

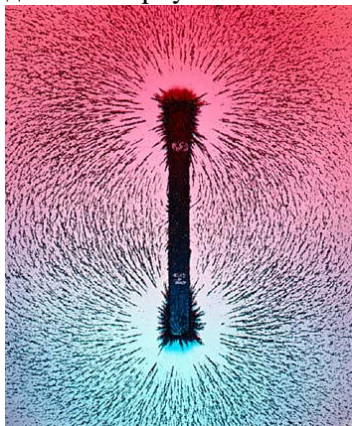
10. МАГНЕТНО ПОЛЕ

Првите сознанија за магнетните појави се поврзани со таканаречените природни магнети, прачки од железна руда што била пронајдена во близината на градот Магнезија на територијата на некогашна Мала Азија (оттука и името магнет). Било забележано дека овие природни магнети имаат својство да ги привлекуваат ненамагнетизираните железни тела. Било забележано дека ефектот на привлекување бил најизразен на одредени места, обично на краевите на магнетот, сега познати како **магнетни полови**.

Покрај сознанијата за природните магнети, луѓето доста рано ја откриле постапката за добивање на вештачки магнети. Според некои податоци, уште 121 година п. н. е. на Кинезите им било познато дека ненамагнетизирана железна прачка кога е доведена во близина, или кога е допрена до природен магнет, самата станува магнет и ги задржува тие својства. Кога ваква прачка ќе се обеси со конец така што ќе може слободно да ротира околу вертикална оска, таа се поставува во насоката север-југ. Добивањето на вештачките магнети и конструкцијата на компасот во Европа датира дури од почетокот на XII век.

Во 1600 година В. Гилберт ги дал првите укажувања на низа аналогии меѓу електричните и магнетните својства. Тој видел дека додека кон наелектризирано тело се привлекуваат било кои ситни предмети, кон природните магнети се привлекуваат само тела од железо, никел и кобалт и нивни легури.

Гилберт ги проучувал и заемнодејствата на магнетите. Тој покажал дека секој магнет има два пола, **северен** (со ознака N од англиското Nord) и **јужен** (S - според South). Името го добиле според тоа дали се свртуваат кон север или југ, ако се обесат слободно да ротираат во хоризонтална рамнина. Се покажало дека разноимените магнетни полови се привлекуваат а истоимените одбиваат.



Сл.10.1. Прачкест магнет под хартија посолена со железни струготини.

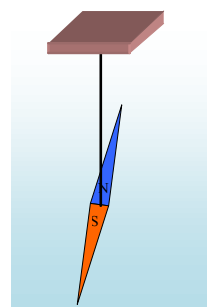
Ако во близина на постојаните магнети се постават ситни железни струготини, може да се забележи дека тие се поставуваат по определен ред во просторот околу железото, опишувајќи **магнетни силиви линии**. Илустрација на таквите магнетни силиви линии за прачкест магнет во една рамнина е дадена на сликата 10.1. Сликите за распоредот на магнетните силиви линии се добиваат така што врз магнетите се става подебела хартија па потоа врз неа се сипаат железни струготини.

Тоа значи, слично како и наелектризираните тела, така и магнетите околу себе создаваат поле преку кое тие дејствуваат врз ситните струготини. Од сликите е видливо дека густината на силовите линии не е секаде иста и дека се тие најгусти кај половите, каде што е полето најјако.



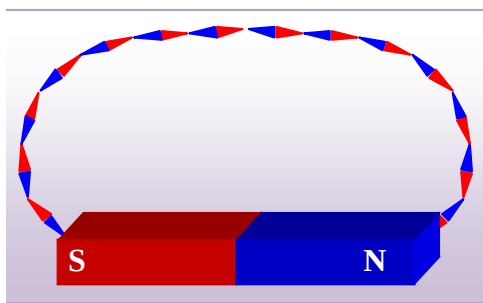
Старовремски компас

Магнетното поле се опишува со физичката величина, **магнетска индукција** $\vec{B}$, која е поголема таму каде што густината на магнетните силиви линии е поголема. $\vec{B}$ има векторски карактер. Може лесно да се покаже дека оваа величина имаа правец тангенцијален на магнетните силиви линии кој се покажува преку поставеноста на магнетната игла на определеното место. Имено, за проучување на магнетните појави најчесто се користи магнетната игла (сл. 10. 2). Таа е основен дел на компасот.



Сл. 10.2

Всушност, ако поставевме голем број магнетни игли, тие помеѓу половите ќе се поставеа тангенцијално на силовите

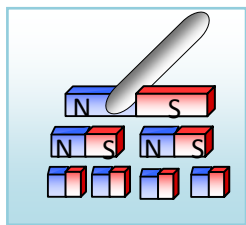


Сл. 10.3. Поставеност на магнетните игли во поле на прачкест магнет.

линии, со насока како на сликата 10.3, што укажува на тоа дека и векторот $\vec{B}$ има насока од северениот кон јужниот пол, или насоката што ја определува северниот магнетен пол.

Се покажало, меѓутоа, дека магнетите не можат да имаат само еден пол, туку дека тие *секогаш имаат два*

прачкаст магнет се пресече, двата негови дела имаат по два пола (Сл. 10.4). Сите обиди да се добијат изолирани магнетни полови биле неуспешни.



Сл.10.2. Сечење на прачкест магнет

разноимени пола. Ако еден магнетите имаат секогаш два пола, како и тоа што не дејствуваат врз неподвижните наелектризираните тела придонел што магнетните појави долго време, близу два века, се сметале за потполно неповрзани со електричните.

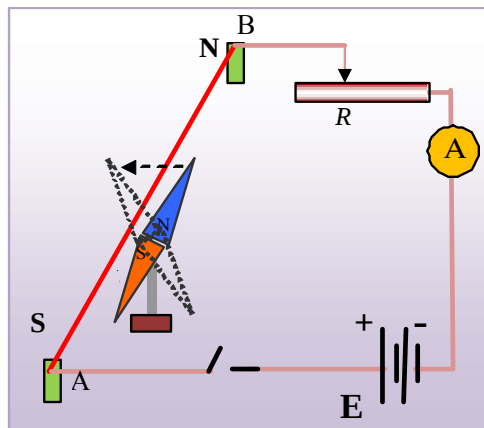
10.1. ЕКСПЕРИМЕНТИ КОИ УКАЖУВААТ ЗА ВРСКАТА ПОМЕЃУ ЕЛЕКТРИЧНИТЕ И МАГНЕТНИТЕ ПОЈАВИ

Вистински напредок кон изучувањето на магнетните појави бил направен на почетокот на XIX век, а сè започнало со откритието на движење на магнетна игла поставена во близина на спроводник низ кој тече струја. Првиот од експериментите што тогаш бил направен и кој поттикнал многу други истражувања бил направен од данскиот физичар Ерстед (Hans Christian Oersted, 1777-1851).

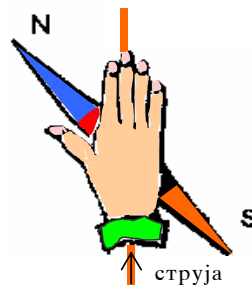
Ерстед покажал дека околу секој спроводник низ кој тече струја се создава магнетно поле.

Изведување на неговиот експеримент е едноставно: се става прав спроводник врз два држача и се насочува во правецот на магнетната игла која се поставува под спроводникот (сл. 10.5). Кога низ спроводникот ќе се пушти јака струја (2 до 3 A) се забележува дека магнетната игла се отклонува. Отклонот на магнетната игла е дотолку поголем доколку е струјата појака. Со одалечувањето на магнетната игла од спроводникот, отклонувањето е сè помало. Ако насоката на струјата се промени тогаш и иглата ќе се отклони на спротивната страна. За отклонувањето на магнетната игла важи **правилото на испружениите прсти на десната рака**.

Ако десната рака се постави над спроводникот со прстите насочени по течењето на струјата, и кога така дланката да е свртена кон спроводникот, тогаш северниот пол на магнетната игла ќе се отклони во насока на палецот (сл.10.6). При користењето на правилото на испружените прсти на дланката од десната рака секогаш се поставува свртена кон спроводникот.



Сл.10.5. Магнетно поле на спроводник низ кој тече струја.



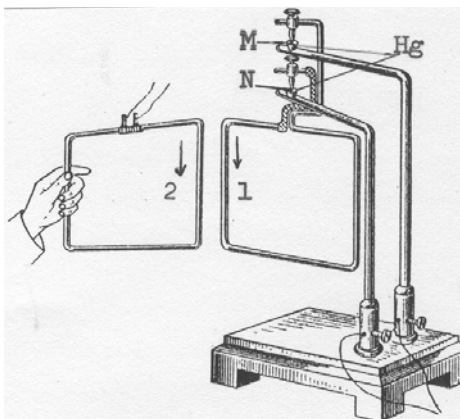
Сл.10.6. Десна рака: струја во насока на прстите, северен пол во насока на палецот.

Причина за отконувањето на магнетната игла е постоење на **магнетно поле на струјата**.

Отклонување на магнетната игла може, исто така, да се забележи ако магнетната игла се постави во близината на сад со електролит со две електроди низ кои тече струја во насоката север-југ. До слично отклонување на магнетната игла доаѓа и ако магнетна игла се доведе во близината на запалена неонка (струја низ гасови).

Оттука може да се заклучи дека магнетно дејство се јавува во сите случаи на течење струја низ која и да било средина (спроводник, течност или гас), т.е. кога доаѓа до насочено движење на полнежите. *Магнетното дејство е најопшто својство на струјата (општо, на полнежите кои се движат).*

Набргу по Ерстедовото откритие францускиот физичар Ампер (André Marie Ampère, 1774-1862) користејќи ја својата бриљантна интуиција направил повеќе експерименти за магнетното дејство на струјата. Веќе во 1820 година тој го дал законот за земнодејството на два сегмента од проводници низ кои течат струи. Овој негов закон тој го дал врз база на низа експериментално направени испитувања на силите на заемнодејствата.



Сл. 10.7

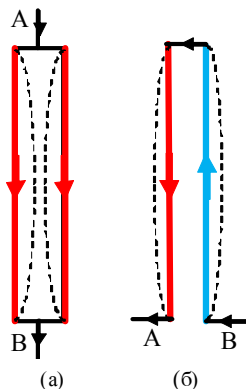
Уредот со помош на кој ги правел експериментите е даден на сликата 10.7. Тоа е правоаголна рамка поставена да виси во вертикална рамнина преку два шилка M и N кои што се нурнати во чашкички со жива. Рамката може лесно (речиси без триење) да ротира околу вертикална оска, останувајќи вклучена во колото на електричната струја преку живините контакти. Ако кон оваа рамка се доближи друга рамка (2) тогаш ќе може да се набљудува заемното дејство на струите низ овие рамки.

При доволна блиска поставеност на двата паралелни раба на рамките, може да се смета дека влијанието на сите други поодалечените рабови е занемарливо. Се покажало дека *спроводниците низ кои течат паралелни струи се приближуваат, а ако струите што течат се антипаралелни, тие се одбиваат.*

Експеримент

Две жици се поставуваат на еден вертикален статив. Жиците треба да се меки, лесно подвижни, но доволно дебели за да издржуваат појаки струи. Овие жици

може да се поврзат така, што низ нив да течат струи во иста насока (паралелни струи), како на сликата 10.8. (а), или да течат во спротивна насока (антипаралелни струи), слика (б).



Сл.10.8. (а) Паралелни,
(б) антипаралелни струи

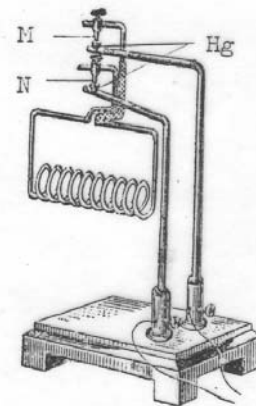
Како извор на струја може да послужи еден исправувач поврзан преку трансформатор за градска мрежа (обата предвидени за јаки струи поголеми од 6 А), така што на точките А и В **краткотрајно** се донесува прав напон од 20 V. Краткотрајноста е потребна за да не се презагреат жиците, бидејќи низ нив тече јака струја.

Експериментот ќе покаже дека кога струите низ паралелно поставените спроводници се паралелни (сл.10.8.(а)), тогаш ќе се забележи дека спроводниците меѓусебно се привлекуваат. Кога струите се антипаралелни (сл. 10.8 (б)), спроводниците меѓусебно се одбиваат.

Ампер со помош на неговиот уред покажал и низа други појави. Имено, ако спроводниците што заемодејствуваат се постават под некој агол (не се паралелни), тогаш силите на нивното заемнодејство се помали и стремат да ги завртат спроводниците за да ги доведат во паралелна положба. Исто така, тој забележал дека рамката се врти ако до неа се доближи магнет со едниот пол. Забележал дека ако срујата ја промени насоката, и силата ја менува насоката. Така, тој заклучил дека рамката создава магнетно поле со кое таа дејствува врз магнетното поле на постојаниот магнет.

Со Амперовиот уред се покажува дека соленоид низ кој тече струја дејствува исто како и природен магнет (сл. 10. 9). Бидејќи поради живините контакти соленоидот може слободно да ротира околу вертикална оска, по пуштање на струјата низ соленоидот, се покажало дека тој се насочува со едниот свој крај кон северниот магнетен пол до еден доближен магнет, а со другиот кон јужниот. Притоа, крајот на соленоидот во кој струјата тече во насока спротивна од стрелката на часовникот, ако се гледа во соленоидот, се однесува како северен магнетен пол, а крајот на соленоидот во кој струјата тече во насока на часовникот, се однесува како јужен магнетен пол.

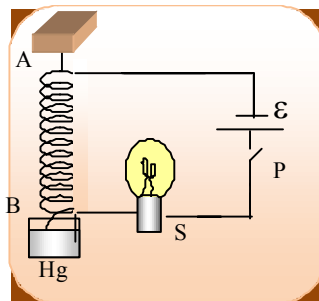
Ако соленоидот е слободен тој се однесува исто како и магнетната игла и се поставува во насока север-југ на магнетното поле на Земјата.



Сл. 10.9

Експеримент

Една спирала АВ од меко железо се обесува во вертикална положба како на сликата 10.10. Долниот крај на спиралата многу малку е нурнат во жива, во којашто е нурната и жица, поврзана со едниот крај на изворот на електромоторната сила ($\sim 10\text{ V}$). Горниот крај на спиралата исто така е поврзан во струјното коло во коешто има и прекинувач Р и мала светилка S.



Сл. 10.10

Кога ќе потече струјата низ спиралата, тогаш низ секој пар од навивки може да се земе дека течат паралелни струи, така што врз нив дејствуваат привлечни сили, па навивките се приближуваат. Како резултат на тоа, спиралата се собира. Поради скратувањето, крајот на спиралата В веќе не е нурнат во живата, па струјата се прекинува. Но, потоа под дејството на Земјината тежа, спиралата повторно се истегнува, па слободниот крај повторно се нурнува во садот со живата па струјата повторно почнува да тече. При течењето, повторно се јавуваат привлечните сили на сите делови од спиралата, па таа се скратува, ... и т. н., појавата се повторува. Значи, спиралата врши присилени осцилации. Ова осцилирање на спиралата прави пулсирачка струја која се регистрира со пулсирањето на светилката S, но и постојаното искрење што се појавува помеѓу живата и крајот на спиралата В.

Сите погоре опишани опити укажуваат на тоа дека заемното дејство меѓу спроводниците низ кои тече струја е слично со дејството на магнетите. Поради тоа, ова дејство е наречено **магнетно заемнодејство**.

Магнетното заемнодејство се разликува од електростатското. Електростатското зависи од големината на полнежот Q . **Магнетното заемнодејство** не зависи од полнежите, тоа **се јавува само доколку постои движење на полнежите**.

Ние ќе го започнеме изучувањето на магнетните појави со изучувањето на заемните дејства меѓу струјните спроводници. Притоа прво ќе претпоставуваме дека спроводниците или магнетите се наоѓаат во вакуум, а потоа ќе се осврнеме на заемодејствата во материјаните средини. Напомуваме дека заемодејството во воздух е многу слично со тоа во вакуум.

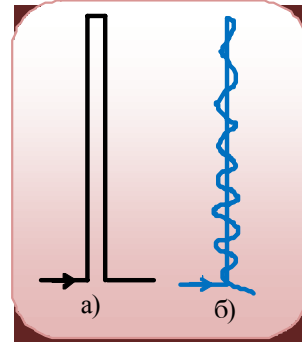
Може да се напомне дека кон изучувањето на магнетните и електромагнетните заемодејства се можни и други приоди, што слушателите на курсот може да ги сретнат во разни други учебници.

10.2. ЗАКОН ЗА МАГНЕТНО ЗАЕМНОДЕЈСТВО НА ДВА СТРУЈНИ ЕЛЕМЕНТА

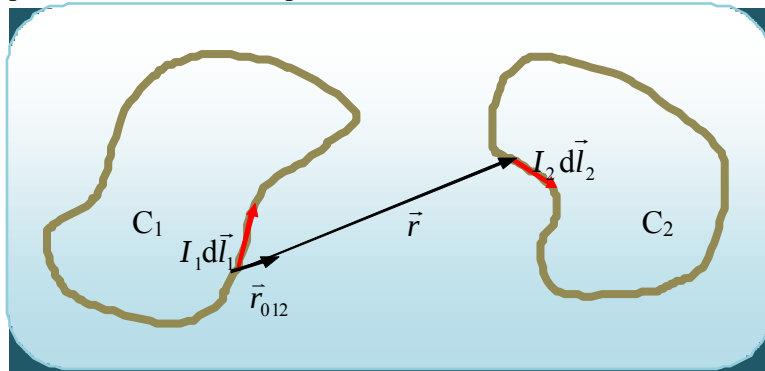
Опитите на Ампер покажале дека силата на заемнодејство е право-пропорционална со јачините на струите што течат низ двата

спроводника. Опитите исто така покажале дека магнетното заемно-дејство зависи од меѓусебната поставеност на спроводниците. Така, на пример, се покажало дека спроводници кои што имаат форма како на сликата 10.11 (а) и (б) не предизвикуваат магнетно дејство во околината.

За да може да се зборува за заемнодејството меѓу два спроводника, треба да се знае јачината на струјата што тече низ нив и нивната заемна ориентација. Ако во општ случај разгледуваме две електрични кола со каква и да било форма и ориентација во просторот тогаш општата задача би била доста комплицирана. За да може да побараме аналитичко решение на проблемите треба кај колата мисловно да одделиме елементарни должини на спроводникот. Производот од јачината на струјата и елементарната должина на спроводникот се вика *елементи на струја*.



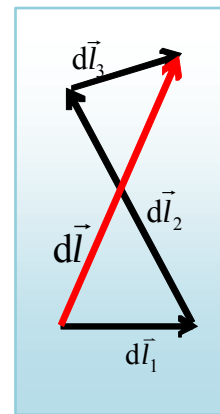
Сл. 10.11



Сл. 10.12

На сликата 10.12 се дадени две кола C_1 и C_2 низ кои течат временски постојани струи I_1 и I_2 . Ваквите кола ќе ги наречеме контури. Се разбира, за да може низ нив да течат струи во секое од колата треба да има извор на ЕМС. Тие на сликата 10.12 не се нацртани, но се подразбираат. Ако сакаме да ја определиме силата на заемнодејството помеѓу двете контури, треба да тргнеме најпрво да ја решиме силата на заемното дејство помеѓу двата елемента на струја.

Фактот што спроводниците со форма прикажана на сл. 10.11 (а) и (б) немаат никакво магнетно дејство, укажува на тоа дека може да се смета дека елементите на спроводникот $d\vec{l}_1$, $d\vec{l}_2$, $d\vec{l}_3$ од слика 10.13



Сл. 10.13

предизвикуваат исто дејство како и елементот $d\vec{l}$ кој претставува нивни векторски збир. Затоа, при пресметките на силата на заемнодејство под **елемент на струја** се подразбира вектор чија големина е еднаква на производот од јачината на струјата I и елементот на должината dl , чијшито правец и насока се определени со правецот и насоката на векторот на елементот на должината на сироводникот, $d\vec{l}$. Напонуваме дека во случаите дадени на сликата 10.11, векторскиот збир на векторите е приближно еднаков на нула.

Струјниот елемент $I d\vec{l}$ претставува една математичка идеализација, слично како и поимот точкест полнеж во електростатиката. Тој ни е потребен за да може да се решат задачите за заемнодејствата кај реалните електрични кола. Напонуваме дека струјниот елемент $I d\vec{l}$ може да се прикаже и како производ од елемент на електричен полнеж и на неговата брзина. Имено, знаеме дека

$$I = \frac{dQ}{dt} ; \quad I d\vec{l} = \frac{dQ}{dt} d\vec{l} = dQ \frac{d\vec{l}}{dt} = dQ \cdot \vec{v},$$

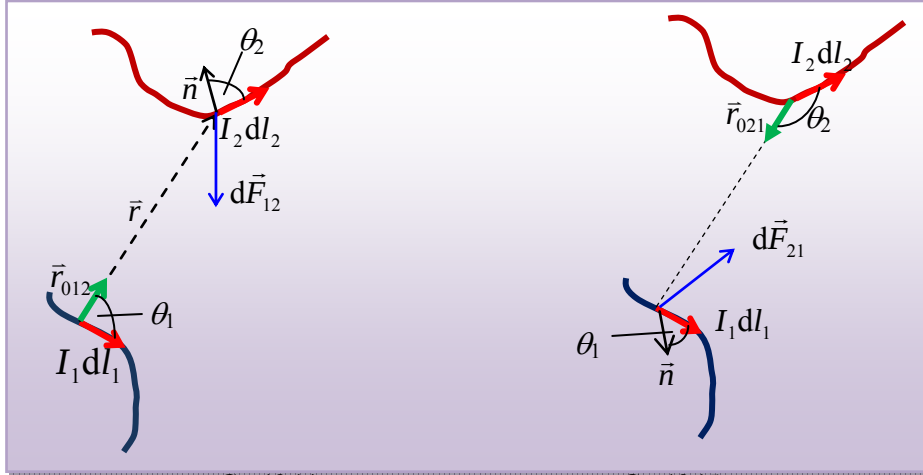
при што $\vec{v}$ е векторот на брзината со која се движи полнежот dQ .

Значи, прва задача е да се определи силата на заемнодејството меѓу двата струјни елемента. Директното експериментално решавање на оваа задача не е можно, бидејќи вакви изолирани струјни елементи не можат да егзистираат надвор од затворени струјни кола. Меѓутоа, сепак може да се дојде до идејата за закон кој важи за струјните елементи преку мерење на силите кај различните случаи на затворени струјни контури. Понатаму може да се провери дали тој закон доведува до резултати кои експериментално се потврдени, и најпосле истиот да се примени и на некои нови контури. На тој начин било најдено дека за сите случаи на струјни контури во вакуум се добива точен резултат за магнетската сила, ако се претпостави дека елементот на струја $I_1 d\vec{l}_1$ дејствува на елементот на струја $I_2 d\vec{l}_2$, кој од него е оддалечен на растојание r со елементарна сила $d\vec{F}_{12}$ која е дадена со следниов израз:

$$d\vec{F}_{12} = k \frac{I_1 I_2 [d\vec{l}_2 \times (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{012})]}{r^2} \quad (10.1)$$

Во оваа релација k е константа која зависи од изборот на единиците, а другите величини се објаснети на сликата 10.14. Координатен почеток се поставува на местото на “изворот на полето” т.е. елементот на струјата $I_1 d\vec{l}_1$, во однос на кој местоположбата на елементот на струја $I_2 d\vec{l}_2$ е определена со радиусвекторот $\vec{r}_{12}$. Единичниот вектор во насока на радиусвекторот $\vec{r}_{12}$ е обележан со $\vec{r}_{012}$.

Како што се гледа, релацијата (10.1) претставува двоен векторски производ, па затоа ќе ја прокоментираме подетално.



Сл. 10.14

Сл. 10.15

Прво, големината на силата dF_{12} е пропорционална со големината на струјните елементи, што значи, производите на јачините на струите и соодветните должини на спроводниците, а обратно пропорционална со квадратот на растојанието меѓу нив. Меѓутоа, таа зависи уште и од големината на два агла, θ_1 и θ_2 поточно од нивните синуси:

$$dF_{12} = k \frac{I_1 I_2 dl_1 dl_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2}{r^2} . \quad (10.2)$$

Овде, $\theta_1 = (\vec{r}_{012}, d\vec{l}_1)$, а $\theta_2 = (d\vec{l}_2, \vec{n})$, каде што $\vec{n}$ е вектор на нормала на рамнината определена со векторите $\vec{r}_{012}$ и $d\vec{l}_1$ и всушност ја определува насоката на векторскиот производ $(d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{012})$. Имајќи го предвид “правилото на десниот винт” за определување на правецот и насоката на векторскиот производ на сликата 10. 14 се соодветно нацртани насоките на векторот на нормалата $\vec{n}$ и на силата $d\vec{F}_{12}$.

Второ, насоката и правецот на силата се определени со двојниот векторски производ $[d\vec{l}_2 \times (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{012})]$.

Изразот 10.2 ја дава скаларна форма на законот за заемното дејство меѓу два струјни спроводника. Неговата векторска форма е дадена со 10.1, каде што беше дадена силата со која елементот 1 дејствува врз елементот 2. Од друга страна, силата со која елементот 2 би дејствувал врз елементот 1 ќе биде дадена со аналогната релација:

$$d\vec{F}_{21} = k \frac{I_1 I_2 [d\vec{l}_1 \times (d\vec{l}_2 \times \vec{r}_{021})]}{r^2} \quad (10.3)$$

каде што величините што во неа влегуваат се дадени на сликата 10.15. Релацијата 10.3 покажува, а и сликите 10.14 и 10.15 тоа го илустрираат, дека силата $d\vec{F}_{21}$ всушност, не е колинеарна со $d\vec{F}_{12}$, па на прв поглед може да се помисли дека овде не важи III Њутнов закон. Оваа противречност произлегува од фактот што експериментално може да постои само заемнодејство на реални цели контури кои имаат конечни димензии, т.е. никогаш не можат да се одделат илустрираните елементи на струја. Но, ако овој закон се примени на затворени контури, тогаш секогаш се добиваат резултати кои се во целосна согласност со III Њутнов закон. Овој закон го носи името *Амперов закон за заемнодејство на елементи на струја*,

Тука коефициентот на пропорционалноста k зависи од единиците на величините кои влегуваат во него. Во Меѓународниот систем, коефициентот се искажува во рационализирана форма:

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad (10.4)$$

каде што μ_0 е **магнетна константа** која понекогаш се вика и магнетска пермеабилност во вакуум и е една од универзалните константи во физиката.

Ако сите единици во Амперовиот закон се во SI, за μ_0 се добива вредност $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$. Оваа величина обично се искажува во единицата хенри врз метар (H/m), а зошто е тоа така, ќе биде покасно објаснето.

Равенката 10.1 за заемнодејство на елементи на струи преку нивните магнетни полиња во магнетизмот ја игра истата улога што ја игра и Кулоновиот закон за електростатското поле.

10.3. БИО-САВАР-ЛАПЛАСОВ ЗАКОН. ДВИЖЕЊЕ НА СПРОВОДНИК ВО МАГНЕТНО ПОЛЕ. МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА

10.3.1 Био-Савар-Лапласов закон

При толкувањето на магнетното заемнодејство на спроводниците низ кои тече струја се среќаваме со истото прашање како и при објаснувањето на електростатското заемнодејство: зошто се јавуваат силите на заемнодејството од една контура со струја, и како тие сили се пренесуваат од една контура на друга? Се јавува ли некаква промена во

просторот во близина на спроводникот низ којшто тече струја? Во современата физика се смета дека секое заемнодејство се пренесува преку материја и дека неговата брзина е конечна.

Околу секој спроводник со струја се создава **магнетно поле** и само преку него доаѓа до влијание на едната контура врз другата. Подоцна ќе видиме дека електричното и магнетното поле се заемно поврзани и дека тие всушност се само специјални случаи на едно поопшто *електромагнетно поле*.

Магнетното поле има повеќе својства. Основно негово својство е дека дејствува врз спроводник низ кој тече струја. Магнетното поле се јавува околу секој спроводник низ кој тече струја. Тоа се јавува секогаш, независно дали во неговата близина се наоѓаат други спроводници со струја, или не. Велеме, во просторот што го опкружува спроводникот со струја дошло до одредени физички промени. Основната задача за испитувањата на магнетните појави се состои во тоа да се изучат својствата на магнетното поле и законите поврзани со тие својства.

Веќе спомнавме дека за да се опише магнетното поле, во физиката се воведува векторска карактеристика на полето, физичката величина **магнетна индукција** $\vec{B}$. Оваа величина ќе ја воведеме со постапка слична на онаа што ја правевме при воведувањето на јачината на електричното поле.

Во поглавјето 10.2 покажавме дека два елемента на струја си заемнодејствуваат со елементарна сила, дадена со релацијата:

$$d\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2 [d\vec{l}_2 \times (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{012})]}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2 [d\vec{l}_2 \times (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12})]}{r^3} \quad (10.5)$$

при што релацијата ја испишавме и во нешто поинаква форма, имајќи предвид дека единичниот вектор $\vec{r}_{012} = \frac{\vec{r}_{12}}{r}$.

Ако како извор на полето го земеме елементот на струја 1, а како “пробен елемент на струја” елементот 2, тогаш релацијата 10.5 може да се напише и во следнава форма:

$$d\vec{F}_{12} = I_2 d\vec{l}_2 \times \left[\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12})}{r^3} \right] \quad (10.6)$$

Изразот во средната заграда не содржи ниту една величина која се однесува на елементот на струјата 2, освен неговата местоположба, определена со радиусвекторот во однос на елементот на струјата 1.

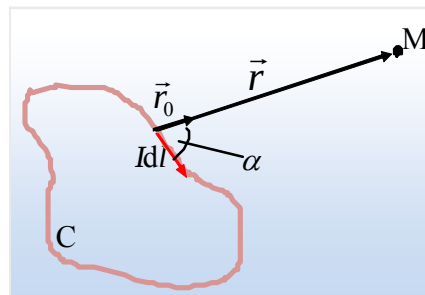
Значи величината во средната заграда е поврзана само со “изворот на полето” $I_1 d\vec{l}_1$ и со точката во просторот (M), чијашто

местоположба е определена со радиусвекторот $\vec{r}_{12}$. Оваа величина ќе ја означиме како $d\vec{B}_1$ и ќе ја наречеме магнетна индукција:

$$d\vec{B}_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 (d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12})}{r^3} \quad (10.7)$$

којашто ни ја дава вредноста на магнетната индукција создадена од елементот на струјата 1, во точката определена со радиусвекторот $\vec{r}_{12}$.

Законот може да го воопштиме, со помош на сликата 10.16, со тоа што елемент на струја $Id\vec{l}$ во некоја точка М, определена со радиусвекторот $\vec{r}$ во однос на елементот на струја е даден со релацијата



Сл. 10.16

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I (d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I (d\vec{l} \times \vec{r}_0)}{r^2} \quad (10.8)$$

Овде $\vec{r}_0$ е единичен вектор во насока на радиусвекторот $\vec{r}$ со кој е определена положбата на точката во однос на “изворот на полето” $Id\vec{l}$.

Оваа релација го дава законот што во физиката се вика Био-Саваров, а некаде и Био-Савар-Лапласов, според француските научници Био (Jean Baptiste Biot, 1774-1862), Савар (Felix Savart, 1791-1871) и Лаплас (Pierre-Simon, Marquis de Laplace, 1749 - 1827).

Поради важноста на овој закон, за нашите натамошни изведувања ќе ја дадеме и скаларната форма на законот која што всушност ја дава само големината на векторот на магнетната индукција:

$$dB = |d\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin\alpha}{r^2} \quad (10.9)$$

каде што α е аголот помеѓу векторите $d\vec{l}$ и $\vec{r}$. Правецот на $d\vec{B}$ е нормален на рамнината определена со векторите на $d\vec{l}$ и $\vec{r}$ а насоката (види ја релацијата 10.8) е определена со “правилото на десниот винт”. (Ако вртењето е од $d\vec{l}$ кон $\vec{r}$ винтот, т.е. $d\vec{B}$ оди кон внатре).

Ќе се вратиме на сликата 10.16 за да појасниме: полето создадено во точката М не е создадено само од струјниот елемент $Id\vec{l}$ (релација 10.8), туку во таа точка полето го создава целата контура С, т.е. сите

елементи на струја на оваа контура. Полињата што ги создаваат сите елементи на струја од контурата треба векторски да се соберат.

Тука всушност се применува **принципот на суперпозиција** кој што важи и за магнетната индукција, исто како што важеше за јачината на електричното поле. Имено, ако имаме неколку извори на магнетната индукција и секој од нив во дадена точка создава соодветна магнетна индукција: $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots, \vec{B}_n$, тогаш сумарната магнетна индукција ја добиваме како векторски збир на магнетните индукции создадени од поединечните извори:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \quad (10.10)$$

Во случајот на контурата C од сликата 10.16, векторското собирање на сите елементарни магнетни индукции $d\vec{B}$ се сведува на интегрирање. На тој начин магнетската индукција во точката M создадена од целата контура C, низ којашто тече постојана струја со јачина I, е определена со:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_C \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2} \quad (10.11)$$

Релацијата (10.6), со замена на внесување на $d\vec{B}_1$ од (10.7) станува:

$$d\vec{F}_{12} = I_2 d\vec{l}_2 \times d\vec{B}_1 \quad (10.12)$$

откаде можеда се види дека единицата за мерење на магнетната индукција е $\frac{N}{A \cdot m}$. Магнетната индукција е најважната физичка величина со чија што помош се мери магнетното поле. Единицата има свое име и се вика **тесла** (T). Дадена е во чест на големиот научник Никола Тесла (1856-1943). Дефиницијата на оваа единица ќе ја дадеме во наредното поглавје.

10.3.2. Дејство на магнетно поле на спроводник со струја. Физичко значење на магнетната индукција. Дефиниција на тесла

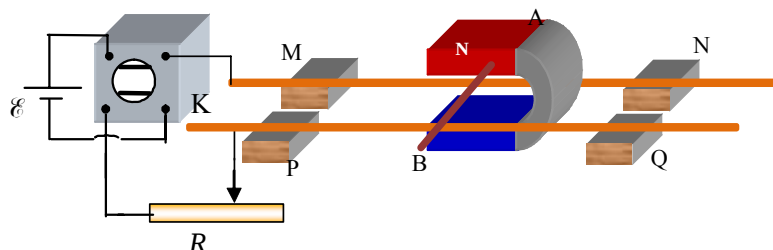
Релацијата 10.12 кажува дека ако спроводник низ кој тече струја се најде во некое магнетно поле, тогаш на него тоа полето ќе дејствува со сила.

Експериментите тоа го потврдуваат.

Експеримент

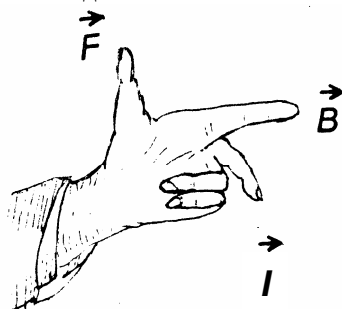
Две шипки од бакар се поставуваат врз четири дрвени држачи, M, N, P и Q. Двата леви краја на шипките се поврзуваат со извор на

електромоторна сила (види ја сликата 10.17). Колото го затвора трета, кратка шипка од бакар АВ којашто може лесно да се тркала по двете шини во хоризонталната рамнина и претставува подвижен дел од затвореното струјно коло.



Сл. 10.17. Експеримент со подвижен дел од струјно коло.

Ако кратката, лесно подвижна шипка АВ се постави меѓу половите на еден потковичест магнет така што магнетните силиви линии да се во вертикален правец, тогаш, зависно од насоката на магнетните силиви линии и насоката на струјата, кратката шипка АВ ќе се тркала налево или надесно.



Сл.10.18

Ако еднаш ја промениме насоката на струјата, $\vec{I}$ (за таа цел, во колото е вклучен комутаторот К), ќе дојде до промената на насоката на движењето. Промената на насоката $\vec{B}$ се остварува со свртување на магнетот наопаку, што исто така доведува до промена на насоката на движењето, поточно до промена на насоката на силата $\vec{F}$.

Правецот и насоката на силата $\vec{F}$ се определени со Флеминговото правило на левата рака (сл.10.18). Во овој експеримент, правецот магнетното поле беше поставен нормален на спроводникот АВ. Ако показалецот од левата рака го поставиме во насока на магнетното поле, средниот прст во насока на струјата, тогаш палецот ќе ни ги покаже правецот и насоката на силата. Тогаш и АВ спроводникот ќе се истркала во насоката што ја покажува палецот од левата рака.

Експериментите потврдуваат дека големината на силата F со којашто полето со магнетска индукција $\vec{B}$ дејствува врз прав спроводник со должина l низ кој тече постојана струја I , ако тој со магнетните

силови линии зафаќа некој произволен агол $(\vec{l}, \vec{B})$, различен од 90° ќе биде:

$$F = IlB \sin(\vec{l}, \vec{B}) \quad (10.13)$$

Тоа значи дека силата зависи од ориентацијата на спроводникот во однос на правецот и насоката на векторот на магнетната индукција. Во векторска форма релацијата (10.13) се запишува :

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (10.14)$$

Поради својството на векторскиот производ станува јасно дека силата е нормална и на спроводникот и на векторот на магнетната индукција. Оваа сила се нарекува Амперова, а понекаде се среќава и под името Лоренцова сила, кој ние нема овде да го користиме. Релацијата (10.14) воедно го објаснува и “Флеминговото правило на трите прста на левата рака” кое се поклопува со “правилото на десниот винт” кај векторскиот производ.

Дејството на магнетното поле врз спроводник низ којшто тече струја нашло широка примена во науката и техниката. Така, генераторите на електричната струја, електромоторите, електричните мерни инструменти, осцилографите, масениот спектрограф и сл. се само некои од уредите кај кои ова дејство нашло примена. Со некои од тие примени ние ќе се запознаеме подоцна.

Последниве две релации (10.13) и (10.14) ни даваат можност да го дадеме физичкото значење на величината магнетска индукција, како и нејзината единица.

Магнетната индукција е физичка величина која го опишува магнетното поле во некоја точка, еднаква е на односот помеѓу *силата* со која даденото поле би дејствувало врз праволиниски спроводник поставен **нормално** на магнетните силиви линии во дадената точка и **производот од јачината на струјата** што тече низ спроводникот и **неговата должина**:

$$B = \frac{F}{I \cdot l \cdot \sin(\vec{l}, \vec{B})} \quad (10.15)$$

Од овде е јасно дека магнетната индукција, слично како јачината на електричното поле, е силова карактеристика на магнетното поле.

Во некоја точка магнетната индукција изнесува еден **тесла** ако на прав спроводник со должина од еден метар низ кој тече струја од еден ампер, поставен нормално на силовите линии на полето, дејствува сила од еден њутн.



Големи електромагнети во акцелераторите во CERN

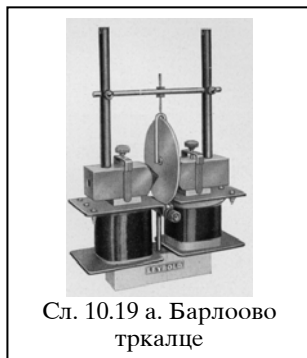
Магнетската индукција е многу важна физичка величина. Единицата тесла е голема единица. Хоризонталната компонента на магнетната индукција на Земјиното магнетно поле на територија на Македонија е од редот на големина $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Со моќни електромагнети може да се добијат магнетни полиња од редот големина на 1-2 T. Со помош на суперспроводни електромагнети се добиваат полиња со ред на големина 10 T.

МАЛКУ ИСТОРИЈА

Принципот на отклонувањето на спроводникот низ којшто тече струја е искористен за да се добие ротација на еден бакарен диск што е поставен меѓу половите на еден електромагнет (или постојан силен магнет), ако струјата тече меѓу центарот на дискот и неговата периферија.

Овој диск е познат во физиката како **Барлоово тркалце** (слика 10.19а). Експериментот е и со историско значење, бидејќи, со вакво тркалце за првпат е добиено ротационо механичко движење со помош на струја. Шематски приказ на изведувањето на овој значаен опит е даден на сликата 10.19б. Бакарниот диск MN е поставен вертикално, така што може да ротира околу хоризонталната оска во правец со оската на симетријата на дискот OO'.

Долниот крај на тркалцето е нурнат во сад со жива, во којшто е нурната и

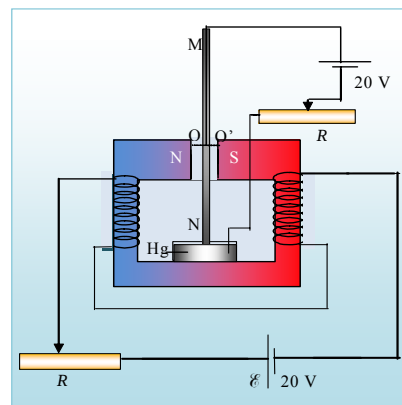


Сл. 10.19 а. Барлоово тркалце

жица што е поврзана, преку

отпорникот R со изворот на електромоторната сила $\mathcal{E}$. Вториот пол на изворот е споен со оската на тркалцето. Со тоа се постигнува струјата да тече во вертикален правец, по радиусот на колцето.

Ако тркалцето се донесе во магнетно поле на електромагнет како што е прикажан на сликата, а, чиешто силини се во правец паралелен на неговата оска, тоа ќе почне да ротира.



Сл. 10.19б. Скица на експериментот со Барлоовото тркалце.

Пример задача

Помеѓу половите на постојан магнет со магнетна индукција $B = 10^{-2} \text{ T}$ е поставен спроводник со должина $l = 10 \text{ cm}$ под агол $\alpha = 30^\circ$ во однос на правецот на магнетната индукција. Ако низ спроводникот се пушти да тече струја со јачина 10 A, колкава е силата со која полето ќе дејствува врз спроводникот?

Решение:

Силата според (10.13) е дадена со:

$$F = I B l \sin \alpha = 10 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1 \sin 30^\circ = 0,005 \text{ N}.$$

10.4. ПРИМЕНА НА БИО-САВАРОВИОТ ЗАКОН (ПРИМЕРИ ЗА ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА МАГНЕТНИ ПОЛИЊА НА НЕКОИ КОНТУРИ)

Био-Савар-Лапласовиот закон може да послужи за определување на поле создадено од некоја контура. Овде ќе бидат дадени некои примери кои може да се решат аналитички. Доколку проблемот е сложен и интегралот не може да се реши аналитички, тогаш задачата се решава со нумерички методи, што е овозможено до денешните компјутерски програми.

10.4.1. Магнетно поле во центарот на кружна контура

Со помош Био- Саваровиот закон, кој беше и понапред даден со релацијата

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I (d\vec{l} \times \vec{r}_0)}{r^2} \quad (10.16)$$

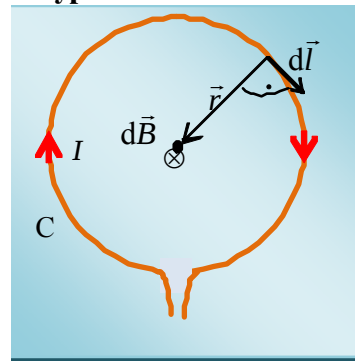
може да се определи магнетното поле на кружен спроводник. Од сликата 10.20 и релацијата (10.16) може да се заклучи дека магнетната индукција на сите елементи на струја од струјната контура е насочена према долу, нормално на рамнината на кружниот спроводник (нормално на рамнината на цртање).

Ознаката на магнетна идукција нормална на рамнината на цртањето према долу е $\otimes$, ако полето беше насочено према нас ќе ја користиме ознаката $\odot$. За овој симболизам е искористена аналогијата на стрела: кога се движи од нас, ја гледаме опашката $\otimes$, а кога се движи кон нас, го гледаме врвот $\odot$. Овие ознаки ќе ги користиме и во натамошниот текст.

Со оглед на тоа што геометријата на проблемот е таква што $d\vec{l} \perp \vec{r}$, релацијата 10.16 може да се запише во скаларн облик:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2}.$$

Бидејќи радиусот е константен, а контурата е кружница, тогаш Вкупната магнетна индукција B , ќе се добие со интегрирање по должината на кружната контура :



Сл. 10.20

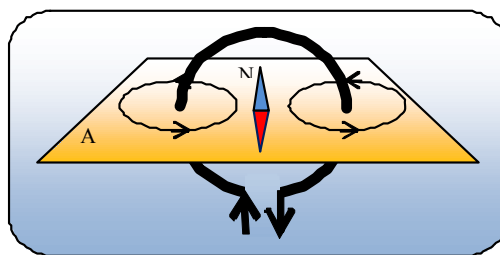
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \int_C dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} 2\pi r = \frac{\mu_0 I}{2r}. \quad (10.17)$$

По експериментален пат до оваа релација своевременно дошле Био и Савар, па затоа понекогаш се вика Био-Саваров закон.

Овој закон покажува дека една ваква кружна контура, која често во физиката се вика *магнетен лист*, се однесува како магнет. Правецот и насоката на магнетната индукција се опoredелуваат според правилото на десен винт, при што ако струјата тече во насока на вртењето на винтот, одот на винтот ја определува насоката на магнетната индукција.

Демонстрација

Демонстрацијата на магнетно поле на кружен спроводник се прави така што во струјно коло, поврзано со извор на ЕМС и отпорник се врзува еден магнетен лист. За таа цел спроводникот со форма на кружница се протнува низ картон како на сликата 10.21 и потоа се врзува во струјното коло. Кога една магнетна игла ќе се постави во центарот на кружницата, а потоа се врти рамнината на магнетниот лист (А), ќе се види дека магнетната игла секогаш се поставува нормално на рамнината на листот.



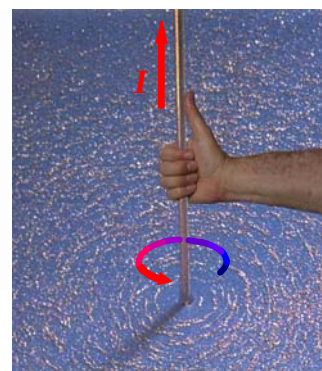
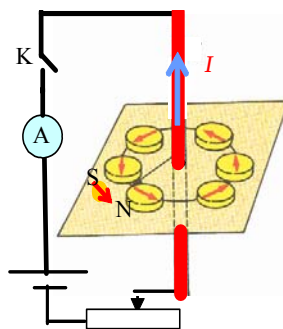
Сл. 10.21

Ако се посолат железни струготини на картонот А, магнетните силиви линии што се ќе се добијат потврдуваат дека магнетниот лист се однесува како тенок магнет.

10.4.2. Магнетно поле создадено од праволиниски спроводник

Со користење на Био-Савар-Лапласовиот закон може да се определи и магнетната индукција на праволиниски спроводник низ кој тече постојана струја I .

Претпоставуваме дека должината на спроводникот е многу поголема од нормалното растојание на точката во која што ја бараме магнетната индукција. Експериментите покажуваат дека магнетните силиви линии околу праволиниски спроводник се кружници (види слика 10.22), а

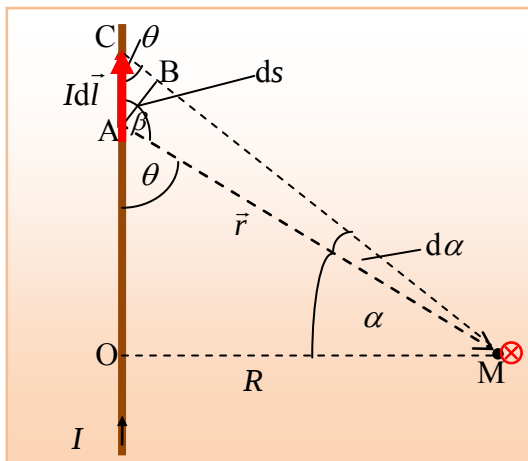


Сл. 10.22

поствените магнетни игли укажуваат дека насоката на векторот на магнетната индукција се определува со правилото на свиените прсти на десната рака (слика 10.22 десно).

Сликата 10.23 ќе ни помогне да ја определиме големината на векторот на магнетната индукција во точката М која се наоѓа на растојание R од праволинискиот спроводник.

За таа цел, на праволинискиот спроводник одделуваме елемент на струја $Id\vec{l}$, во однос кој точката М се наоѓа на местото определено со радиусвекторот $\vec{r}$. Овој елемент на струја во точката М создава елемент на магнетна индукција, чија што големина е дадена со:



Сл. 10.23

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin\beta}{r^2} \quad (10.18)$$

Овде аголот β е агол помеѓу векторите $(d\vec{l}, \vec{r})$. Од сликата се гледа дека

$$180^\circ - \beta = \theta; \sin\beta = \sin\theta; \quad AB \approx ds, \text{ а } \frac{ds}{dl} = \sin\theta$$

па

$$ds = dl \sin\theta \quad (10.19)$$

Значи, релацијата 10.18 може да се запише како:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{ds}{r} \frac{1}{r} \quad (10.20)$$

а во неа треба да се определат $\frac{ds}{r}$ и r . Како е :

$$\frac{ds}{r} = d\alpha \quad \text{и} \quad \frac{R}{r} = \cos\alpha \quad \text{следува} \quad r = \frac{R}{\cos\alpha} \quad (10.21)$$

Со внесување на овие вредности во 10.20 се добива:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\cos\alpha}{R} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cos\alpha \cdot d\alpha \quad (10.22)$$

Правецот и насоката на сите вектори $d\vec{B}$, создадени од сите елементи на струја се еднакви, насочени нормално на сликата кон внатре, па значи големината на векторот $\vec{B}$ е дадена со:

$$B = \int dB = \int_{\text{cel sprovodnik}} \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cos\alpha \, d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \cos\alpha \, d\alpha$$

или

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1) \quad (10.23)$$

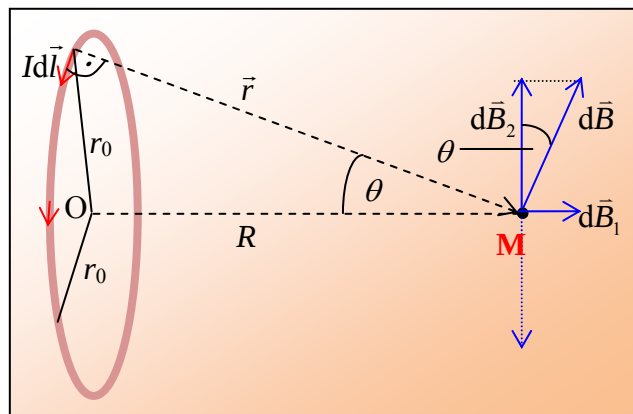
За бесконечно долг спроводник може да се земе дека $\alpha_1 = -\pi/2$, а $\alpha_2 = \pi/2$, па ќе се добие:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \left(\sin \frac{\pi}{2} - \sin \left(-\frac{\pi}{2} \right) \right) = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (1 + 1) = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (10.24)$$

Преку релацијата (10.23) и (10.24) може релативно лесно да се пресметуваат големините на векторот на магнетната индукција на кола кои се составени од праволиниски сегменти.

10. 4. 3. Магнетна индукција на магнетен лист и соленоид

За да ја определиме магнетната индукција што се создава во внатрешноста на еден соленоид низ којшто тече постојана струја, прво треба да ја решиме следнава задача: да ја определиме магнетната индукција што се создава од магнетен лист на некоја точка која лежи на оската на листот на растојание R од неговиот центар. Радиусот на листот е r_0 , а јачината на струјата што низ него тече е I .



Сл. 10.24

Елементот на струјата $Id\vec{l}$, во однос на кој точката М е одалечена на растојание r , создава елементарна магнетна индукција $d\vec{B}$, чија големина е дадена со релацијата:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dl}{r^2} \quad (10.25)$$

бидејќи векторот $d\vec{l}$ е нормален на радиусвекторот $\vec{r}$ па следува дека синусот на аголот меѓу нив е еднаков на 1.

Векторот на магнетната индукција $d\vec{B}$ може да се растави на две компоненти, првата $d\vec{B}_1$ (аксијална компонента) која е во насока на оската на магнетниот лист, а втората $d\vec{B}_2$ (радијална компонента) која е нормална на неа. За да ја добиеме вкупната магнетна индукција, треба да имаме предвид дека компонентите $d\vec{B}_2$ кои потекнуваат од идентичните и дијаметрално спротивните елементи на струја меѓусебно се поништуваат. Кон севкупната магнетна индукција придонесуваат само аксијалните компоненти, $d\vec{B}_1$, кои се дадени со:

$$dB_1 = dB \cdot \sin\theta \quad (10.26)$$

Аголот θ и растојанието r се за сите елементи на струја исти, па излегуваат пред интегралот. За индукцијата се добива:

$$B = \oint dB_1 = \frac{\mu_0 I \sin\theta}{4\pi r^2} \int_0^{2\pi} dl = \frac{\mu_0 I \sin\theta}{4\pi r^2} 2\pi r_0 = \frac{\mu_0 I r_0 \sin\theta}{2r^2},$$

а бидејќи

$$\sin\theta = \frac{r_0}{r}$$

тогаш магнетната индукција B може да се прикаже со една од следниве релации:

$$B = \frac{\mu_0 I \sin^3\theta}{2r_0} = \frac{\mu_0 I r_0^2}{2r^3} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{r_0^2}{(R^2 + r_0^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (10.27)$$

Оваа релација може да се искористи и за пресметување на магнетната индукција на полето на соленоид, со кружен пресек r_0 и должина L , ако вкупниот број на навивки е N . На должина dR бројот на навивки е

даден со : $\frac{NdR}{L}$, па ако тој број го помножиме со јачината на струјата

што тече низ соленоидот $\frac{NI dR}{L}$, тој дел од соленоидот може да се смета

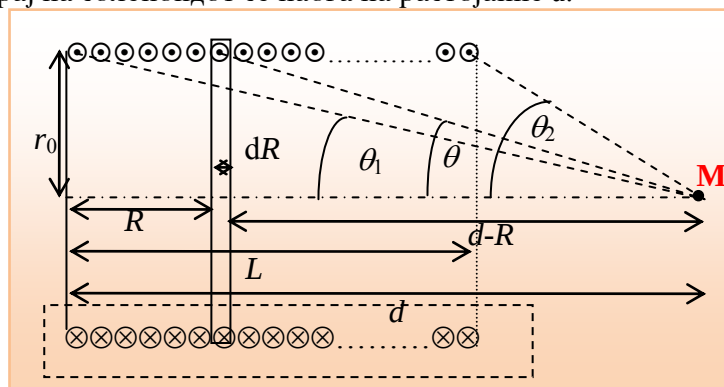
како магнетен лист со струја $\frac{NI}{L} dR$. Целиот соленоид може да се смета

како еквивалент на сума од такви кружни струи поставени на растојание dR .

За точките по должината на оската на соленоидот, елементарните магнетни индукции на одделните струјни контури имаат само аксијална компонента, па може алгебарски да се соберат. Со користење на првиот од изразите 10.27 во кој наместо струја се внесува изразот $\frac{NI}{L} dR$, за магнетната индукција на која било точка која од левиот крај на соленоидот е оддалечена за растојание R , се добива:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 NI}{2L} \int \frac{\sin^3 \theta}{r_0} dR \quad (10.28)$$

Меѓутоа нас не интересира магнетна индукција на точката М која од левиот крај на соленоидот се наоѓа на растојание d .



Сл.10.25

Од сликата 10.25 се гледа дека :

$$d - R = r_0 \cot \theta \quad \Rightarrow \quad dR = \frac{r_0}{\sin^2 \theta} d\theta \quad (10.29)$$

па ако ова се внесе во 10.28 се добива:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2L} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta \, d\theta = \frac{\mu_0 NI}{2L} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (10.30)$$

Во центарот на соленоидот $\theta_2 = \pi - \theta_1$ па следува дека $\cos(\pi - \theta_1) = -\cos \theta_1$. Оттука, за магнетната индукција се добива:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \cos \theta_1 \quad (10.31)$$

Со користење на врската меѓу косинусот и тангенсот:

$$\cos \theta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta_1}}, \text{ а имајќи предвид дека во тој случај } \tan \theta_1 = \frac{r_0}{L/2} \text{ за}$$

магнетната индукција се добива вредноста:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2r_0}{L}\right)^2}} \quad (10.32)$$

Ако должината на соленоидот е многу поголема од неговиот радиус $\frac{2r_0}{L} \rightarrow 0$, па за магнетната индукција се добива изразот:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (10.33)$$

Големината на магнетната индукција на крајот на соленоидот се добива кога во релацијата (10.30) ќе се стави $\theta_2 = \pi/2$, па е

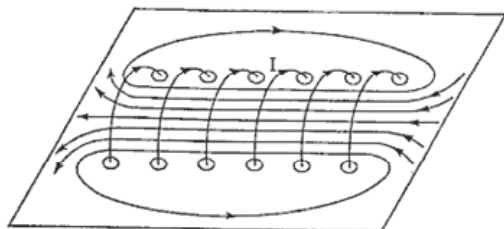
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2L} \cos \theta_1 = \frac{\mu_0 NI}{2L} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_0}{L}\right)^2}} \quad (10.34)$$

што за услов $L \gg r_0$ дава приближно:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2L} \quad (10.35)$$

Магнетна индукција на крајот на соленоидот е два пати послаба од магнетната индукција во неговата внатрешност.

Резултатот добиен со релацијата (10.33) се однесува за магнетната индукција во која и да било точка од внатрешноста на соленоидот, а не само по неговото средиште. Магнетното поле во внатрешноста на соленоидот е хомогено. На тоа укажува и формата на магнетните силиви линии добиени по експериментален пат (слика 10.26)



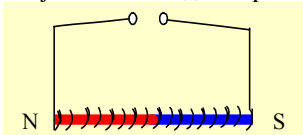
Сл. 10.26

Како што се гледа од цртежот (лево) и фотографијата (десно) магнетните силиви линии во внатрешноста на солениодот се паралелни прави, што укажува дека станува збор за хомогено поле.

ПРАШАЊА И ПРОБЛЕМИ

1. Одредете ја насоката на струјата и поларитетот на двата пола на изворот ако магнетната игла поставена под спроводникот се отклонува во насока покажана на сликата *a*.

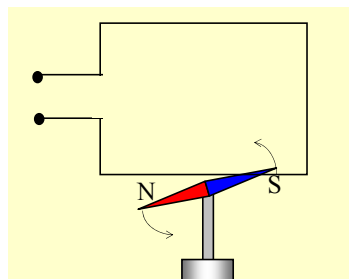
2. Ќе биде ли иста насоката на отклонувањето на магнетната игла од сликта *a* ако иглата ја поставиме над спроводникот? Објаснете го одговорот.



Сл. *b*

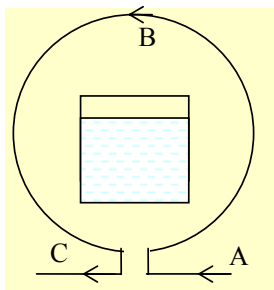
3. Одредете ги насоката на струјата и поларитетот на изворот на колото сл.б ако се познати магнетните полови на електромагнетот.

4. Кабелот од една столна ламба е поврзан со извор на постојан еднонасочен напон. Ако под кабелот се донесе магнетна игла ќе се покаже ли дејство на магнетното поле на кабелот врз магнетната игла? Ќе биде ли различен ефектот на иглата ако кабелот се поврзе со извор на наизменичен напон?



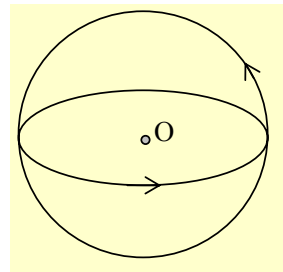
Сл. *a*

5. Во сад со масло постојат мали магнетни игли кои пливаат во течноста. Како ќе се постават магнетните игли ако садот со течноста се постави во внатрешноста на котура со форма на кружница поставена во вертикална рамнина. Насоката на струјата е прикажана на сликата *в*.



Сл. в

6. По две контури со форма на кружници во две заемно нормални рамнини (вертикална и хоризонтална) течат струи со иста големина на јачината на струјата и насока означена со стрелки на сликата $\bar{z}$. Определете ја насоката и правецот на магнетната индукција во заедничкиот центар на кружниците О.



Сл. $\bar{z}$

-Под кој агол ќе биде насочен векторот на магнетната индукција во однос на рамнината на секоја од контурите?

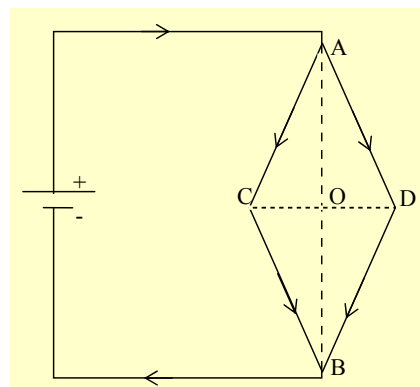
-Проанализирајте го случајот кога насоката на струјата во вертикалната рамнина ќе се промени.

- Каква ќе биде насоката на магнетната индукција во случајот кога насоката на струјата во вертикалната рамнина е како на сликата $\bar{z}$, но ќе се смени насоката на струјата во хоризонтално поставената кружница?

6. Темињата А и В на паралелограм од спроводници во форма на ромб се поврзуваат со извор на електричен напон како на сликата δ .

-Каква е магнетната индукција во центарот на паралелограмот, точката О?

- Каква ќе биде насоченоста на магнетната индукција во истата точка О, ако делот на паралелограмот АСВ е направен од бакарен спроводник, а делот АDB од алуминиумски спроводници со еднакви напречни пресеци?



Сл. δ

Пример задачи

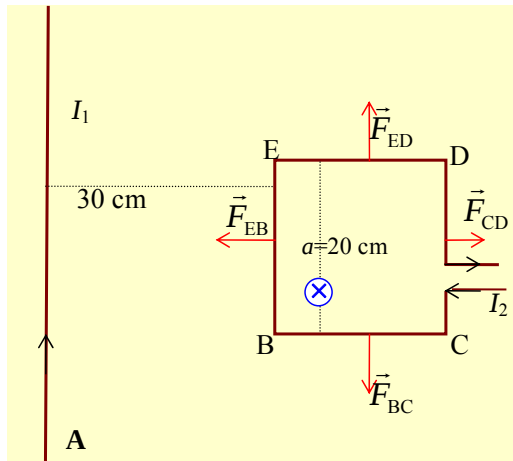
7. По вертикален спроводник на ѕидот од една зграда нагоре тече струја со јачина од $I=25$ А. Колкава е магнетната индукција во точка која се наоѓа 10 cm северно од спроводникот.

Решение

Според 10.24

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 25}{2\pi \cdot 0,1} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ Т.}$$

8. На сликата $\acute{z}$ е дадена заемната положба на бесконечно долгиот прав спроводник А и спроводна квадратна рамка BCDE низ која тече струја со јачина $I_2 = 10$ А. Низ спроводникот А тече струја со јачина $I_1 = 30$ А, а растојанијата помеѓу овие елементи се прикажани на сликата. Определете ја големината,



Сл. $\acute{z}$

правецот и насоката на силата со која бесконечно долгиот прав спроводник дејствува врз рамката. Да се претпостави дека спроводниците се нееластични.

Решение:

Рамката се наоѓа во нехомогено поле на бесконечно долгиот прав спроводник чија големина зависи од растојанието од оската на спроводникот:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Имајќи го тоа предвид, силите што дејствуваат на секоја од симетричните точки на

спроводниците ED и BC се еднакви по големина. Со оглед на тоа што низ овие спроводници тече постојана струја, но во спротивна насока, тоа силата $\vec{F}_{ED} = -\vec{F}_{BC}$ па за овие две сили не треба да се води сметка.

Големината на силата со која магнетното поле дејствува на спроводникот EB е:

$$|\vec{F}_{EB}| = I_2 EB B_{AB} \sin(\angle BE, \vec{B}_{AB})$$

Овде B_{AB} е големината на магнетната индукција на растојание $r = AB$. Бидејќи меѓу магнетната индукција (со насока кон внатре) и спроводникот BE аголот изнесува 90° тогаш:

$$F_{EB} = |\vec{F}_{EB}| = I_2 EB \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = \frac{10 \cdot 0,20 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 30}{2\pi \cdot 0,30} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

На аналоган начин се добива силата со кое полето на правиот спроводник дејствува врз спроводникот CD:

$$F_{CD} = |\vec{F}_{CD}| = I_2 CD \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(r+a)} = \frac{10 \cdot 0,20 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 30}{2\pi \cdot (0,30 + 0,20)} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Овие две сили се колинеарни, но спротивно насочени, така што врз рамката дејствува сила чија големина е еднаква на нивната разлика:

$$F = F_{EB} - F_{CD} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Силата е насочена кон правиот спроводник (види ја сликата)

9. Нееластичен спроводник низ кој тече струја со јачина од $I=10$ А, има форма на полукружница со радиус $R=10$ cm и два праволиниски дела со должина l . Спроводникот е поставен во хомогено магнетно поле со магнетна индукција која е нормална на рамнината на спроводникот и нејзината магнетна индукција изнесува $B = 10^{-3}$ Т. Должините на двата праволиниски дела е еднаква. Определете ја силата со која магнетното поле дејствува врз овој спроводник.

Решение:

Силите кои дејствуваат на двата праволиниски дела ($\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$) се еднакви по големина IBL , а спротивно насочени, па се урамнотежуваат. Резултантната сила ќе се должи на силата со која полето дејствува врз полукружниот спроводник.

За да ја решиме задачата ќе ја разбиеме полукружницата на бесконечно број бесконечно мали делови dl . На секој таков мал дел дејствува сила со големина dF :

$$dF = IBdl \cdot \sin(d\vec{l}, \vec{B})$$

Бидејќи аголот $(d\vec{l}, \vec{B}) = 90^\circ$ за бесконечно малата сила се добива:

$$dF = IBdl \text{ а } dl = R d\varphi.$$

Ако во рамнината на спроводникот се постави координатен систем xy , тогаш: y - компонентите на инфинитезимално малите сили се;

$$dF_y = dF \sin \varphi = IBR \sin \varphi d\varphi.$$

А целата сила е:

$$F = \int_0^\pi IBR \sin \varphi d\varphi = -IBR \cos \varphi \Big|_0^\pi = 2IBR = 2 \cdot 0,10 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}.$$