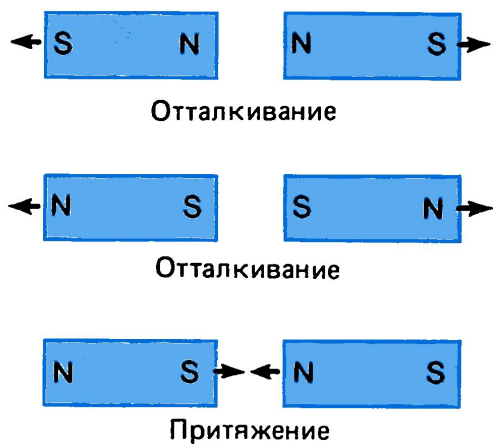


Природные магниты



Стрелка компаса рядом с магнитом

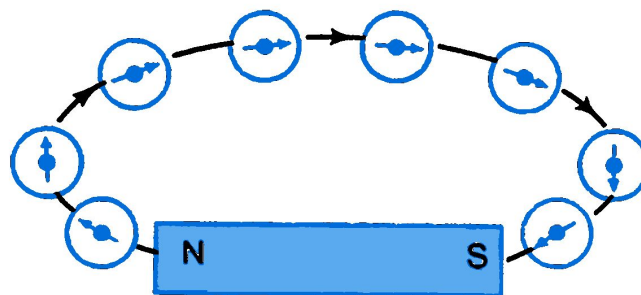
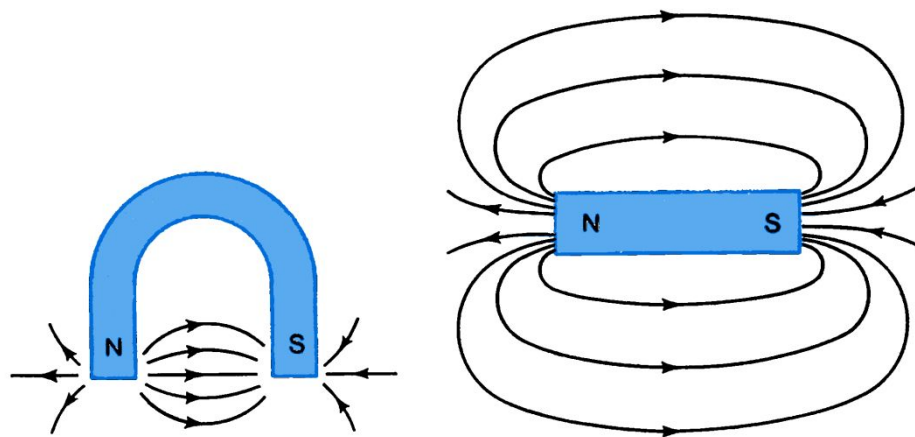
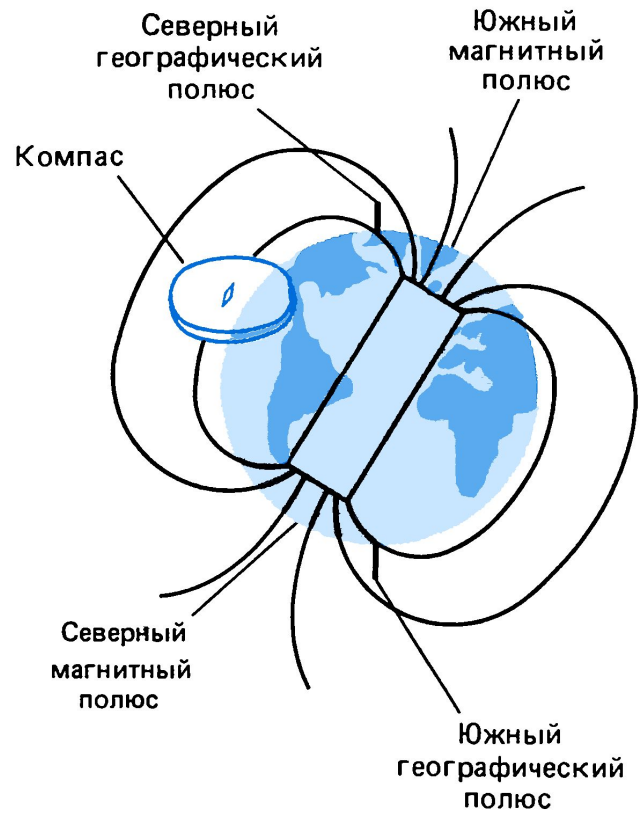


Рис. 28.1. Одноименные полюса магнитов отталкиваются, разноименные притягиваются.

Силовые линии



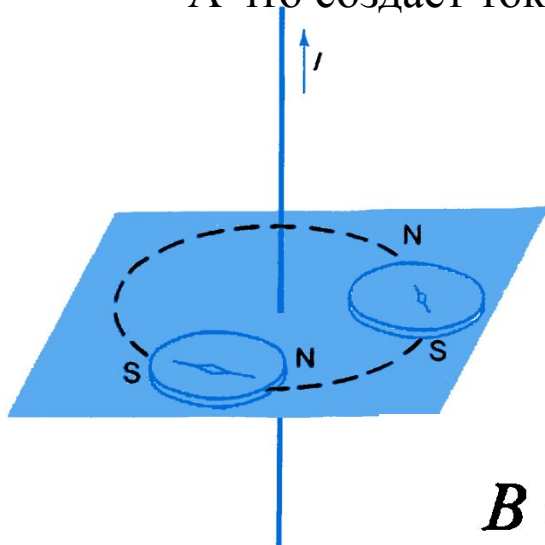
- 1) Направление
- 2) Концентрация



У поверхности Земли, вдали от полюсов, магнитное поле можно считать, направленным горизонтально вдоль магнитных меридианов

Электрический ток создает магнитное поле

А что создает ток?



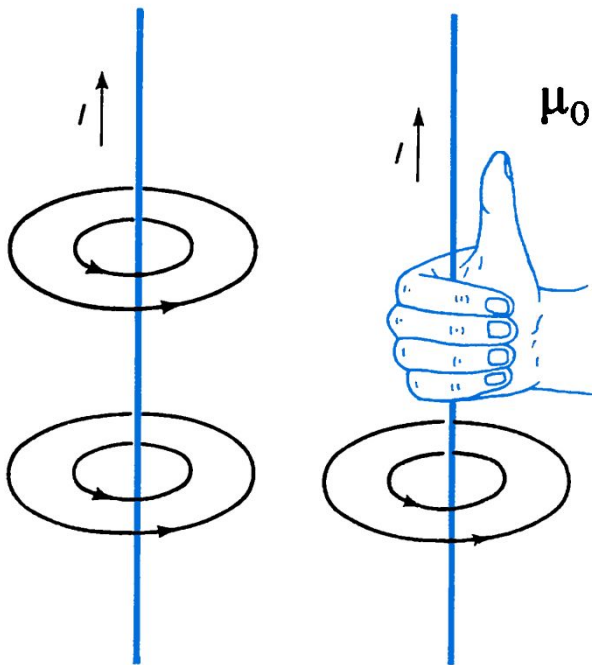
Концентрические окружности
для прямого участка проводника

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

В окрестности длинного прямого
проводника

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А}$$

Определение направления

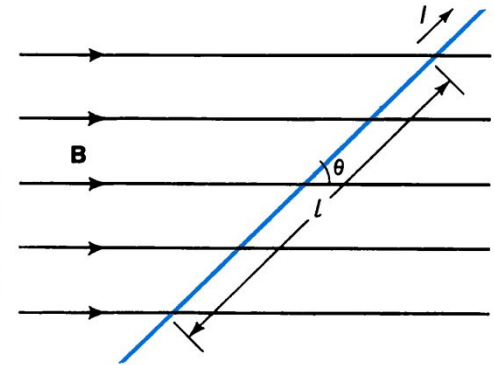
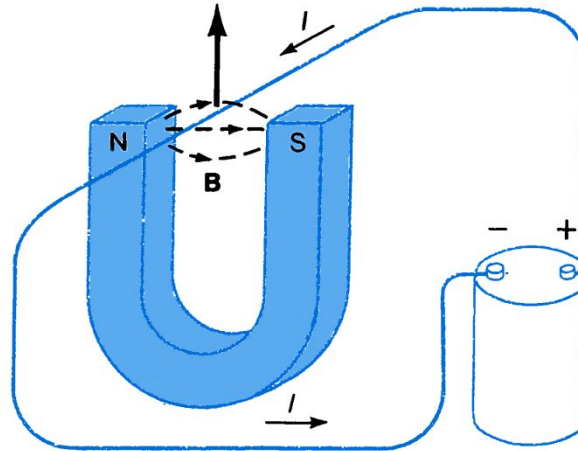
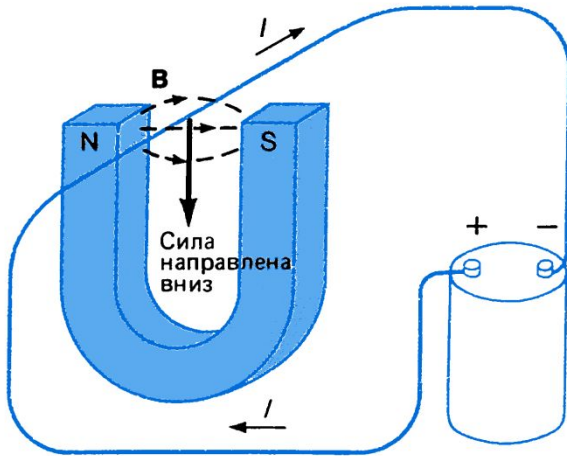


На проводник с током, находящийся во внешнем магнитном поле, действует сила

$$\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

Сила направлена вверх

$$F = IlB \sin \theta$$

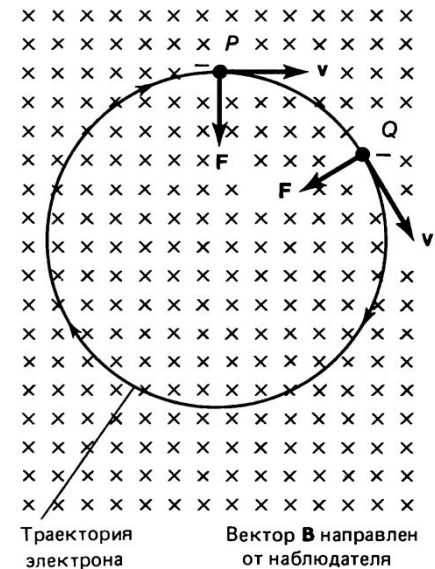
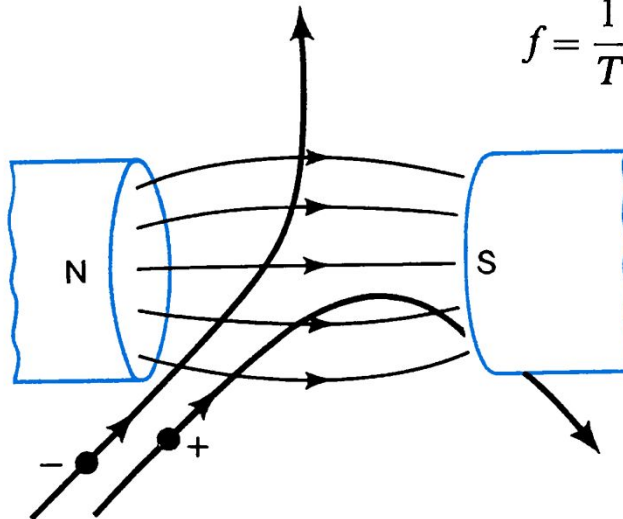


На заряженную частицу, движущуюся во внешнем магнитном поле, действует сила

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

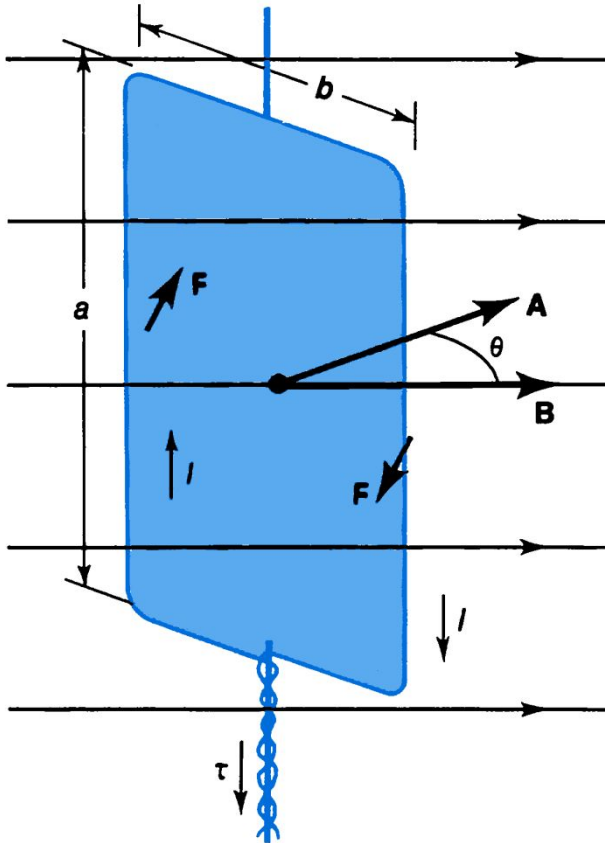
$$F = qvB \sin \theta$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$



Магнитный дипольный момент

Вращающий момент рамки с током в магнитном поле



$$F = I a B$$

$$\tau = N I A B \sin \theta$$

Вращающий момент
(момент силы)

$$\boldsymbol{\mu} = N I \mathbf{A}$$

Магнитный дипольный момент

$$\boldsymbol{\tau} = N I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$$

Рамка с током – магнитный диполь,
который обладает потенциальной
энергией во внешнем магнитном поле

Закон Ампера

$$\sum B_{\parallel} \Delta l = \mu_0 I$$

- 1) Контур замкнутый
- 2) На каждом участке Δl параллельная составляющая магнитного поля постоянна

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

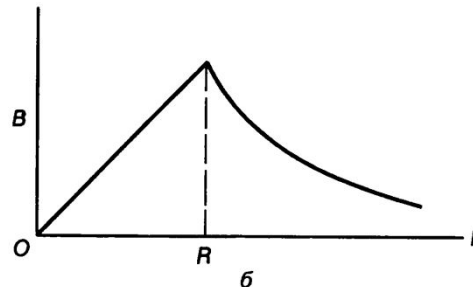
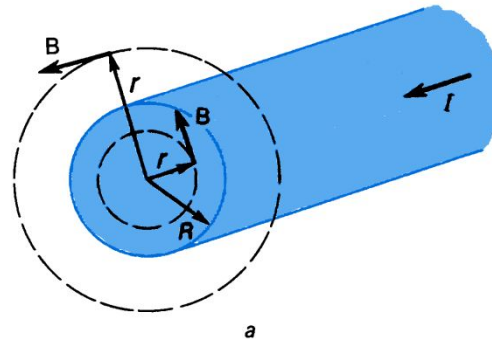
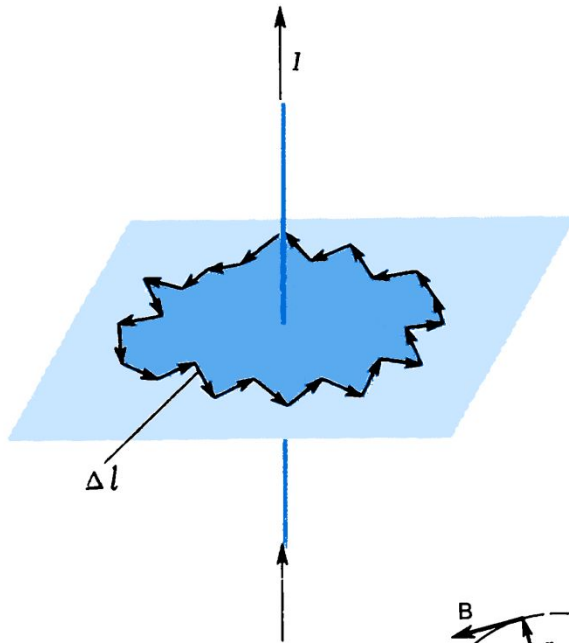
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

(снаружи)

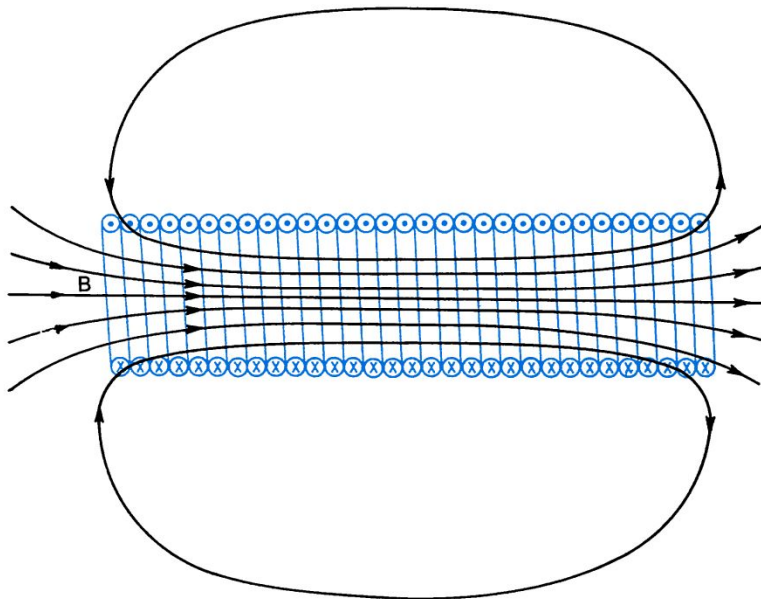
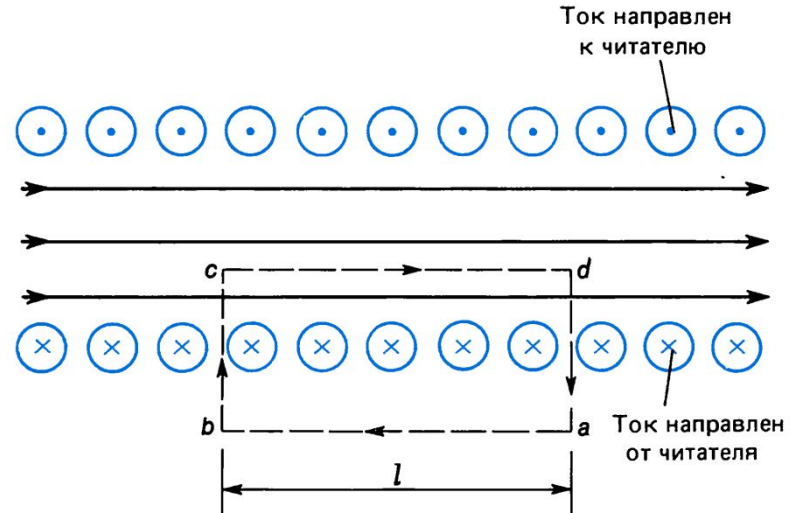
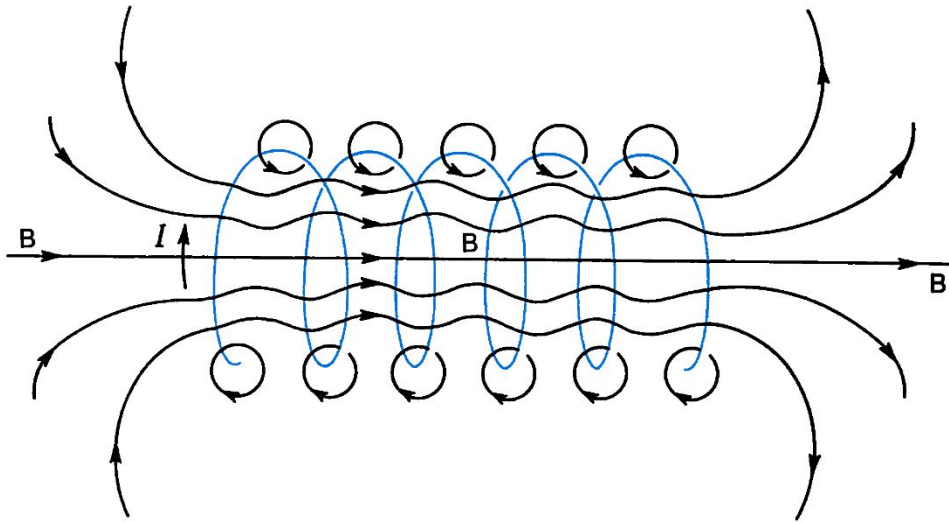
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B(2\pi r) = \mu_0 I \left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2} \right)$$

$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \quad [r < R]$$

(внутри)



Соленоид



Витки плотно намотаны
 Поле внутри практически однородно
 Снаружи поле незначительно

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_b^c \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_d^a \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

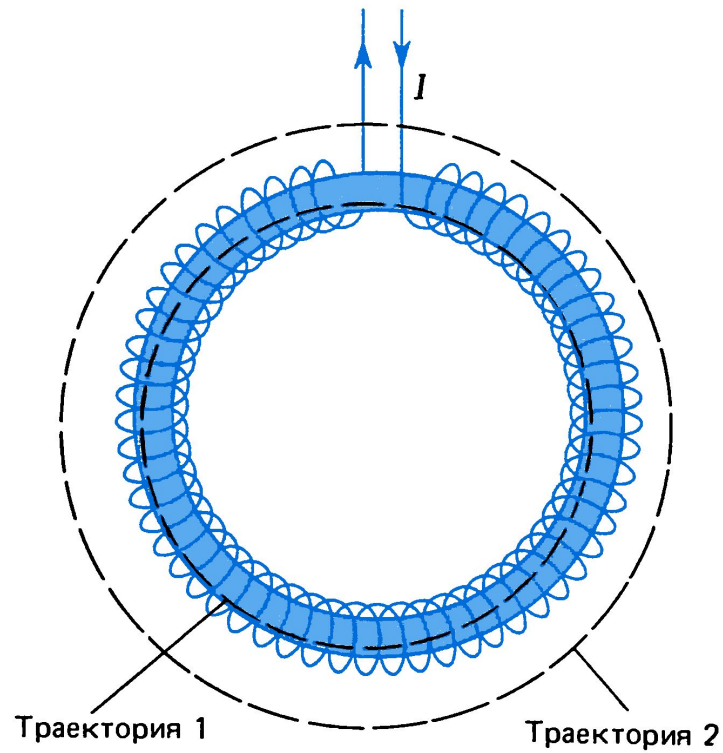
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = Bl$$

$$Bl = \mu_0 NI$$

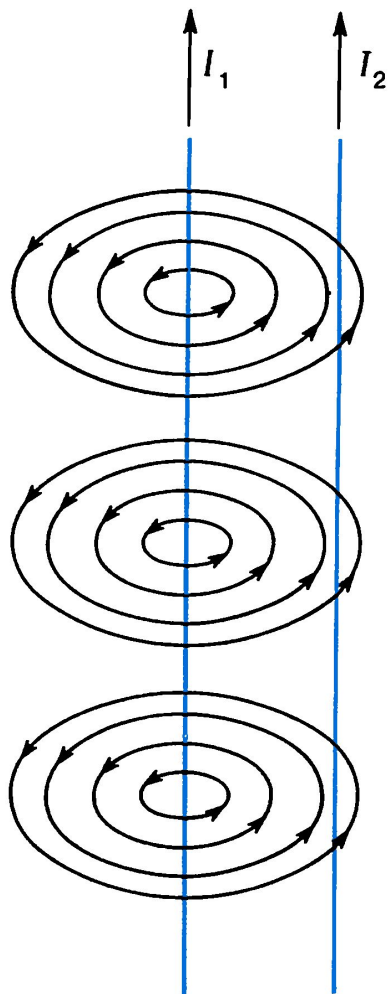
Соленоид, свернутый в тор

$$B(2\pi r) = \mu_0 NI$$

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



Сила, действующая между двумя проводниками с током



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi L}$$

$$\frac{F}{l} = I_2 B_1$$

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi L}$$

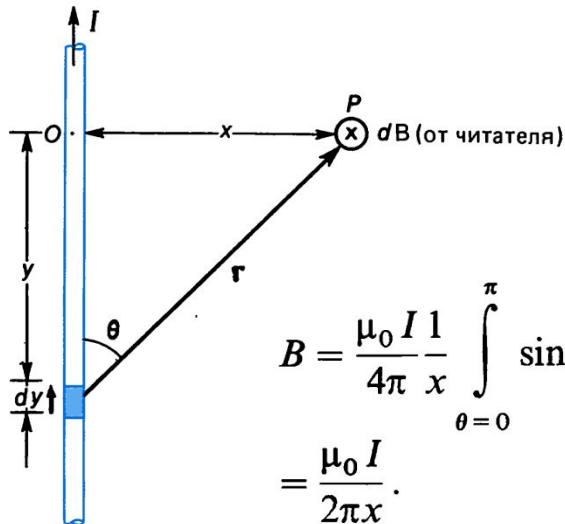
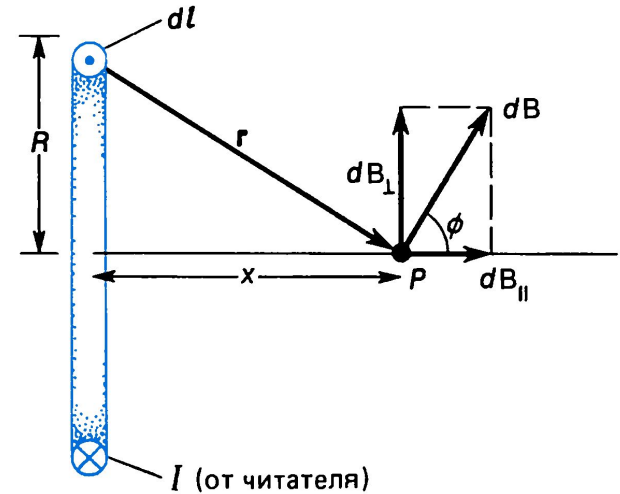
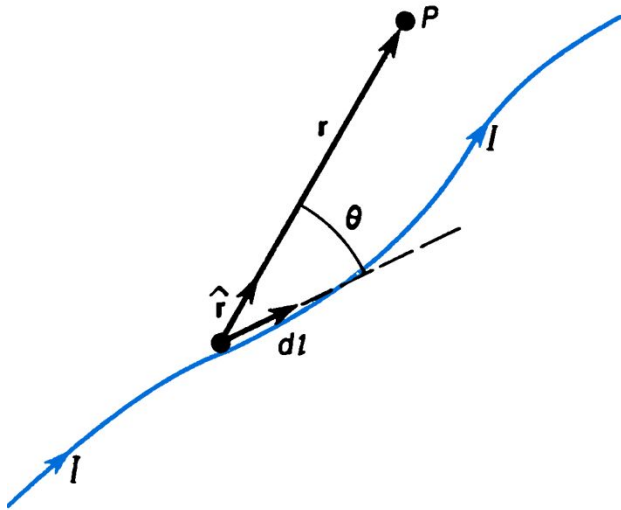
Закон Био-Савара

$\hat{\mathbf{r}}$ – единичный вектор в направлении \mathbf{r} ($\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r}/r$)

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$$d\mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{I [d\mathbf{l}, \mathbf{r}]}{r^3}$$

$$dB = \frac{\mu_0 dl \sin \theta}{4\pi r^2}$$



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy \sin \theta}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \int_{\theta=0}^{\pi} \sin \theta d\theta = -\frac{\mu_0 I}{4\pi x} \cos \theta \Big|_0^{\pi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \int dl = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

● Магнитная индукция \mathbf{B} связана с напряженностью \mathbf{H} магнитного поля (в случае однородной, изотропной среды) соотношением

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu \mathbf{H} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А}$$

или в вакууме

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \mathbf{H}.$$

● Магнитная индукция в центре кругового проводника с током

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \frac{I}{R},$$

где R — радиус кривизны проводника.

● Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током,

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

где r — расстояние от оси проводника.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком проводника,

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{r_0} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2).$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I}{r_0} \cos \varphi$$

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

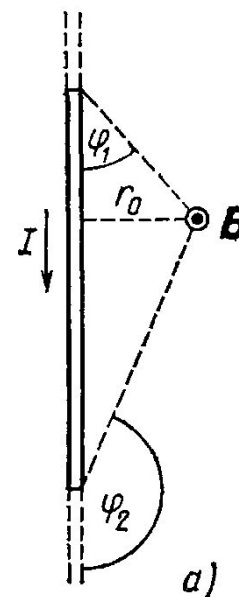
В частном случае наложения двух полей

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2,$$

а модуль магнитной индукции

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1 B_2 \cos \alpha},$$

где α — угол между векторами \mathbf{B}_1 и \mathbf{B}_2 .



● Магнитная индукция поля, создаваемого соленоидом в средней его части (или тороида на его оси),

$$B = \mu_0 \mu n I,$$

где n — число витков, приходящихся на единицу длины соленоида; I — сила тока в одном витке.

21.5. По обмотке очень короткой катушки радиусом $r=16$ см течет ток $I=5$ А. Сколько витков N проволоки намотано на катушку, если напряженность H магнитного поля в ее центре равна 800 А/м?

А_о

21.10. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром $d=0,5$ мм намотан так, что витки плотно прилегают друг к другу. Какова напряженность H магнитного поля внутри соленоида при силе тока $I=4$ А? Толщиной изоляции пренебречь.

21.17. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи $I_1=50$ А и $I_2=100$ А в противоположных направлениях. Расстояние d между проводами равно 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке, удаленной на $r_1=25$ см от первого и на $r_2=40$ см от второго провода.

21.22. По бесконечно длинному прямому проводу, изогнутому так, как это показано на рис. 21.14, течет ток $I=100$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O , если $r=10$ см.

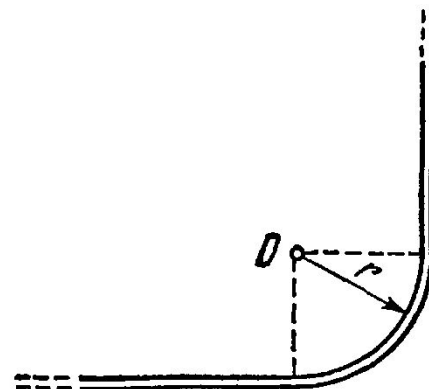


Рис. 21.14

21.31. Бесконечно длинный тонкий проводник с током $I=50$ А имеет изгиб (плоскую петлю) радиусом $R=10$ см. Определить в точке O магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током, в случаях a — e , изображенных на рис. 21.15.

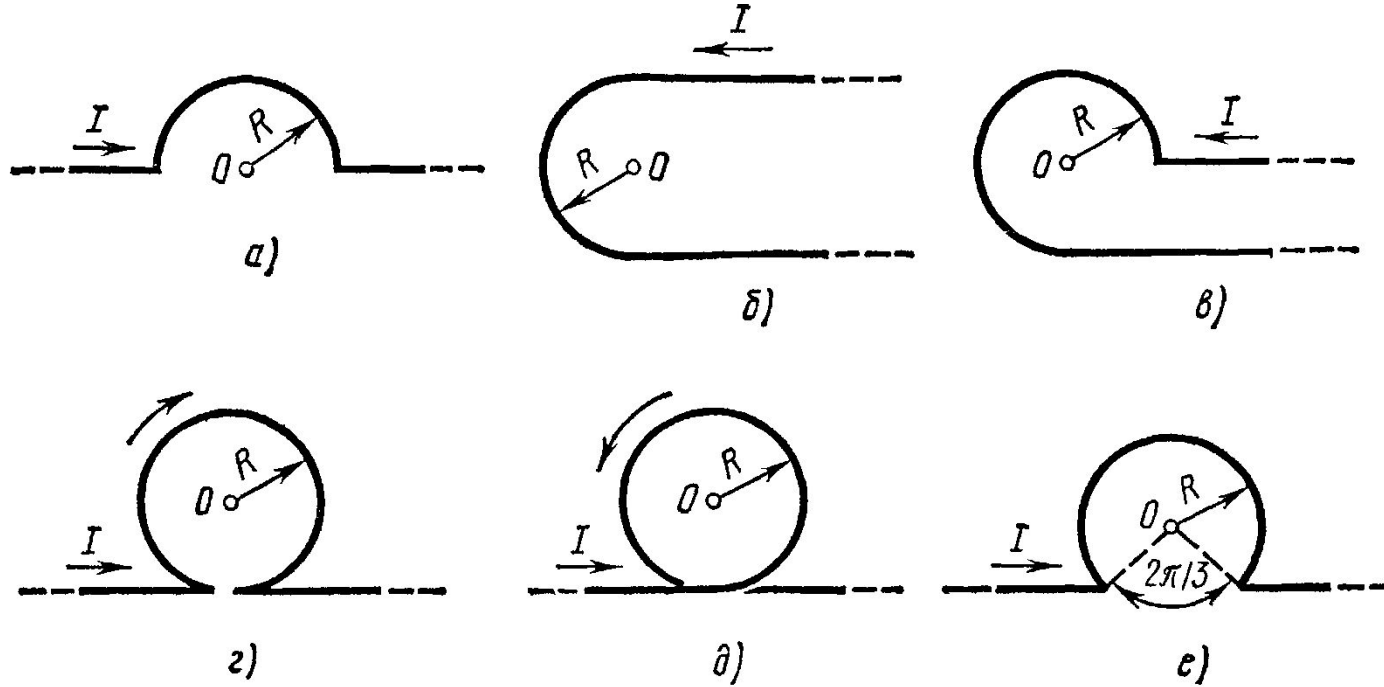


Рис. 21.15

21.34. Определить максимальную магнитную индукцию B_{\max} поля, создаваемого электроном, движущимся прямолинейно со скоростью $v=10$ Мм/с, в точке, отстоящей от траектории на расстоянии $d=1$ нм.

3.126. Определить магнитную индукцию на оси тонкого проволочного кольца радиусом $R = 5$ см, по которому течет ток $I = 10$ А, в точке A , расположенной на расстоянии $d = 10$ см от центра кольца. [112 мкТл]

3.231. Найти магнитную индукцию в точке O , если проводник с током $I = 8,0$ А имеет вид, показанный:
 а) на рис. 3.67, а; б) на рис. 3.67, б.

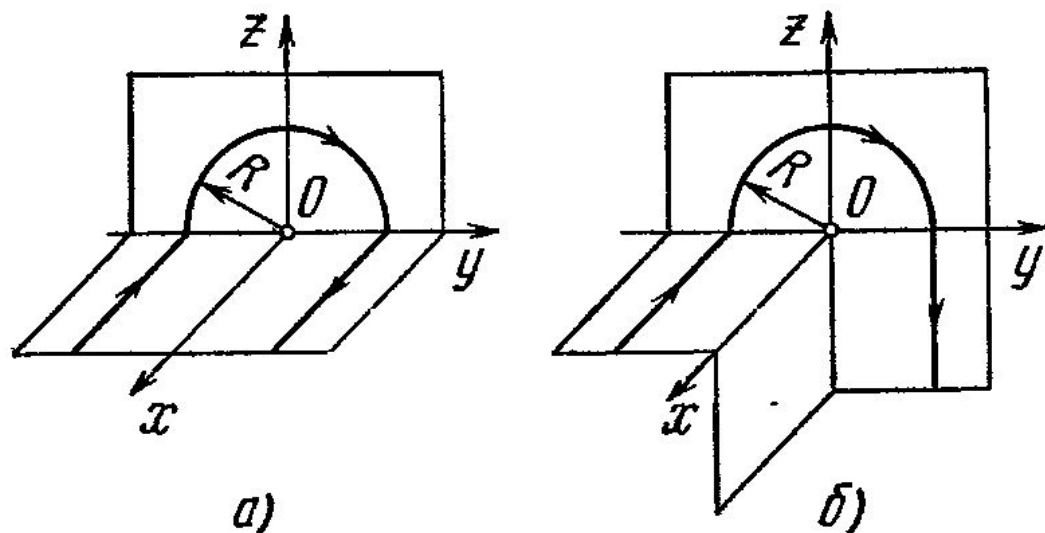


Рис. 3.67

● Закон Ампера. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле,

$$\mathbf{F} = [\mathbf{IB}]l,$$

где I — сила тока; \mathbf{l} — вектор, равный по модулю длине l проводника и совпадающий по направлению с током; \mathbf{B} — магнитная индукция поля.

Модуль вектора \mathbf{F} определяется выражением

$$F = BIl \sin \alpha,$$

где α — угол между векторами \mathbf{l} и \mathbf{B} .

● Сила взаимодействия двух прямых бесконечно длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 , находящихся на расстоянии d друг от друга, рассчитанная на отрезок проводника длиной l ,

выражается формулой

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l.$$

● Магнитный момент контура с током

$$\mathbf{p}_m = IS,$$

где \mathbf{S} — вектор, равный по модулю площади S , охватываемой контуром, и совпадающий по направлению с нормалью к его плоскости.

● Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле,

$$\mathbf{M} = [\mathbf{p}_m \mathbf{B}].$$

Модуль механического момента

$$M = p_m B \sin \alpha,$$

где α — угол между векторами \mathbf{p}_m и \mathbf{B} .

3.131. Два бесконечных прямолинейных параллельных проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, находятся друг от друга на расстоянии R . Чтобы их раздвинуть до расстояния $2R$, на каждый сантиметр длины проводника затрачивается работа $A = 138$ нДж. Определить силу тока в проводниках [10 А]

3.134. По тонкому проволочному полукольцу радиусом $R = 50$ см течет ток $I = 1$ А. Перпендикулярно плоскости полукольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. Найти силу, растягивающую полукольцо. Действие на полукольцо магнитного поля подводющих проводов и взаимодействие отдельных элементов полукольца не учитывать. [0,01 Н]

3.138. Согласно теории Бора, электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите радиусом $r = 52,8$ пм. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого электроном в центре круговой орбиты.
[$1,25 \cdot 10^{-23}$ Тл]

22.17. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом $r = 53$ пм. Вычислить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока и механический момент M , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле, линии индукции которого параллельны плоскости орбиты электрона. Магнитная индукция B поля равна $0,1$ Тл.

22.28. Короткая катушка площадью S поперечного сечения, равной 150 см², содержит $N = 200$ витков провода, по которому течет ток $I = 4$ А. Катушка помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H = 8$ кА/м. Определить магнитный момент p_m катушки, а также вращающий момент M , действующий на нее со стороны поля, если ось катушки составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с линиями индукции.

22.38. Длинный прямой соленоид, содержащий $n=5$ витков на каждый сантиметр длины, расположен перпендикулярно плоскости магнитного меридиана *. Внутри соленоида, в его средней части, находится магнитная стрелка, установившаяся в магнитном поле Земли. Когда по соленоиду пустили ток, стрелка отклонилась на угол $\alpha=60^\circ$. Найти силу тока I .

* Горизонтальную составляющую B_H магнитной индукции поля Земли принять равной 20 мкТл.

Проверочная работа

3.89. Определить напряженность электрического поля в алюминиевом проводнике объемом $V = 10 \text{ см}^3$, если при прохождении по нему постоянного тока за время $t = 5 \text{ мин}$ выделилось количество теплоты $Q = 2,3 \text{ кДж}$. Удельное сопротивление алюминия $\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$.
[0,141 В/м]

20.2. Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока $I = 10 \text{ А}$ и сечении S проводника, равном 1 мм^2 . Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

Молярная масса меди $63,546 \text{ г/моль}$. Плотность меди 8930 кг/м^3 .

Домашнее задание М1

- **Т. 3.120**
- **Ч. 21.7 ||| 21.9 ||| 21.15 ||| 21.32 (б,д)**

Домашнее задание М2

- **Т. 3.133**
- **Ч. 22.2 ||| 22.8 ||| 22.18 ||| 22.29 ||| 22.36**