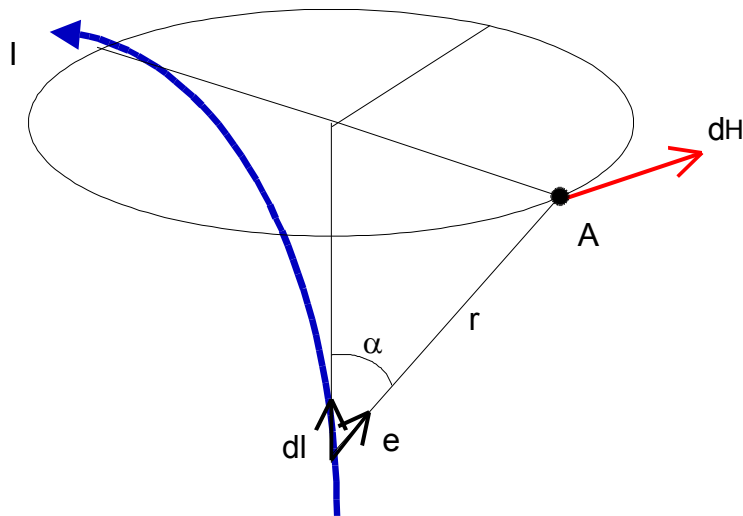


Рис. 1. Напруженість dH елементу струму dl у точці A

Величина $d\vec{H}$ залежить від кута $\alpha = (d\vec{l}, r) = (d\vec{l}, \vec{e}_r)$, де $\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}$ – одиничний вектор у напрямку точки A .

Оскільки джерелом магнітного поля є потік заряду, то ми допустили певну аналогію між властивостями електричного та магнітного полів. Використаємо дві гіпотези:

1) Напруженість поля dH пропорційна векторному добутку векторів, що визначають напрям руху електронів та положення точки:

$$d\vec{H} \sim [\vec{n}\vec{e}_r]$$

2) Напруженість магнітного поля зменшується відповідно квадрату відстані:

$$H \sim \frac{1}{r^2}$$

Спираючись ці гіпотези, одержимо:

$$d\vec{H} = kI[d\vec{l}, \vec{r}]; \quad k = \frac{1}{4\pi r^3}$$

Цей вираз, одержаний експериментально, носить назву *закону Біо-Савара-Лапласа* (БСЛ):

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$

Відмітимо, що згідно закону Біо-Савара-Лапласа, напруженість магнітного поля є псевдовектор, що перпендикулярний до площини, що проходить через вектори $d\vec{l}$ та \vec{r} , а його напрям визначається математично за правилом векторного добутка, а фізично – правилом правого гвинта.

У скалярній формі закон Біо-Савара-Лапласа має вигляд:

$$dH = \frac{Idl}{4\pi r^2} \sin \alpha,$$

де $\alpha = (\vec{dl}, \vec{r})$.

2.3. Розрахунок магнітних полів

За допомогою *закону БСЛ* обчислимо напруженість поля лінійного провідника нескінченної довжини на відстані b від нього. Для розв'язання задачі потрібна заміна змінної dl на $d\alpha$ у класичній формі закону БСЛ.

Як видно з малюнка нижче:

$$r = \frac{b}{\sin \alpha}; \quad dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = (0 < \alpha < \pi) = \frac{bd\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

$$dH = \frac{I \sin \alpha}{4\pi b} \cdot \frac{bd\alpha}{\sin^2 \alpha} = \frac{I}{4\pi b} \sin \alpha d\alpha$$

Тоді H визначається як

$$H = \frac{I}{4\pi b} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{2I}{4\pi b}$$

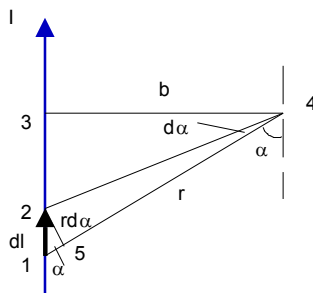


Рис. 2. Розрахунок поля лінійного провідника

2.4. Магнітне поле Землі

Вміщує дві складові. Горизонтальна складова складає $H \sim 30$ А/м біля екватора та зменшується до полюсів до одиниць А/м. Вертикальна складова максимальна біля полюсів ~ 60 А/м та спадає до нуля при наближенні до екватора.

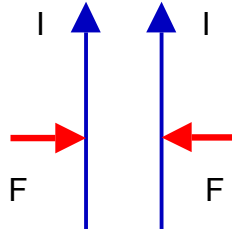


Рис. 3. Взаємодія паралельних струмів

З досліду відомо, що два паралельних провідника одиничної довжини взаємодіють з силою

$$F_{\text{од}} = k \frac{2 I_1 I_2}{b},$$

де I_1, I_2 – відповідні струми у провідниках, b – відстань між ними.

У системі СІ при $I_1 = I_2 = 1 \text{ А}$, $b = 1 \text{ м}$, $F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ на 1 м довжини провідника. Виходячи з цього, визначимо коефіцієнт пропорційності

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \left[\frac{\text{Гн}}{\text{м}} \right],$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна стала або магнітна проникність вакууму.

Між постійними ϵ_0 та μ_0 є зв'язок

$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2},$$

де $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – швидкість розповсюдження світла у вакуумі (електродинамічна стала).

У системі СІ для визначення силової дії магнітного поля використовують вектор магнітної індукції \vec{B} , що пов'язаний з напруженістю таким чином:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}.$$

Графічно лінії магнітної індукції зображуються концентричними колами, що охоплюють провідник, їх густина зменшується з віддаленням від провідника.

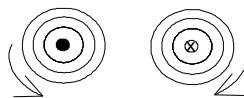


Рис. 4. Напрями магнітної індукції струмів

3.Висновки.

У даній лекції розглянути питання: природа магнітного поля; властивості магнітного поля; закон Біо-Савара-Лапласа; розрахунок магнітних полів; магнітна індукція. Засвоєння цих фізичних явищ і законів, методів фізичного дослідження, є базою при подальшому вивченні спеціалізованих дисциплін. Формування правильного розуміння границь застосовності цих фізичних понять, законів, теорій дозволить оцінювати ступінь вірогідності результатів, отриманих за допомогою експериментальних методів дослідження. Навчання побудові математичних моделей фізичних явищ, а також їхнього аналізу на основі аналітичних рішень і чисельного експерименту дозволить курсантам набути стійких навичок роботи за фахом.