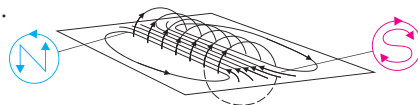


Лініі індукцыі такога поля паралельныя. У адваротным выпадку поле называюць неаднародным. Магнітнае поле ўнутры доўгага саленоіда практычна аднароднае, а паблізу краёў — неаднароднае. Неаднароднае і магнітнае поле прамалінейнага правадніка з токам (гл. мал. 148).

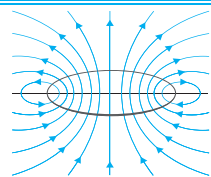
Для нагляднасці на малюнках лініі індукцыі паказваюць гусцей у тых месцах магнітнага поля, дзе значэнне індукцыі магнітнага поля большае (мал. 152, б). Пры гэтым на лініі індукцыі пазначаюць стрэлкай напрамак індукцыі магнітнага поля. Для крайніх віткаў саленоіда *магнітнае поле кругавога вітка з токам, які праходзіць у напрамку руху гадзіннікавай стрэлкі, эквівалентнае полю паўночнага полюса пастаяннага магніта, а магнітнае поле кругавога вітка з токам, які праходзіць супраць напрамку руху гадзіннікавай стрэлкі, эквівалентнае полю паўночнага полюса пастаяннага магніта* (правіла гадзіннікавай стрэлкі) (мал. 153).



Мал. 153

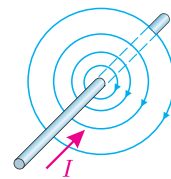
Ад тэорыі да практыкі

На малюнку 154 схематычна паказана магнітнае поле кругавога вітка з токам. Ці аднароднае такое магнітнае поле? Чаму?

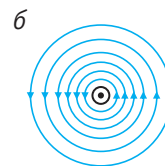
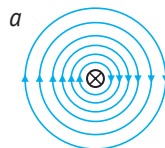


Мал. 154

Вызначэнне напрамку індукцыі магнітнага поля. Для вызначэння напрамку індукцыі магнітнага поля можна выкарыстаць любое з правілаў, сфармуляваных вышэй. Прычым, карыстаючыся правілам свярдзёлка, трэба памятаць, што напрамак току — гэта напрамак упарадкаванага руху дадатных зарадаў. Калі на малюнку прамалінейны праваднік з токам паказаны перпендыкулярна плоскасці старонкі (мал. 155) і пры гэтым ток накіраваны ад чытача, то яго ўмоўна пазначаюць крыжыкам (мал. 156, а); у выпадку, калі ток накіраваны да чытача, — кропкай (мал. 156, б). Такімі ж значкамі (кропкай або крыжыкам) пазначаюць напрамкі вектараў (індукцыі магнітнага поля, сілы і інш.), размешчаных перпендыкулярна плоскасці малюнка.



Мал. 155



Мал. 156

Полюсы саленоіда, а значыць, і напрамак індукцыі магнітнага поля можна вызначыць паводле правіла гадзіннікавай стрэлкі (гл. мал. 153) або правіла свярдзёлка: калі напрамак вярчэння ручкі свярдзёлка супадае з напрамкам току ў вітку,

то паступальны рух вастрэя свярдзёлка пакажа напрамак індукцыі магнітнага поля ўнутры саленоіда, а значыць, і становішча яго паўночнага полюса.



Лініі індукцыі магнітнага поля — уяўныя лініі ў прасторы, датычныя да якіх у кожным пункце супадаюць з напрамкам індукцыі магнітнага поля



Лініі індукцыі магнітнага поля

бесперапынныя
(не маюць
ні пачатку,
ні канца),
замыкаюцца
самі на сябе

не перасякаюцца,
бо ў любым
пункце прасторы
індукцыя магнітнага
поля мае пэўны
напрамак

напрамак індукцыі магнітнага
поля вызначаюць паводле:
— правіла свярдзёлка,
— правіла правай рукі,
— правіла гадзіннікавай стрэлкі

Магнітнае поле, індукцыя якога ва ўсіх пунктах прасторы аднолькавая, называюць аднародным магнітным полем



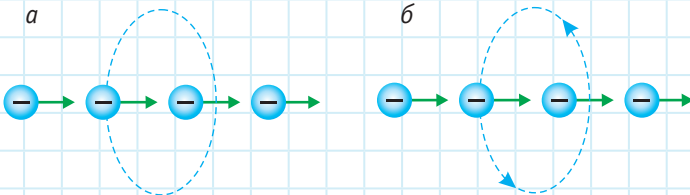
1. Якія правілы выкарыстоўваюць для вызначэння напрамку індукцыі магнітнага поля?
2. Як графічна адлюстроўваюць магнітнае поле? Што называюць лініямі індукцыі магнітнага поля?
3. Якая карціна ліній індукцыі магнітнага поля прамалінейнага правадніка з токам? кругавога вітка з токам? шпулі з токам? Як вызначаюць напрамак ліній індукцыі магнітнага поля?
4. Якія палі называюць віхравымі?
5. У чым адрозненне магнітнага поля ад электростатычнага?
6. Якое магнітнае поле называюць аднародным?

Прыклады рашэння задач

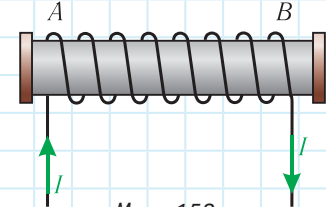
Прыклад 1. Электроны, якія ўтвараюць «электронны прамень», рухаюцца так, як паказана на малюнку 157, а. Вызначце напрамак ліній індукцыі магнітнага поля, створанага гэтымі электронамі.

Рашэнне. Вызначыць напрамак ліній індукцыі магнітнага поля, створанага электронамі, якія рухаюцца, можна як паводле правіла свярдзёлка, так і паводле правіла правай рукі. Аднак трэба памятаць, што гэтыя правілы сфармуляваны для дадатных зарадаў, якія рухаюцца. Таму ў дадзеным выпадку трэба

ўлічыць, што за напрамак электрычнага току прыняты напрамак, супрацьлеглы руху электронаў. Тады, калі глядзець на лінію індукцыі па напрамку руху электронаў, яна будзе зарыентавана супраць напрамку руху гадзіннікавай стрэлкі (мал. 157, б).



Мал. 157



Мал. 158

Прыклад 2. На малюнку 158 паказаны напрамак электрычнага току ў саленоідзе. Вызначце магнітныя полюсы саленоіда.

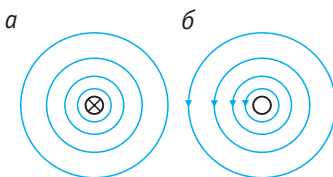
Рашэнне. Для вызначэння магнітных полюсаў саленоіда можна выкарыстаць як правіла свярдзёлка, так і правіла гадзіннікавай стрэлкі. У першым выпадку будзем уяўна паварочваць свярдзёлка па напрамку току ў вітках саленоіда. Вастрыё свярдзёлка пры гэтым перамяшчаецца ўздоўж восі саленоіда ад тарца *A* да тарца *B*. Паколькі лініі індукцыі ўнутры магніта накіраваны ад паўднёвага полюса да яго паўночнага полюса, то па аналогіі можна зрабіць выснову, што каля тарца *A* — паўднёвы полюс саленоіда, а каля тарца *B* — паўночны.

Праверым сваю выснову, прымяніўшы правіла гадзіннікавай стрэлкі. Калі глядзець з боку тарца *A* саленоіда, то відаць, што напрамак току ў вітку супадае з напрамкам руху гадзіннікавай стрэлкі. Значыць, каля тарца *A* — паўднёвы полюс, а каля тарца *B* — паўночны.

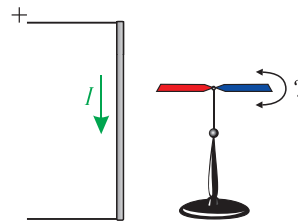
Практыкаванне 20

1. Як накіраваны лініі індукцыі магнітнага поля, створанага прамалінейным правадніком з токам, паказаныя на малюнку 159, *a*? У якім напрамку праходзіць электрычны ток у правадніку, адлюстраваным на малюнку 159, *б*?

2. Як будзе паводзіць сябе магнітная стрэлка, калі побач з ёй размясціць прамалінейны праваднік з электрычным токам (мал. 160)?



Мал. 159

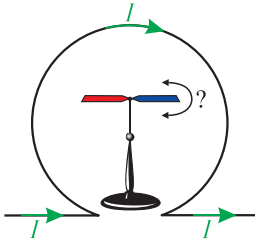


Мал. 160

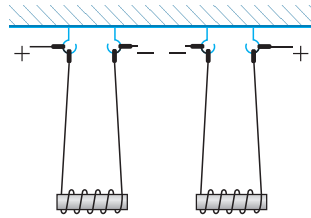
3. Па кругавым вітку праходзіць электрычны ток (мал. 161). Як устаноўцца магнітная стрэлка, калі яе змясціць у цэнтр вітка? Дзеянне магнітнага поля Зямлі не ўлічваць.

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

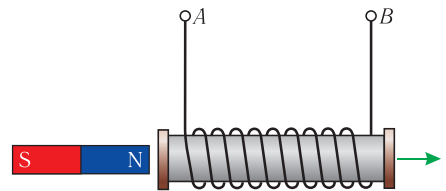
5. Пры падключэнні саленоіда да полюсаў крыніцы току ён адштурхваецца ад размешчанага паблізу пастаяннага магніта (мал. 163). У яким напрамку ідзе ток у саленоідзе?



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?



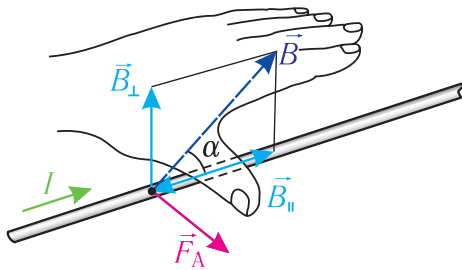
Закон Ампера. З выразу (29.1) вынікае, што максімальнае значэнне сілы Ампера:

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

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:

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

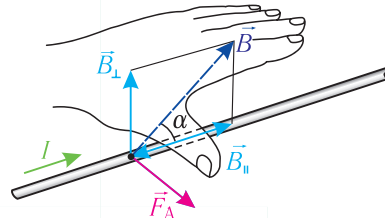
Прынцып суперпазіцыі: калі магнітнае поле ў некаторым пункце прасторы ствараецца не адным, а некалькімі электрычнымі токамі (або зарадамі, якія рухаюцца), то індукцыя рэзультуючага магнітнага поля ў гэтым пункце роўная вектарнай суме індукцый магнітных палёў, створаных кожным токам (або зарадам, які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

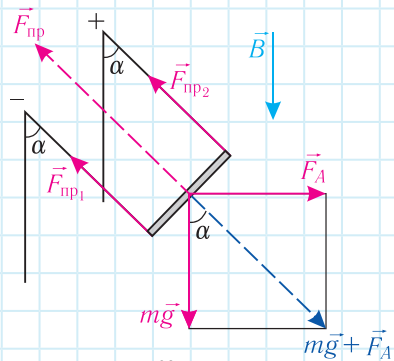
Рашэнне. На стрыжань дзейнічаюць сілы пружкасці правадоў $\vec{F}_{\text{пр}} = \vec{F}_{\text{пр}1} + \vec{F}_{\text{пр}2}$, сіла цяжару $m\vec{g}$ і сіла Ампера \vec{F}_A (мал. 165). Модуль гэтай сілы вызначаюць паводле закона Ампера: $F_A = BIl$. Пры раўнавазе стрыжня вектарная сума сіл роўная нулю: $\vec{F}_{\text{пр}} + m\vec{g} + \vec{F}_A = \vec{0}$. 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.

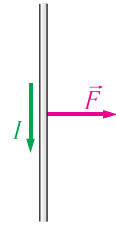
3. Прамалінейны праваднік даўжынёй $l = 50$ см размешчаны перпендыкулярна лініям індукцыі аднароднага магнітнага поля (мал. 166). Сіла току ў правадніку $I = 2,0$ А. На праваднік з боку магнітнага поля дзейнічае сіла, модуль якой $F = 0,40$ Н. Вызначце модуль і напрамак індукцыі магнітнага поля.

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



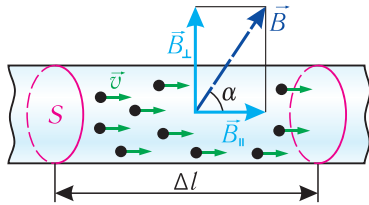
§ 29-1

§ 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?

Сіла Лорэнца. Сілу, якой магнітнае поле дзейнічае на зараджаную часціцу, што рухаецца ў гэтым полі, называюць *сілай Лорэнца* ў гонар выдатнага нідэрландскага фізіка Хендрыка Антона Лорэнца (1853–1928).



Мал. 167

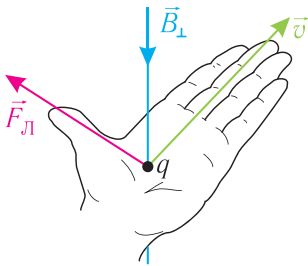
Модуль сілы Лорэнца можна вызначыць па формуле $F_L = \frac{F_A}{N}$, дзе N — агульная колькасць свабодных зараджаных аднолькавых часціц на прамалінейным участку правадніка даўжынёй Δl (мал. 167). Калі модуль зараду адной часціцы q , а модуль сумарнага зараду ўсіх часціц Nq , то згодна з азначэннем сілы току $I = \frac{Nq}{\Delta t}$, дзе Δt — прамежак часу, за які зараджаная часціца праходзіць участак правадніка даўжынёй Δl . Тады

$$F_L = \frac{BI\Delta l \sin \alpha}{N} = \frac{BNq\Delta l \sin \alpha}{\Delta t N} = \frac{Bq\Delta l \sin \alpha}{\Delta t}.$$

Паколькі $\frac{\Delta l}{\Delta t} = v$ — модуль сярэдняй скорасці ўпарадкаванага руху зараджанай часціцы ў стацыянарным* электрычным полі ўнутры правадніка, то формулу для вызначэння модуля сілы Лорэнца можна запісаць у выглядзе:

$$F_L = Bqv \sin \alpha, \quad (30.1)$$

дзе α — вугал паміж напрамкамі індукцыі магнітнага поля \vec{B} і скорасці \vec{v} ўпарадкаванага руху зараджанай часціцы.



Мал. 168

З формулы (30.1) вынікае, што сіла Лорэнца максімальная ў выпадку, калі зараджаная часціца рухаецца перпендыкулярна напрамку індукцыі магнітнага поля ($\alpha = 90^\circ$). Калі часціца рухаецца ўздоўж лініі індукцыі поля ($\alpha = 0^\circ$ або $\alpha = 180^\circ$), сіла Лорэнца на яе не дзейнічае. Сіла Лорэнца залежыць ад выбару інерцыяльнай сістэмы адліку, бо ў розных сістэмах адліку скорасць руху зараджанай часціцы можа адрознівацца.

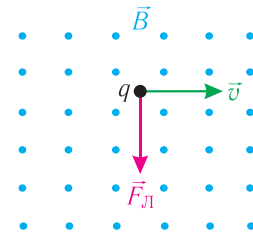
* Электрычнае поле, якое ствараецца і падтрымліваецца крыніцай току на працягу доўгага прамежку часу і забяспечвае пастаянны электрычны ток у правадніку, называюць стацыянарным электрычным полем.

Напрамак сілы Лорэнца, якая дзейнічае на зараджаную часціцу, як і напрамак сілы Ампера, вызначаюць паводле **правіла левай рукі** (мал. 168): калі левую руку размясціць так, каб складнік індукцыі магнітнага поля, перпендыкулярны скорасці руху часціцы, уваходзіў у далонь, а чатыры пальцы былі накіраваныя па руху дадатна зараджанай часціцы (супраць руху адмоўна зараджанай часціцы), то адагнуты на 90° у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак сілы Лорэнца, якая дзейнічае на часціцу.

Сіла Лорэнца перпендыкулярная як напрамку скорасці \vec{v} руху часціцы, так і напрамку індукцыі \vec{B} магнітнага поля.

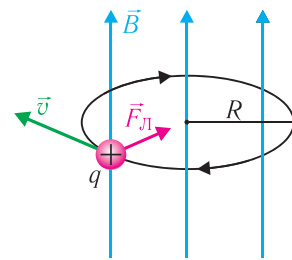
Ад тэорыі да практыкі

На малюнку 169 паказаны напрамкі індукцыі \vec{B} магнітнага поля, скорасці \vec{v} руху часціцы \dot{y} дадзены момант часу і сілы Лорэнца \vec{F}_L , якая дзейнічае на часціцу з боку магнітнага поля. Вызначце знак зараду часціцы.



Мал. 169

Рух зараджаных часціц у аднародным магнітным полі. Пад дзеяннем сілы Лорэнца часціцы, якія маюць электрычны зарад, рухаюцца ў магнітным полі па крывалінейных траекторыях. Прычым калі ў дадзенай інерцыяльнай сістэме адліку напрамак скорасці руху часціцы перпендыкулярны напрамку індукцыі аднароднага магнітнага поля ($\vec{v} \perp \vec{B}$, $\alpha = 90^\circ$), то траекторыяй руху зараджанай часціцы з'яўляецца акружнасць (мал. 170).



Мал. 170

Няхай у аднародным магнітным полі, індукцыя якога \vec{B} , рухаецца часціца са скорасцю \vec{v} , накіраванай перпендыкулярна лініям індукцыі. Маса часціцы m і зарад q . Паколькі сіла Лорэнца \vec{F}_L перпендыкулярная скорасці \vec{v} руху часціцы (гл. мал. 170), то гэтая сіла змяняе толькі напрамак скорасці, надаючы часціцы цэнтраімклівае паскарэнне, модуль якога згодна з другім законам Ньютана:

$$a = \frac{F_L}{m} = \frac{Bqv}{m}.$$

У выніку часціца рухаецца па акружнасці, радыус якой можна вызначыць з формулы $a = \frac{v^2}{R}$:

$$R = \frac{v^2}{a} = \frac{v^2 m}{Bqv} = \frac{mv}{Bq}.$$

Перыяд T абарачэння часціцы, якая рухаецца па акружнасці ў аднародным магнітным полі:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{v} \cdot \frac{mv}{Bq} = \frac{2\pi m}{Bq}. \quad (30.2)$$

Як вынікае з выразу (30.2), перыяд абарачэння часціцы не залежыць ад модуля скорасці яе руху і радыуса траекторыі, а вызначаецца толькі модулем зараду часціцы, яе масай і значэннем індукцыі магнітнага поля.

Ад тэорыі да практыкі

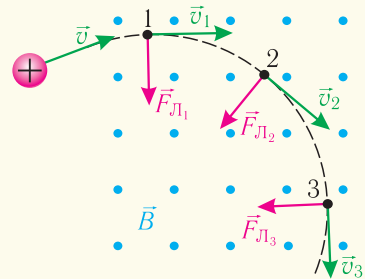
У аднародным магнітным полі, модуль індукцыі якога $B = 4,0$ мТл, перпендыкулярна лініям індукцыі поля рухаецца электрон. Чаму роўны модуль паскарэння электрона, калі модуль скорасці яго руху $v = 2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Маса і модуль зараду электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг і $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл адпаведна.



Цікава ведаць

Паколькі сіла Лорэнца накіравана пад вуглом 90° да скорасці руху зараджанай часціцы ў кожным пункце траекторыі (мал. 171), то работа гэтай сілы пры руху зараджанай часціцы ў магнітным полі роўная нулю. Таму кінетычная энергія часціцы, якая рухаецца ў стацыянарным (нязменным у часе) магнітным полі, не змяняецца, гэта значыць стацыянарнае магнітнае поле нельга выкарыстоўваць для паскарэння зараджаных часціц.

Павелічэнне кінетычнай энергіі часціцы, гэта значыць яе разгон, магчыма пад дзеяннем электрычнага поля (у гэтым выпадку змена кінетычнай энергіі часціцы роўная рабоце сілы поля). Таму ў сучасных паскаральніках (мал. 172) зараджаных часціц электрычнае поле выкарыстоўваюць для паскарэння, а магнітнае — для «фарміравання» траекторыі руху зараджаных часціц.



Мал. 171



Мал. 172



Сілу, якой магнітнае поле дзейнічае на зараджаную часціцу, што рухаецца ў гэтым полі, называюць сілай Лорэнца

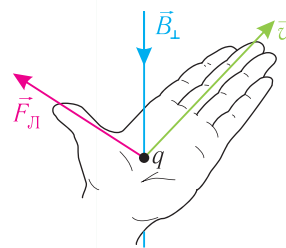
Модуль сілы Лорэнца:

$$F_L = B|q|v\sin\alpha$$

Калі ў дадзенай інерцыяльнай сістэме адліку скорасць руху зараджанай часціцы перпендыкулярная індукцыі аднароднага магнітнага поля ($\vec{v} \perp \vec{B}$), то траекторыяй руху часціцы з'яўляецца акружнасць

Перыяд абарачэння часціцы не залежыць ад скорасці яе руху і радыуса траекторыі, а вызначаецца толькі модулем яе зараду, масай і значэннем індукцыі магнітнага поля:

$$T = \frac{2\pi m}{B|q|}$$



Напрамак сілы Лорэнца вызначаюць паводле правіла левай рукі: калі левую руку размясціць так, каб складнік індукцыі магнітнага поля, перпендыкулярны скорасці руху часціцы, уваходзіў у далонь, а чатыры пальцы былі накіраваны па руху дадатна зараджанай часціцы (супраць руху адмоўна зараджанай), то адагнуты на 90° у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак сілы Лорэнца, якая дзейнічае на часціцу



1. Як вызначаюць модуль сілы, што дзейнічае з боку магнітнага поля на зараджаную часціцу, якая ў ім рухаецца?
2. Як вызначаюць напрамак сілы Лорэнца?
3. Зараджаная часціца рухаецца ў аднародным магнітным полі са скорасцю, накіраванай перпендыкулярна лініям індукцыі. Па якой траекторыі рухаецца часціца?
4. Ад чаго залежыць перыяд абарачэння зараджанай часціцы ў аднародным магнітным полі?



Приклад розв'язання задачі

Електрон рухається в однородним магнітним полі по окружності радіусом $R = 12$ см зі швидкістю, модуль якої значно менший за модуль швидкості світла. Визначте модуль імпульсу електрона, коли модуль індукції магнітного поля $B = 0,020$ Тл.

Дано:

$$R = 12 \text{ см} =$$

$$= 0,12 \text{ м}$$

$$B = 0,020 \text{ Тл}$$

$$p = ?$$

Розв'язання. Згідно з означенням модуль імпульсу електрона $p = mv$, де m — маса електрона; v — модуль швидкості його руху.

На електрон у магнітним полі діють сили Лоренца і сили тяжіння, модуль якої у шість разів менший за модуль сили Лоренца. Тому діють сили тяжіння на заряджану частинку, яка рухається в магнітним полі, можна не враховувати. Згідно з другим законом Ньютона

$\frac{mv^2}{R} = Bev$, звідки $v = \frac{BeR}{m}$, де $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — модуль заряду електрона.

Значить, $p = m \frac{BeR}{m} = BeR$.

$$p = 0,020 \text{ Тл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,12 \text{ м} = 3,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $p = 3,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$

**Практикуванне 22**

1. Електрон рухається зі швидкістю, модуль якої $v = 2,0 \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, перпендикулярно ліній індукції однородного магнітного поля, модуль індукції якого $B = 1,6$ мТл. Визначте модуль сили, яка діє на електрон у магнітним полі.

2. Електрон рухається в однородним магнітним полі по окружності, радіус якої $R = 8,0$ мм. Визначте модуль індукції магнітного поля, коли модуль швидкості руху електрона $v = 4,0 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Маса електрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

3. Пилінка рухається в однородним магнітним полі, модуль індукції якого $B = 1,0$ Тл, перпендикулярно ліній індукції. Маса і заряд пилінки $m = 0,80$ мг і $q = 1,6$ нКл відповідно. Визначте період обертання пилінки.

4. Електрон рухається в однородним магнітним полі, модуль індукції якого $B = 2,0$ мТл, по окружності радіусом $R = 2,0$ см. Визначте кінетичну енергію електрона. Маса електрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.