

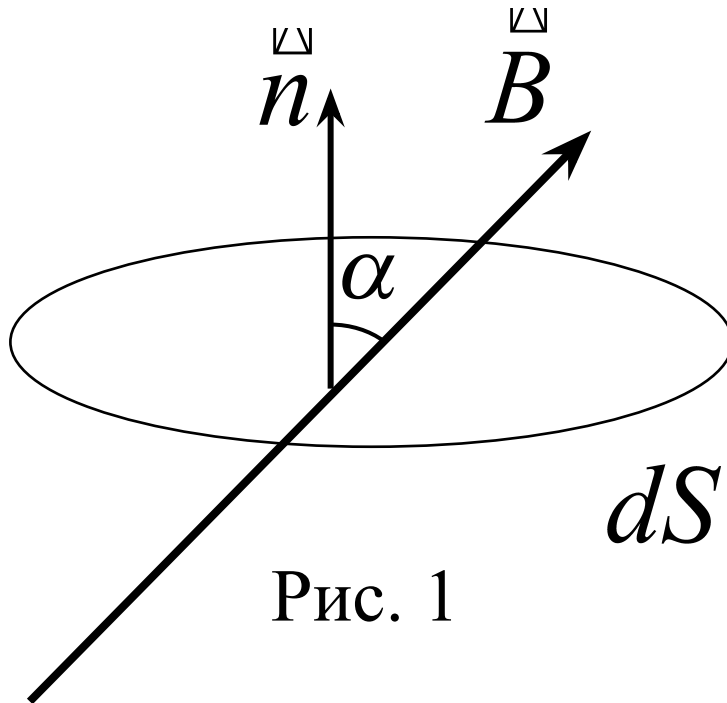
# ФИЗИКА

# Электромагнитная

# ИНДУКЦИЯ

ФИО преподавателя: Бишаев Андрей Михайлович  
e-mail: [bishaev@mirea.ru](mailto:bishaev@mirea.ru)

## Магнитный поток



$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} \quad (1)$$

$$d\vec{S} = \vec{n} dS \quad (2)$$

$$d\Phi_B = B n dS \quad (3)$$

$$d\Phi = B dS \cos \alpha \quad (4)$$

$$d\Phi = B_n dS \quad (5)$$

$$\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS \quad (6)$$

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = -\dot{\Phi} \quad (7)$$

Демонстрация закона электромагнитной индукции

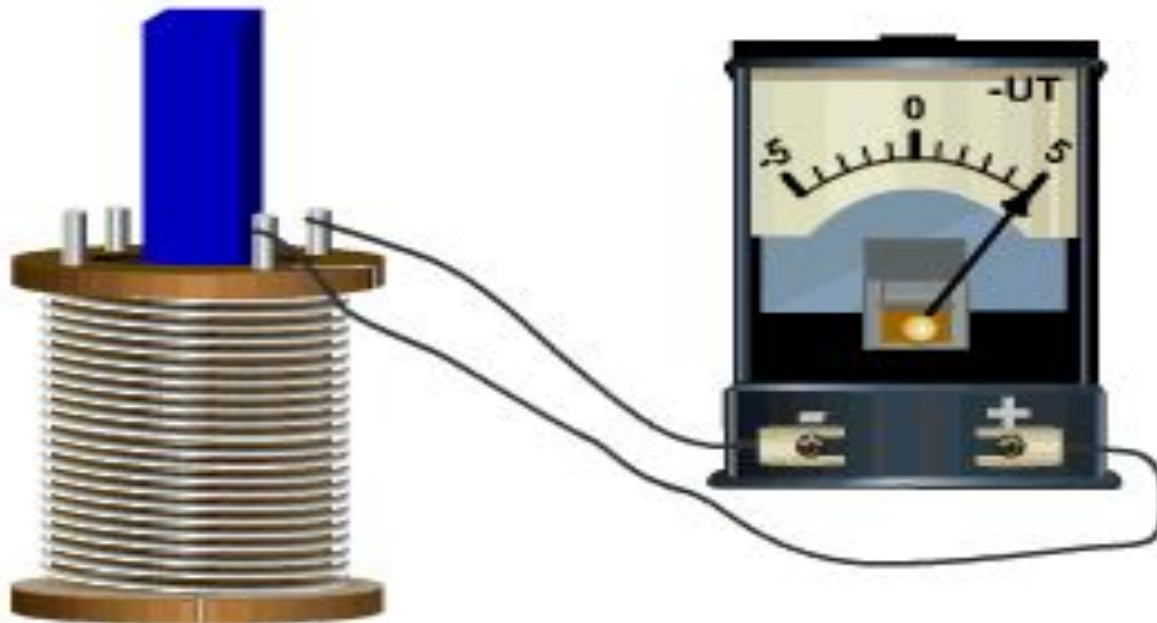
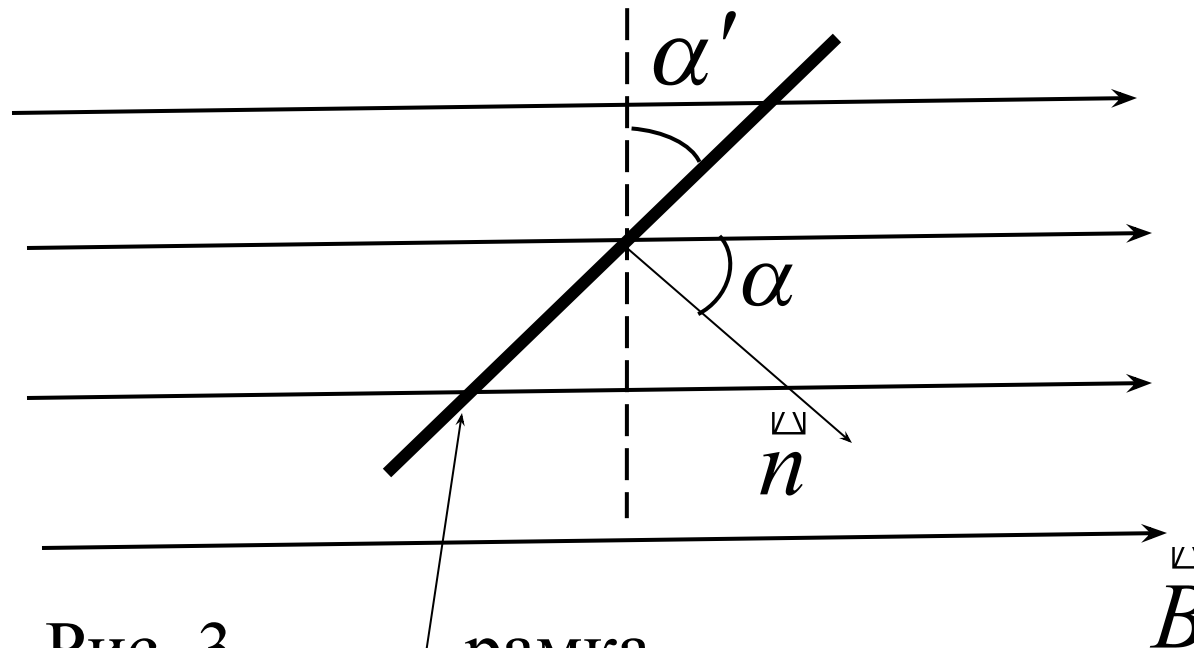


Рис. 2

Задача 1. Проволочная рамка площадью  $S$  равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  вокруг оси, перпендикулярной направлению поля. Период вращения равен  $T$ . Выразить магнитный поток  $\Phi$ , проходящий через рамку, и ЭДС индукции  $E$  в рамке как функцию времени.

Задача 1. Проволочная рамка площадью  $S$  равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  вокруг оси, перпендикулярной направлению поля. Период вращения равен  $T$ . Выразить магнитный поток  $\Phi$ , проходящий через рамку, и ЭДС индукции  $E$  в рамке как функцию времени.



$$\alpha = \alpha'$$

$$\omega = \frac{\alpha'}{t} = \frac{\alpha}{t}$$

$$\alpha = \omega t$$

Рис. 3

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (1.1)$$

$$\Phi = BS \cos \omega t \quad (1.2)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.3)$$

$$\Phi = BS \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (1.4)$$

$$E = -\Phi' \quad (1.5)$$

$$E = \frac{2\pi}{T} BS \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (1.6)$$

Задача 2. Квадратная рамка площадью  $S = 625\text{см}^2$  с замкнутой обмоткой из медного провода вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 10^{-2}\text{Тл}$  вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной полю, совершая  $n = 1200$  оборотов в минуту. Определить как изменится температура обмотки за время  $t = 1$  мин .

Удельное сопротивление, теплоемкость и плотность меди равны соответственно  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$ ,  $c = 378\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и  $D = 8800\text{кг}/\text{м}^3$ .

Задача 2. Квадратная рамка площадью  $S = 625\text{см}^2$  с замкнутой обмоткой из медного провода вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 10^{-2}\text{Тл}$  вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной полю, совершая  $n = 1200$  оборотов в минуту. Определить как изменится температура обмотки за время  $t = 1$  мин .

Удельное сопротивление, теплоемкость и плотность меди равны соответственно  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$ ,  $c = 378\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и  $D = 8800\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (2.1)$$

$$\alpha = \omega t \quad (2.2)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (2.3)$$

$$\Phi = BS \cos(2\pi n t) \quad (2.4)$$



$$E = -\Phi' \quad (2.5)$$

$$E = -BS2\pi n \sin(2\pi nt) \quad (2.6)$$

$$E = E_0 \sin(\omega t) \quad (2.7)$$

$$E_0 = BS2\pi n \quad (2.8)$$

$$E_D = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \quad (2.9)$$

$$P = IU = \frac{U^2}{R} \quad (2.10)$$

$$P = \frac{U_D^2}{R} \quad (2.11)$$

$a$  — сторона

$a$  — <sup>рамки</sup>  
 $a = \sqrt{S}$

$$R = \rho \frac{4a}{s} \quad (2.12)$$

$S$  — площадь поперечного сечения проводника рамки

$$P = \frac{E_0^2 s}{8\rho a} = \frac{E_0^2 s}{8\rho \sqrt{S}} \quad (2.13)$$

$$P = \frac{4\pi^2 n^2 B^2 S^2 s}{8\rho \sqrt{S}} \quad (2.14)$$

$$Q = cm\Delta T = Pt \quad (2.15)$$

$$m = Ds4a = Ds4\sqrt{S} \quad (2.16)$$

$$cDs4\sqrt{S}\Delta T = \frac{4\pi^2 n^2 B^2 S^2_s}{8\rho\sqrt{S}}t \quad (2.17)$$

$$\Delta T = \frac{\pi^2 n^2 B^2 St}{8c\rho D} \quad (2.18)$$

$$\Delta T = \frac{3,14^2 \cdot 20^2 \cdot 10^{-4} \cdot 625 \cdot 10^{-4} \cdot 60}{8 \cdot 378 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8800} = 3,24\text{K}$$

Задача 3. Прямой провод длиной  $l=40$  см движется в однородном магнитном поле со скоростью  $v=5$  м/с перпендикулярно линиям индукции. Разность потенциалов между концами провода  $U=0,6$  В. Вычислить индукцию магнитного поля  $B$ .

Задача 3. Прямой провод длиной  $l=40$  см движется в однородном магнитном поле со скоростью  $v=5$  м/с перпендикулярно линиям индукции. Разность потенциалов между концами провода  $U=0,6$  В. Вычислить индукцию магнитного поля  $B$ .

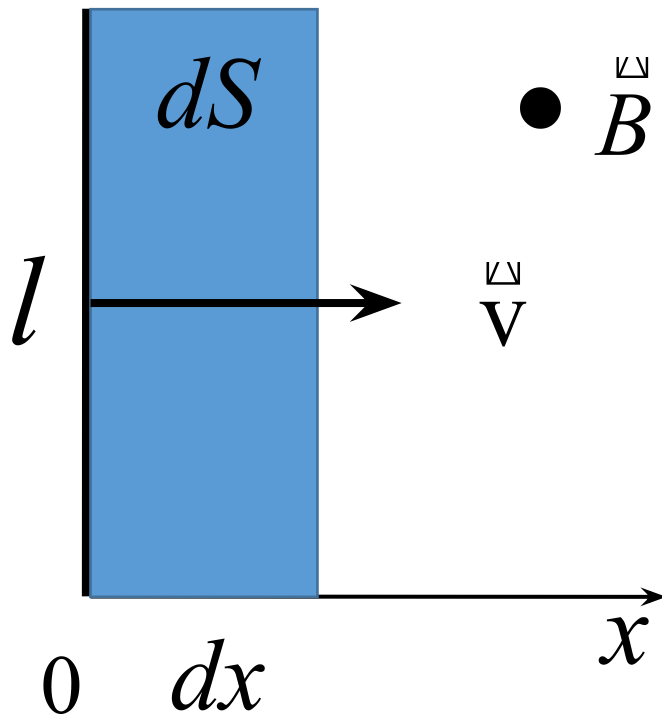


Рис. 4

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.1)$$

$$d\Phi = B dS = Bl dx \quad (3.2)$$

$$U = \frac{d\Phi}{dt} = Bl \frac{dx}{dt} = Blv \quad (3.3)$$

$$B = \frac{U}{lv} = 0,3 \text{ Тл} \quad (3.4)$$

Задача 4. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл находится прямой провод длиной  $l = 20$  см, концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление  $R$  всей цепи равно  $0,1$  Ом. Найти силу  $F$ , которую нужно приложить к проводу, чтобы перемещать его перпендикулярно линиям индукции со скоростью  $v = 2,5$  м/с.

Задача 4. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл находится прямой провод длиной  $l = 20$  см, концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление  $R$  всей цепи равно  $0,1$  Ом. Найти силу  $F$ , которую нужно приложить к проводу, чтобы перемещать его перпендикулярно линиям индукции со скоростью  $v = 2,5$  м/с.

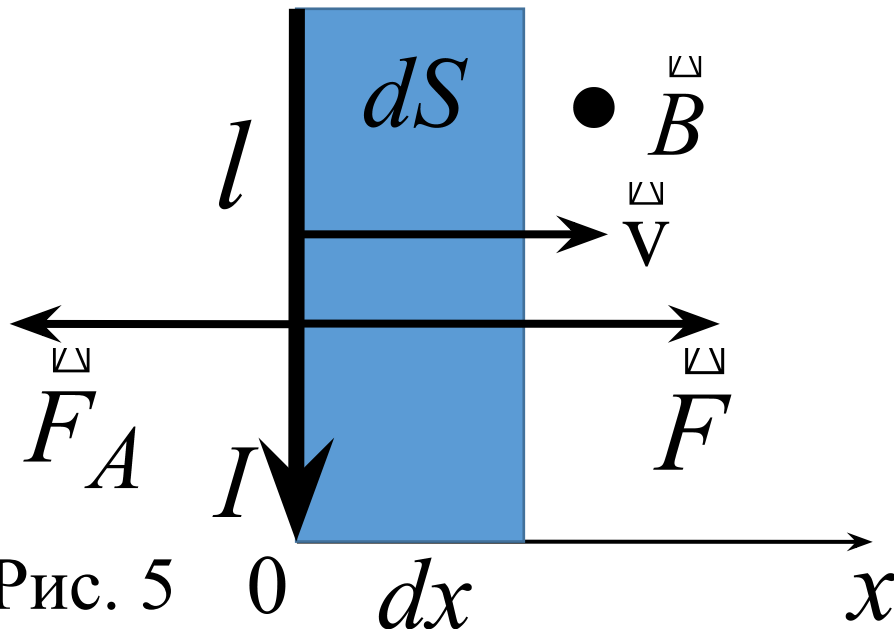


Рис. 5

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (4.1)$$

$$d\Phi = B dS = Bl dx \quad (4.2)$$

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = -Bl \frac{dx}{dt} = -Blv \quad (4.3)$$

$$I = \frac{E}{R} = -\frac{Blv}{R} \quad (4.4)$$

$$F_A = IBl \quad (4.5)$$

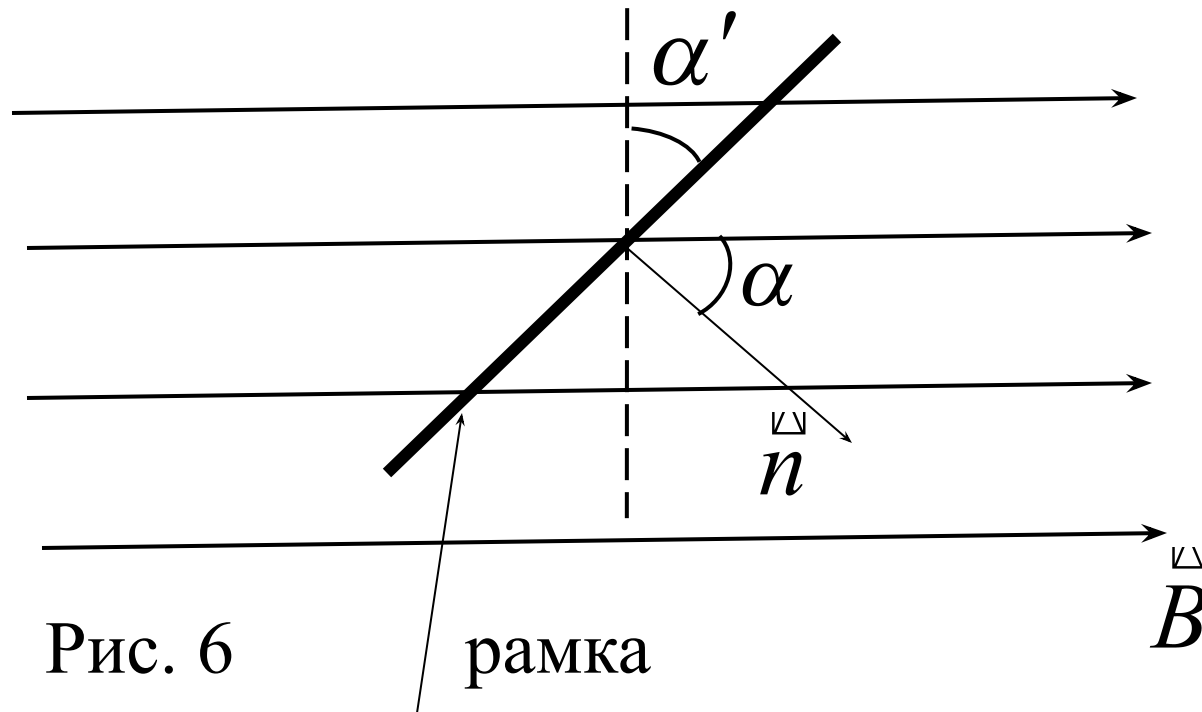
$$\vec{F} + \vec{F}_A = 0 \quad (4.6)$$

$$x: F - F_A = 0 \quad (4.7)$$

$$F = IBl = \frac{v(lB)^2}{R} = 1H \quad (4.8)$$



Задача 5. Рамка площадью  $S = 200 \text{ см}^2$  равномерно вращается с частотой  $n = 10 \text{ с}^{-1}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $B = 0,2 \text{ Тл}$ . Каково среднее значение ЭДС индукции  $\langle E \rangle$  за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется от нуля до максимального значения.



$$\alpha = \alpha'$$
$$\omega = \frac{\alpha'}{t} = \frac{\alpha}{t}$$

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (5.1)$$

$$\alpha = \omega t \quad (5.2)$$

$$E = -\dot{\Phi} = BS \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} \quad (5.4)$$

Среднее значение функции на интервале  $[x_1, x_2]$

$$\langle f \rangle = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (5.5)$$

$$\langle E \rangle = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} E dt \quad (5.6)$$

$$E = \frac{4BS}{T} \int_{\pi/2}^0 \sin \alpha d\alpha \quad (5.7)$$

$$E = -\frac{4BS}{T} \quad (5.8)$$

$$E = -4nBS = -0,16B \quad (5.9)$$

Задача 6. Кусок провода длиной  $l = 2$  м складывают вдвое, и его концы замыкают. Затем провод растягивают в квадрат так, что плоскость квадрата перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли  $B = 2 \cdot 10^5$  Тл. Какой заряд пройдет через контур, если его сопротивление  $R = 1$  Ом?

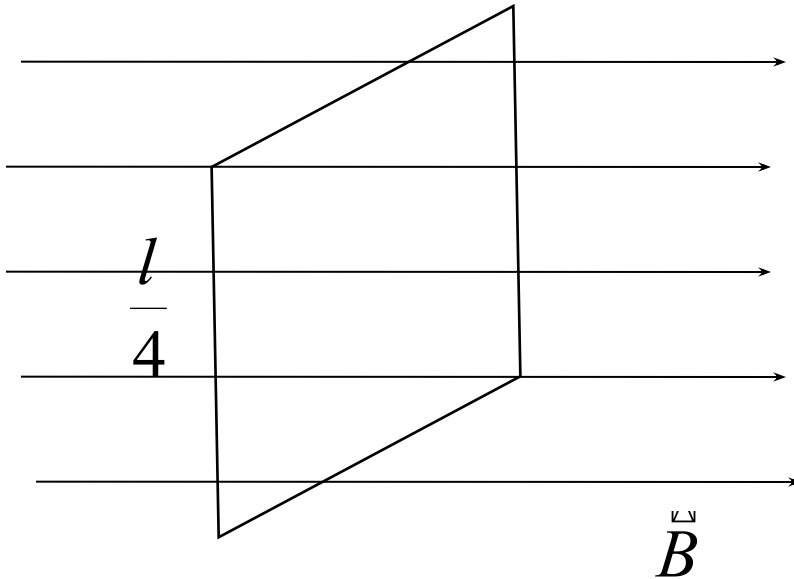


Рис. 7

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (6.1)$$

$$\mathcal{E} = IR \quad (6.2)$$

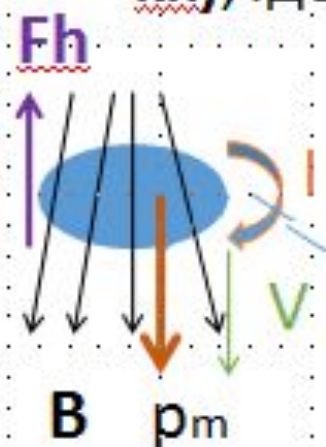
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (6.3)$$

$$\Phi_1 = 0; \Phi_2 = B \frac{l^2}{16} \quad (6.4)$$

$$\mathcal{E} = \frac{Bl^2}{16\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} R \quad (6.5)$$

$$\Delta q = \frac{Bl^2}{16R} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \quad (6.6)$$

Задача 6. В магнитном поле с большой высоты падает кольцо радиусом  $a$  и массой  $m$ . Сопротивление кольца  $R$ . Плоскость кольца все время горизонтальна. Найти установившуюся скорость падения кольца, если вертикальная составляющая магнитного поля  $B$  изменяется с высотой  $h$  по закону:  $B = B_0(1 + kh)$ , где  $k$  положительная константа.



$$I = \frac{\epsilon_{\text{инд}}}{R} \quad (1)$$

$$P_m = IS = \pi a a I; \quad F_h = P_m (dB/dh) \quad (2)$$

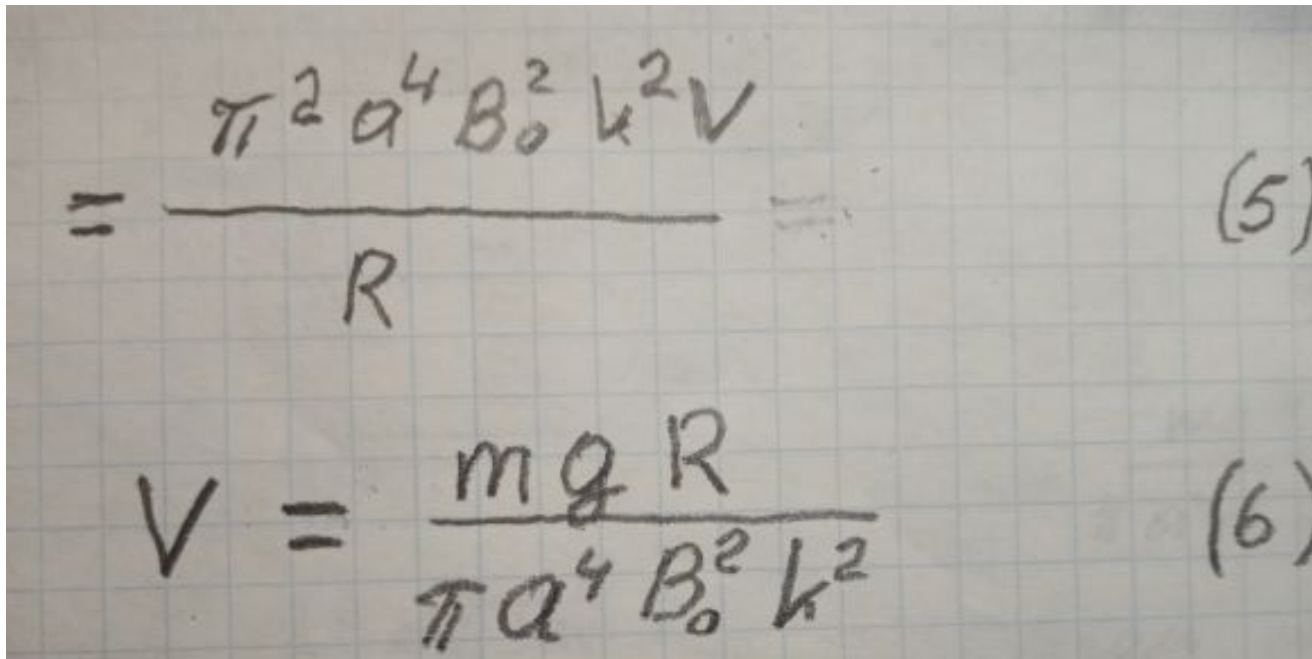
$$B = B_0(1 + kh) \text{ если } V = \text{const, то } \Sigma F = 0$$

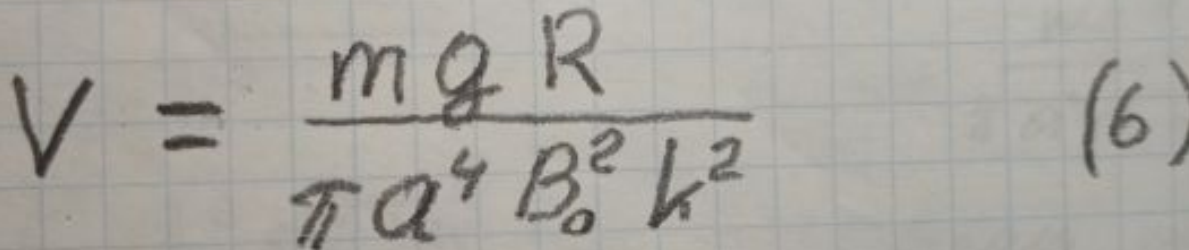
$$mg = F_h = P_m(dB/dh) = \pi(a a) I B_0 k \quad (3)$$

$$\epsilon_{\text{инд}} = -d\Phi/dt = \pi(a a) (dB/dt) = \pi(a a) B_0 k (dh/dt) =$$

$$= \pi(a a) B_0 k V; \quad \text{т.к. } h = Vt \text{ и } dh/dt = V \quad (4)$$

$$I = \pi (a a) B_0 k V / R ; \quad mg = P_m (dB/dt) =$$


$$I = \frac{\pi^2 a^4 B_0^2 k^2 V}{R} \quad (5)$$


$$V = \frac{mgR}{\pi a^4 B_0^2 k^2} \quad (6)$$



# Спасибо за внимание!