

# Fizyka

Bartosz Świst

2025-02-12

# 1 Kinematyka

## 1.1 Wektory

### 1.1.1 Iloczyn skalarny

$$c = \vec{a} \cdot \vec{b} \quad (1.1)$$

$$c = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \angle(\vec{a}, \vec{b}) \quad (1.2)$$

### 1.1.2 Iloczyn wektorowy

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} \quad (1.3)$$

$$\vec{c} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \angle(\vec{a}, \vec{b}) \quad (1.4)$$

## 1.2 Opis ruchu

$$v_{\dot{s}r} = \frac{s}{t} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (1.5)$$

$$\vec{v}_{\dot{s}r} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (1.6)$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad (1.7)$$

## 1.3 Ruch jednostajny prostoliniowy

$$v = \text{const.} \quad (1.8)$$

$$s = vt \quad (1.9)$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{s}{t} = v \quad (1.10)$$

$$x(t) = x_0 \pm vt \quad (1.11)$$

## 1.4 Ruch jednostajnie przyspieszony

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad (1.12)$$

$$a = \text{const.} \quad (1.13)$$

jeżeli  $v_0 = 0$ :

$$v = at \quad (1.14)$$

$$s = \frac{at^2}{2} \quad (1.15)$$

jeżeli  $v_0 \neq 0$ :

$$v_k = v_0 + at \quad (1.16)$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.17)$$

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 : s_5 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : 9 : \dots \quad (1.18)$$

## 1.5 Ruch jednostajnie opóźniony

jeżeli  $v_k = 0$ :

$$v_0 = at \quad (1.19)$$

$$s = \frac{1}{2} v_0 t \quad (1.20)$$

jeżeli  $v_k \neq 0$ :

$$v_k = v_0 - at \quad (1.21)$$

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2} = v_0 t - \frac{1}{2} \Delta v t \quad (1.22)$$

## 1.6 Rzut pionowy

### 1.6.1 Wznoszenie się

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (1.23)$$

$$v = v_0 - gt \quad (1.24)$$

### 1.6.2 Opadanie

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \quad (1.25)$$

$$v = v_0 + gt \quad (1.26)$$

jeżeli  $v_0 = 0$ :

$$v = gt \quad (1.27)$$

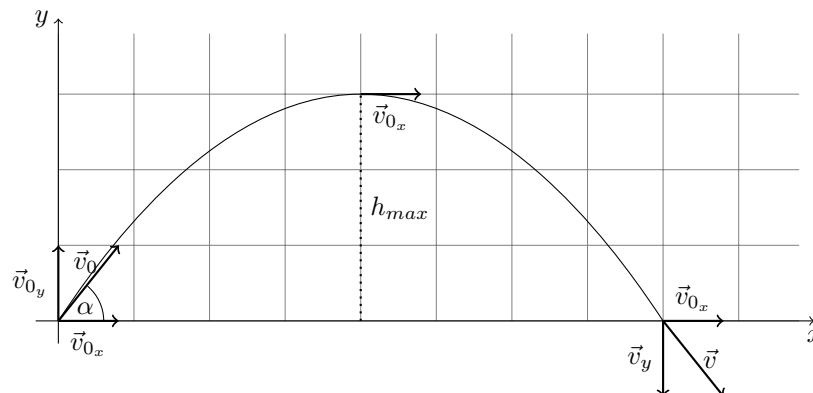
## 1.7 Rzut poziomy

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad (1.28)$$

$$x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1.29)$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} \quad (1.30)$$

## 1.8 Rzut ukośny



$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha \quad (1.31)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha \quad (1.32)$$

$$y(x) = x \operatorname{tg} \alpha - x^2 \cdot \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \quad (1.33)$$

$$t_c = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (1.34)$$

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (1.35)$$

$$z = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (1.36)$$

dla  $\alpha = 45^\circ$ ,  $z = z_{max}$ :

$$z_{max} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (1.37)$$

## 1.9 Ruch jednostajny po okręgu

$$\alpha = \frac{L}{r} \text{ [rad]} \quad (1.38)$$

$$f = \frac{n}{t} \text{ [Hz]} \quad (1.39)$$

$$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (1.40)$$

dla jednego obrotu:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.41)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.42)$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = \omega r \quad (1.43)$$

$$a_r = \frac{v^2}{r} \quad (1.44)$$

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (1.45)$$

$$v = \omega r \sin \angle(\vec{\omega}, \vec{r}) \quad (1.46)$$

dla  $\vec{\omega} \perp \vec{r}$ :

$$v = \omega r \quad (1.47)$$

### 1.10 przyspieszenie w ruchu po okręgu

$$\vec{a}_s = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (1.48)$$

$$a_w = \sqrt{a_r^2 + a_s^2} \quad (1.49)$$

## 2 Dynamika

### 2.1 Zasady dynamiki Newtona

#### 2.1.1 Pierwsza zasada

$$\vec{F}_w = 0 \Rightarrow \vec{v} = 0 \vee \vec{v} = \text{const.} \quad (2.1)$$

#### 2.1.2 Druga zasada

$$F_w \neq 0 \Rightarrow a = \text{const.} \quad (2.2)$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_w}{m} \Rightarrow \vec{F}_w = m\vec{a} \text{ [N]} \quad (2.3)$$

#### 2.1.3 Trzecia zasada

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (2.4)$$

$$F_{AB} = F_{BA} \quad (2.5)$$

### 2.2 Ruch na równi pochyłej

$$\frac{\vec{F}_Z}{\vec{F}_g} = \sin \alpha \Rightarrow \vec{F}_Z = \vec{F}_g \sin \alpha = mg \sin \alpha \quad (2.6)$$

$$\frac{\vec{F}_N}{\vec{F}_g} = \cos \alpha \Rightarrow \vec{F}_N = \vec{F}_g \cos \alpha = mg \cos \alpha \quad (2.7)$$

### 2.3 tbd

### 2.4 Pęd ciała

$$\vec{p} = m\vec{v} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2.8)$$

$$\Delta p = F \Delta t \quad (2.9)$$

#### 2.4.1 Zasada zachowania pędu

$$\Delta \vec{p} = 0 \Leftrightarrow \vec{p} = \text{const.} \quad (2.10)$$

### 2.5 Środek masy

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2.11)$$

## 2.6 Tarcie

$$T_s = \mu_s F_N \text{ [N]} \quad (2.12)$$

$$T_k \leq \mu_k F_N \text{ [N]} \quad (2.13)$$

## 2.7 Siła dośrodkowa

$$F_{do} = \frac{mv^2}{r} \text{ [N]} \quad (2.14)$$

## 2.8 Siła bezwładności

$$\vec{F}_b = -m\vec{a} \text{ [N]} \quad (2.15)$$

## 3 Praca, moc, energia

### 3.1 Praca

$$W = \vec{F} \Delta \vec{r} \text{ [J]} \quad (3.1)$$

$$W = F \Delta r \cos \angle(\vec{F}, \Delta \vec{r}) \quad (3.2)$$

dla  $\alpha = 0^\circ$ :

$$W = F \Delta r = F s \quad (3.3)$$

dla  $\alpha = 90^\circ$ :

$$W = 0 \quad (3.4)$$

### 3.2 Moc

$$P = \frac{W}{t} \text{ [W]} \quad (3.5)$$

dla  $v = \text{const.}$ :

$$P = F v \quad (3.6)$$

### 3.3 Energia mechaniczna

#### 3.3.1 Energia kinetyczna

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \text{ [J]} \quad (3.7)$$

$$\Delta E_k = W \quad (3.8)$$

#### 3.3.2 Energia potencjalna

$$E_p = mgh \text{ [J]} \quad (3.9)$$

$$\Delta E_p = W \quad (3.10)$$

#### 3.3.3 Zasada zachowania energii

$$E_c = E_k + E_p \quad (3.11)$$

$$E_c = \text{const.} \Rightarrow \Delta E_c = 0 \quad (3.12)$$

$$\Delta E_c = \Delta E_p + \Delta E_k \quad (3.13)$$

### 3.4 Sprawność

$$\eta = \frac{E_{u\acute{z}yt.}}{E_{pob.}} (\cdot 100\%) = \frac{W_{u\acute{z}yt.}}{E_{pob.}} (\cdot 100\%) \quad (3.14)$$

$$\eta_{u\acute{z}yt.} = \prod_{i=1}^n \eta_i \quad (3.15)$$



## 4 Hydrostatyka

### 4.1 Ciśnienie i parcie

#### 4.1.1 Ciśnienie

$$p = \frac{F_N}{S} \text{ [Pa]} \quad (4.1)$$

dla  $F_N = mg$ :

$$p = \frac{mg}{S} \quad (4.2)$$

#### 4.1.2 Parcie

$$P = pS \text{ [N]} \quad (4.3)$$

#### 4.1.3 Ciśnienie hydrostatyczne

$$p_h = \frac{P}{S} = \varrho_c g h \text{ [Pa]} \quad (4.4)$$

#### 4.1.4 Paradoks hydrostatyczny

### 4.2 Prawo Pascala

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad (4.5)$$

#### 4.2.1 Naczynia połączone

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \varrho_1 h_1 = \varrho_2 h_2 \quad (4.6)$$

### 4.3 Prawo Archimiedesa

$$F_W = P_2 - P_1 = \varrho_c g V_z \text{ [N]} \quad (4.7)$$

#### 4.3.1 Warunki wypływania

$$F_W > F_g \Rightarrow \text{ciało wypływa}$$

$$F_W = F_g \Rightarrow \text{ciało pływa}$$

$$F_W < F_g \Rightarrow \text{ciało tonie}$$

## 5 Bryła sztywna

### 5.1 Ruch obrotowy

#### 5.1.1 Prędkość kątowna

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \frac{1}{\text{s}} \right] \quad (5.1)$$

#### 5.1.2 przyspieszenie kątowne

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}, \frac{1}{\text{s}^2} \right] \quad (5.2)$$

#### 5.1.3 Prędkość liniowa (styczna)

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (5.3)$$

$$v = \omega r \sin \angle(\vec{\omega}, \vec{r}) \quad (5.4)$$

dla  $\vec{\omega} \perp \vec{r}$ :

$$v = \omega r \quad (5.5)$$

#### 5.1.4 przyspieszenie liniowe

$$a_r = \varepsilon r \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad (5.6)$$

### 5.2 Równania obrotu

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t \quad (5.7)$$

$$\alpha = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (5.8)$$

$$(5.9)$$

dla  $\omega_0 = 0$ :

$$\alpha = \frac{1}{2} \omega t \quad (5.10)$$

### 5.3 Moment bezwładności

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \left[ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right] \quad (5.11)$$

### 5.3.1 Momenty bezwładności wybranych brył

$$\text{kula: } I_0 = \frac{2}{5}mr^2 \quad (5.12)$$

$$\text{walec: } I_0 = \frac{1}{2}mr^2 \quad (5.13)$$

$$\text{pręt: } I_0 = \frac{1}{12}ml^2 \quad (5.14)$$

$$\text{rura grubościenna: } I_0 = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2) \quad (5.15)$$

### 5.3.2 Twierdzenie Steinera

$$I = I_0 + mx^2 \quad (5.16)$$

## 5.4 Energia kinetyczna

$$E_{k_o} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i}{2} \text{ [J]} \quad (5.17)$$

$$E_{k_o} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (5.18)$$

## 5.5 Moment siły

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (5.19)$$

$$M = rF \sin \angle(\vec{r}, \vec{F}) \quad (5.20)$$

dla  $\vec{r} \perp \vec{F}$ :

$$M = rF \quad (5.21)$$

dla  $\vec{r} \parallel \vec{F}$ :

$$M = 0 \quad (5.22)$$

### 5.5.1 Wypadkowy moment siły

$$M_w = \sum_{i=1}^n M_i \quad (5.23)$$

$$M_w = \varepsilon I \quad (5.24)$$

### 5.5.2 Równowaga bryły sztywnej

$$F_w = 0 \quad (5.25)$$

$$M_w = 0 \quad (5.26)$$

## 5.6 Moment pędu

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} \right] \quad (5.27)$$

$$L = rp \sin \angle(\vec{r}, \vec{p}) \quad (5.28)$$

$$L = mrv \sin \angle(\vec{r}, \vec{v}) \quad (5.29)$$

dla  $\vec{p} \perp \vec{r}$ :

$$L = rp = mrv \quad (5.30)$$

$$L = \sum_{i=1}^n m_i r_i v_i \sin \angle(\vec{r}, \vec{v}) \quad (5.31)$$

dla  $\vec{r} \perp \vec{v}$ :

$$L = \omega I \quad (5.32)$$

## 6 Grawitacja

### 6.1 Prawa Keplera

#### 6.1.1 Pierwsze prawo

#### 6.1.2 Drugie prawo

$$s_1 = s_2 \quad (6.1)$$

$$L_1 = L_2 \Rightarrow r_1 v_1 = r_2 v_2 \quad (6.2)$$

#### 6.1.3 Trzecie prawo

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{const.} \quad (6.3)$$

### 6.2 Prawo powszechnego ciążenia

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ [N]} \quad (6.4)$$

gdzie:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \right] \quad (6.5)$$

$$F = \frac{4}{3} \pi R G \rho m \quad (6.6)$$

$$F \sim dR \quad (6.7)$$

### 6.3 Natężenie pola grawitacyjnego

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m} \left[ \frac{\text{N}}{\text{kg}}, \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad (6.8)$$

dla pola centralnego:

$$\gamma = \frac{GM}{r^2} \quad (6.9)$$

### 6.4 Praca w polu grawitacyjnym

$$W = mgh \quad (6.10)$$

$$\Delta E_p = W \quad (6.11)$$

$$W_{Z(A \rightarrow B)} = GMm \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (6.12)$$

$$W_{g(A \rightarrow B)} = -W_{Z(A \rightarrow B)} \quad (6.13)$$

## 6.5 Energia w polu grawitacyjnym

$$E_p = -\frac{GMm}{r} \quad (6.14)$$

## 6.6 Potencjał pola grawitacyjnego

$$V = \frac{E_p}{m} \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \quad (6.15)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta E_p}{m} \quad (6.16)$$

## 6.7 Prędkości kosmiczne

### 6.7.1 Pierwsza prędkość kosmiczna

$$v_I = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (6.17)$$

### 6.7.2 Satelita geostacjonarny

$$r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^4}} \quad (6.18)$$

### 6.7.3 Druga prędkość kosmiczna

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = v_I \sqrt{2} \quad (6.19)$$

## 7 Ruch drgający

$$F_z = kx \quad (7.1)$$

$$F_s = -kx \quad (7.2)$$

$$k = \left| \frac{F_s}{x} \right| \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \quad (7.3)$$

### 7.1 Ruch harmoniczny

$$x = r \sin \alpha \quad (7.4)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ [s]} \quad (7.5)$$

#### 7.1.1 Równania ruchu harmonicznego

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (7.6)$$

$$v(t) = \omega A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (7.7)$$

$$a(t) = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (7.8)$$

$$x_{max} = A \text{ dla } \sin 90^\circ = 1 \quad (7.9)$$

$$v_{max} = \omega A \text{ dla } \cos 0^\circ = 1 \quad (7.10)$$

$$a_{max} = -\omega^2 A \text{ dla } \sin 90^\circ = 1 \quad (7.11)$$

$$(7.12)$$

#### 7.1.2 Łączenie sprężyn

$$F = \text{const.} \quad (7.13)$$

$$x = \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.14)$$

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \quad (7.15)$$

$$x = \text{const.} \quad (7.16)$$

$$F_c = \sum_{i=1}^n F_i \quad (7.17)$$

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \quad (7.18)$$

## 7.2 Energia w ruchu harmonicznym

$$W = \frac{1}{2}Fx \Rightarrow E_{p_s} = \frac{1}{2}kx^2 \quad (7.19)$$

$$E_c = E_{p_s} + E_k \quad (7.20)$$

$$E_c = \frac{1}{2}kA^2 \quad (7.21)$$

$$E_k = \frac{1}{2}k(A^2 - x^2) \quad (7.22)$$

## 7.3 Wahadło matematyczne

$$F = F_g \sin \alpha \quad (7.23)$$

dla małych kątów  $\sin \alpha \approx \alpha$ :

$$F = mg\alpha \quad (7.24)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (7.25)$$



## 8 Termodynamika

### 8.1 Zerowa zasada dynamiki

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{NE_{k_{\dot{s}r.}}}{V} \text{ [Pa]} \quad (8.1)$$

$$E_{k_{\dot{s}r.}} = \frac{1}{2}mv_{\dot{s}r.}^2 \text{ [J]} \quad (8.2)$$

### 8.2 Równanie gazu doskonałego

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{pV}{T} = \text{const.} \quad (8.3)$$

#### 8.2.1 Równanie Clapeyrona

$$pV = nRT = NkT \quad (8.4)$$

gdzie:

$$R = 8,31 \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \quad (8.5)$$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{\text{J}}{\text{K}} \right] \quad (8.6)$$

### 8.3 Przemiany gazu doskonałego

#### 8.3.1 Przemiana izotermiczna

$$T = \text{const.} \quad (8.7)$$

$$\frac{p_1 V_1}{T} = \frac{p_2 V_2}{T} \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (8.8)$$

$$pV = \text{const.} \Rightarrow p = \frac{\text{const.}}{V} \quad (8.9)$$

$$(\text{Prawo Boyle'a}) \quad (8.10)$$

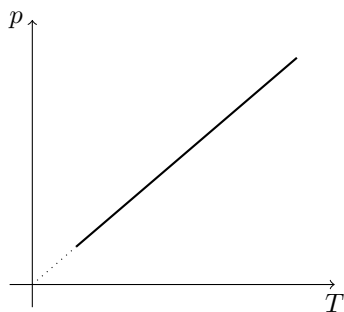
#### 8.3.2 Przemiana izochoryczna

$$V = \text{const.} \quad (8.11)$$

$$\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_2 V}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (8.12)$$

$$\frac{p}{T} = \text{const.} \Rightarrow p = T \cdot \text{const.} \quad (8.13)$$

$$(\text{Prawo Charles'a}) \quad (8.14)$$



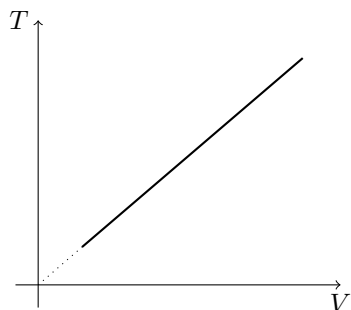
### 8.3.3 Przemiana izobaryczna

$$p = \text{const.} \quad (8.15)$$

$$\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (8.16)$$

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \Rightarrow V = T \cdot \text{const.} \quad (8.17)$$

$$(\text{Prawo Gay-Lussaca}) \quad (8.18)$$



## 8.4 Pierwsza zasada termodynamiki

$$\Delta U = Q + W_z \text{ [J]} \quad (8.19)$$

dla  $Q > 0$  ciepło zostało pobrane

dla  $Q < 0$  ciepło zostało oddane

$$W_z = F_z \Delta x \cos \angle(\vec{F}_z, \Delta \vec{x}) \quad (8.20)$$

$$W_z = -W_{\text{gazu}} \quad (8.21)$$

dla  $W_z > 0$ :

$$W_z = F_z \Delta x \quad (8.22)$$

dla  $W_z < 0$ :

$$W_z = -F_z \Delta x \quad (8.23)$$

$$|W| = p|\Delta V| \quad (8.24)$$

## 8.5 Energia wewnętrzna gazu doskonałego

$$U = N \cdot \frac{i}{2} kT \quad (8.25)$$

$$\Delta U = N \cdot \frac{i}{2} k\Delta T \quad (8.26)$$

### 8.5.1 Przemiana izotermiczna

$$T = \text{const.} \Leftrightarrow U = \text{const.} \quad (8.27)$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q + W = 0 \quad (8.28)$$

### 8.5.2 Przemiana izochoryczna

$$V = \text{const.} \Rightarrow \Delta V = 0 \quad (8.29)$$

$$W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q \quad (8.30)$$

### 8.5.3 Przemiana adiabatyczna

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = W \quad (8.31)$$

$$pV^\kappa = \text{const.} \quad (8.32)$$

gdzie:

$$\kappa = \frac{C_p}{C_V} \quad (8.33)$$

## 8.6 Ciepło molowe i właściwe

### 8.6.1 Ciepło właściwe

$$C_w = \frac{Q}{m\Delta T} \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (8.34)$$

$$Q = mC_w\Delta T \quad (8.35)$$

### 8.6.2 Ciepło molowe

$$C = \frac{Q}{n\Delta T} \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \quad (8.36)$$

ciepło molowe przy stałym ciśnieniu:  $C_p$

ciepło molowe przy stałej objętości:  $C_V$

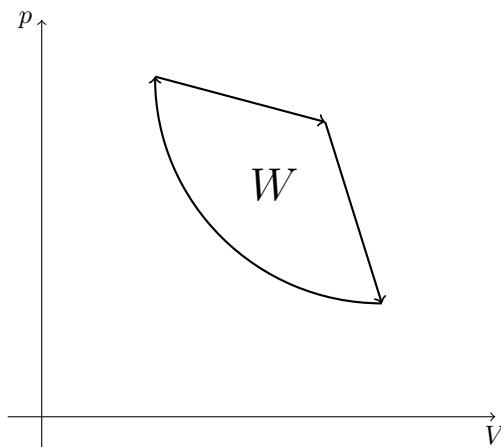
$$Q_p = Q_V + p\Delta V \quad (8.37)$$

$$C_p = C_V + R \quad (8.38)$$

## 8.7 Energia wewnętrzna jako funkcja stanu

$$\Delta U = Q_V = nC_V \Delta T \quad (8.39)$$

## 8.8 Silnik cieplny



$$\eta = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (8.40)$$

## 8.9 Przejścia fazowe

$$Q = mC_w \Delta T \quad (8.41)$$

woda - lód:  $T_T = T_K = 0^\circ C$

woda - para wodna:  $T_W = T_S = 100^\circ C$

$$Q = mL \quad (8.42)$$

$$Q = mR \quad (8.43)$$

## 8.10 Rozszerzalność temperaturowa ciał

### 8.10.1 Rozszerzalność objętościowa

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta T \quad (8.44)$$

### 8.10.2 Rozszerzalność liniowa

$$\Delta l = l_0 \lambda \Delta T \quad (8.45)$$

## 9 Elektrostatyka

### 9.1 Ładunek

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ [C]} \quad (9.1)$$

$$q = ne \text{ [C]} \quad (9.2)$$

### 9.2 Prawo Culomba

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ [N]} \quad (9.3)$$

gdzie:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8,99 \cdot 10^9 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right] \quad (9.4)$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right] \quad (9.5)$$

### 9.3 Natężenie pola elektrostatycznego

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left[ \frac{\text{N}}{\text{C}} \right] \quad (9.6)$$

$$E = \frac{k|Q|}{r^2} \quad (9.7)$$

### 9.4 Rozmieszczenie ładunku na przewodniku

$$\sigma = \frac{Q}{S} \left[ \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \right] \quad (9.8)$$

### 9.5 Praca, energia i potencjał w polu elektrostatycznym centralnym

$$W_{A \rightarrow B} = -kQq \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \text{ [J]} \quad (9.9)$$

$$E_p = \frac{kQq}{r} \text{ [J]} \quad (9.10)$$

$$V = \frac{E_p}{q} = \frac{kQ}{r} \text{ [V]} \quad (9.11)$$

$$W = q\Delta V = qU \quad (9.12)$$

### 9.6 Pojemność elektryczna przewodnika

$$C = \frac{Q}{V} \text{ [F]} \quad (9.13)$$

## 9.7 Kondensator

$$C = \frac{Q}{U} \quad (9.14)$$

dla kondensatora płaskiego:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad (9.15)$$

$$E = \frac{U}{d} \quad (9.16)$$

### 9.7.1 Łączenie kondensatorów

$$Q = \text{const.} \quad (9.17)$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i \quad (9.18)$$

$$\frac{1}{C_z} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (9.19)$$

$$U = \text{const.} \quad (9.20)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (9.21)$$

$$C_z = \sum_{i=1}^n C_i \quad (9.22)$$

### 9.7.2 Kondensator z dielektrykiem

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} \text{ [F]} \quad (9.23)$$

gdzie  $\varepsilon_r$  - stała przenikalności dielektryka

### 9.7.3 Energia naładowania kondensatora

$$E = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{Q^2}{2C} \quad (9.24)$$

## 9.8 Ruch ładunków w polu elektrostatycznym

$$F = qE \quad (9.25)$$

jeżeli  $F = F_w$ :

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad (9.26)$$

## 10 Prąd elektryczny

### 10.1 Natężenie prądu elektrycznego

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ [A]} \quad (10.1)$$

### 10.2 Pierwsze prawo Kirchhoffa

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (10.2)$$

### 10.3 Prawo Ohma

$$\frac{U}{I} = \text{const.} \quad (10.3)$$

$$R = \frac{U}{I} \text{ [\Omega]} \quad (10.4)$$

#### 10.3.1 Wybrane charakterystyki prądowo-napięciowe

#### 10.3.2 Łączenie rezystorów

$$I = \text{const.} \quad (10.5)$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i \quad (10.6)$$

$$R_z = \sum_{i=1}^n R_i \quad (10.7)$$

$$U = \text{const.} \quad (10.8)$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (10.9)$$

$$\frac{1}{R_z} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (10.10)$$

#### 10.3.3 Opór przewodnika

$$R = \frac{\varrho l}{S} \text{ [\Omega]} \quad (10.11)$$

gdzie  $\varrho$  - opór właściwy materiału przewodnika

## 10.4 Praca prądu elektrycznego

$$W = UI t = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t \quad (10.12)$$

### 10.4.1 Emisja ciepła

$$Q = W = I^2 R t \quad (\text{Ciepło Joule'a}) \quad (10.13)$$

### 10.4.2 Energia elektryczna

$$E_{el} = W = UI t \text{ [kWh]} \quad (10.14)$$

## 10.5 Moc prądu elektrycznego

$$P = \frac{W}{t} \text{ [W]} \quad (10.15)$$

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (10.16)$$

## 10.6 Ogniwo galwaniczne

### 10.6.1 Prawo Ohma dla obwodu

$$\mathcal{E} = U + U_w = U + IR_w \quad (10.17)$$

$$U = \mathcal{E} - IR_w \quad (10.18)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_z} = \frac{\mathcal{E}}{R + R_w} \text{ [A]} \quad (10.19)$$

## 10.7 Drugie prawo Kirchoffa

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i + \sum_{i=1}^n I_i R_i = 0 \quad (10.20)$$

## 10.8 Przewodnictwo ciał stałych

## 10.9 Dioda półprzewodnikowa



## 11 Magnetyzm