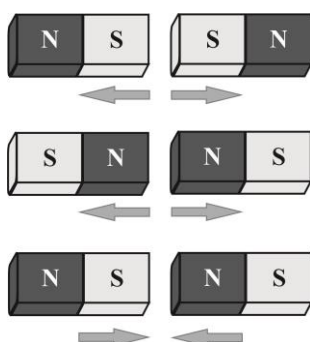


8. МАГНИТНО ПОЛЕ ВЪВ ВАКУУМ

Магнетизмът е раздел от физиката, който изучава едно от основните взаимодействия в природата – взаимодействието между движещи се електрични заряди, наречено **магнитно взаимодействие**.

1. Магнити

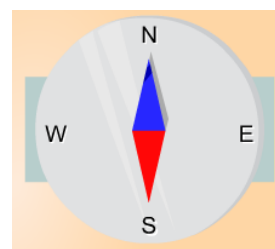
Исторически развитието на магнетизма започва преди около 3000 години, когато в местността Магнезия (Мала Азия) са открити късове руди, които привличат парчета желязо. Тези руди получават името на местността и са наречени **магнити**. В днешно време всички тела с подобни свойства, не само тези с естествен произход, се наричат магнити.



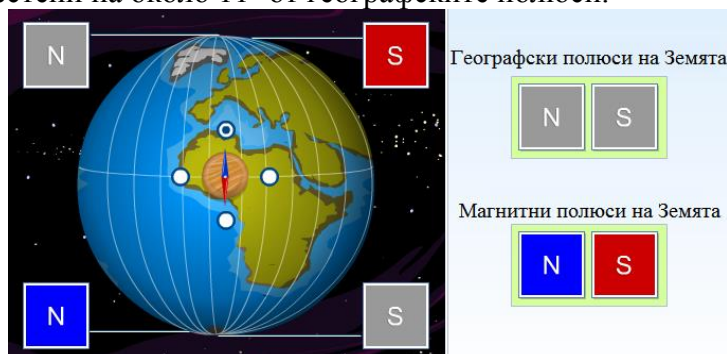
Не е възможно да се създаде магнит само с един полюс. Всеки магнит има два полюса – северен (**N**) и южен (**S**), които могат да съществуват само като свързана двойка. При изучаване на взаимодействието на два магнита е установено, че **едноименните полюси се отблъскват**, а **разноименните – се привличат**.

Тънка пръчка, изработена от намагнитена стомана се нарича **магнитна стрелка**.

Ако магнитната стрелка може да се движи свободно, тя винаги ще заема такава позиция, в която единият и край сочи към географския северен полюс, а другият край сочи към южния полюс. Краят на магнитната стрелка на компаса, който сочи на север се нарича северен полюс, а този който сочи на юг - южен полюс. Традиционно, северният полюс на магнита се маркира в синьо, а южният в червено. В компасите, маркировката на магнитната стрелка обикновено е различна.



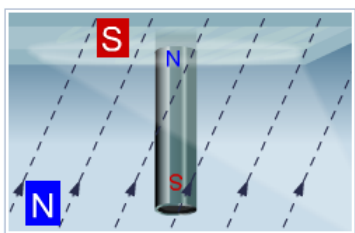
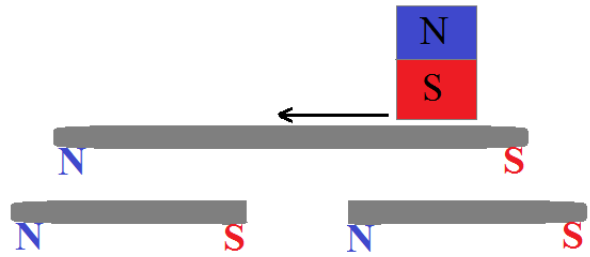
Фактът, че магнитната стрелка на компаса сочи географските посоки, доказва, че Земята има свое собствено магнитно поле. Като се има в предвид ориентацията на магнитната стрелка, можем да кажем че южният магнитен полюс на Земята се намира в близост до географския северен полюс и обратно. Прецизни измервания показват, че магнитните полюси на Земята са отместени на около 11° от географските полюси.



Някои тела могат да се превърнат в магнити, ако движим силен магнит до тях или ако ги поставим в силно магнитно поле за известно време. По този начин тези тела

също стават магнити. Телата, които могат да се намагнетизират, са направени от така наречените феромагнитни вещества. Затова магнитите привличат само феромагнитни тела. Сред феромагнитните вещества са желязото, никелът и кобалтът.

Нека намагнетизиране парче стоманена жица. Намагнетизирането, което означава, предаване на магнитни свойства на жицата, става чрез триене в един от полюсите на постоянен магнит в една и съща посока. Във всеки край на жицата се създават два магнитни полюса. Ако отрежем жицата на две ще получим две жици с магнитни свойства. Магнитните полюси са неделими.



Нека разгледаме намагнетизиране на желязна тръба, поставена в магнитното поле на Земята. На илюстрацията са показани желязната тръба и линии, указващи земното магнитно поле около нея. Показани са магнитните полюси на намагнетизираната тръба и магнитните полюси на Земята.

2. Магнитно поле на постоянен електричен ток

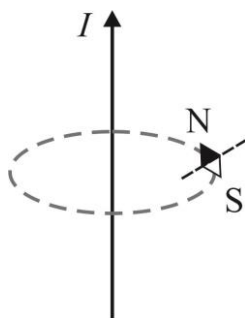
Подобно на електричните сили и магнитните сили действат на разстояние, т.е. магнитните взаимодействия също имат свой посредник – *магнитното поле*.

С няколко експериментални опита е установено, че около всеки проводник, по който тече ток или около всеки движещ се електричен заряд възникват нови свойства.

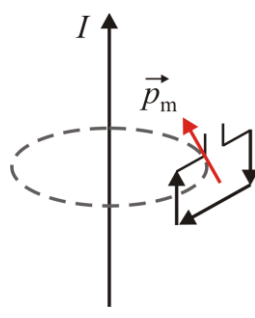
Опит 1: Магнитна стрелка поставена до проводник, по който тече електричен ток се завърта. Това е *опитът на Ханс Кристиан Оерстед*, проведен през 1820 г.

Опит 2: Правоъгълна рамка, по която тече електричен ток, поставена до проводник, по който тече електричен ток, се завърта.

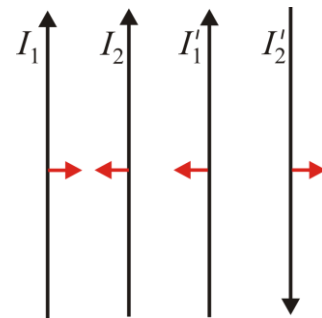
Опит 3: Два проводника, по които тече електричен ток, поставени успоредно един на друг, се привличат или отблъскват в зависимост от посоката на тока в проводниците. С този опит през 1820 г. Андре-Мари Ампер формулира така наречения *закон на Ампер*.



Опит 1.
Магнитна стрелка до проводник с ток.



Опит 2.
Правоъгълна рамка до проводник с ток.



Опит 3.
Два проводника, по които тече ток.

За да се обяснят наблюдаваните явления, най-напред Оерстед е предположил, че в пространството около всеки проводник, по който тече електричен ток, се поражда **постоянно магнитно поле**. Когато вместо магнитна стрелка (опит 1), в магнитното поле на проводника с ток се постави друг проводник, по който тече ток (правоъгълна рамка (опит 2) или прав проводник (опит 3)), то върху него също действат магнитни сили, подобни на тези, създадени от постоянните магнити. Следователно, магнитното поле се създава не само от постоянни магнити, но и от електрични токове (движещи се електрични заряди).

Така около всеки движещ се електричен заряд или електричен ток винаги има две полета - **електрично и магнитно**. Важно е да се отбележи, че *неподвижните електрични заряди създават само електростатично поле и не създават магнитно поле*.

3. Индукция на магнитното поле

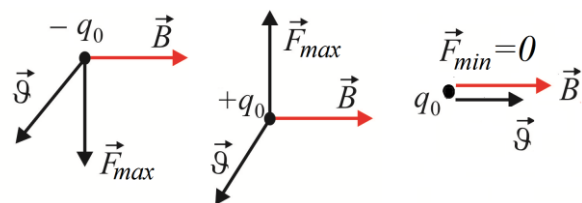
Физичната величина, която характеризира магнитното поле във всяка точка от пространството, се нарича **магнитна индукция или индукция на магнитното поле** \vec{B} . Тя е векторна величина и има големина и посока.

Посоката на магнитното поле съвпада с посоката, която сочи северният полюс на магнитната стрелка, поставена в полето. Това е посоката и на магнитната индукция.

За да се определи големината на магнитната индукция \vec{B} , е изследвана магнитната сила, действаща на движещ се електричен заряд q_0 със скорост \mathcal{G} . Опитно е установено:

а) Магнитните сили действат само на движещи се заряди;

б) Магнитната сила зависи от посоката на движение на заряда: силата е нула, когато зарядът се движи успоредно на магнитната индукция и е максимална, когато зарядът се движи перпендикулярно на магнитната индукция.



в) Максималната магнитна сила е пропорционална на големината на заряда q_0 и на неговата скорост \mathcal{G} : $F_{\max} \propto q_0 \mathcal{G}$

Опитът показва, че за дадена точка от полето отношението $\frac{F_{\max}}{q_0 \mathcal{G}}$ не зависи от големините на q_0 и \mathcal{G} и характеризира магнитното поле в тази точка.

Големината на магнитната индукция B се дефинира като максималната сила, действаща на единица заряд движещ се с единица скорост:

$$B = \frac{F_{\max}}{q_0 \mathcal{G}}. \quad (1)$$

Мерната единица за магнитна индукция е **тесла**: $[B] - T$.

От уравнение (1) следва, че $1T = \frac{1N}{C \cdot \frac{m}{s}} = \frac{1N}{A \cdot m}$, $1A = \frac{1C}{s}$

Индукцията на магнитното поле е една **тесла (T)**, когато то действа с магнитна сила един нютон (N) върху проводник с дължина един метър (m), по който тече ток един ампер (A): $1T = \frac{1N}{A \cdot m}$.

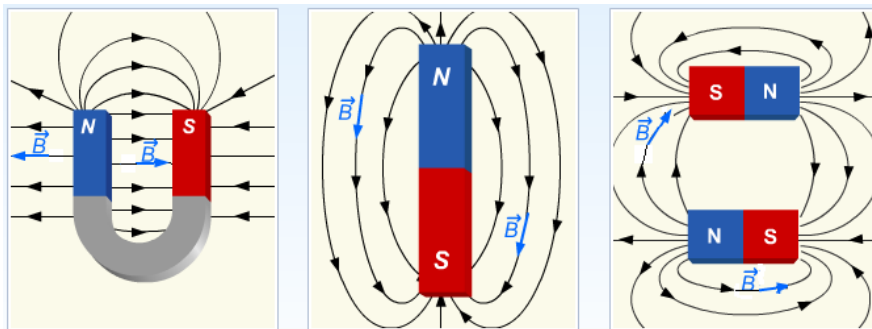
3. Силови линии

За геометрично изобразяване на магнитната индукция се въвеждат **магнитни силови линии**, наречени **индукционни линии**.

Магнитните силови линии са линии, във всяка точка на които, векторът на магнитната индукция \vec{B} е тангенциален и е насочен по допирателната към линията, преминаваща през тази точка.

Силовите линии на постоянен магнит излизат от северния му полюс (N) и влизат в южния му полюс (S). Силовите линии на магнитното поле, създадено от различни конфигурации на проводници, са различни. Гъстотата на силовите линии в дадена безкрайно малка област показва колко силно е магнитното поле в тази област.

Магнитните силови линии се онагледяват чрез прах от железни стърготини посипан върху картон или плексиглас. На фигурата са показани силовите линии на постоянен подковообразен магнит, на постоянен пръчковиден магнит и на система от два постоянни пръчковидни магнита.



Магнитните силови линии са **затворени линии** или **идват от безкрайността и се втичат пак в безкрайността** (силовата линия не започва никъде в полето и не завършва никъде в него). Това е свързано с факта, че в природата не съществуват магнитни заряди, аналогични на електричните заряди. Поле със затворени силови линии се нарича **вихрово поле**. Следователно, **магнитното поле е вихрово поле**.

4. Интензитет на магнитното поле

Когато проводник с ток се намира в дадена материална среда, наред с макротокът, който тече по проводника, съществуват и микротокове, които могат да бъдат източници на магнитни полета. Според хипотезата на Ампер, микротоковете се създават от кръговото движение на електроните около ядрата на атомите, изграждащи веществото на средата. Те имат свойствата на микроскопични магнити и при поставянето им във външно магнитно поле се ориентират по определен начин. Така магнитното поле, създадено от микротоковете на даденото вещество, в зависимост от неговите магнитни свойства, може да усилва или отслабва външното магнитно поле. В

резултат на това, магнитните полета в различните вещества при едно и също външно магнитно поле ще са различни.

Затова се въвежда една нова векторна величина, независеща от свойствата на средата и характеризираща магнитното поле, създадено от макротоковете - **интензитет на магнитното поле**.

Интензитетът на магнитното поле \vec{H} се дефинира с уравнението:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}, \quad (2)$$

където μ_0 е **магнитната проницаемост на вакуума** или **магнитна константа** и има числена стойност: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/м, а μ е **относителната магнитна проницаемост на средата (веществото)** и е безразмерна величина.

Мерната единица за интензитет на магнитното поле е ампер на метър: $[H] = \frac{A}{m}$.

- За вакуум магнитната индукция се дава с формулата: $\vec{B}_{\text{вак.}} = \mu_0 \vec{H}$.
- Когато средата не е вакуум, магнитната индукция се дава с формулата: $\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$.

Магнитната проницаемост на средата показва колко пъти индукцията на магнитното поле B в средата е по-голяма от индукцията на магнитното поле $B_{\text{вак.}}$ във вакуум и може да се представи със следната формула: $\mu = \frac{B}{B_{\text{вак.}}}$.

За повечето вещества $\mu \approx 1$, като за диамагнетичите е $\mu < 1$ (те отслабват външното магнитно поле), а за парамагнетичите $\mu > 1$ (те усилват външното магнитно поле). Феромагнетичите са вещества, които имат добри магнитни свойства, като за тях $\mu \gg 1$ (те усилват външното магнитно поле с няколко порядъка). Феромагнитните вещества имат $\mu = 10^3 - 10^6$ и такива са желязо, никел, кобалт, платина.

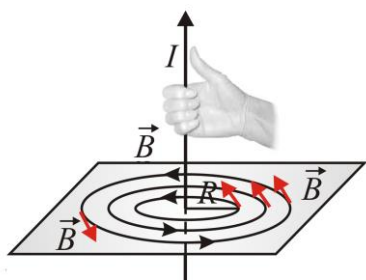
Магнитната проницаемост μ на някои вещества е дадена в таблицата.

Парамагнитни вещества	μ	Диамагнитни вещества	μ
Кислород	1,0000021	Вода	0,9999991
Алуминий	1,000023	Мед	0,9999902
Хром	1,00027	Бисмут	0,999983

5. Магнитно поле на дълъг прав проводник, по който тече ток

Както показва опита на Оерстед, проводник, по който тече електричен ток създава магнитно поле. Вида на полето зависи от формата и размерите на проводника.

Магнитните силови линии около прав проводник, по който тече ток I , приемат формата на концентрични окръжности. Във всяка точка на полето магнитната индукция \vec{B} е насочена по допирателната към тези окръжности.



Посоката на \vec{B} може да се определи с правилото на дясната ръка: ако проводникът се хване с дясната ръка, така че палецът да показва посоката на тока в него, а свитите пръсти да го обхванат, то свитите пръсти ще показват посоката на силовите линии на магнитното поле.

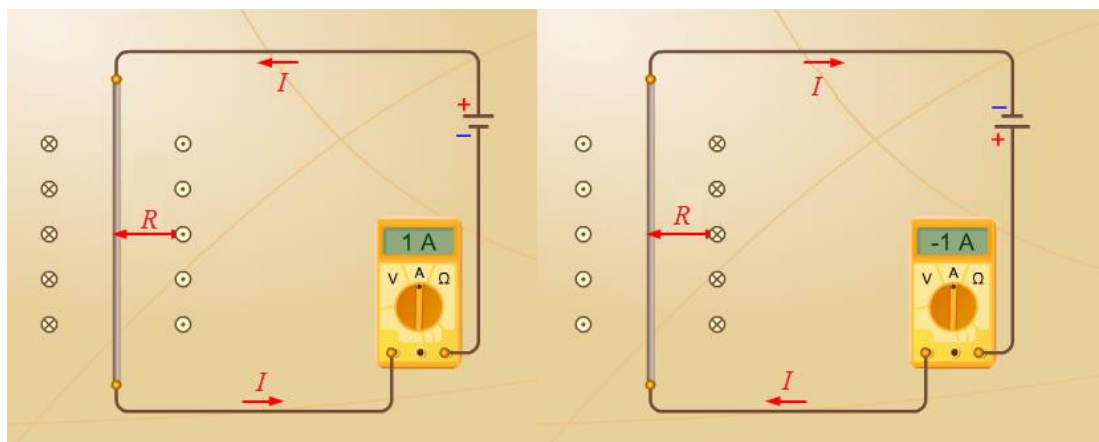
Установено е, че големината на магнитната индукция, създадена от дълъг прав проводник, по който тече ток е право пропорционална на големината на тока I и обратно пропорционална на разстоянието R до проводника:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (3)$$

Уравнение (3) показва, че магнитната индукция на безкраен праволинеен проводник, по който тече ток, в дадена точка, зависи от големината на тока и от разстоянието от точката до проводника. Това означава, че във всички точки от пространството, намиращи се на еднакво разстояние R от проводника, магнитната индукция B има постоянна големина.

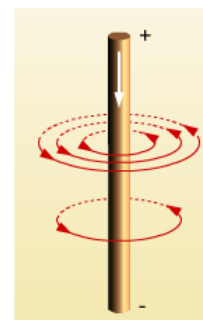
Ако токът нарастне 2 пъти и индукцията B ще нарастне два пъти.

Ако се промени посоката на тока, посоката на \vec{B} става противоположна на първоначалната. Ако проводникът лежи в равнината на листа и са указани двете различни посоки на протичане на тока I , то посоката на \vec{B} е означена с \otimes когато е от нас към листа и с \odot когато е от листа към нас. Ако $R = 5\text{cm}$, $I = 1\text{A}$, то $B = 0,4 \cdot 10^{-5}\text{T}$.

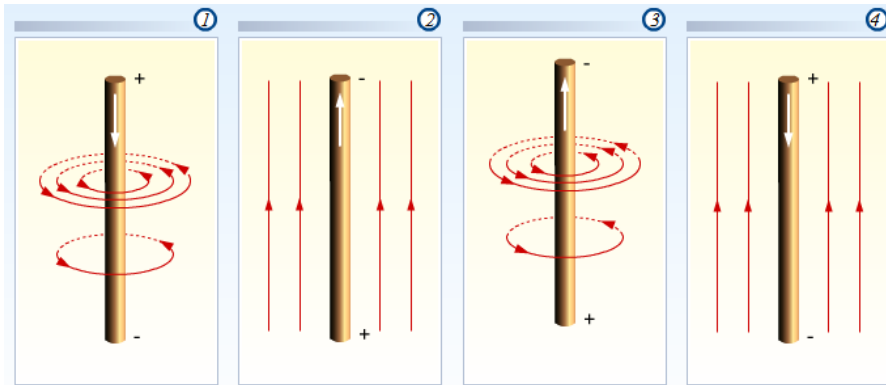


Задача 1. Въведете липсващата стойност на B .

I, A	R, cm	$B \cdot 10^{-7}, \text{T}$
0.1	2	
0.1	4	
1	3	
1	5	
2	1	

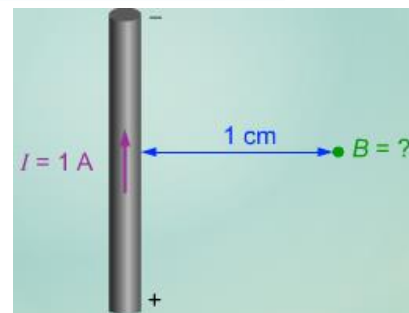


Задача 2. Маркирайте картинките, които дават вярна представа за линиите на полето на проводник, по който тече ток.



Задача 3.

Пресметнете индукцията на магнитното поле на разстояние 1 cm от проводника и след това означете посоката на вектора на магнитнитната индукция.

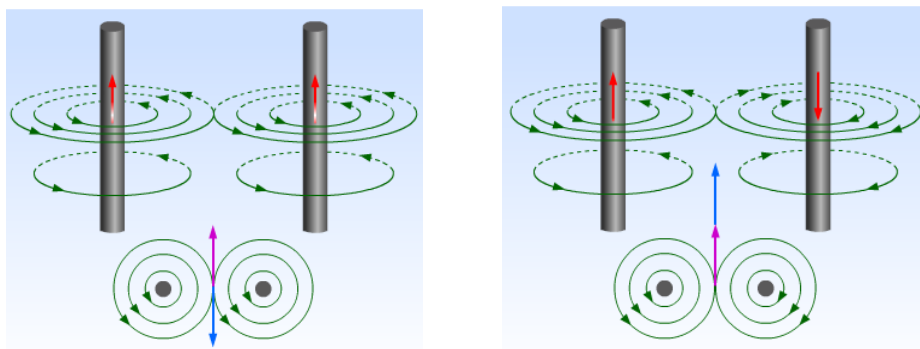


Принцип на суперпозицията

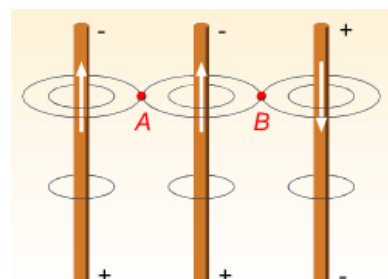
Векторът на индукцията на магнитно поле, създадено от няколко източници на магнитно поле, ще е векторна сума от векторите на индукция на магнитнитните полета, създадени от отделните токове или постоянни магнити:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots$$

Когато два проводника, по които тече електричен ток, се поставят близо един до друг, техните полета се припокриват. Във всяка точка векторът на индукцията на резултатното поле ще е векторна сума от векторите на индукция на магнитнитните полета, създадени от двата проводника. Ако променим посоката на тока в единия проводник, резултатното магнитно поле също ще се промени.

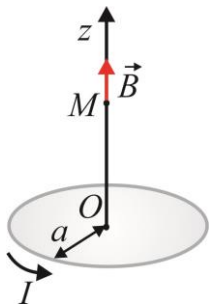


Задача 4. Каква е посоката на магнитната индукция на резултатното поле на два проводника, по които тече ток, в точките А и В?



6. Магнитно поле на кръгов ток

Разглеждаме проводник с форма на окръжност с радиус a , по който тече постоянен ток I . Установено е, че големината B на магнитната индукция на полето в произволна точка M , от оста z , която е перпендикулярна на окръжността и минава през нейния център O може да се изрази с формулата:



$$B = B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{a^2}{(a^2 + z^2)^{3/2}}. \quad (4)$$

При означената посока на тока, векторът \vec{B} е насочен по посока на оста z .

За големината на магнитната индукция в центъра на кръга т. O , където $z = 0$ от уравнение (4) се получава:

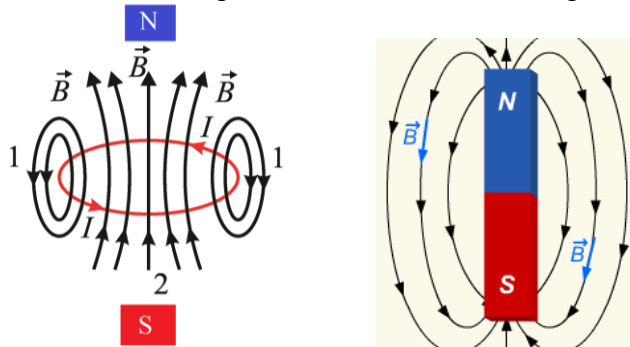
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2a}. \quad (5)$$

В случая когато $z \gg a$, от уравнение (4) след кратки преобразувания, за големината на магнитната индукция се получава:

$$B_\infty = \frac{\mu_0 I a^2}{2z^3}. \quad (6)$$

Магнитите силови линии в случай на кръгов ток са два вида:

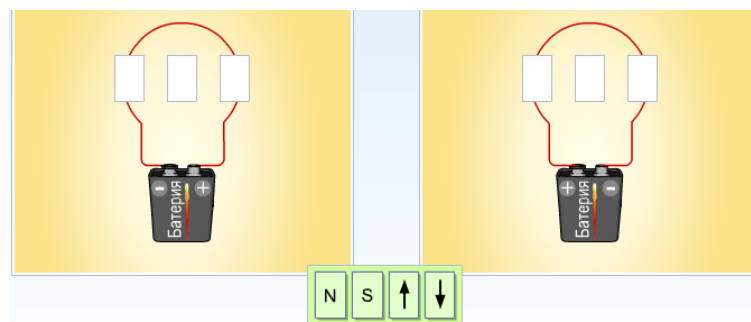
- 1 – затворени линии, които обхващат проводника;
- 2 – линии, които идват от безкрайността и отиват в безкрайността.



Кръговата навивка от проводник, по който тече ток, създава магнитно поле, което е подобно на това на къс пръчковиден магнит. В зависимост от посоката на тока от едната страна на навивката се формира северният полюс, а от другата страна съответно южният полюс. Силовите линии излизат от едната страна на кръговия проводник и влизат от другата. Знаем, че силовите линии са насочени от северния към южния полюс, така че страната, от която излизат силовите линии, е северният полюс.

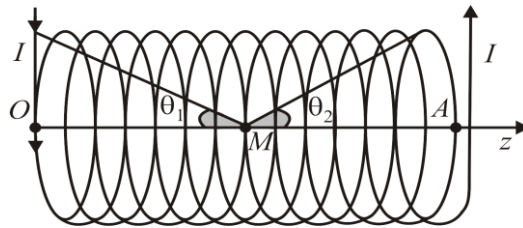
Задача 5.

Посочете посоката на тока по кръговите проводници и маркирайте магнитния полюс, създаден пред наблюдателя.



7. Магнитно поле на соленоид – намотка

Разглежда се проводник във форма на соленоид (N на брой кръгови намотки), по който тече постоянен ток I .



Установено е, че големината на магнитната индукция \vec{B} на полето в произволна точка M , се получава:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2), \quad (7)$$

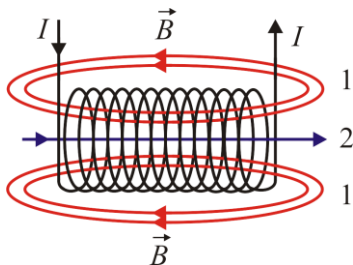
където n е броят навивки на единица дължина $n = \frac{N}{l}$ (l е дължината на соленоида OA).

Ъглите θ фиксират положението на т. M спрямо краищата на соленоида.

При безкраен соленоид ъглите са равни, клонящи към нула: $\theta_1 = \theta_2 \rightarrow 0^\circ$, следователно $\cos \theta_1 = \cos \theta_2 = 1$. Замествайки в уравнение (7), за магнитната индукция се получава:

$$B_\infty = \mu_0 n I. \quad (8)$$

От уравнение (8) следва, че магнитната индукция на безкраен соленоид зависи линейно от големината на протичащия ток и от броя навивки на единица дължина.



Магнитите силови линии в случай на соленоид са два вида:

- 1 – затворени линии, които обхващат проводника;
- 2 – успоредни линии, които идват от безкрайността и отиват в безкрайността. Тези линии визуализират еднородното магнитно поле вътре в соленоида. Магнитната индукция е еднаква във всяка точка вътре в соленоида, освен близо до краищата и.

Един соленоид може да се разглежда като система от свързани кръгови токове. В резултат на това магнитното поле на соленоида е по-силно от това на един кръгов ток, а формата му пресъздава формата на магнитно поле около пръчковиден магнит. Магнитното поле вътре в соленоида е хомогенно, еднородно, докато в краищата му леко се изкривява.

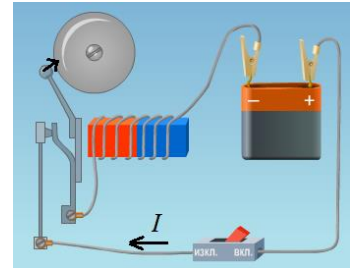
Задача 6.

Попълнете характеристиките на полето на соленоид.

1. Индукцията в намотката **е по-голяма/ е по-малка/ не се променя** в зависимост от околната среда.
2. Индукцията в намотката **е по-голяма/ е по-малка/ не се променя** в краищата.
3. Индукцията в намотката **е по-голяма/ е по-малка/ не се променя** с промяна в разстоянието от остта на намотката.
4. Индукцията в намотката **е по-голяма/ е по-малка/ не се променя** с промяна в разстоянието до краищата на намотката.

Електромагнитът представлява соленоид, във вътрешността на който е поставен феромагнитна сърцевина – желязва сърцевина, мека стомана. Когато в соленоида се постави вещество с относителна магнитна проницаемост μ , то коефициентът на пропорционалност в уравнение (8) ще е $\mu_0\mu$. Тъй като относителната магнитна проницаемост μ на феромагнетиките е голяма, то полето създадено от соленоида намагнитва сърцевината. Тя създава собствено магнитно поле, което многократно ще усилва магнитното поле на тока, течащо по соленоида. За разлика от постоянните магнити желязната сърцевина се размагнитва след спиране на тока. Затова магнитното поле на електромагнита може да се контролира чрез тока, който тече по навивките. С електромагнити бързо и точно се предвиждат лостове, затварят се или се прекъсват електрически вериги, което ги прави незаменими елементи в много автоматични устройства – електрични релета, телфери, електромагнитни кранове, звънци и др.

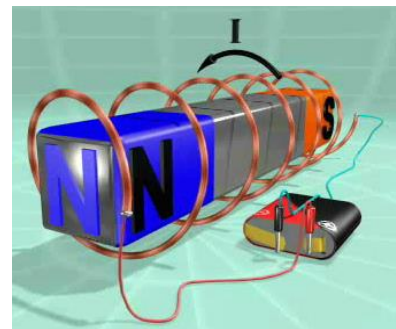
Звънец - При включване на ключа, протича електричен ток през намотката, тя се превръща в електромагнит и привлича желязната пластина, което води до удряне на топчето по звънеца.



Задача 7.

Посочете свойствата на електромагнита.

1. На електромагнита трябва да се подаде електричен ток, за да работи.
2. Магнитното поле на феромагнитната сърцевина е по-силно от това на соленоида.
3. Феромагнитната сърцевина създава магнитно поле в соленоида.
4. Ако електромагнитът се изключи, той не създава магнитно поле.
5. Когато електромагнитът се изключи, той продължава да създава магнитно поле.



Част от фигурите са взаймствани от сайта <http://start.e-edu.bg/>, на който можете да наблюдавате и пълните анимации на някои от физичните явления.