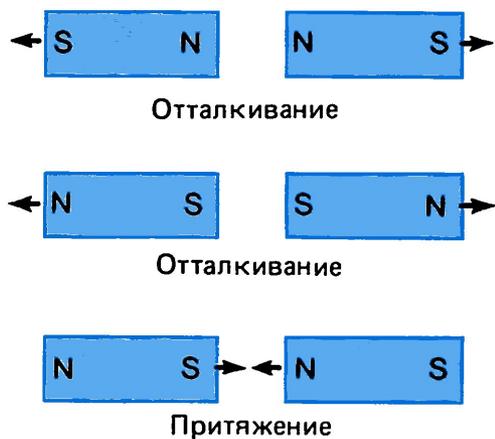


Природные магниты



Стрелка компаса рядом с магнитом

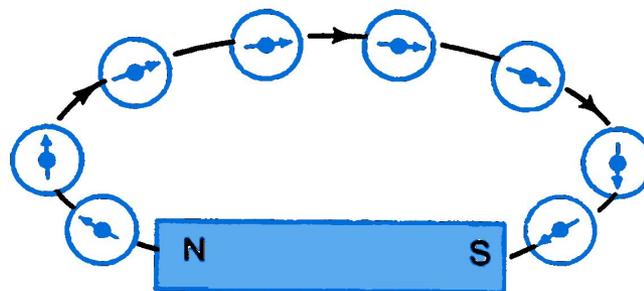
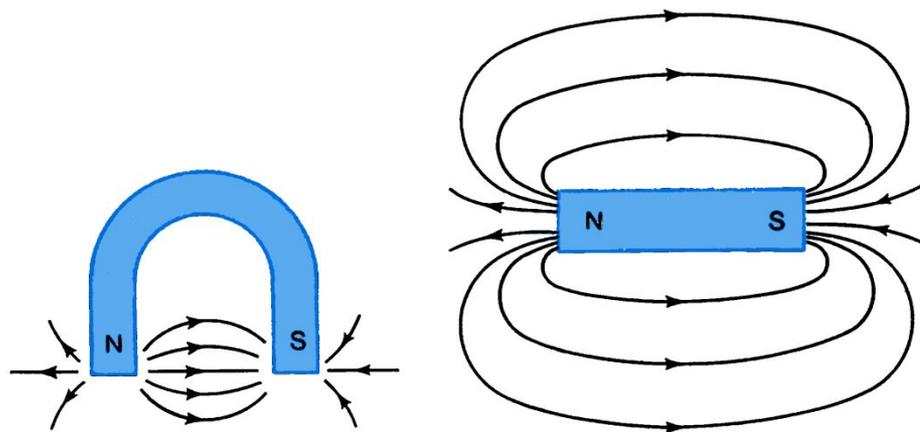
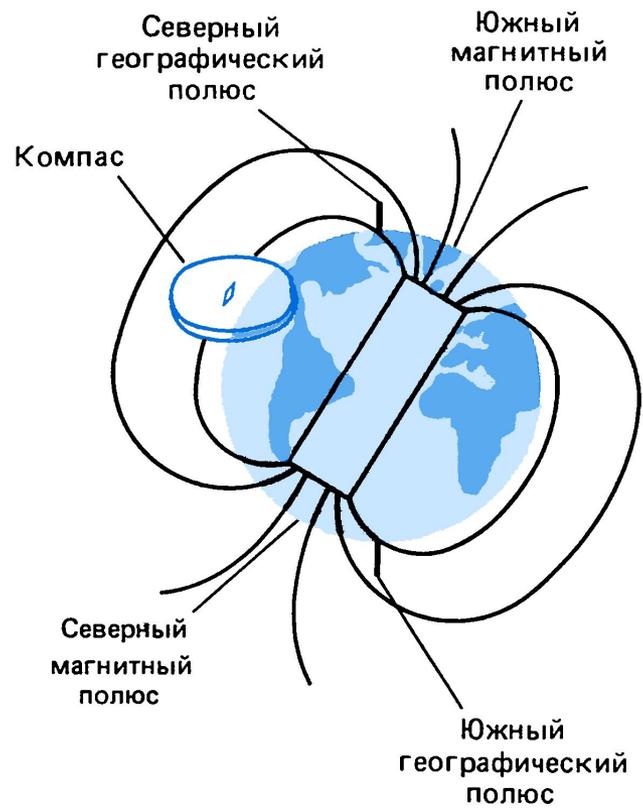


Рис. 28.1. Одноименные полюса магнитов отталкиваются, разноименные притягиваются.

Силовые линии



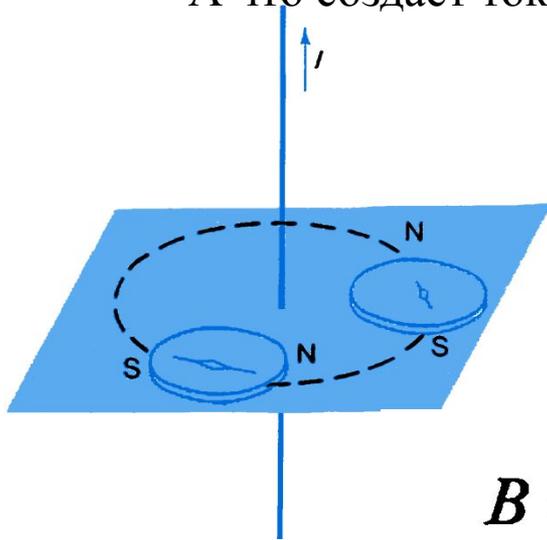
- 1) Направление
- 2) Концентрация



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

Электрический ток создает магнитное поле

А что создает ток?



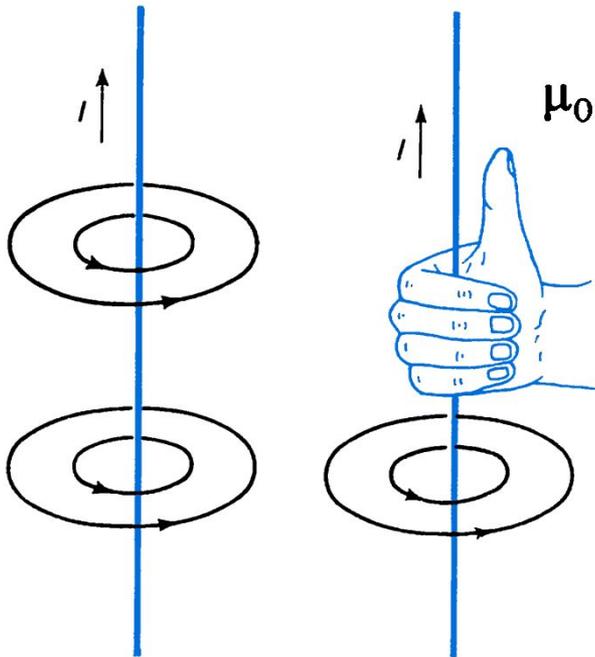
Концентрические окружности
для прямого участка проводника

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

В окрестности длинного прямого
проводника

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

Определение направления

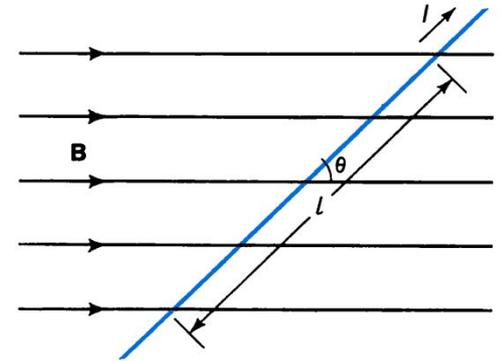
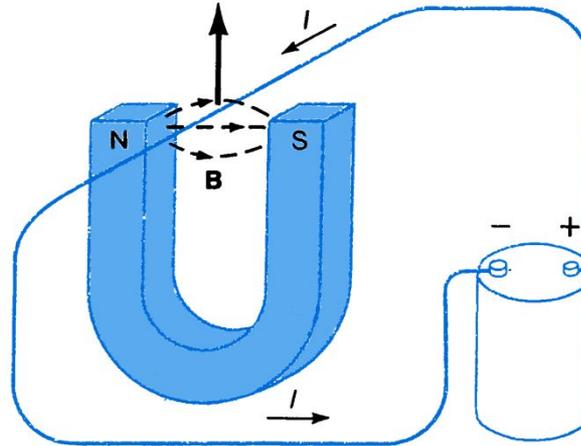
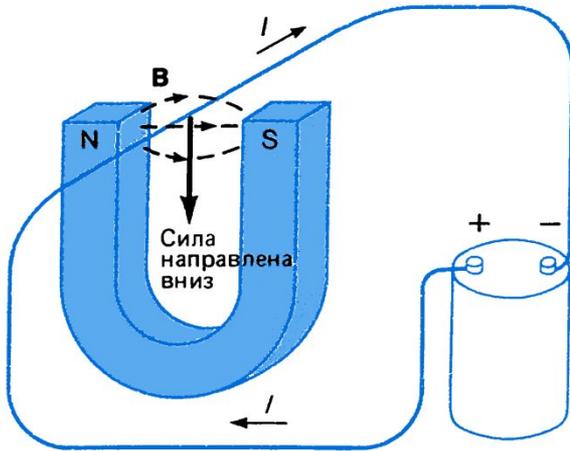


На проводник с током, находящийся во внешнем магнитном поле, действует сила

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

Сила направлена вверх

$$F = IlB \sin \theta$$

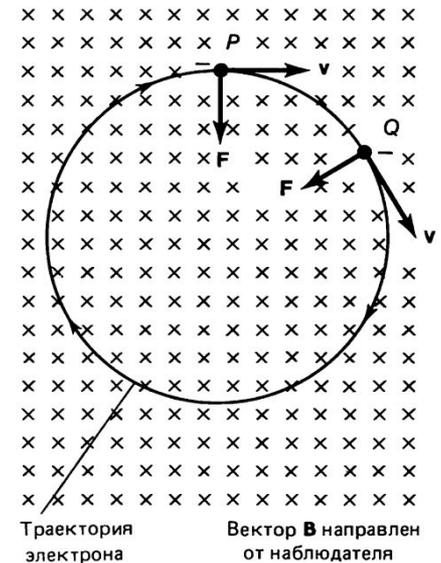
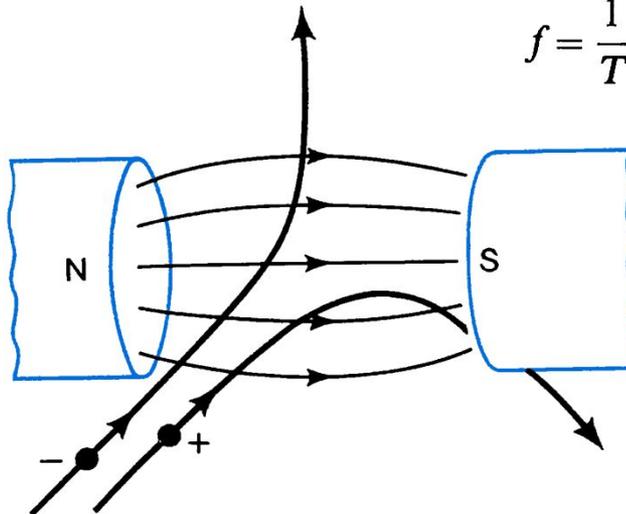


На заряженную частицу, движущуюся во внешнем магнитном поле, действует сила

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

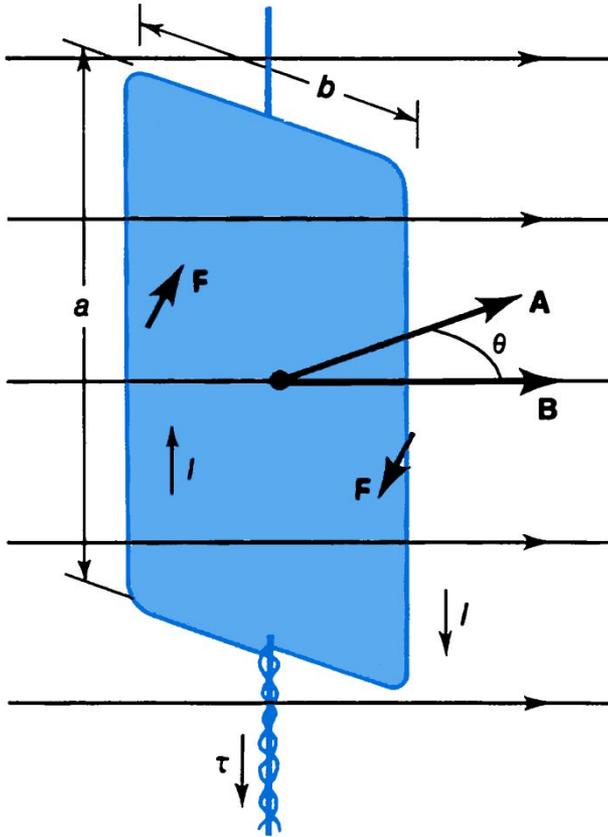
$$F = qvB \sin \theta$$

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



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

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

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

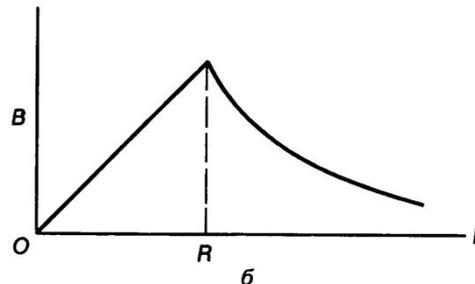
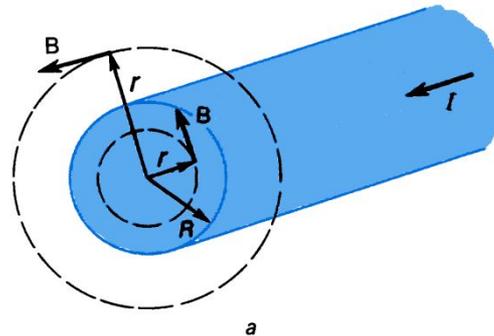
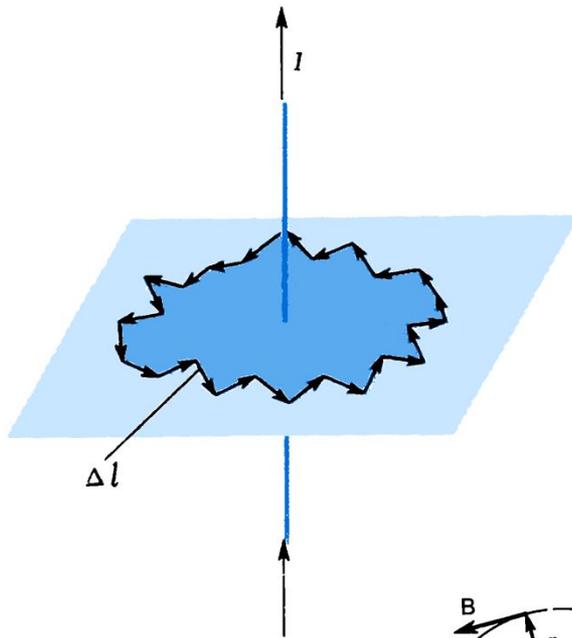
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

(снаружи)

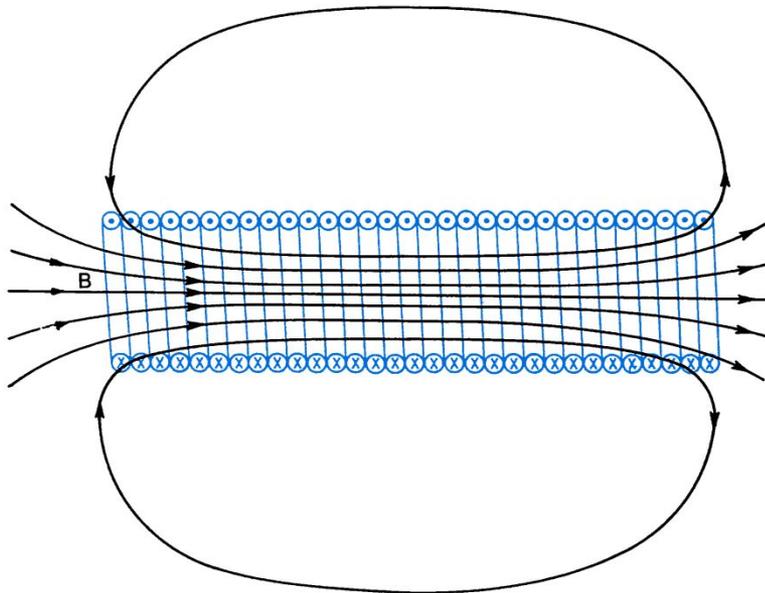
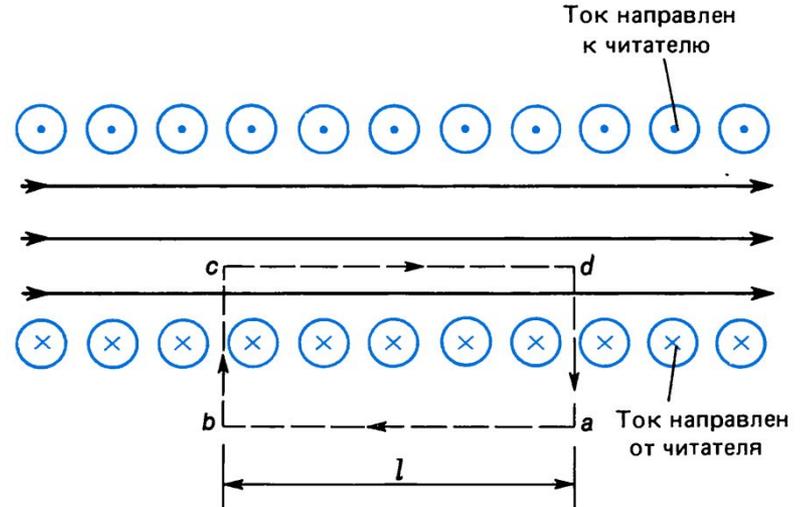
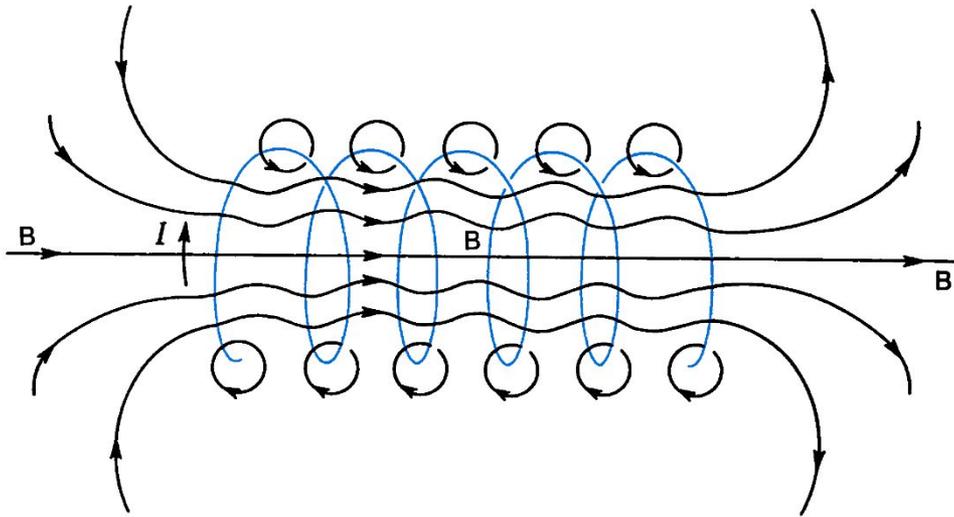
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B(2\pi r) = \mu_0 I \left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2} \right)$$

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

(внутри)



Соленоид



Витки плотно намотаны
 Поле внутри практически однородно
 Снаружи поле незначительно

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

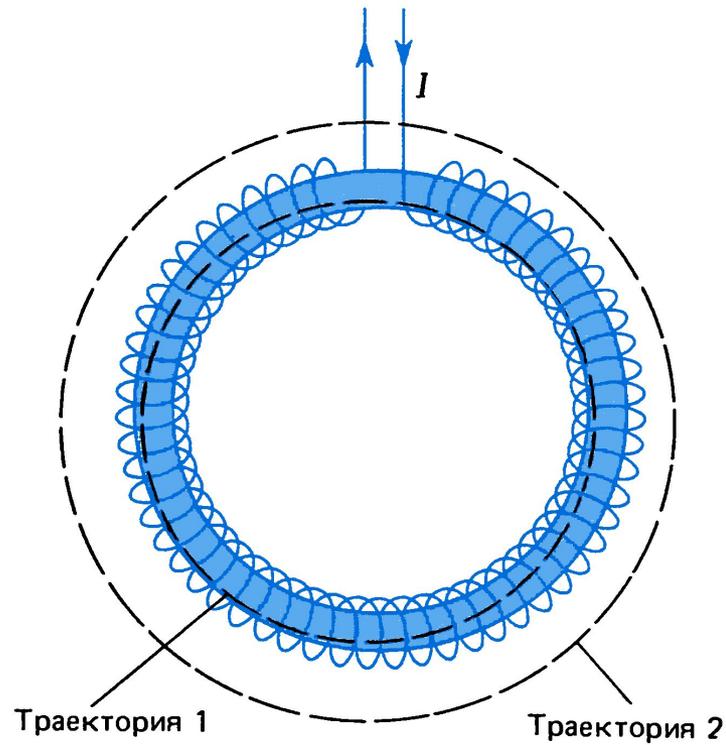
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = Bl$$

$$Bl = \mu_0 NI$$

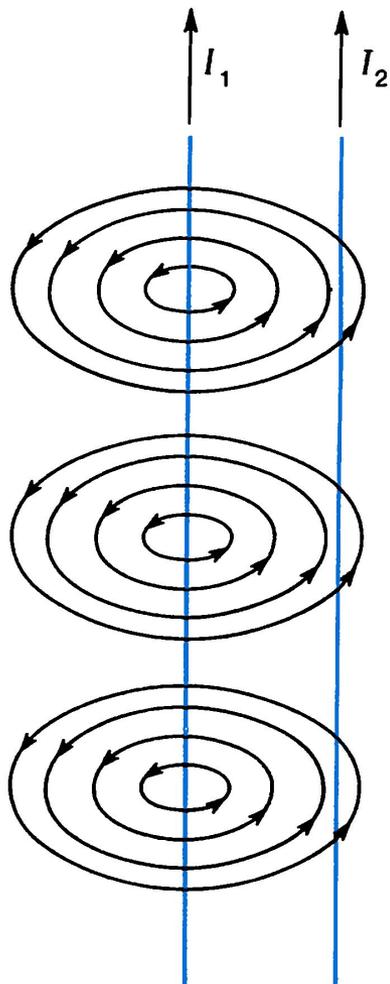
Соленоид, свернутый в тор

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

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



Сила, действующая между двумя проводниками с током

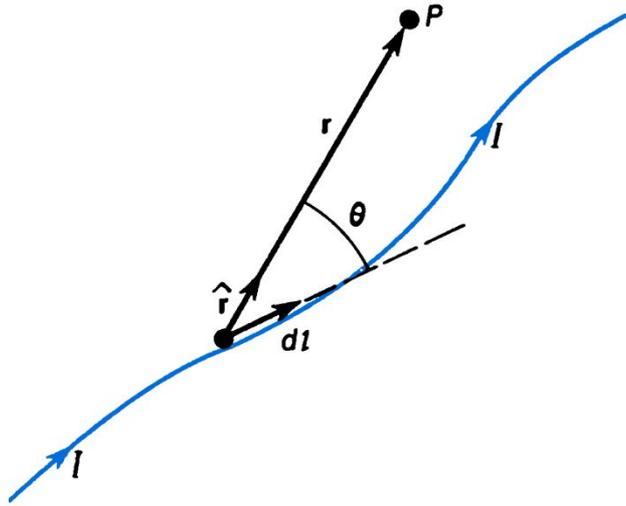


$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi L}$$

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

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

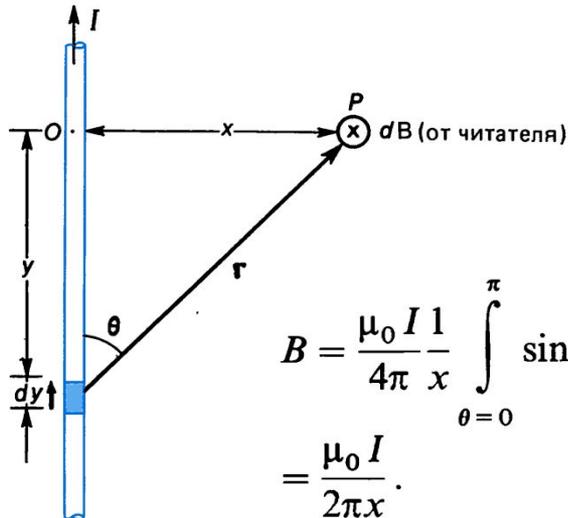
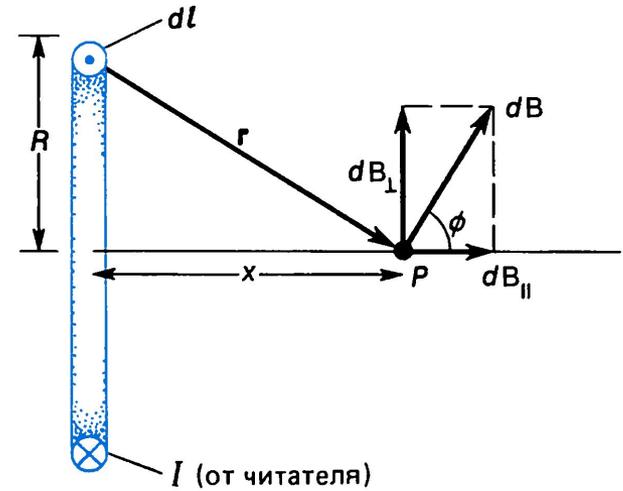
Закон Био-Савара



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

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

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

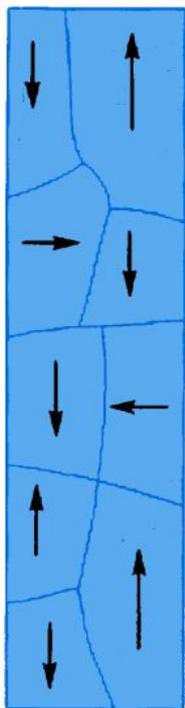


$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy \sin \theta}{r^2}$$

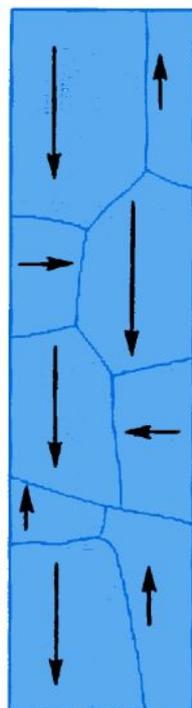
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \int_{\theta=0}^{\pi} \sin \theta d\theta = -\frac{\mu_0 I}{4\pi x} \cos \theta \Big|_0^{\pi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

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

Домены

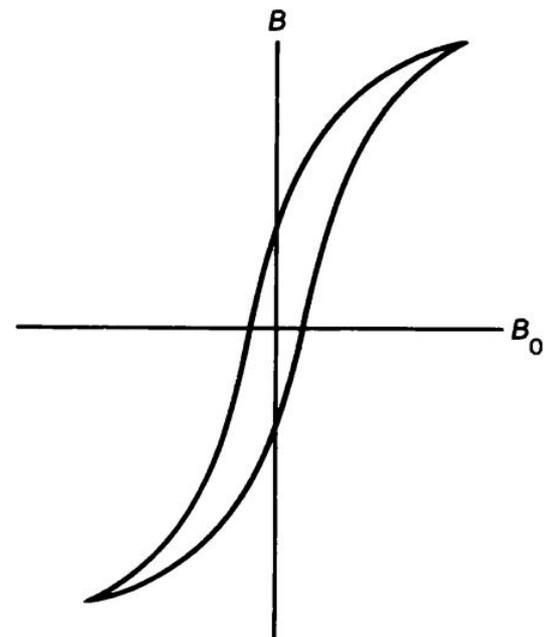
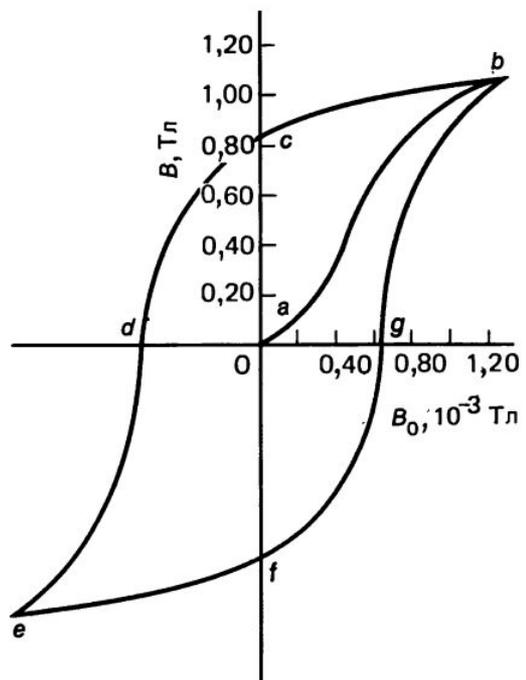


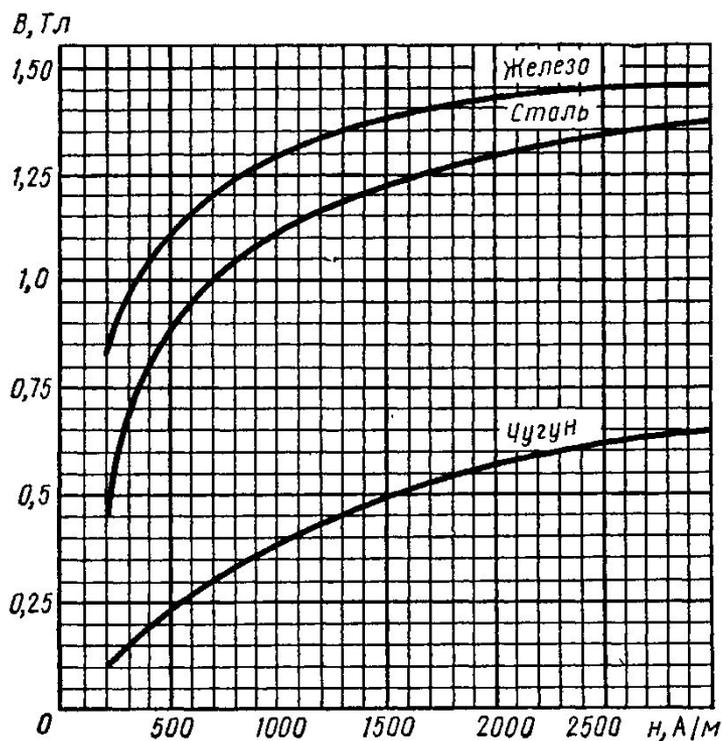
a



b

Петли гистерезиса





● Полная энергия релятивистской частицы
 $E = mc^2 = m_0c^2 + T,$

● Связь полной энергии с импульсом релятивистской частицы
 $E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4.$

● Связь кинетической энергии с импульсом релятивистской частицы

$$p^2c^2 = T(T + 2m_0c^2).$$

● Магнитный поток Φ через плоский контур площадью S :

а) в случае однородного поля

$$\Phi = BS \cos \alpha; \text{ или } \Phi = B_n S,$$

где α — угол между вектором нормали \mathbf{n} к плоскости контура и вектором магнитной индукции \mathbf{B} ; B_n — проекция вектора \mathbf{B} на нормаль \mathbf{n} ($B_n = B \cos \alpha$);

б) в случае неоднородного поля

$$\Phi = \int_S B_n dS,$$

где интегрирование ведется во всей поверхности S .

● Релятивистский импульс

$$p = m\mathcal{V} = \frac{m_0v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \text{ или } p = m_0c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

● Релятивистская масса

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \text{ или } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

23.6. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B = 0,02$ Тл по окружности радиусом $R = 1$ см. Определить кинетическую энергию T электрона (в джоулях и электрон-вольтах).

23.16. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью $H = 10$ кА/м. Вычислить период T вращения электрона.

23.22. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 100$ мкТл движется электрон по винтовой линии. Определить скорость v электрона, если шаг h винтовой линии равен 20 см, а радиус $R = 5$ см:

23.34. Кинетическая энергия T α -частицы равна 500 МэВ. Частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R = 80$ см. Определить магнитную индукцию B поля *.

23.38. Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 800$ В, влетает в однородные, скрещенные под прямым углом магнитное ($B = 50$ мТл) и электрическое поля. Определить напряженность E электрического поля, если протон движется в скрещенных полях прямолинейно.

* При решении задач 23.32—23.35 учесть изменение массы частицы от ее скорости.

3.142. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 0,5$ кВ, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии $r = 1$ см от него. Определить силу, действующую на электрон, если через проводник пропускать ток $I = 10$ А.
[$4,24 \cdot 10^{-16}$ Н]

3.159. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток $I = 10$ А. Опре-

Рис. 66

делить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора \mathbf{B} , магнитную индукцию B в точке, расположенной на расстоянии $r = 10$ см от проводника. [20 мкТл]

○ **24.2.** Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи $I_1 = 10$ А, $I_2 = 15$ А, текущие в одном направлении, и ток $I_3 = 20$ А, текущий в противоположном направлении.

3.161. Соленоид длиной $l = 0,5$ м содержит $N = 1000$ витков. Определить магнитную индукцию B поля внутри соленоиды, если сопротивление его обмотки $R = 120$ Ом, а напряжение на ее концах $U = 60$ В. [1,26 мТл]

3.163. Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора \mathbf{B} , индукцию и напряженность магнитного поля на оси тороида без сердечника, по обмотке которого, содержащей 200 витков, протекает ток в 2 А. Внешний диаметр тороида равен 60 см, внутренний — 40 см. [$B = 0,32$ мТл, $H = 255$ А/м]

3.164. Определить магнитный поток через площадь поперечного сечения катушки (без сердечника), имеющей на каждом сантиметре длины $n = 8$ витков. Радиус соленоида $r = 2$ см, а сила тока в нем $I = 2$ А. [$10,1$ мкВб]

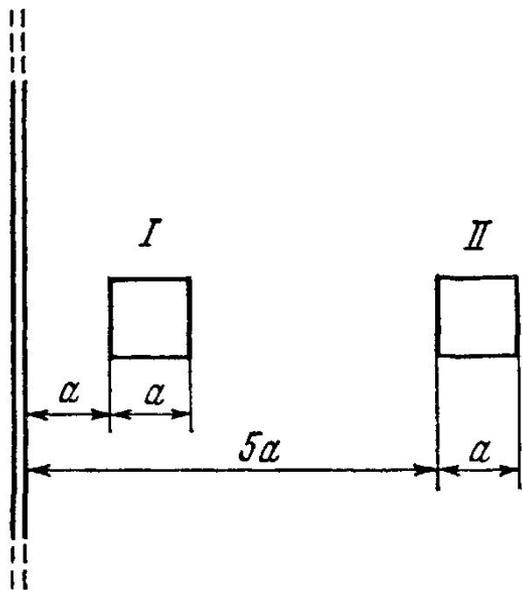
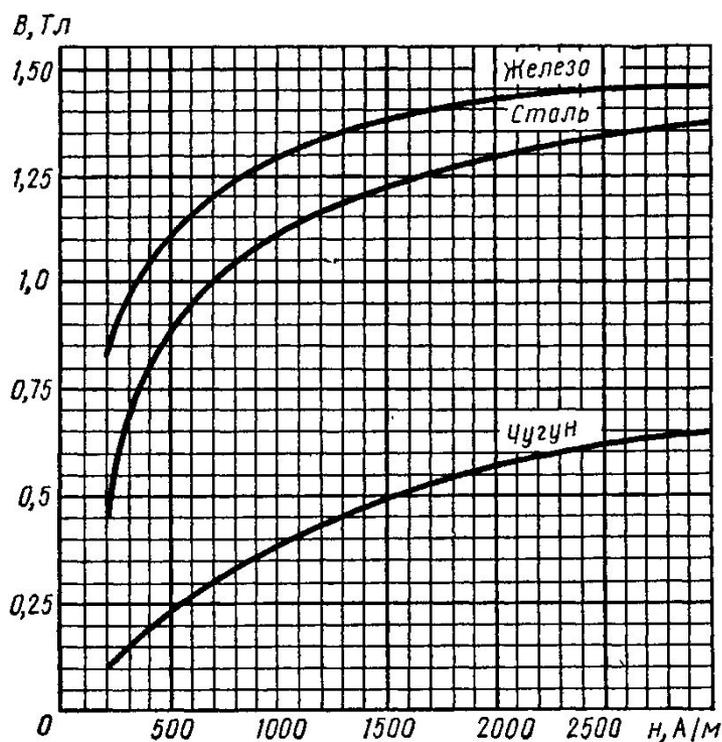


Рис. 24.5



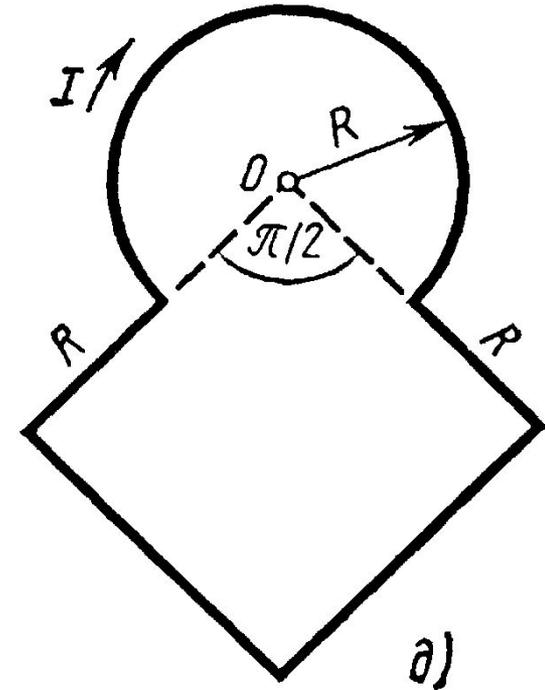
24.10. Определить, во сколько раз отличаются магнитные потоки, пронизывающие рамку при двух ее положениях относительно прямого проводника с током, представленных на рис. 24.5.



24.14. На железное кольцо намотано в один слой $N=500$ витков провода. Средний диаметр d кольца равен 25 см. Определить магнитную индукцию B в железе и магнитную проницаемость μ железа *, если сила тока I в обмотке: 1) 0,5 А; 2) 2,5 А.

Проверочная работа по теме М1

21.32. По плоскому контуру из тонкого провода течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током в точке O , в случаях $a—e$, изображенных на рис. 21.16. Радиус R изогнутой части контура равен 20 см



Проверочная работа по теме М2

Рис. 21.16

22.18. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Найти отношение магнитного момента p_m эквивалентного кругового тока к моменту импульса L орбитального движения электрона. Заряд электрона и его массу считать известными. Указать направления векторов p_m и L .

Домашнее задание 1

- **Ч. 23.3 ||| 23.17 ||| 23.23 ||| 23.35 ||| 23.39**

Домашнее задание 2

- **Т. 3.160**
- **Ч. 24.1 ||| 24.3 ||| 24.4 ||| 24.6 ||| 24.15**