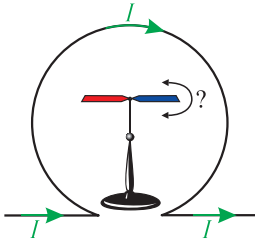


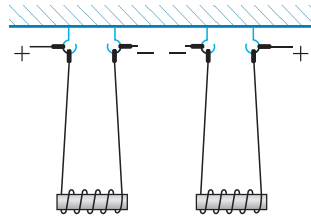
3. Па кругавым вітку праходзіць электрычны ток (мал. 161). Як установіцца магнітная стрэлка, калі яе змясціць у цэнтр вітка? Дзеянне магнітнага поля Зямлі не ўлічваць.

4. Як будуць узаемадзейнічаць дзве шпулі, падвешаныя на тонкіх правадах, калі іх падключыць да крыніцы току так, як паказана на малюнку 162?

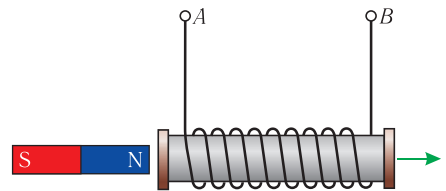
5. Пры падключэнні саленоіда да полюсаў крыніцы току ён адштурхваецца ад размешчанага паблізу пастаяннага магніта (мал. 163). У яким напрамку ідзе ток у саленоідзе?



Мал. 161



Мал. 162



Мал. 163

§ 29. Сіла Ампера.

Прынцып суперпазіцыі магнітных палёў

Для колькаснага апісання магнітнага поля неабходна ведаць не толькі напрамак індукцыі магнітнага поля, але і яе модуль. Характарыстыкі электростатычнага поля выяўляюць з дапамогай пробнага зараду. Для вызначэння характарыстык магнітнага поля выкарыстоўваюць «пробны» ток, які адпавядае малому ўчастку правадніка (з'яўляецца элементам току).

Модуль індукцыі магнітнага поля. Дзеянне магнітнага поля на размешчаны ў ім малы ўчастак правадніка з токам эксперыментальна даследаваў Ампер, ажыццявіўшы доследы з рознымі праваднікамі, якія ўваходзілі ў замкнутыя электрычныя ланцугі. У 1820 г. Ампер вызначыў, што модуль сілы, якой аднароднае магнітнае поле дзейнічае на прамалінейны ўчастак правадніка з токам, залежыць ад велічынь, якія характарызуюць гэты праваднік. Гэтымі велічынямі з'яўляюцца сіла току I , які праходзіць па правадніку, і даўжыня l прамалінейнага ўчастка правадніка. Акрамя таго, выявілася, што модуль магнітнай сілы залежыць ад вугла паміж напрамкамі току ў правадніку і індукцыі магнітнага поля \vec{B} . Прычым пры пэўных сіле току і даўжыні правадніка модуль магнітнай



сілы максімальны, калі праваднік размешчаны перпендыкулярна напрамку індукцыі магнітнага поля.

З доследаў вынікае, што модуль сілы, якая дзейнічае з боку аднароднага магнітнага поля на прамалінейны ўчастак правадніка з токам, прапарцыянальны сіле току I , даўжыні гэтага ўчастка Δl і сінусу вугла α паміж напрамкамі току ў правадніку і індукцыі магнітнага поля:

$$F \sim I \Delta l \sin \alpha.$$

Гэтая сіла названа ў гонар А. М. Ампера *сілай Ампера*.

Паколькі $F_{\max} \sim I \Delta l$, то адносіны $\frac{F_{\max}}{I \Delta l}$ для дадзенай часткі магнітнага поля не залежаць ні ад сілы току I ў правадніку, ні ад даўжыні Δl прамалінейнага ўчастка правадніка, які цалкам знаходзіцца ў аднародным магнітным полі. Таму дадзеныя адносіны могуць з'яўляцца характарыстыкай той часткі магнітнага поля, у якой знаходзіцца ўчастак правадніка. Гэта дазваляе даць наступнае азначэнне індукцыі магнітнага поля.

Індукцыя магнітнага поля — фізічная вектарная велічыня, модуль якой роўны адносінам максімальнага значэння сілы, што дзейнічае з боку магнітнага поля на прамалінейны ўчастак правадніка з токам, да здабытку сілы току ў ім і даўжыні гэтага ўчастка:

$$B = \frac{F_{\max}}{I \Delta l}. \quad (29.1)$$

Такім чынам, у кожным пункце магнітнага поля можна вызначыць як напрамак індукцыі магнітнага поля, так і яе модуль.

У СІ індукцыю магнітнага поля вымяраюць у тэслах (Тл) у гонар сербскага інжынера і вынаходніка Ніколы Тэслы (1856–1943), які з 1884 г. працаваў у ЗША.

1 Тл — індукцыя аднароднага магнітнага поля, у якім на прамалінейны ўчастак правадніка даўжынёй 1 м пры сіле току ў ім 1 А дзейнічае з боку поля максімальная сіла, модуль якой 1 Н.

$$1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}.$$

Ад тэорыі да практыкі

Прамалінейны праваднік даўжынёй $\Delta l = 40$ см знаходзіцца ў аднародным магнітным полі. Сіла току, які праходзіць па правадніку, $I = 4,0$ А. Чаму роўны модуль магнітнай індукцыі, калі модуль максімальнай сілы, якая дзейнічае на праваднік з боку магнітнага поля, $F_{\max} = 48$ мН?



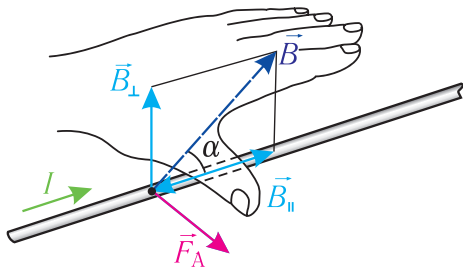
Закон Ампера. З выразу (29.1) вынікае, што максімальнае значэнне сілы Ампера:

$$F_{\max} = BIl.$$

Эксперыментальна даказана, што ў агульным выпадку модуль сілы Ампера можна разлічыць па формуле

$$F_A = BIl \sin \alpha. \quad (29.2)$$

Выраз (29.2) называюць *законам Ампера*.



Мал. 164

Напрамак сілы Ампера вызначаюць паводле правіла левай рукі: калі левую руку размясціць так, каб перпендыкулярны да правадніка складнік індукцыі магнітнага поля \vec{B}_{\perp} уваходзіў у далонь, чатыры выцягнутыя пальцы былі накіраваныя па току, то адагнуты на 90° у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак сілы Ампера, якая дзейнічае на прамалінейны ўчастак правадніка з токам (мал. 164).

Ад тэорыі да практыкі

1. На прамалінейны праваднік з токам, размешчаны перпендыкулярна лініям магнітнай індукцыі аднароднага магнітнага поля з індукцыяй \vec{B} , дзейнічае магнітная сіла \vec{F} .

а) Як змяняцца модулі індукцыі аднароднага магнітнага поля B і сілы Ампера F_A , калі сілу току ў правадніку павялічыць у 2,5 раза?

б) Як зменіцца модуль сілы F_A , калі праваднік размясціць паралельна лініям магнітнай індукцыі?

2. У аднародным магнітным полі перпендыкулярна лініям індукцыі размешчаны праваднік з токам, сагнуты пад прамым вуглом. Пад якім вуглом адна да адной накіраваны сілы Ампера, што дзейнічаюць на стораны гэтага вугла?



Прынцып суперпазіцыі магнітных палёў. У выпадку, калі магнітнае поле ствараецца некалькімі крыніцамі, індукцыю рэзультуючага магнітнага поля можна вызначыць паводле **прынцыпу суперпазіцыі:** калі магнітнае поле ў некаторым пункце прасторы ствараецца не адным, а некалькімі электрычнымі токамі

(або зарадамі, якія рухаюцца), то індукцыя рэзультуючага магнітнага поля ў гэтым пункце роўная вектарнай суме індукцый магнітных палёў, створаных кожным токам (зарадам, які рухаецца):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n.$$



МАГНІТНАЕ ПОЛЕ

Індукцыя магнітнага поля — фізічная вектарная велічыня, модуль якой роўны адносінам максімальнага значэння сілы, што дзейнічае з боку аднароднага магнітнага поля на прамалінейны ўчастак правадніка з токам, да здабытку сілы току ў ім і даўжыні гэтага ўчастка:

$$B = \frac{F_{\max}}{I\Delta l}$$

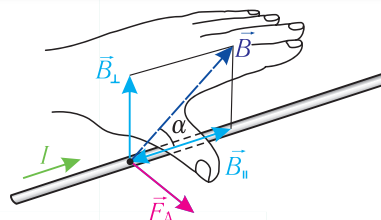
Прынцып суперпазіцыі: калі магнітнае поле ў некаторым пункце прасторы ствараецца не адным, а некалькімі электрычнымі токамі (або зарадамі, якія рухаюцца), то індукцыя рэзультуючага магнітнага поля ў гэтым пункце роўная вектарнай суме індукцый магнітных палёў, створаных кожным токам (або зарадам, які рухаецца):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

Модуль сілы, якая дзейнічае на прамалінейны праваднік з токам з боку аднароднага магнітнага поля (модуль сілы Ампера), можна разлічыць па формуле

$$F_A = B I \Delta l \sin \alpha,$$

дзе α — вугал паміж напрамкамі току і індукцыі магнітнага поля



Напрамак сілы Ампера вызначаюць паводле правіла левай рукі: калі левую руку размясціць так, каб перпендыкулярны да правадніка складнік індукцыі магнітнага поля \vec{B}_\perp уваходзіў у далонь, чатыры выцягнутыя пальцы былі накіраваныя па току, то адагнуты на 90° у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак сілы Ампера, якая дзейнічае на ўчастак правадніка з токам



1. Якая фізічная велічыня характарызуе магнітнае поле ў кожным яго пункце?
2. Як вызначаюць модуль індукцыі магнітнага поля? У якіх адзінках вымяраюць індукцыю магнітнага поля?
3. Як вызначаюць модуль сілы Ампера? Пры якім значэнні вугла паміж напрамамі току ў правадніку і індукцыі магнітнага поля модуль сілы, якая дзейнічае на праваднік з токам з боку поля, максімальны? роўны нулю?
4. Як можна вызначыць напрамак сілы Ампера?
5. Сфармулюйце прынцып суперпазіцыі магнітных палёў.



Прыклад рашэння задачы

У аднародным магнітным полі, індукцыя якога накіравана вертыкальна ўніз і яе модуль $B = 0,50$ Тл, на лёгкіх правадах гарызантальна падвешаны прамалінейны металічны стрыжань даўжынёй $l = 0,20$ м і масай $m = 50$ г. Сіла току, які праходзіць па стрыжні, $I = 5,0$ А. Вызначце, на які вугал ад вертыкалі адхіліліся правады, якія падтрымліваюць стрыжань. Уздзеянне магнітнага поля на ток у падводзячых правадах не прымаць пад увагу.

Дадзена:
 $B = 0,50$ Тл
 $l = 0,20$ м
 $m = 50$ г =
 $= 0,050$ кг
 $I = 5,0$ А

α — ?

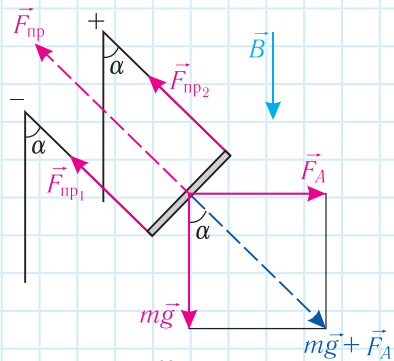
Рашэнне. На стрыжань дзейнічаюць сілы пружкасці правадоў $\vec{F}_{\text{пр}} = \vec{F}_{\text{пр1}} + \vec{F}_{\text{пр2}}$, сіла цяжару $m\vec{g}$ і сіла Ампера \vec{F}_A (мал. 165). Модуль гэтай сілы вызначаюць паводле закона Ампера: $F_A = BIl$. Пры раўнавазе стрыжня вектарная сума сіл роўная нулю: $\vec{F}_{\text{пр}} + m\vec{g} + \vec{F}_A = \vec{0}$. З малюнка 165 вынікае:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_A}{mg} = \frac{BIl}{mg}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,50 \text{ Тл} \cdot 5,0 \text{ А} \cdot 0,20 \text{ м}}{0,050 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 1,0,$$

такім чынам, $\alpha = 45^\circ$.

Адказ: $\alpha = 45^\circ$.



Мал. 165

Практыкаванне 21

1. Прамалінейны праваднік даўжынёй $l = 40$ см знаходзіцца ў аднародным магнітным полі, модуль індукцыі якога $B = 0,50$ Тл. Сіла току ў правадніку $I = 8,0$ А. Вызначце найбольшае і найменшае значэнні сілы, якая дзейнічае на праваднік з боку магнітнага поля.

2. Прамалінейны праваднік даўжынёй $l = 1,5$ м знаходзіцца ў аднародным магнітным полі, модуль індукцыі якога $B = 0,20$ Тл. Сіла току ў правадніку $I = 3,0$ А. Вызначце вугал паміж напрамкамі току і індукцыі магнітнага поля, калі на праваднік дзейнічае сіла Ампера, модуль якой $F = 0,64$ Н.

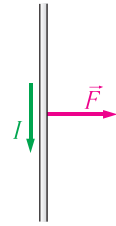
3. Прамалінейны праваднік даўжынёй $l = 50$ см размешчаны перпендыкулярна лініям індукцыі аднароднага магнітнага поля (мал. 166). Сіла току ў правадніку $I = 2,0$ А. На праваднік з боку магнітнага поля дзейнічае сіла, модуль якой $F = 0,40$ Н. Вызначце модуль і напрамак індукцыі магнітнага поля.

4. Сіла току ў прамалінейным правадніку, плошча папярочнага сячэння якога $S = 0,10$ см², складае $I = 3,9$ А. У аднародным магнітным полі, модуль індукцыі якога $B = 0,20$ Тл, на праваднік дзейнічае максімальна магчымая для дадзенага магнітнага поля сіла Ампера. Вызначце шчыльнасць рэчыва правадніка, калі модуль сілы Ампера роўны модулю сілы цяжару, што дзейнічае на праваднік.

5. Магнітнае поле ўтворана накладаннем двух аднародных магнітных палёў, модулі індукцыі якіх $B_1 = 0,03$ Тл і $B_2 = 0,04$ Тл. Вызначце модуль індукцыі рэзультуючага поля, калі лініі індукцыі гэтых палёў узаемна перпендыкулярныя.

6. Магнітнае поле, модуль індукцыі якога $B = 0,03$ Тл, утворана накладаннем двух аднародных магнітных палёў. Вызначце максімальна магчымае значэнне індукцыі першага поля, калі модуль індукцыі другога поля $B_2 = 0,02$ Тл.

7. Магнітнае поле, модуль індукцыі якога $B = 0,02$ Тл, утворана накладаннем двух аднародных магнітных палёў. Вызначце мінімальна магчымае значэнне модуля індукцыі другога поля, калі модуль індукцыі першага поля $B_1 = 0,05$ Тл.



Мал. 166



§ 30. Сіла Лорэнца.

Рух зараджаных часціц у магнітным полі

Паколькі электрычны ток уяўляе з сябе ўпарадкаваны рух зараджаных часціц, то гэта азначае, што магнітнае поле, дзейнічаючы на праваднік з токам, дзейнічае тым самым на кожную з гэтых часціц. Такім чынам, сілу Ампера можна разглядаць як вынік складання сіл, што дзейнічаюць на асобныя зараджаныя часціцы, якія рухаюцца. Як можна вызначыць сілу, што дзейнічае з боку магнітнага поля на зараджаную часціцу, якая рухаецца ў гэтым полі?