

**Электромагнитна
Индукция с
Проводник с
Током в
Магнитном поле**

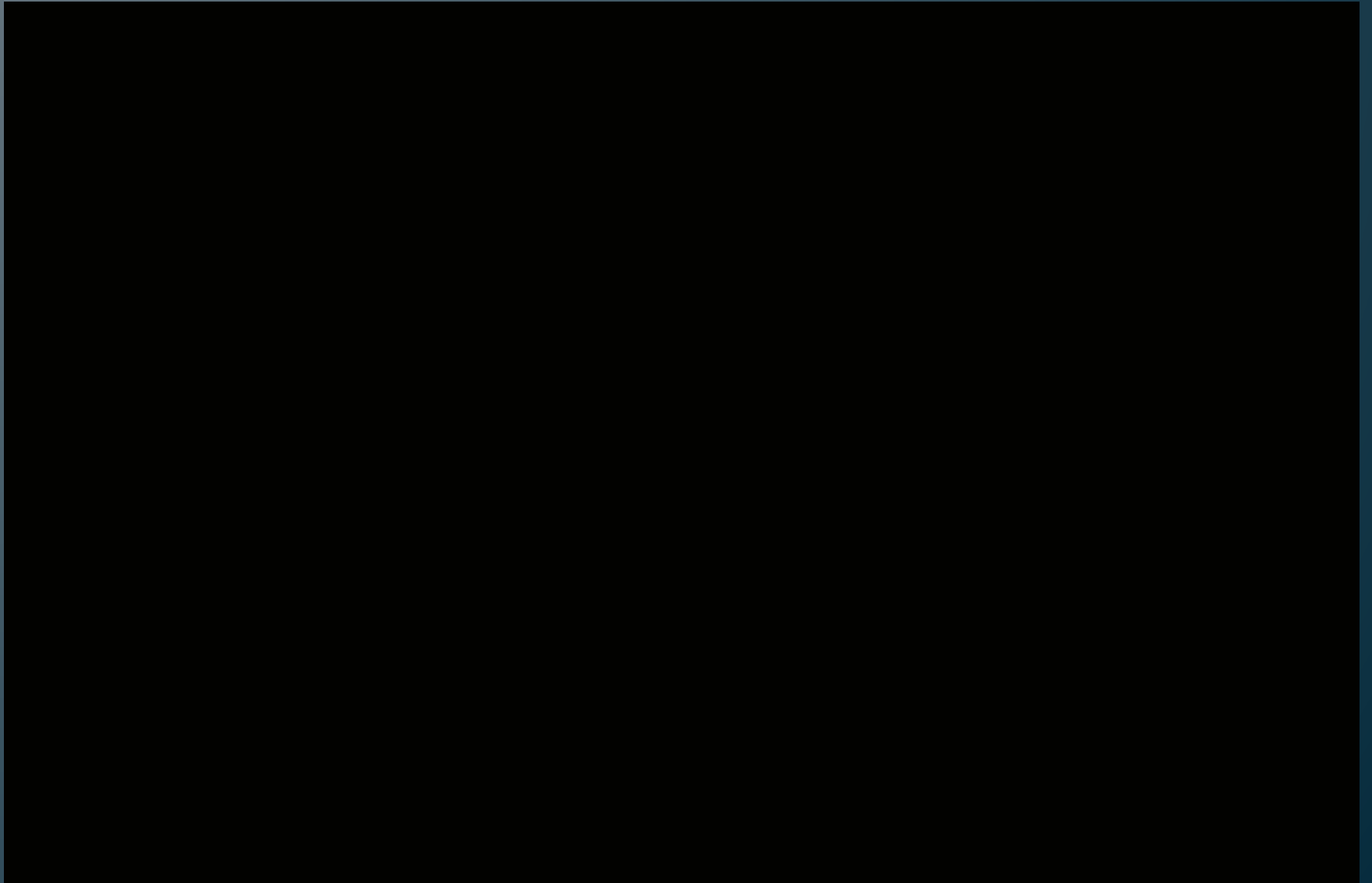
Открытие явления электромагнитной индукции

Явление электромагнитной индукции было открыто выдающимся английским физиком **М. Фарадеем** в 1831 г.

Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур.



Опыт Фарадея



Явление электромагнитной индукции

Заключается в **возникновении электрического тока** в замкнутом проводящем контуре при **изменении во времени магнитного потока**, пронизывающего контур.



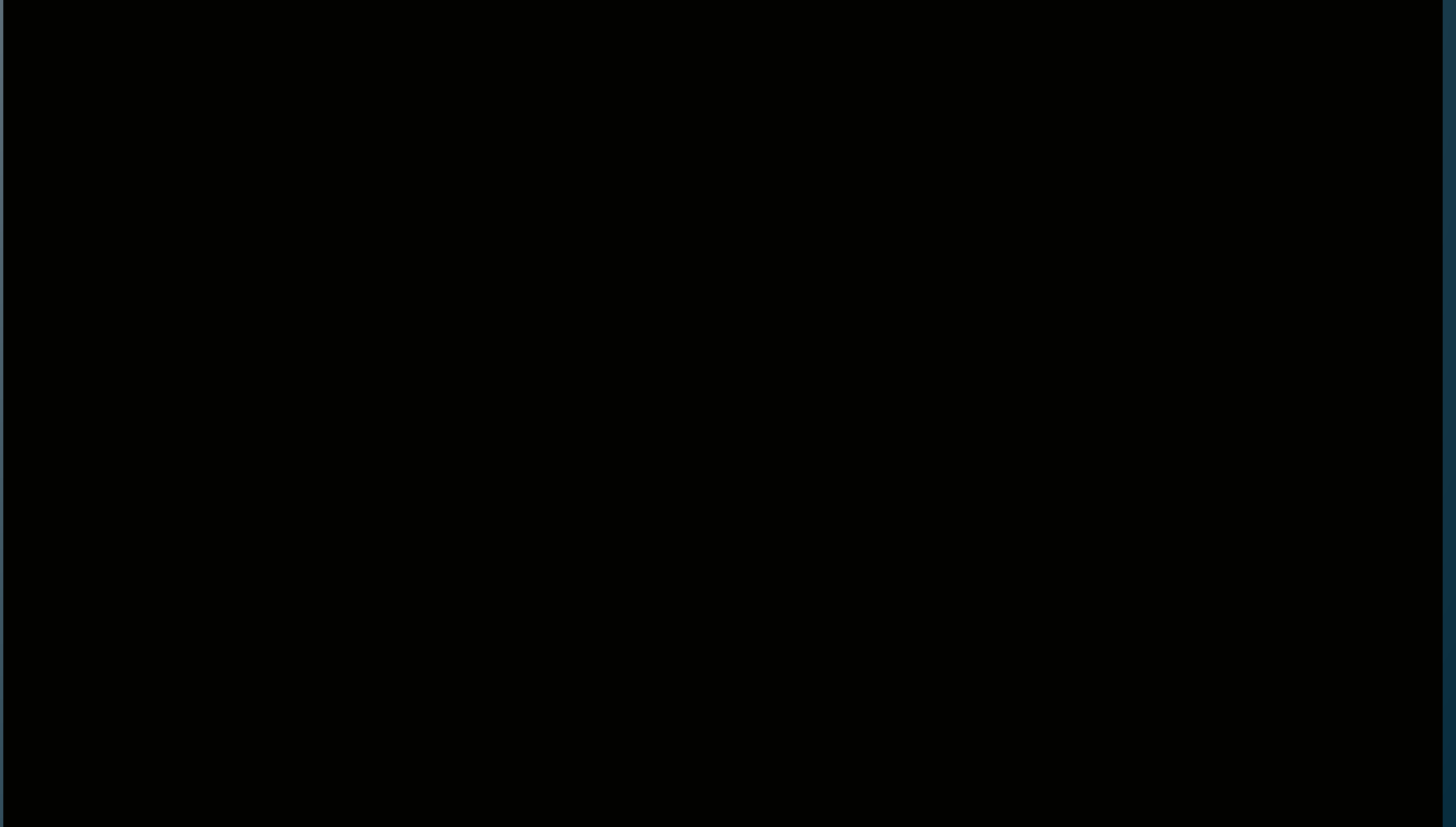
Переменное
электрическое
поле

Переменное
магнитное
поле

"Я превращал магнетизм в
электричество"

Майкл Фарадей

Явление электромагнитной индукции



Магнитный поток

Интенсивность магнитного поля характеризуется магнитной индукцией B .
Единица магнитной индукции — тесла (Тл).

Магнитная индукция — векторная величина. Направление этого вектора совпадает с направлением поля в данной точке.

Магнитным потоком

Φ через площадь S
контура называют
величину

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

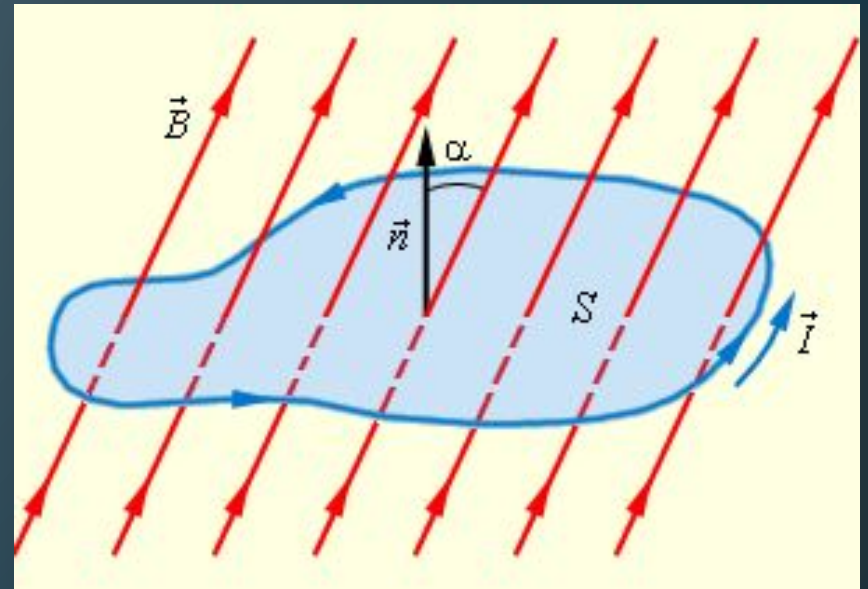
где

B – модуль вектора
магнитной индукции,

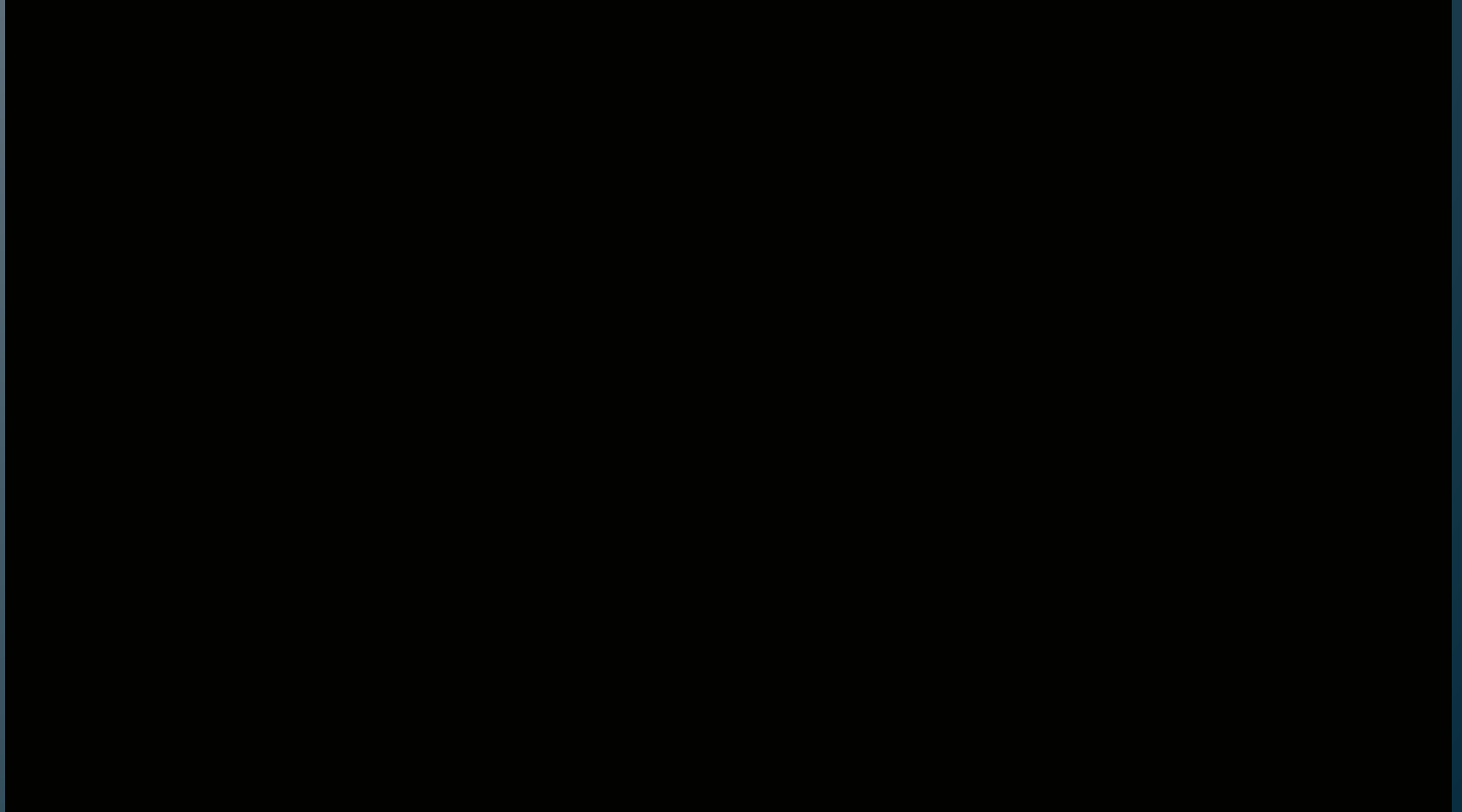
α – угол между вектором
и нормалью к плоскости
контура.

Единица магнитного
потока в системе СИ
называется **вебером**

(Вб)



Явление электромагнитной индукции



Электромагнитная сила (сила Ампера)

- Это сила F , с которой внешнее магнитное поле действует на помещенный в это поле проводник с током длиной L .

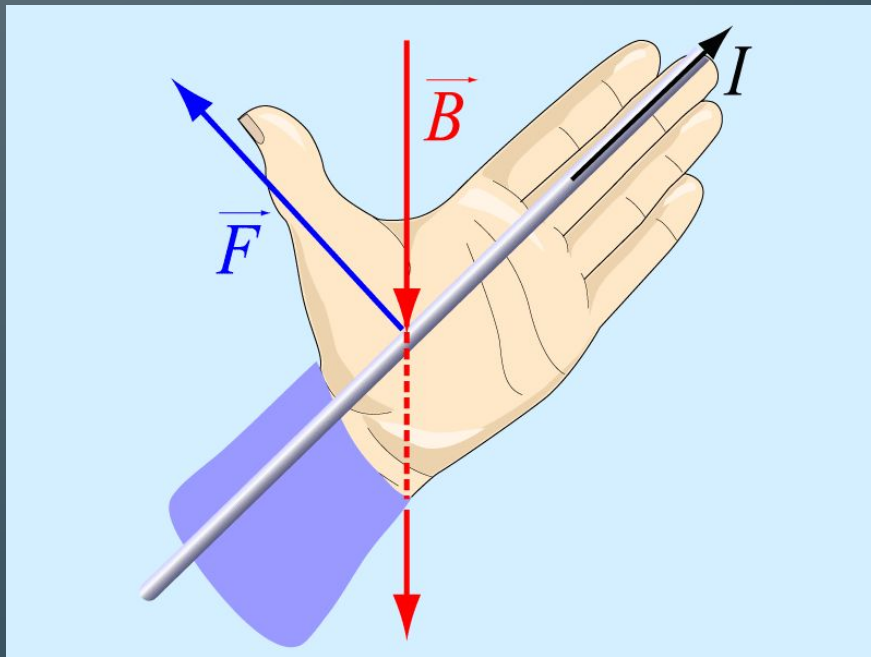
$$F = IBL.$$

Если проводник с током расположен под углом α к вектору магнитной индукции B , то

$$F = IBL \sin \alpha.$$

Направление электромагнитной силы определяют по правилу левой руки.

Правило левой руки (направление силы Ампера)



Если ладонь левой руки расположить так, чтобы в нее входили линии магнитной индукции, а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током.

- Механическую работу по перемещению проводника с током в магнитном поле на расстояние a вычисляют по формуле

$$A = Fa = IBLa = I\Phi.$$

где S — площадь, описанная проводником при его перемещении, м^2 .

Работу выражают в джоулях (Дж).

Взаимодействие проводников с током

- Сила взаимодействия проводников, по которым проходят токи I_1 и I_2 ,

$$F = \mu_a \frac{I_1 I_2}{2\pi a} L$$

где μ_a — абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; L — длина проводников, м; a — расстояние между ними, м; F — сила взаимодействия, Н.

• Абсолютная магнитная проницаемость воздуха и всех веществ, за исключением ферромагнитных материалов, близка к абсолютной магнитной проницаемости вакуума, называемой магнитной постоянной:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м.}$$

Абсолютная магнитная проницаемость вещества

$$\mu_a = \mu_0 \mu,$$

где μ — магнитная проницаемость, показывающая, во сколько раз абсолютная магнитная проницаемость данного материала больше

Напряженность магнитного поля. Магнитное напряжение

- Напряженность магнитного поля (А/м)

$$H = \frac{B}{\mu_a} = \frac{B}{\mu\mu_0}$$

Напряженность магнитного поля — вектор, направление которого совпадает с направлением поля в данной точке.

- Произведение напряженности магнитного поля H на длину участка магнитной линии ΔL называют магнитным напряжением и выражают в амперах (А).

Магнитное напряжение, взятое по всей длине линии магнитной индукции, называют магнитодвижущей силой (МДС) или намагничивающей силой (НС) F_m .

Закон полного тока

- Полный ток—это алгебраическая сумма токов, пронизывающих поверхность, ограниченную замкнутым контуром.

По закону полного тока намагничивающая сила (НС) F_m вдоль замкнутого контура равна полному току:

$$F_m = NI.$$

Прямолинейный проводник

- Напряженность (А/м) магнитного поля в точке, удаленной на расстояние R от прямолинейного проводника,

$$H = \frac{I}{2\pi R}.$$

Магнитная индукция

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

- Напряженность магнитного поля внутри проводника в точке, удаленной от ее оси на расстояние a ,

$$H = \frac{I}{2\pi R^2} a$$

Если $a=R$, то напряженность на поверхности такого проводника

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

где R - радиус цилиндрического проводника, м.

Кольцевой проводник

- Напряженность магнитного поля в центре кольцевого проводника

$$H = \frac{I}{2R} = \frac{I}{d}$$

где R — радиус кольца, м.

Напряженность магнитного поля внутри кольцевой катушки

$$H = \frac{Iw}{2\pi R_x}$$

где R_x — радиус от центра кольцевой катушки до искомой точки, м.

Магнитная индукция

$$B = \mu\mu_0 H = \mu\mu_0 \frac{Iw}{2\pi R_x}.$$

Кольцевая (тороидальная) катушка

- Напряженность магнитного поля на средней магнитной линии кольцевой (тороидальной) катушки

$$H = \frac{Iw}{l}$$

где I — ток в обмотке катушки, А; w — число витков катушки; l — длина средней магнитной линии катушки, м.

Магнитная индукция

$$B = \mu_a H = \mu_a \frac{Iw}{l}.$$

Магнитный поток

$$\Phi = BS = \mu_a \frac{IwS}{l}.$$

где S — площадь поперечного сечения катушки, м².

Цилиндрическая катушка

- Напряженность магнитного поля на оси цилиндрической катушки в любой ее точке

$$H = \frac{Iw}{2l} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

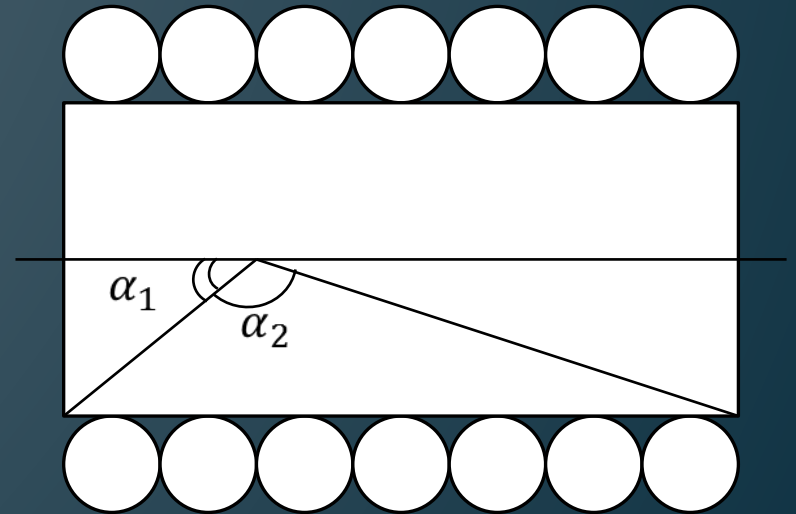
Если $d \ll l$, то $H = \frac{Iw}{l}$.

Магнитная индукция

$$B = \mu\mu_0 H = \mu\mu_0 \frac{Iw}{2l} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

или, по приближенной формуле, при условии $d \ll l$

$$B = \mu\mu_0 \frac{Iw}{l}.$$



ИНДУКЦИИ

- **Правило Ленца:**

При изменении магнитного потока в проводящем контуре **возникает ЭДС индукции** $E_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

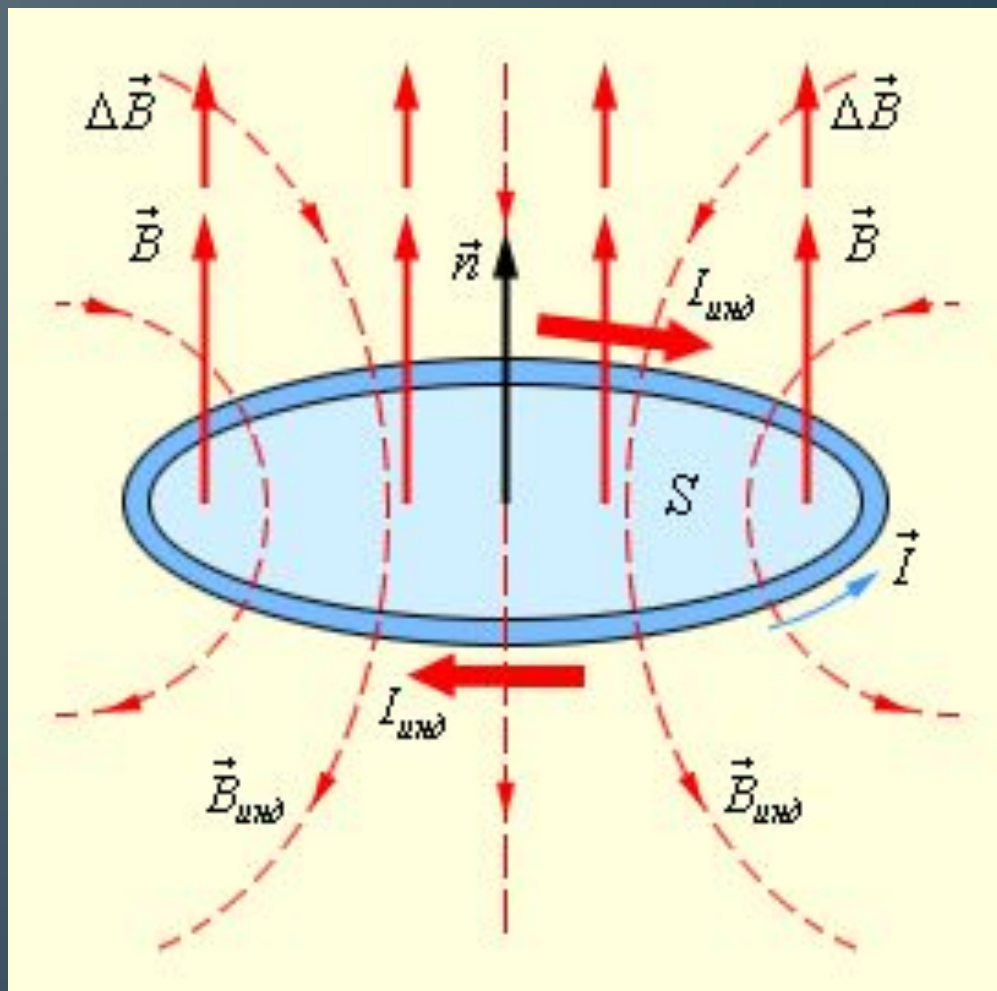
$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

e – мгновенное значение электродвижущей силы, наведенной в контуре.

ЭДС, наведенная в катушке с числом витков w ,

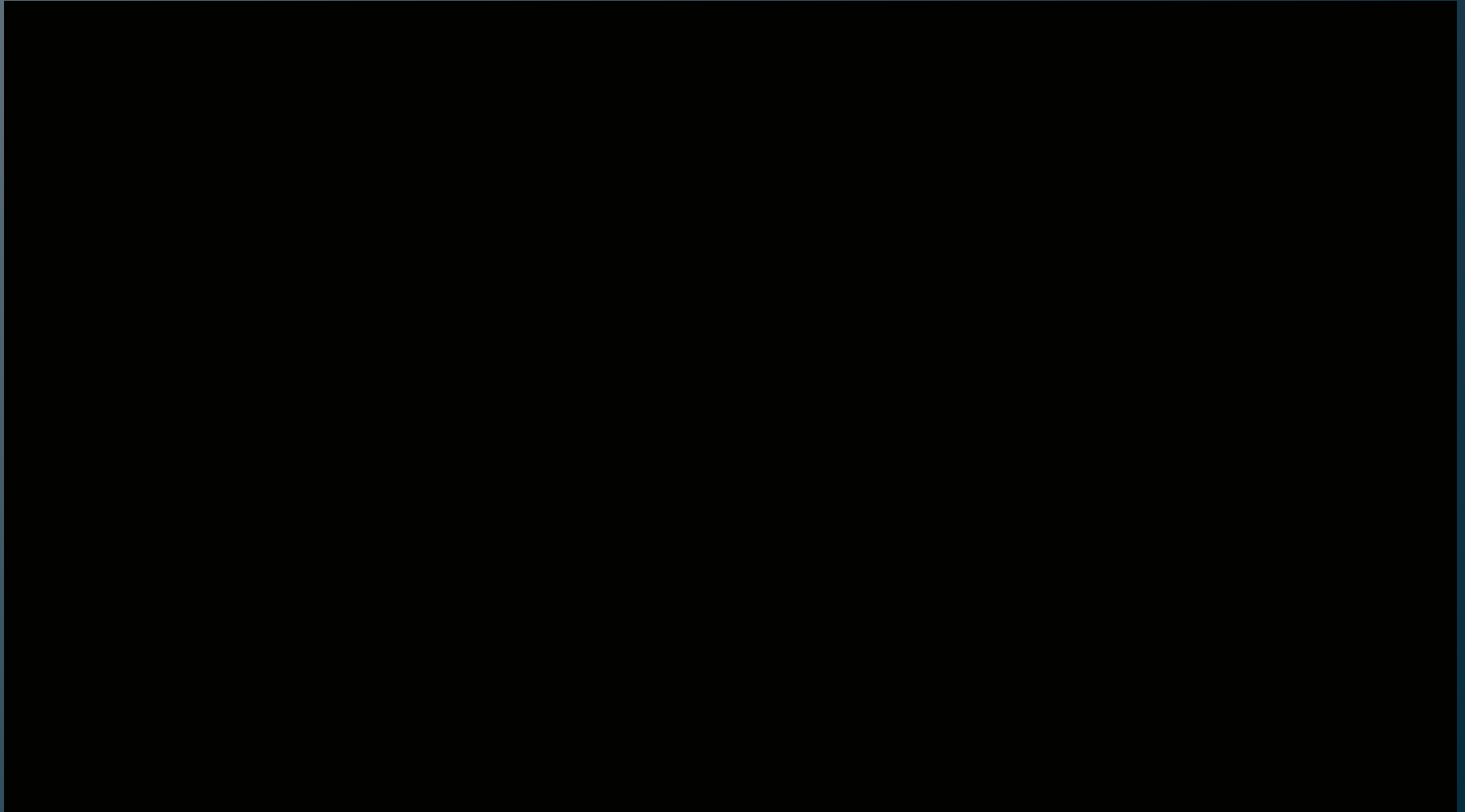
$$e = -w \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ или } e = - \frac{\Delta\Psi}{\Delta t},$$

где Ψ – потокосцепление, Вб; $\Psi = \Phi w$.



В этом примере $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} > 0$, а $E_{\text{инд}} < 0$. Индукционный ток $I_{\text{инд}}$ течет навстречу выбранному положительному направлению обхода контура.

Зависимость индукционного тока от скорости изменения магнитного потока



ЭДС электромагнитной индукции

$$E = Blv$$

B — магнитная индукция, Тл;

l — активная длина проводника, м;

v — скорость перемещения проводника, м/с.

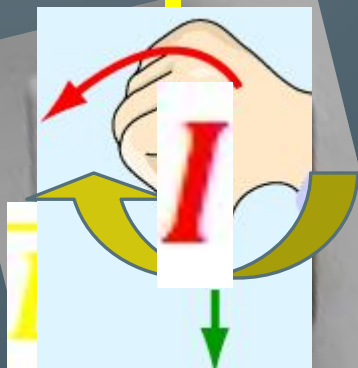
При движении проводника в плоскости, расположенной под углом α к вектору магнитной индукции,

$$E = Blv \sin \alpha$$

Направление наведенной ЭДС определяется правилом правой руки.

Правило Ленца

I случай



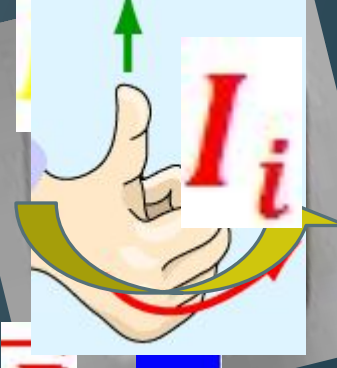
$$\Delta\Phi > 0$$

II случай



$$\Delta\Phi > 0$$

III случай

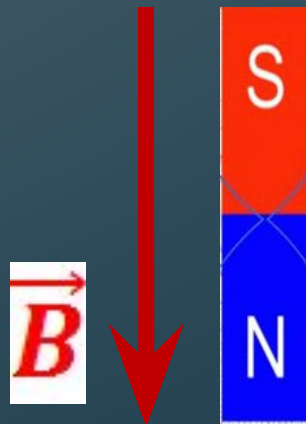
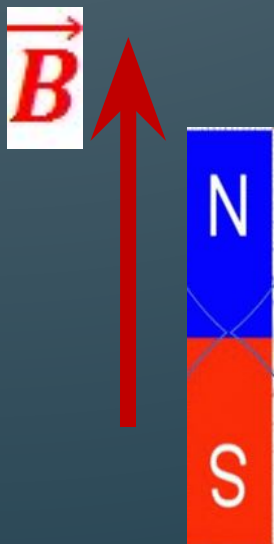


$$\Delta\Phi < 0$$

IV случай



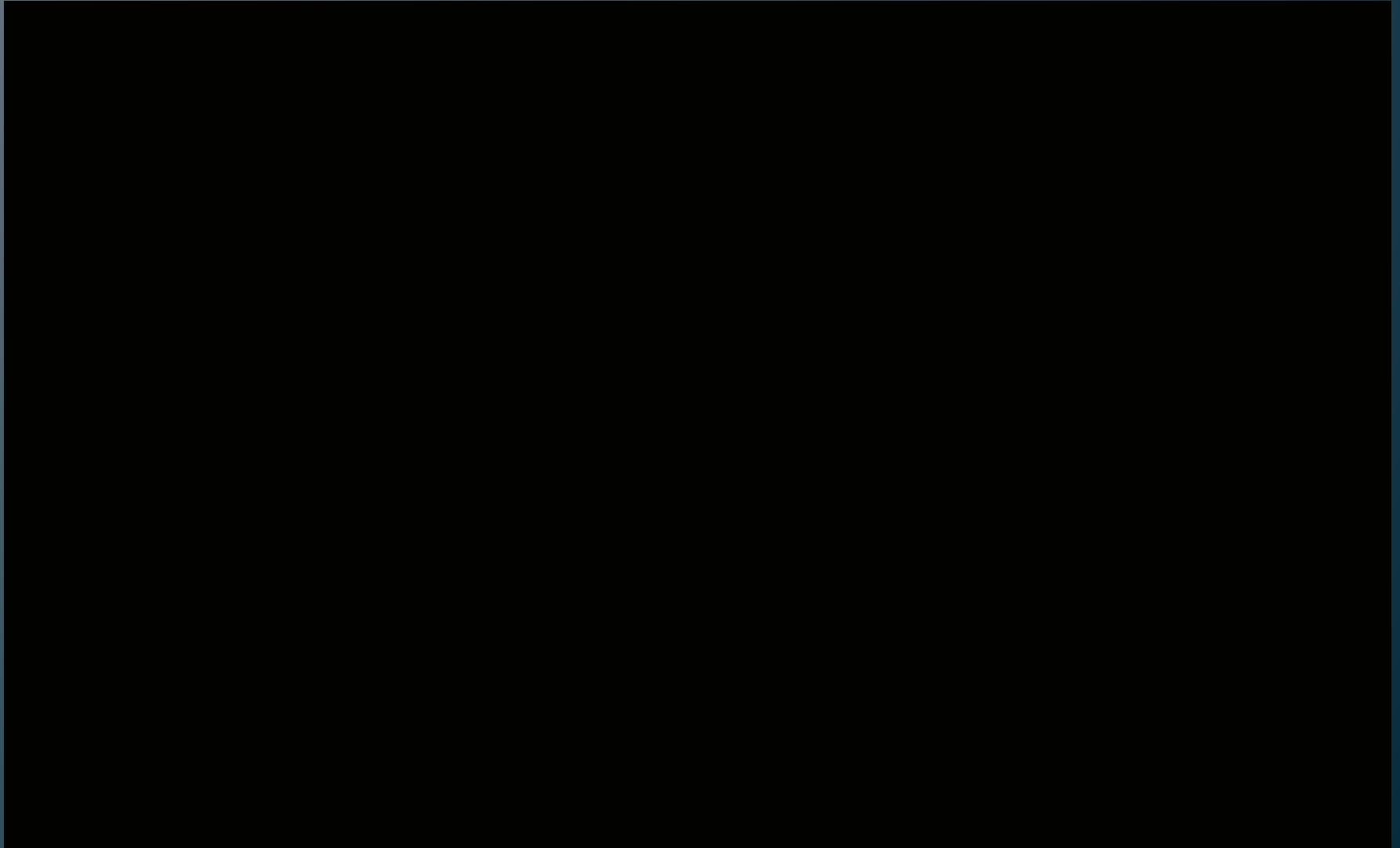
$$\Delta\Phi < 0$$



Получение индукционного тока



Генератор переменного тока



ИНДУКТИВНОСТЬ

- Коэффициент пропорциональности между потоком сцепления самоиндукции Ψ_L и током I катушки или контура при неизменной магнитной проницаемости среды, измеряется в Гн.

$$L = \frac{\Psi_L}{I}$$

Явление возникновения ЭДС в контуре, вызванное изменением тока i в этом же контуре, называют самоиндукцией, а наведенная при этом ЭДС — ЭДС самоиндукции

$$e_L = -\frac{\Delta\Psi_L}{\Delta t} \quad \text{или} \quad e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Энергия магнитного поля

- Для кольцевой катушки энергия магнитного поля, выражаемая в джоулях (Дж),

$$W = \frac{\Psi I}{2} = \frac{LI^2}{2}$$