

## Электромагнетизм

Электромагнетизм – раздел физики, изучающий взаимодействие движущихся электрически заряженных частиц (тел), осуществляемое магнитным полем. Вблизи Магнесии были открыты свойства железной руды ( $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ) притягивать железные предметы и сообщать им магнитные свойства.

Электродинамика – классическая теория электромагнитных процессов в различных средах и в вакууме. Термин «электродинамика» ввёл в физику А.М. Ампер, его можно считать создателем электродинамики.

Магнитное поле – форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрическими зарядами (электрическими токами). Магнитное поле создаётся движущимися электрическими зарядами (электрическим током), является частным проявлением единого электромагнитного поля.

Полуса магнитов неразделимы, но гипотеза о существовании магнитных монополей не противоречит теории. Их поиски не прекращаются как в космосе, так и в земных экспериментах. Многие свойства магнитных монополей исследованы теоретически.

## Магнитная индукция

Элемент тока  $I_{\Delta l}$  – физическая величина, определяемая произведением силы тока  $I$  на элемент (достаточно малый участок)  $\Delta l$  проводника, по которому он протекает (рис. 1). Используется при изучении магнитного поля (аналогично пробному заряду  $q_{пр}$  в электростатике и массе  $m_{пр}$  при исследовании гравитационного поля):

$$[I_{\Delta l}] = Ам \text{ (ампер-метр)}.$$

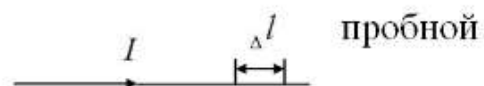


Рис. 1

Магнитная индукция  $\vec{B}$  – векторная физическая величина, характеристика магнитного поля, определяемая силой  $\vec{F}$ , с которой магнитное поле действует на единичный элемент тока  $I_{\Delta l}$ , находящийся в магнитном поле (аналогично вектору напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля в электростатике или напряжённости  $\vec{g}$  гравитационного поля, но, в отличие от векторов напряжённости электростатического или гравитационного полей, вектор магнитной индукции не является силовой характеристикой магнитного поля):

$$B = \frac{F}{I_{\Delta l}}, \quad [B] = Тл \text{ (тесла; Н. Тесла)}.$$

### Линии магнитной индукции

Линии магнитной индукции – воображаемые линии, при помощи которых графически изображается магнитное поле. При построении линий магнитной индукции пользуются следующими правилами:

1) Касательная к линии магнитной индукции в каждой точке совпадает с вектором магнитной индукции  $\vec{B}$  поля в этой точке (аналогично силовым линиям напряжённости  $\vec{E}$  в электростатике или линиям напряжённости  $\vec{g}$  гравитационного поля, но линии магнитной индукции не силовые) (рис. 2а).

2) Магнитное поле является вихревым (в отличие от электростатического), то есть линии магнитной индукции всегда замкнуты (в отличие от всегда разомкнутых силовых линий напряжённости электростатического поля), следовательно, в природе отсутствуют

«магнитные заряды» (в отличие от реально существующих электрических зарядов в электростатике). Направление линий магнитной индукции определяется мнемоническим правилом буравчика.

Если ввинчивать буравчик (шуруп, болт, винт, лампочку и т. п.) по направлению тока, то движение концов его рукоятки укажет направление линий магнитной индукции магнитного поля, создаваемого этим током  $I$  (рис. 2б).

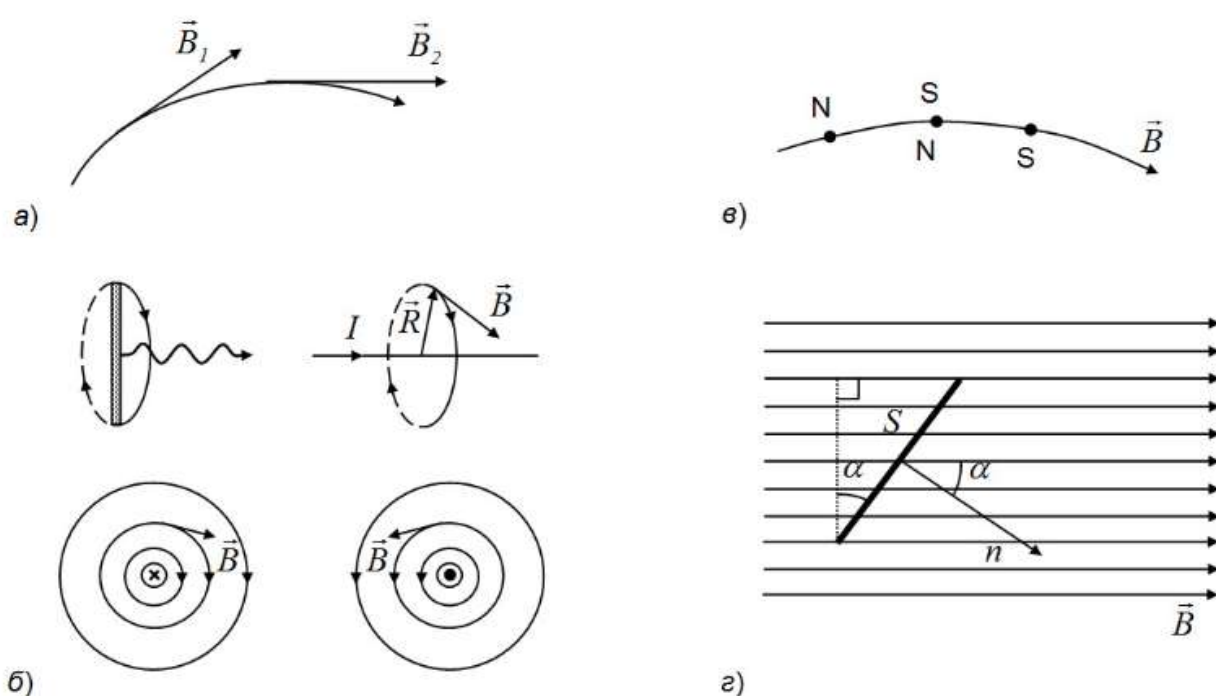


Рис. 2

Направлением линий магнитной индукции  $B$  условно считается направление от северного магнитного полюса  $N$  к южному магнитному полюсу  $S$ . Вследствие замкнутости линий магнитной индукции о магнитных полюсах можно говорить только на участках (отрезках) этих линий (или на участках магнитных полей) (рис. 2в).

3) Линии магнитной индукции не пересекаются и не соединяются между собой, так как в каждой точке поля вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  имеет одно направление (аналогично силовым линиям напряжённости в электростатике).



4) В любой точке поля плотность линий магнитной индукции равна численному значению магнитной индукции  $B$  поля в этой точке.

Однородное магнитное поле – поле, у которого во всех точках одинаков вектор магнитной индукции  $\vec{B}$ , а линии магнитной индукции параллельны друг другу (одинаковая плотность, то есть густота, линий; рис. 2г). Магнитное поле внутри катушки с током можно считать однородным.

### Принцип суперпозиции магнитных индукций магнитных полей

Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  данной точки магнитного поля, созданного несколькими электрическими токами (или движущимися зарядами), равен векторной сумме магнитных индукций  $\vec{B}_i$  полей, создаваемых в данной точке каждым током (или движущимся зарядом) в отдельности:

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

или

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

### Примеры магнитных полей

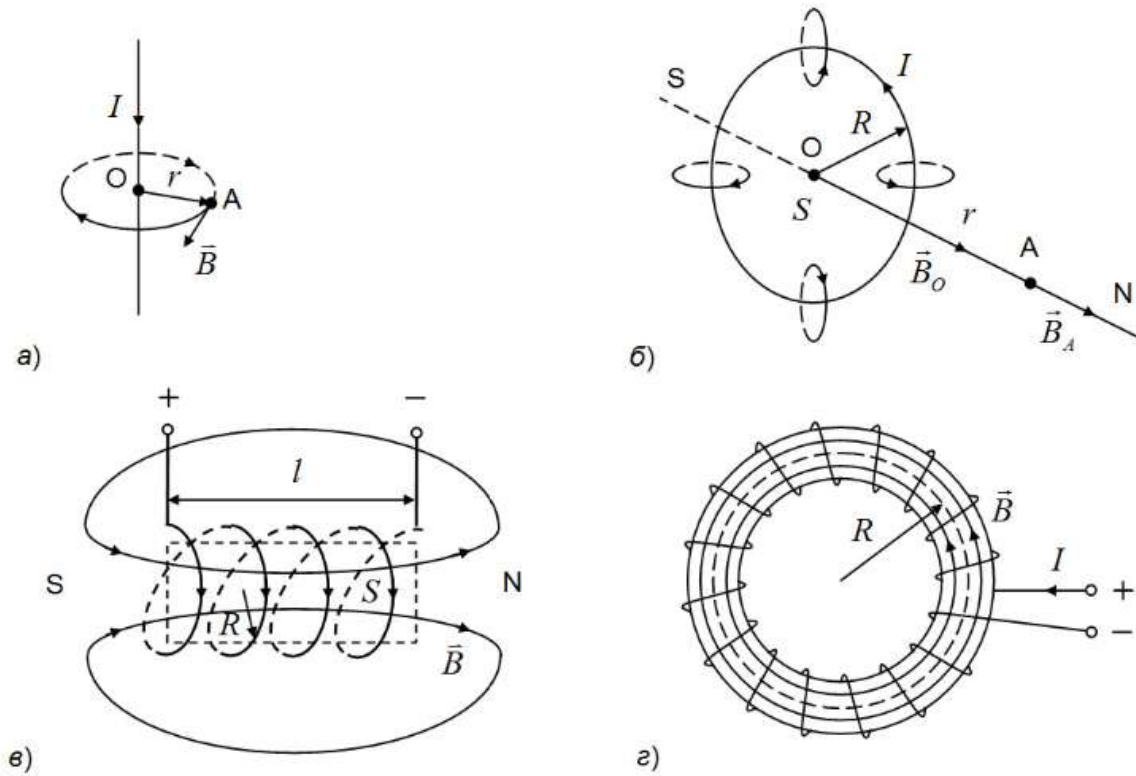


Рис. 8

Соленоид – намотанный на цилиндрическую поверхность проводник (проволока), по которому течёт электрический ток.

Направление вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  в катушке с током определяется по мнемоническому правилу правой руки.

Если расположить правую руку, сжатую в кулак, так, чтобы направление четырёх пальцев совпадало с направлением тока в катушке, то направление выпрямленного большого пальца совпадёт с направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  в катушке с током.

### Гипотеза Ампера (Теорема Ампера)

А.М. Ампер объяснил существованием внутри него замкнутых круговых (кольцевых, молекулярных) электрических токов, каждый из которых эквивалентен плоскому магниту (магнитному листку) и создаёт магнитное поле. Предложил модель атома в виде шарика, обтекаемого током. По Амперу, большой магнит состоит из огромного количества таких элементарных плоских магнитов.

Если ориентации этих магнитов (и соответственно круговых токов):

- 1) одинаковые – вещество обладает магнитными свойствами (рис. 13а);
- 2) хаотические – вещество не обладает магнитными свойствами (рис. 13б).

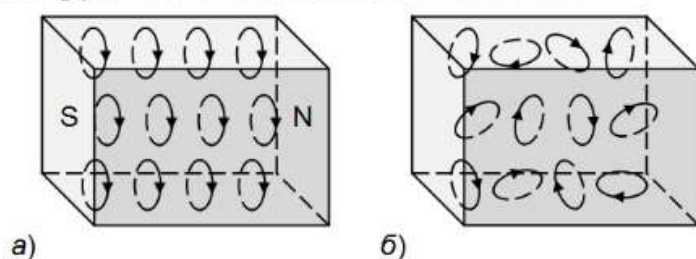


Рис. 13

Магнитная проницаемость среды  $\mu$  – безразмерная величина, показывающая, во сколько раз магнитное поле макротоков усиливается за счёт поля микротоков среды.

### Сила Лоренца

Х.А. Лоренц дал выражение силы, действующей на движущийся заряд в магнитном поле (сила Лоренца).

Сила Лоренца  $F_L$  – сила, действующая на электрический заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $v$  в магнитном поле с индукцией  $B$ :

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

где:  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ .

Направление действия силы Лоренца определяется мнемоническим правилом левой руки.

Если расположить левую руку так, чтобы вытянутые четыре пальца указывали направление скорости  $\vec{v}$  движения положительной частицы (рис. 21а) (или направление противоположное скорости  $\vec{v}$  движения отрицательной частицы (рис. 21б), а линии магнитной индукции  $\vec{B}$  входили в ладонь под прямым углом (при  $\alpha = 90^\circ$ ), то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы  $\vec{F}_L$ , действующей со стороны поля на движущийся заряд  $q$ .

### Сила Ампера (Правило Ампера)

Сила Ампера  $\vec{F}_A$  – сила, действующая на прямолинейный проводник длиной  $l$  с током  $I$ , находящийся в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ ; является суммой сил Лоренца, действующих на свободные заряды (электроны), движущиеся в проводнике с током (рис. 35):

Учитывая связь между параметрами:

$$F_A = BIl \sin \alpha, \quad I = qn\langle v \rangle S, \quad l = \frac{V}{S}, \quad nV = N, \quad Bq\langle v \rangle \sin \alpha = F_L,$$

получим:

$$F_A = BIl \sin \alpha = Bqn\langle v \rangle S \frac{V}{S} \sin \alpha = Bqn\langle v \rangle V \sin \alpha = Bq\langle v \rangle N \sin \alpha = N F_L,$$



где:  $\alpha$  – угол между вектором  $\vec{B}$  и проводником с током (направлением силы тока  $I$ );

$N$  – число свободных зарядов (электронов) в проводнике с током на участке  $l$ .

Направление действия силы Ампера определяется мнемоническим правилом левой руки.

Если расположить левую руку так, чтобы вытянутые четыре пальца указывали направление тока  $I$ , а линии магнитной индукции  $\vec{B}$  входили в ладонь (при  $\alpha = 90^\circ$ ), то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы  $\vec{F}_A$ , действующей со стороны поля на проводник с током (аналогично правилу левой руки для определения направления действия силы Лоренца  $\vec{F}_L$ ).

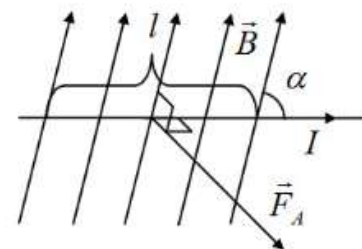


Рис. 35