

ВЗАЄМОДІЯ РУХОМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ

Омелянєнко В.О., к.ф.-м.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел (0619) 42-06-18

Анотація – роботу присвячено взаємодії рухомих електричних зарядів як в провідниках так і в вакуумі. Вказані сили, які діють на електричні заряди і їх природу. Порівнюються сили електричного і магнітного походження в залежності від середовища, в якому рухаються заряди.

Ключові слова – магнітне поле рухомого електричного заряду, магнітна складова сили взаємодії рухомих зарядів.

Постановка проблеми. Визначення фізичного змісту магнітної складової взаємодії рухомих електричних зарядів дає можливість пояснити взаємодію провідників з струмом, яка лежить в основі означення основної одиниці сили струму – 1 А.

Аналіз останніх досліджень. В літературі розглядаються приклади дії магнітного поля на рухомий електричний заряд (сила Лоренца), створення магнітного поля рухомих електричних зарядом, траєкторії руху електричних зарядів в магнітних полях. В даній статті наводиться розрахунок сил як електричної так і магнітної складової рухомих електричних зарядів і їх співвідношення при рухові в вакуумі і в провідниках.

Формування цілей статті. Розглянувши взаємодію рухомих електричних зарядів, показати співвідношення сил електричної і магнітної складової при рухові в вакуумі і в провідниках.

Основна частина.

1. Взаємодія струмів. Магнітні сили.

Якщо по двох паралельних і не закріплених провідниках пропустити постійний електричний струм то вони будуть притягуватись. Якщо ж струми будуть антипаралельні, то вони відштовхуються.

Класична теорія електропровідності металів пояснює причину цього явища наступним чином.

Метал має вільні електрони (електронний газ), розподілений всередині іонної ґратки. Сумарний заряд додатньо зарядженої іонної ґратки і від'ємно зарядженого електронного газу рівний нулю; заряди

розподілені в провіднику рівномірно, так що система не має дипольного моменту. Внаслідок цього сумарна напруженість електричного поля іонної ґратки і електронного газу рівна нулю, і навколо провідника відсутнє електричне поле. І тому провідники при відсутності струму не взаємодіють друг з другом.

При наявності електричного струму, тобто направленого руху вільних електронів, між провідниками виникає сила взаємодії. Це приводить до висновку, що сили взаємодії між рухомими електричними зарядами відрізняються від сил взаємодії між нерухомими зарядами. З історичних міркувань ці сили називають магнітними.

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа кожний провідник з струмом створює навколо себе магнітне поле, індукція якого визначається за формулою

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot b}$$

А тому магнітну взаємодію двох провідників з струмом можна представити як силу Ампера, яка діє на другий провідник з струмом, який знаходиться в магнітному полі, створеному першим провідником і визначається формулою

$$F = I_2 \cdot B_1 \cdot l_2 \cdot \sin \varphi, \text{ або } F = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi \cdot b},$$

де l – довжина провідника;

b – віддаль між ними;

$\sin \varphi = 1$, так як кут між індукцією \vec{B}_1 магнітного поля і силою струму \vec{I}_2 , наприклад, рівний $\frac{\pi}{2}$.

Розглянемо взаємодію між двома прямолінійними нескінченно довгими провідниками з струмом, розташованих паралельно один до одного на відстані (рис. 1).

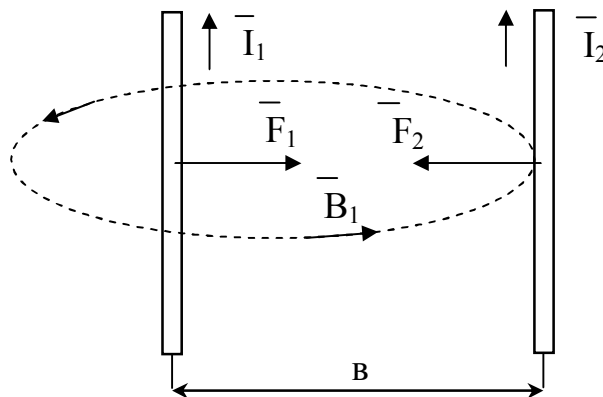


Рис. 1. Сили взаємодій між провідниками з паралельними струмами.

Дослід показує, що такі провідники притягуються один до одного, якщо струми в них мають однаків напрямок (паралельні), і відштовхуються, якщо струми направлені протилежно (антипаралельні).

Взаємодію паралельних струмів легко пояснити і взяти за основу в означенні основної одиниці сили струму в СІ -1А. Дійсно, кожний з провідників створює в просторі навколо себе магнітне поле, яке в відповідності з законом Ампера діє на другий провідник з струмом. Визначивши силу \vec{F}_1 , з якою діє магнітне поле другого провідника на провідник з струмом I_1 , і аналогічно силу \vec{F}_2 , і порівнявши їх, можна зробити висновок, що вони рівні між собою і направлені протилежно.

За одиницю сили струму СІ взято ампер (А) – сила такого незмінюючого струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і малої площі колового поперечного перерізу, розташованих в вакуумі на відстані 1 м один від другого, визнає би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

2. Магнітне поле рухомого заряду.

Так як електричний струм представляє собою направлений рух електричних зарядів, то можна сказати, що любий рухомий в вакуумі або середовищі заряд створює навколо себе магнітне поле. В результаті узагальнення дослідних даних був встановлений закон, який визначає індукцію магнітного поля B точкового заряду Q , який вільно рухається з нерелятивістською швидкістю v . Модуль магнітної індукції розраховується за формулою

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{Q \cdot v}{r^2} \cdot \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами \vec{v} і \vec{r} .

Вперше поле рухомого заряду виявив американський фізик Г.Роуланд, а виміряв академік А.Ф.Іоффе. Причому експериментально підтверджено, що магнітне поле створюється не тільки колективним рухом електричних зарядів, а і кожним електричним зарядом окремо.

3. Взаємодія між рухомими електричними зарядами.

Нехай два точкових заряди (наприклад, електрони) знаходяться на відстані r один від одного. Електрична взаємодія визначається законом Кулона

$$F_e = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

Якщо ці вільні заряди будуть рухатись з однаковими і паралельними швидкостями, то між ними виникне і магнітна складова, яку можна

визначити як силу Лоренца, яка діє на рухомий електричний заряд в магнітному полі, створеному другим зарядом:

$$F_M = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{e^2 \cdot v^2}{r^2}.$$

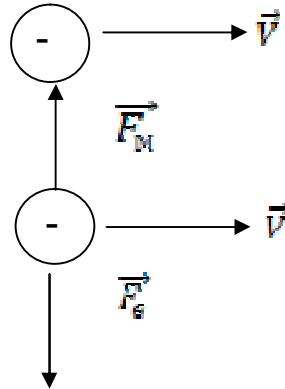


Рис. 2. Сили взаємодій між рухомими електричними зарядами.

Значить в рухомій системі відліку результуюча сила взаємодії буде менше, ніж в системі відліку, де заряди знаходяться в стані спокою.

Слід зазначити, що такі закономірності справедливі при швидкостях, значно менших швидкості світла ($V \ll C$). Враховуючи співвідношення між електричною (ϵ_0) і магнітною (μ_0) сталою $\epsilon_0 \cdot \mu_0 = \frac{1}{C^2}$,

де C – швидкість світла, можна визначити відношення магнітної сили взаємодії до електричної (нехтуючи гравітаційною силою взаємодії):

$$\frac{F_M}{F_e} = \frac{V^2}{C^2}.$$

Значить при до релятивістських швидкостях магнітна сила взаємодії вільних електричних зарядів менша за електричну. По цій причині електричний промінь в ЕПТ повинен розширюватися при рухові до екрану.

Якщо електричні заряди рухаються в провіднику, електричні сили будуть зкомпенсованими, і залишається тільки магнітна сила. Саме цим і пояснюється магнітна взаємодія провідників зі струмом, а також і другі випадки магнітних взаємодій – в електромагнітах, електродвигунах і т.п.

Висновки. З усіх можливих сил взаємодії паралельних провідників: гравітаційної, так як вони мають масу; електричної, якщо їх зарядити і магнітної при проходженні по них постійного струму найбільшу величину буде мати магнітна сила. Тому провідники з паралельними струмами притягуються, а з антипаралельними – відштовхуються.

Література

1. Загальний курс фізики. Збірник задач / І.П. Гаркуша, І.І. Горбарук, В.П. Курінний [та ін.]; за ред.. І.П. Гаркуші. – К.: Техніка, 2003. – 560 с.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие /Т.И. Трохимова. – М.: высш.шк., 1990 – 478 с.
3. Ландау Л.Д. Теория поля: учебное пособие для ВУЗов/Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука , 1973. – 504 с.
4. Путилов К.А. Курс физики: учебное пособие /К.А. Путилов. – М.: издат. физ.-мат. литературы ., 1963. – 584 с.
5. Яворский Б.М. Основы физики: учебное пособие / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. – М.: Наука, 1972. – 736 с.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Омельяненко В.О.

Аннотация

Работа посвящена обоснованию взаимодействия движущихся электрических зарядов, как в проводниках так и в вакууме. Указаны силы, которые действуют на электрические заряды и определена их природа. Сравниваются силы гравитационного, электростатического и магнитного происхождения в зависимости от среды, в которой они движутся.

INTERACTION OF MOVING ELECTRIC CHARGES

V. Omelyanenko

Summary

The work is devoted to the interaction of moving electric charges in conductors and in vacuum. Specified forces that acting on electric charges and their nature. Compared the electric forces and magnetic origin depending on the environment in which the moving charges.