

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ

УДК 537.63

ЗАКОН АМПЕРА Й ПАРАДОКСАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ В ЕЛЕКТРОДИНАМІЦІ

В. Петущак, Н. Козлова¹, Б. Осика

¹*Кафедра теоретичної та прикладної фізики,
Національний авіаційний університет,
пр. Космонавта Комарова, 1, 03680, Київ, Україна
v.petuschak@gmail.com*

Наведено докази неадекватності сучасного трактування закону Ампера, яке ґрунтується на визнанні порушення третього закону Ньютона в магнітних взаємодіях провідників зі струмом, а також адекватний варіант трактування цього закону.

Низка так званих парадоксальних експериментів в електродинаміці є саме тими, у яких фізики визнають порушення третього закону Ньютона. Російський фізик Г. Ніколаєв, дослідивши такі експерименти, довів виконання третього закону Ньютона в магнітних взаємодіях провідників зі струмом. Особливістю цих експериментів є й те, що в них порушується принцип ортогональності магнітної сили до осі провідника, що впливає із закону Ампера. Г. Ніколаєв запропонував емпіричну формулу модифікованого закону Ампера, у якій третій закон Ньютона виконується, а магнітні сили, що діють на елементи провідники, не ортогональні до їхніх осей, можуть мати навіть аксіальний напрям. Ми, ґрунтуючись на властивостях відносності силової взаємодії елементів провідників, вивели цю формулу теоретично.

Ключові слова: магнітні сили, формула Ампера–Грассмана, “парадоксальні експерименти”, сили дії і протидії.

У класичній електродинаміці є інтрига, яка вже друге сторіччя очікує на вирішення. Йдеться про закон Ампера магнітної взаємодії елементів провідників. У звичному трактуванні цього закону наголошено на порушенні третього закону Ньютона у силовій взаємодії елементів провідників. Таке порушення є свідченням порушення закону збереження енергії. Ця обставина призводить до того, що в більшості наукових праць та підручників або коротко посилаються на цю особливість закону Ампера, не даючи пояснень [1, с. 283], або взагалі про це не згадують. Деякі вчені все ж намагаються пояснити таке порушення. Наведемо висловлювання академіка І. Тамма в праці [2, с. 204]: “Втім, у випадку сталих струмів, які є замкнені, це порушення третьої аксіоми Ньютона пов’язано лише з поданням сил взаємодії струмів як сил попарної взаємодії їхніх елементів”.

Тобто І. Тамм вважає, що реального порушення закону збереження нема, причина полягає в недосконалої саме диференційної форми цього закону.

У 1975 р. опубліковано працю Р. Сігалова зі співавт. “Новые исследования движущих сил магнитного поля” [3]. Автори визнають правильність формули Грассмана й факт порушення третього закону Ньютона. Вони також вважають, що внаслідок цього пору-

шення виникають незбалансовані сили, які дають змогу провіднику рухатися в просторі під дією власного магнітного поля.

Р. Сігалов писав: “Положительный отзыв о работе и о возможностях её технического применения написан известным специалистом в области электродинамики академиком И. Е. Таммом” [3, с.151]. Як бачимо, у цьому відгуку академік інакше трактує закон Ампера – визнає реальне порушення третього закону Ньютона.

Тобто ще й сьогодні маємо дилему: причиною порушення є недосконалість закону Ампера чи закон визначає, що порушення таки існує.

В електродинаміці відомі експерименти магнітної взаємодії провідників, які неможливо пояснити, спираючись на закон Ампера. Чи не є причиною “парадоксальності” багатьох із цих експериментів сучасне трактування закону Ампера, яке ґрунтується на порушенні третього закону Ампера в магнітних силових взаємодіях.

Звернемося до одного з таких експериментів. Розглянемо простий пристрій, наведений у праці Ніколаєва [4, с.43]: розташований зовні кільцевий провідник, на який струм I_2 подають щітками, обертається в магнітному полі двох напівкруглих соленоїдів зі струмами I_1 (рис. 1). Далі називатимемо цей пристрій мотором Ніколаєва.

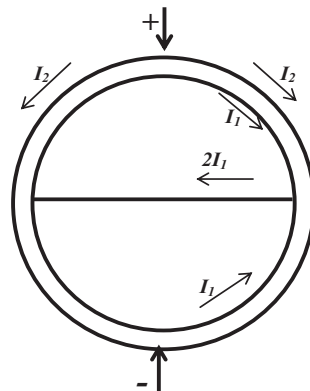


Рис. 1. Умовна схема мотора Ніколаєва.

“Парадоксальність” цього мотора вражає очевидністю: круглий провідник – ротор двигуна, може обертатися лише магнітними силами, що діють уздовж осі провідника. Однак таких сил у класичній електродинаміці немає: відповідно до закону Ампера, магнітна сила завжди ортогональна до напрямку струму. Які ж сили обертають ротор?

Мотор Ніколаєва є аналогом відомого мотора Маринова, у якому роль кільцевого провідника відіграє ртуть, що обертається в кільцевій кюветі (рис. 2).

Мотор Ніколаєва, мотор Маринова – це не “парадоксальні експерименти”, а радше експерименти, що демонструють парадоксальність трактування закону Ампера, який припускає порушення третього закону Ньютона і, відповідно, закону збереження енергії в магнітній взаємодії елементів провідників. Далі ми знову розглянемо мотор Ніколаєва й доведемо, що наслідком саме такого трактування і є визнання обов’язкової ортогональності дії магнітних сил до осі провідника.

Факт порушення третього закону Ньютона визначає лише математичне трактування закону Ампера. Де ж експерименти, які підтверджують таке порушення?

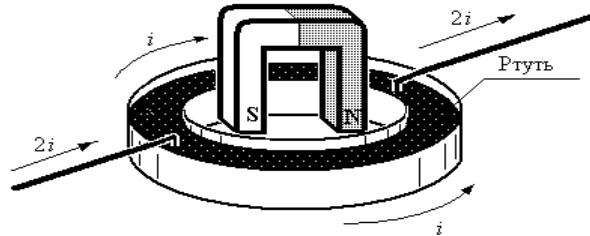


Рис. 2. Мотор Маринова.

Звернемося до історії. Нагадаємо, що формулу взаємодії елементів провідників зі струмом, якою користуються тепер і називають законом Ампера, вивів Грассман 1844 р. [5, с. 64], уже після смерті Ампера:

$$\bar{F}_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left[d\bar{l}_2 \left[d\bar{l}_1 \bar{r}_{12} \right] \right].$$

У формулі Грассмана сили взаємодії не є центральними, тому вони не можуть бути силами дії–протидії. Якщо виключити участь сил протидії у цих взаємодіях, уважати, що це взаємодія лише активних магнітних сил, то можна зробити висновок, що третій закон Ньютона порушується. Саме ця обставина зумовила заперечення багатьох фізиків, які намагалися вивести варіант закону, що не порушував би третього закону Ньютона. Суперечки тривають дотепер. Згадаємо лише дві праці з прямо протилежним ставленням до цієї проблеми.

Р. Сігалов [3] навів 27 експериментів, у яких унаслідок порушення третього закону Ньютона виникають “незбалансовані” магнітні сили. На жаль, у жодному з цих експериментів Р. Сігалов не перевіряв, чи справді порушується третій закон Ньютона, мабуть, тому, що не сумнівався в цьому.

У 1997 р. опубліковано працю Г. Ніколаєва “Непротиворечивая электродинамика” [4]. У праці досліджено 49 експериментів, серед них і експерименти Сігалова. Г. Ніколаєв експериментально довів виконання третього закону Ньютона в усіх цих експериментах.

Розглянемо, наскільки правильні підходи авторів, і перевіримо адекватність тверджень, що в законі Ампера у вигляді формули Грассмана порушується третій закон Ньютона. Та спочатку проаналізуємо особливості умов магнітної взаємодії провідників.

1. Відносність магнітної взаємодії провідників зі струмом.

Формула Грассмана випливає з формули Лоренца для сили, що діє на заряд, який рухається в магнітному полі, і закону Біо–Савара–Лапласа. Здавалося б, суттєвої різниці між взаємодією зарядів, що рухаються, і провідників зі струмом немає. Це не так, суттєва відмінність – нейтральність провідників. Рух елемента провідника зі струмом створює магнітне поле, індукція якого дорівнює векторній сумі магнітних індукцій магнітних полів позитивних і негативних зарядів:

$$\bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left(Q^+ \left[\bar{V}_1 \bar{r} \right] + Q^- \left[\bar{V}_2 \bar{r} \right] \right),$$

де V_1 і V_2 – швидкості, відповідно, позитивних і негативних зарядів в елементі провідника; Q^+ і Q^- – суми, відповідно, позитивних і негативних зарядів в елементі провідника. Уважаючи, що ці суми однакові, останній вираз запишемо у вигляді

$$\bar{B} = \frac{\mu_0 Q^+}{4\pi r^3} [(\bar{V}_1 - \bar{V}_2) \bar{r}].$$

Різницю швидкостей позитивних і негативних зарядів у провіднику визначає лише струм у провіднику, і вона не залежить від швидкості руху провідника. Тобто магнітне поле провідника не залежить від вибору системи відліку. Магнітна взаємодія двох елементів провідників в разі квазістатичних швидкостей є *відносною*, тому що не залежить від вибору системи відліку, визначена лише відносним рухом провідників.

2. Порухення третього закону Ньютона в магнітній взаємодії елементів провідників зі струмом.

Розглянемо типовий приклад такого порушення, коли магнітна сила лише одного провідника діє на другий (рис. 3).

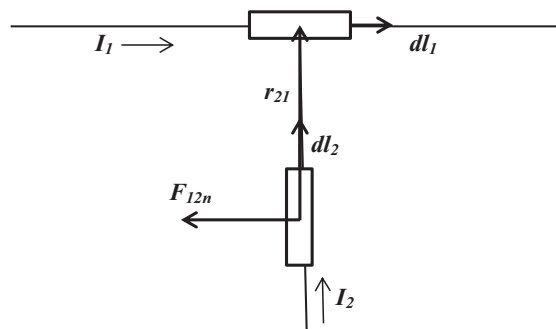


Рис. 3. Взаємодія ортогональних елементів провідників зі струмом.

Провідники ортогональні між собою. Згідно з законом Ампера, елемент провідника dl_1 діє з силою F_{12n} на елемент провідника dl_2 , а сила дії елемента провідника dl_2 на dl_1 дорівнює нулю.

У праці [2, с. 203] так прокоментовано цей випадок взаємодії: “Особенно же резко проявляется нарушение принципа равенства действия и противодействия...”. Тобто вважають, що дві активні магнітні сили взаємодії елементів провідників є силами дії й протидії.

Приклад взаємодії, коли активні сили, що діють, є одночасно силами дії й протидії, – взаємодія сил потенційного поля, консервативних центральних сил.

Особливість взаємодії консервативних сил та, що лише одна з двох сил є активною дієвою силою, а інша – протидійною. Таку взаємодію не можна вважати взаємодією двох окремих сил. До одного об’єкта прикладена дієва сила, до іншого – протидійна.

Магнітне поле не є потенційним полем. Взаємодія двох об’єктів у цьому полі відбувається під дією двох окремих активних сил, кожна з яких повинна мати протидійну.

Якщо в інерційній системі відліку, непорушній відносно елемента провідника dl_1 , у напрямі сили F_{12n} рухається елемент dl_2 , то виконується робота. В інерційній системі, непорушній відносно dl_2 , елемент dl_1 , джерело сили, рухається в протилежному напрямі. Робота дорівнює нулю, тому що сила дії елемента провідника dl_2 на dl_1 дорівнює нулю.

Тобто зміна системи відліку, зміна позиції спостерігача, змінює результат взаємодії провідників. Застосування закону Ампера у звичному трактуванні для наведеного прикладу призводить до порушення умови відносності взаємодії провідників.

Вище ми довели, що взаємодії елементів провідників є відносними: третій закон Ньютона повинен виконуватись. Яка ж сила діє на елемент dl_1 , коли інерційна система нерухома відносно dl_2 . Якщо рухається джерело сили, а об'єкт, на який напрямлена сила, непорушний, на джерело сили діє *протидійна* сила. Саме ігнорування існування такої сили призвело до такого трактування закону Ампера, у якому порушується третій закон Ньютона.

Запишемо вирази для сил, що діють на елементи провідників згідно з законом Ампера:

$$\bar{F}_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left[d\bar{l}_2 \left[d\bar{l}_1 \bar{r}_{12} \right] \right]; \quad \bar{F}_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left[d\bar{l}_1 \left[d\bar{l}_2 \bar{r}_{21} \right] \right],$$

де I_1 та I_2 – струми, відповідно, в елементах провідників dl_1 та dl_2 , r_{12} та r_{21} – радіус-вектори, що сполучають центри елементів провідників.

Замінімо векторні добутки скалярними:

$$\bar{F}_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(d\bar{l}_1 \left(d\bar{l}_2 \bar{r}_{12} \right) - \bar{r}_{12} \left(d\bar{l}_2 d\bar{l}_1 \right) \right);$$

$$\bar{F}_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(d\bar{l}_2 \left(d\bar{l}_1 \bar{r}_{21} \right) - \bar{r}_{21} \left(d\bar{l}_1 d\bar{l}_2 \right) \right).$$

На підставі порівняння останніх двох виразів ми можемо виділити центральні складові магнітних сил, для яких явно виконується третій закон Ньютона, – це сили, однакові за значенням і розташовані вздовж однієї прямої:

$$\bar{F}_{12c} = -\frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(\bar{r}_{12} \left(d\bar{l}_2 d\bar{l}_1 \right) \right); \quad \bar{F}_{21c} = -\frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(\bar{r}_{21} \left(d\bar{l}_1 d\bar{l}_2 \right) \right). \quad (1)$$

Для решти двох складових магнітних сил третій закон Ньютона не виконується явно – жодну з них не можна вважати силою протидії для іншої, бо вони не однакові за значенням і не протилежні за напрямом:

$$\bar{F}_{12n} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} d\bar{l}_1 \left(d\bar{l}_2 \bar{r}_{12} \right); \quad \bar{F}_{21n} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} d\bar{l}_2 \left(d\bar{l}_1 \bar{r}_{21} \right). \quad (2)$$

Формальний перехід від векторних добутків до скалярних дав змогу нам виділити консервативні складові сил магнітного поля – F_{12c} і F_{21c} . Справді, за умови, що у виразах (1) скалярний добуток дорівнює константі, робота цих сил на замкненій ділянці дорівнюватиме нулю. Сили F_{12n} і F_{21n} є силами непотенціальної складової магнітного поля.

Тобто ми можемо описати магнітну силу сумою двох складових:

$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{12n} + \vec{F}_{12c}.$$

Повернемось до наведеного вище варіанта взаємодії елементів провідників (рис. 3).

Центральні сили F_{12c} і F_{21c} у цьому випадку дорівнюють нулю, тому що dl_1 і dl_2 ортогональні (див. (1)). Дорівнює нулю й одна з непотенціальних сил F_{12n} (див. (2)). Відмінна від нуля непотенціальна сила F_{12n} : елемент dl_1 виконує силову дію на dl_2 .

Наведемо ще один варіант взаємодії ортогональних провідників (рис. 4), на який посилаємось нижче. На відрізок провідника, розташованого між двома паралельними провідниками з протилежним напрямом струму, діють дві непотенціальні сили одного напрямку.

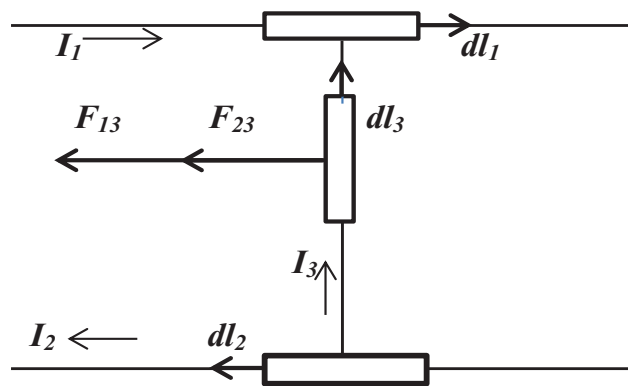


Рис. 4. Взаємодія двох паралельних провідників з ортогональним.

3. Чи можливий рух провідника зі струмом власним магнітним полем?

Звернемося до праці Р. Сігалова зі співавт. [3]. У наведених експериментах розглянуто варіанти взаємодії провідників зі струмом, у яких, як вважають автори, порушений третій закон Ньютона. За такої взаємодії сила, для якої нема протидії, на думку Р. Сігалова, рухає провідники “собственным магнитным полем”. Ідеться про рух у просторі під дією магнітної сили, але де є опора цієї сили?

Р. Сігалов навів і критичні аргументи. На с. 152 згадано працю І. Боргмана [6, с. 301]: “...Проводник, по которому течёт электрический ток, и магнит, скрепленные один с другим и предоставленные действию только электромагнитных сил, которые есть в этой системе, не выявляют даже признаков движения”. І. Боргман заперечує можливість руху провідників під дією власного магнітного поля й наводить експеримент з магнітом, який підтверджує його позицію.

Як Р. Сігалов ставиться до твердження І. Боргмана? “Современные авторы приводят описание таких же экспериментов. Эти эксперименты, конечно, правильны, но их результаты нельзя распространять на все случаи без исключения”.

Р. Сігалов не пояснив, чому в “таких же експериментах” провідник з магнітом не рухаються власним магнітним полем, та на с. 98 навів власний аналогічний експеримент, у якому магніт з провідником *рухаються* в разі вмикання струму: “Поступательно движущийся магнит, жёстко связанный с отрезком прямого проводника со скользящими контактами”. Розглянемо цей експеримент докладніше (рис. 5).

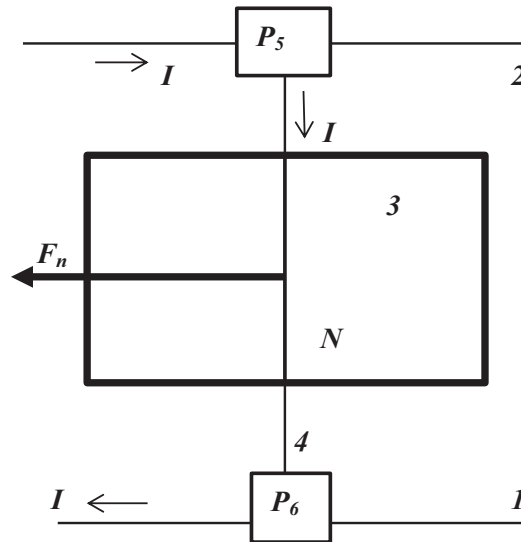


Рис. 5. Провідник зі струмом, прикріплений до прямокутної магнітної пластини.

Конструкція – прямокутна пластинка магніту 3 з полюсами на поверхнях площин, провідник 4 зі струмом I прикріплений посеред однієї з площин. Струм підводять провідниками 1 і 2 через щітки P_5 і P_6 .

Р. Сігалов визначив сумарну незбалансовану силу, що діє на конструкцію. Сила, з якою провідник 4 діє на магніт, дорівнює нулю. Незбалансована сила F_n , з якою магніт діє на провідник, відмінна від нуля. Вона прикладена до центра провідника 4 перпендикулярно до нього. Якщо для розрахунку магнітних сил використати модель магніту у вигляді прямокутного провідника зі струмом, то отримаємо варіант силової взаємодії, зображений на рис. 4.

Які ж результати експерименту Р. Сігалова? Цитуємо: “...в експериментах с магнитами и рамками ... наблюдаем практически свободное движение в горизонтальной плоскости подвижной подсистемы, которая взаимодействует с создаваемым ею магнитным полем как с материальным объектом – носителем соответствующего количества движения”. І далі: “перемещение магнита вызывается лишь движущей силой магнитного поля тока, который течёт в проводнике” [3, с. 113].

Автори цієї праці провели подібний експеримент. Використано циліндричний неодимовий магніт з полюсами на торцях, індукція магніту – 1,22 Т, діаметр – 7 см.

Над полюсом нерухомого магніту підвісили провідник. У разі вмикання струму 10 А провідник відхилився від центра магніту, як і треба було очікувати. Далі магніт помістили в пластикову коробку й опустили в ванночку з водою. Коли над полюсом магніту закріплювали провід і подавали струм 10 А, магніт починав рухатися перпендикулярно до провідника. А це вже заперечувало моделі взаємодії, відображені на рис. 4. Щоб перевірити, чи справді взаємодія провідника й магніту є відносною, тобто чи дорівнює сила дії магніту на провідник силі дії провідника на магніт, закріпили провідник діаметрально на магніті й підвісили на нитках. Дроти зі струмом від провідника піднімали вертикально вгору паралельно до ниток. Магніт з провідником залишалися нерухомі за струму 180 А.

За такого струму на провідник мала б діяти незбалансована сила 16,7 Н. Ми впевнилися, що сила дії провідника на магніт дорівнює силі дії магніту на провідник. Тобто “незбалансовану магнітну силу” ми не виявили, взаємодії провідника й магніту виявилися відносними. Третій закон Ньютона виконується.

У чому принципова відмінність нашого останнього експерименту й експерименту Р. Сігалова? Цитуємо [3, с. 112]: “важатимемо, що провідники 1 і 2 розміщені поблизу магніту, скріплені з ним і забезпечені ковзними контактами для замикання кола струму”. В експерименті Р. Сігалова магніт *рухається відносно* провідників 1 і 2, що є “поблизу магніту”. У нашому експерименті магніт підвішений разом з цими провідниками на вертикальних нитках і може відхилятися під дією “незбалансованої сили” *разом* з провідниками. У нашому експерименті нема відносного переміщення провідників зі струмом. Магніт з провідником не рухався цілком відповідно до принципу відносності: не було переміщення провідника відносно магніту в напрямі сили.

У всіх експериментах Р. Сігалова, розглянутих у праці [3], принцип відносності втриманий: у кожному експерименті рух електромагнітних конструкцій відбувається відносно нерухомих провідників, якими подають струм у ці конструкції. Є підстава припустити: рух відбувається внаслідок взаємодії магнітних полів рухомих конструкцій і нерухомих провідників, а не під дією власного магнітного поля рухомих конструкцій.

Експерименти Р. Сігалова некоректні. Щоб довести, що рухомі конструкції справді рухаються під дією “незбалансованої” магнітної сили, не відштовхуючись від магнітного поля нерухомих конструкцій, потрібно виміряти також силу дії рухомих конструкцій на нерухомі. Однак Сігалов, упевнений у правильності трактування закону Ампера, таких експериментів не провів.

Розглянемо ще один експеримент Р. Сігалова, у якому також застосовано ковзні контакти (рис. 6). Цей експеримент провів і Г. Ніколаєв [4, с. 35]: “Досліди А. Ампера, Р. Сігалова, П. Пепіса”.

Р. Сігалов вважає, що П-подібну рамку рухають “незбалансовані” сили дії провідників 1 і 3 на провідник 2, однак ці провідники скріплені, визнання можливості дії таких сил порушує умови відносності взаємодії.

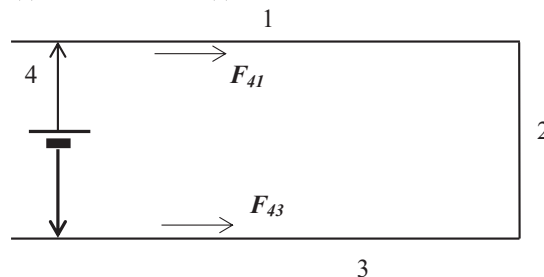


Рис. 6. П-подібна рамка рухається по твердих ковзних контактах щодо джерела струму.

Г. Ніколаєв пересвідчився, що третій закон Ньютона виконуються у взаємодії рамки й провідника 4. У чому ж “парадоксальність” цього експерименту? Провідники 2 і 4 віддалені один від одного на відстань, удесятеро більшу, ніж відстань між провідниками 1 і 3, тому рамка може рухатися лише під дією магнітних сил провідника 4 на провідники 1 і 3.

3. Ці сили діють уздовж осі провідників 1 і 3, тобто в аксіальному напрямі, та в законі Ампера за формулою Грассмана магнітна сила завжди ортогональна осі провідника.

Чому рухається рамка всупереч закону Ампера? Звернемося до загальних принципів відносних силових взаємодій. Щоб джерело сили мало змогу надати руху об'єктові, для нього має існувати опора. Призначення опори – урівноважити силу протидії руху об'єктові. Тобто джерело активної сили приймає і передає опорі протидійну силу. У силовій взаємодії, відповідно до третього закону Ньютона, обов'язково беруть участь дві сили – дії й протидії. Це очевидно в механіці, а в електродинаміці?

Закон Ампера порушує третій закон Ньютона – так постулює електродинаміка. Цьому є якісь експериментальні підтвердження? Такі експерименти невідомі. Проте експерименти Г. Ніколаєва доводять протилежне.

Магнітна сила передається магнітним полем. А де ж опора цієї сили? Відповідно до принципу відносності, опорою є провідник – джерело сили. Отже, цей провідник має приймати і протидійну силу, джерелом якої є провідник, на який спрямовано дієву силу. Тобто магнітне поле має діяти як нібито пружний елемент: передавати в одному напрямі дієву (активну) силу, а в протилежному – протидійну.

У розглянутому експерименті П-подібна рамка не може рухатися під дією активних магнітних сил F_{41} і F_{43} дії провідника 4 на провідники 1 і 3, тому що ці сили ортогональні до провідників. Однак результати експерименту Г. Ніколаєва доводять дотримання третього закону Ньютона в цьому експерименті (рис. 7). Активні магнітні сили F_{14} і F_{34} діють на провідник 4, а протидійні сили R_{41} і R_{43} діють на провідники 1 і 3. Провідник 4 закріплено нерухомо, тому рамку рухають протидійні сили R_{41} і R_{43} .

Звернемо увагу на їхню особливість: *протидійні* магнітні сили діють *аксіально*.

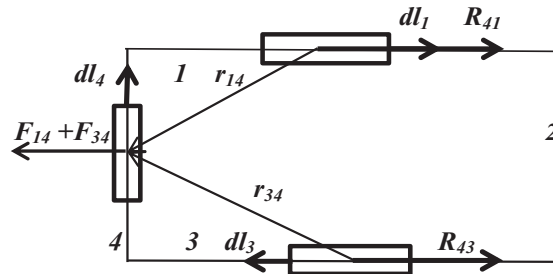


Рис. 7. Сили дії елементів провідників 1 і 3 на елемент провідника 4.

Формула Грассмана описує лише активні магнітні сили. Тому кожен експеримент, у якому провідник рухає протидійна сила, потрапляє в категорію “парадоксальних”. Більшість експериментів, наведених у працях [3, 4], є саме такими. Щоб подібні експерименти не були “парадоксальні”, застосовуючи закон Ампера, потрібно враховувати протидійні сили. Тобто на рухомий провідник діє не тільки активна магнітна сила з боку іншого провідника, описана формулою Грассмана, а й сила, *протидійна власній активній силі*. У формулу Грассмана треба ввести протидійну силу лише для непотенціальної складової магнітної сили, бо консервативні центральні складові врівноважують одна одну. Розглянемо магнітну взаємодію двох елементів провідників, у яку введемо й протидійні сили (рис. 8).

$$\begin{aligned} \bar{F}_{12} &= \bar{F}_{12G} + \bar{R}_{12n} = \bar{F}_{12c} + \bar{F}_{12n} + \bar{R}_{12n}; \\ \bar{F}_{21} &= \bar{F}_{21G} + \bar{R}_{21n} = \bar{F}_{21c} + \bar{F}_{21n} + \bar{R}_{21n}. \end{aligned} \quad (3)$$

де F_{12G} та F_{21G} – активні магнітні сили, визначені формулою Грассмана; R_{12n} та R_{21n} – протидійні сили для складових активних сил F_{21n} і F_{12n} , відповідно:

$$\bar{R}_{12n} = -\bar{F}_{21n}; \bar{R}_{21n} = -\bar{F}_{12n}.$$

Перепишемо докладніше вирази (3) з урахуванням (1) і (2).

$$\begin{aligned} \bar{F}_{12} &= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(-\bar{r}_{12} (\bar{d}l_2 \bar{d}l_1) + \bar{d}l_1 (\bar{d}l_2 \bar{r}_{12}) - \bar{d}l_2 (\bar{d}l_1 \bar{r}_{21}) \right); \\ \bar{F}_{21} &= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(-\bar{r}_{21} (\bar{d}l_1 \bar{d}l_2) + \bar{d}l_2 (\bar{d}l_1 \bar{r}_{21}) + \bar{d}l_1 (\bar{d}l_2 \bar{r}_{21}) \right). \end{aligned} \quad (4)$$

А тепер подамо ці вирази через векторні добутки, тобто у вигляді розширених формул Грассмана:

$$\begin{aligned} \bar{F}_{12} &= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(\left[\bar{d}l_2 \left[\bar{d}l_1 \bar{r}_{12} \right] \right] + \bar{d}l_2 (\bar{d}l_1 \bar{r}_{12}) \right); \\ \bar{F}_{21} &= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(\left[\bar{d}l_1 \left[\bar{d}l_2 \bar{r}_{21} \right] \right] + \bar{d}l_1 (\bar{d}l_2 \bar{r}_{21}) \right). \end{aligned} \quad (5)$$

З останніх виразів випливає, що непотенціальна протидійна сила є аксіальною силою, вона ортогональна силі Грассмана.

Ми розширили формулу Грассмана, додавши протидійну силу. Чи досить цього, щоб формули (4), (5) адекватно описували магнітну взаємодію двох елементів провідників?

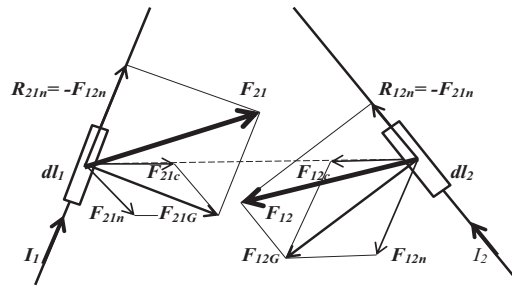


Рис. 8. Магнітна взаємодія елементів провідників з урахуванням протидійних сил.

Непотенціальні складові магнітних сил – активна й протидійна – не розташовані на одній прямій. Чи це порушення третього закону Ньютона? Ні, це свідчення того, що магнітна взаємодія елементів провідників містить обертальні моменти:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{12} &= \left[\bar{r}_{12} (\bar{F}_{12n} - \bar{F}_{21n}) \right]; \quad \bar{M}_{21} = \left[\bar{r}_{21} (\bar{F}_{21n} - \bar{F}_{12n}) \right]; \\ \bar{M}_{21} &= \bar{M}_{12}. \end{aligned}$$

Або докладніше:

$$\overline{M}_{12} = \left[\overline{r}_{12} (\overline{F}_{12n} - \overline{F}_{21n}) \right] = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^3} \left(\left[\overline{r}_{12} \overline{dl}_1 (\overline{dl}_2 \overline{r}_{12}) \right] + \left[\overline{r}_{12} \overline{dl}_2 (\overline{dl}_1 \overline{r}_{12}) \right] \right).$$

Зробимо попередні висновки.

1. Чи адекватні формули Грассмана?

Так, формули Грассмана адекватно описують активні магнітні сили, що виникають під магнітним впливом одного елемента провідника на інший.

2. Чому порушується третій закон Ньютона через застосування формул Грассмана?

Формули Грассмана описують лише активні магнітні сили, однак відносність взаємодії елементів провідників зумовлює дотримання третього закону Ньютона і наявність протидійних сил у цих взаємодіях. Отже, опис магнітної взаємодії лише формулами Грассмана в загальному випадку неадекватний, бо в такому описі нема протидійних сил. Порушення третього закону Ньютона – доказ неадекватності такого опису.

3. Чому в магнітній взаємодії магнітні активні сили не є силами дії й протидії?

У магнітній взаємодії наявні дві складові магнітного поля – консервативна й непотенціальна. Сили консервативної складової є центральними силами – вони напрямлені по одній прямій, однакові за значенням і протилежні за напрямом – є сили дії й протидії. Сили непотенціальної складової не напрямлені по одній прямій, мають різні напрями й значення. Кожну непотенціальну силу врівноважує протидійна з боку провідника, на який спрямована дія цієї сили. Крім того, непотенціальна сила створює обертальний момент.

А тепер підтвердимо наші висновки конкретним прикладом.

4. Мотор Ніколаєва.

Знову розглянемо мотор Ніколаєва й пояснимо його роботу. На рис. 9 показано умовну схему мотора. Нагадаємо, ротор мотора – кільцевий провідник, розташований зовні, до якого щітками подають струм I_2 . Статор мотора – дві напівколові обмотки, по яких струм I_1 іде в протилежних напрямках. По провідниках цих обмоток, розташованих уздовж діаметра, напрями струмів збігаються.

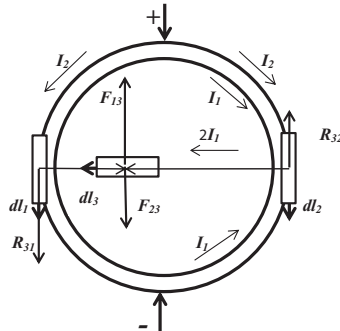


Рис. 9. Умовна схема мотора Ніколаєва.

Провідники статора, розташовані вздовж кола й паралельні до провідника ротора, не створюють обертального моменту.

Розглянемо взаємодію елемента діаметрального провідника статора dl_3 й елемента провідника ротора dl_1 , розташованих перпендикулярно один до одного. Сила F_{31} , з якою елемент провідника статора dl_3 діє на елемент провідника ротора dl_1 (відповідно до (4))

$$\vec{F}_{31} = \frac{\mu_0 2I_1 I_3}{4\pi r^3} \left(-\vec{r}_{31} (\overline{dl_1} \overline{dl_3}) + \overline{dl_3} (\overline{dl_1} \vec{r}_{31}) + \overline{dl_1} (\overline{dl_3} \vec{r}_{31}) \right),$$

де r_{31} – радіус-вектор, проведений від dl_3 до dl_1 .

Елемент dl_1 ортогональний до dl_3 та до r_{31} , тому дорівнюють нулю дві перші складові сили – обидві складові сили Грассмана. Відмінна від нуля лише остання складова сили F_{31} . Це протидійна до непотенціальної складової сили F_{13n} дії елемента провідника ротора на елемент провідника статора – сила R_{31n} .

Ця сила є осьюою – напрямлена вздовж осі провідника ротора. Взаємодія того ж елемента провідника статора dl_3 й елемента провідника ротора dl_2 , взятого на протилежному боці діаметра, породжує силу R_{32} , спрямовану протилежно. Сили R_{31} і R_{32} становлять пару сил і створюють обертальний момент.

Тобто ми маємо характерний випадок взаємодії за допомогою непотенціальних протидійних сил. Активну силу розвиває, відповідно до формули Грассмана, провідник ротора, проте опору має лише провідник статора, тому він обертає провідник статора протидійною силою. Активна й протидійна сили не лежать на одній прямій, виникає момент, що обертає ротор.

У праці [4] Г. Ніколаєв навів численні експерименти, “парадоксальність” яких пояснюють тим, що рушійні сили в них є протидійними непотенціальним силам. Ті наведені експерименти, у яких спостережено обертання, ми можемо пояснити наслідком наявності обертального моменту непотенціальних сил.

5. “Несуперечлива електродинаміка” Г. Ніколаєва: третій закон Ньютона в електродинаміці виконується.

У праці [4] наведено численні електродинамічні експерименти, у кожному з яких Г. Ніколаєв пересвідчився у виконанні третього закону Ньютона. Саме невизнання цього факту призводить до того, що такі експерименти сучасна електродинаміка зачисляє до категорії “парадоксальних”.

Наукові результати, отримані Г. Ніколаєвим, опубліковано у великій кількості наукових праць, подано на численних конференціях. Однак фізиків це не переконало.

Причина неприйняття результатів роботи Г. Ніколаєва полягає в неприйнятті їхнього теоретичного обґрунтування. Саме тому фізики не визнали пропонувані Г. Ніколаєвим формул магнітної взаємодії, які “на противагу формулам Лоренца і Ампера, не суперечать третьому закону механіки, узгоджуються з експериментальними спостереженнями й встановлюють існування невідомого раніше явища поздовжньої магнітної взаємодії” [4, с. 72]. Г. Ніколаєв заперечує адекватність формул Грассмана й уводить в опис магнітної взаємодії сили “додаткового скалярного магнітного поля”, які діють аксіально.

Рецензенти Г. Ніколаєва мали підстави для критики. У вступі до праці [4] С. Маринов написав: “Останні три роки моєї експериментальної й теоретичної роботи ... було присвячено пошукам правильного фундаментального рівняння в електромагнетизмі, яке має замінити неправильне рівняння Лоренца”. Тобто, С. Маринов намагався теоретично

обґрунтувати результати Г. Ніколаєва та визнав свої невдачі у виведенні “правильного рівняння”.

Формули Ніколаєва магнітної взаємодії елементів провідників відповідають результатам його експериментів, вони також ідентичні формулам (4) та (5), які наведені в цій праці. Тобто, ґрунтуючись на умовах відносності взаємодії елементів провідників зі струмом, ми теоретично отримали вирази, підтверджені Г. Ніколаєвим практично. Доходимо висновку: сили “додаткового скалярного магнітного поля” Ніколаєва – це протидійні сили для непотенціальних складових магнітного поля у формулі Грассмана.

Отже, експерименти, проведені Г. Ніколаєвим, свідчать про дотримання третього закону Ньютона в разі магнітної взаємодії елементів провідників зі струмом. Ми теоретично підтвердили правильність цього висновку, ґрунтуючись на умовах відносності взаємодії елементів провідників зі струмом, і навели адекватний вираз закону Ампера, який доводить і правильність емпіричних формул Ніколаєва.

Ми довели, що з принципу відносності впливає й дотримання третього закону Ньютона, й наявність протидійних сил у цих взаємодіях. Твердження Г. Ніколаєва, що його емпіричні формули є “протилежністю формул Лоренца й Ампера”, ми не поділяємо. Адже формули Грассмана адекватно описують активні магнітні сили. Неадекватність виникає лише в поширеному трактуванні цих формул, що ґрунтується на порушенні третього закону Ньютона, тобто на запереченні наявності протидійних сил у таких взаємодіях.

Чому ж так довго заперечують дотримання третього закону Ньютона в магнітних взаємодіях провідників?

Перша причина полягає в тому, що магнітне поле не є потенційним полем, магнітні сили не є консервативними, центральними силами, не є силами дії–протидії. Цю обставину не можна трактувати як порушення третього закону Ньютона. Відносність силової взаємодії провідників заперечує це порушення й визначає наявність протидійних сил для кожної з магнітних сил.

Друга причина – сили дії й протидії не лежать на одній прямій. Чи є це порушенням третього закону Ньютона? Ні, це є свідчення того, що в магнітній взаємодії елементів провідників наявний обертальний момент.

І останнє. Активна складова магнітної сили, яку описує формула Грассмана, ортогональна осі провідника. Поширення цього правила на магнітну взаємодію провідників без урахування наявності протидійних сил у цих взаємодіях привело до появи значної кількості “парадоксальних” експериментів, які не може пояснити закон Ампера.

Реальна магнітна сила є сумою сили Грассмана й протидійної сили іншого провідника, що має аксіальний напрям. Тобто реальна магнітна сила може мати довільний напрям, також аксіальний, що ми побачили на прикладі двигуна Ніколаєва. Можливість використання аксіальних магнітних сил відкриває перспективи створення нових пристроїв, у яких рушійними силами стануть непотенціальні складові магнітних сил.

Автори висловлюють щире вдячність старшому науковому співробітнику інституту теоретичної фізики Володимиру Глібовичу Козирському за цікаве й плідне обговорення цієї праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Детлаф А. А.* Курс физики /А. А. Детлаф, Б. М. Яворский : 4-е изд. – М. : Академия, 2003.
2. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : ОГИЗ-ГОСТЕХИЗДАТ, 1989. – 627 с.
3. *Сигалов Р. Г.* Новые исследования движущих сил магнитного поля / Р. Г. Сигалов, Т. И. Шаповалова, Х. Х. Каримов, Н. И. Самсонов. – Ташкент : ФАН, УзРСР, 1975. – 229 с.
4. *Николаев Г. В.* Непротиворечивая электродинамика. Теории, эксперименты, парадоксы / Г. В. Николаев. – Томск : НТЛ, 1997. – 144 с.
5. *Grassman H.* Neue Theorie der Elektrodynamik / H. Grassman // Annalen der Physik und Chemie. – 1845. – Bd. 64, N 1. – S. 1–18.
6. *Боргман И. И.* Основы учения об электрических и магнитных явлениях / И. И. Боргман. – СПб., 1899. – Ч. 2. – С. 301–302.

*Стаття: надійшла до редакції 09.09.2013,
доопрацьована 07.10.2013,
прийнята до друку 25.10.2013.*

**AMPERE'S LAW AND PARADOXICAL EXPERIMENTS
IN ELECTRODYNAMICS**

V. Petuschak, N. Kozlova¹, B. Osyka

¹*Department of Theoretical and Applied Physics,
National Aviation University
1, Kosmonavta Komarova Avenue, 03680, Kyiv, Ukraine
v.petuschak@gmail.com*

The purpose of this work consists in furnishing proofs of inadequacy of actual interpretation of Ampere's law which is based on recognition of infringement of Newton's third law in case of magnetic interactions of conductors with current, and offer and vindicate an adequate version of this law interpretation.

A series of so called "paradoxical" experiments in Electrodynamics serves the basis for the physicists to recognize infringement of Newton's third law. Studying these experiments Russian physicist G. Nikolayev proved that Newton's third law is true for magnetic interactions of current-carrying conductors. The peculiarity of these experiments is infringement of the principle of orthogonality of the magnetic force relative to conductor's axis which results from Ampere's law. Nikolayev suggested an empiric formula for modified Ampere's law, then Newton's third law becomes true and magnetic forces which act on elements of conductors, are not orthogonal to their axes and may even have axial direction. The authors hereof, basing on the properties of relativity of force interactions of conducting elements, theoretically deduced this formula.

Key words: magnetic forces, Ampere-Grassman's formula, "paradoxical experiments", forces of action and reaction.

**ЗАКОН АМПЕРА Й ПАРАДОКСАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ
В ЕЛЕКТРОДИНАМІЦІ****В. Петущак, Н. Козлова¹, Б. Осика**

*¹Кафедра теоретичної та прикладної фізики,
Національний авіаційний університет,
пр. Космонавта Комарова, 1, 03680, Київ, Україна
v.petuschak@gmail.com*

Приведены доказательства неадекватности современной трактовки закона Ампера, основанной на признании нарушения третьего закона Ньютона в магнитных взаимодействиях проводников с током, а также адекватный вариант трактовки этого закона.

Ряд так называемых парадоксальных экспериментов в электродинамике являются именно теми, в которых физики признают нарушения третьего закона Ньютона. Русский физик Г. Николаев, исследовав такие эксперименты, доказал выполнение третьего закона Ньютона в магнитных взаимодействиях проводников с током. Особенностью этих экспериментов является и то, что в них нарушается принцип ортогональности магнитной силы к оси проводника, что следует из закона Ампера. Г. Николаев предложил эмпирическую формулу модифицированного закона Ампера, в которой третий закон Ньютона выполняется, а магнитные силы, действующие на элементы проводника, не ортогональные к их осям, могут иметь даже аксиальное направление. Мы, основываясь на свойствах относительности силового взаимодействия элементов проводников, вывели эту формулу теоретически.

Ключевые слова: магнитные силы, формула Ампера - Грассмана, " парадоксальные эксперименты", силы действия и противодействия.