

# **KOMPENDIUM**

**MALA ENCYKLOPEDIA FIZYKI SZKOLNEJ**

**CANDELA AD 2009**

## 1. Ruch stały prostoliniowy.

1.1 Prędkość:

$$V = \frac{S}{T} \quad V = \frac{S}{T}$$

Oznaczenia:

V - prędkość, (V=const.); S - przemieszczenie; T - czas

## 2. Ruch zmienny.

2.1 Przyspieszenie:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{dV}{dT} \quad \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

2.2 Przemieszczenie :

$$S = V_0 \cdot T \pm \frac{a \cdot T^2}{2} \quad [m]$$

2.3 Prędkość końcowa :

$$V_k = V_0 \pm a \cdot T \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

Oznaczenia:

a - przyspieszenie; V<sub>0</sub> - prędkość początkowa; S - przemieszczenie; T - czas; V - prędkość; V<sub>k</sub> - prędkość końcowa

## 3. Ruch po okręgu.

3.1 Ruch z prędkością stałą.

3.1.1 Prędkość kątowa:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dT} = \frac{2\Pi}{T} = 2\Pi \cdot \nu$$

3.1.2 Warunek ruchu po okręgu - siła dośrodkowa:

$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{V^2}{r}$$

3.2 Ruch z prędkością zmienną.

3.2.1 Przyspieszenie kątowe:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dT}$$

3.2.2 Przyspieszenie liniowe:

$$a = r \cdot \varepsilon$$

3.2.3 Prędkość liniowa chwilowa :

$$V = r \cdot \omega$$

3.2.4 Przemieszczenie :

$$S = r \cdot \varphi$$

3.2.5 Prędkość kątowa końcowa:

$$\omega_k = \omega_0 \pm \varepsilon \cdot T$$

3.2.6 Kąt zakreślony:

$$\varphi = \omega_0 \cdot T \pm \frac{\varepsilon \cdot T^2}{2}$$

3.2.7 Częstotliwość:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{s} = Hz\right]$$

Oznaczenia:

$\omega$  - prędkość kątowa;  $\omega_k$  - prędkość kątowa końcowa;  $\omega_0$  - prędkość kątowa początkowa;  
 $\varphi$  - kąt; T - czas; r - promień okręgu;  $\varepsilon$  - przyspieszenie kątowe; a - przyspieszenie liniowe;  
S - przemieszczenie; V - Prędkość liniowa chwilowa;  $\nu$  - częstotliwość; m - masa;

3.2.8 Moment siły:

$$M = r \times F = r \cdot F \cdot \sin(\alpha, F)$$

Oznaczenia:

M - moment siły; r - ramię siły (wektor poprowadzony od osi obrotu do siły,  $\perp$  do kierunku);  
F - siła

## 4. Zasady dynamiki Newtona

### 4.1 Pierwsza zasada dynamiki:

Istnieje taki układ, zwany układem inercyjnym, w którym ciało, na które nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem stałym prostoliniowym.

### 4.2 Druga zasada dynamiki:

Jeżeli na ciało działa siła niezrównoważona zewnętrzna (pochodząca od innego ciała) to ciało to porusza się ruchem zmiennym. Wartość przyspieszenia w tym ruchu wyraża wzór:  $a = \frac{F}{m}$ .

### 4.3 Trzecia zasada dynamiki:

Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą F, to ciało B działa na ciało A siłą F'. Wartość i kierunek siły F' jest równy wartości i kierunkowi siły F, a jej zwrot jest przeciwny do zwrotu siły F.

Oznaczenia:

a - przyspieszenie; F - siła; m - masa

## 5. Zasada względności Galileusza.

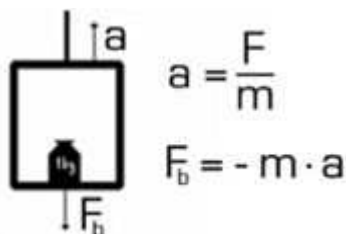
### 5.1 Zasada względności Galileusza:

Prawa mechaniki są jednakowe we wszystkich układach inercyjnych, tj. obserwatorzy z różnych układów inercyjnych stwierdzą taki sam ruch badanego obiektu. Ruch jednostajny prostoliniowy jest nierozróżnialny od spoczynku - obserwując zjawiska mechaniczne nie jesteśmy w stanie go rozróżnić.

## 6. Siła bezwładności.

### 6.1 Siła bezwładności.

Jest to siła nie pochodząca od żadnego z ciał. Pojawia się, gdy układ staje się nieinercyjnym.



Oznaczenia:

a - przyspieszenie windy; F - siła ciągnąca windę; m - masa ciężarka; M - masa układu (winda + ciężarek);  $F_b$  - siła bezwładności.

## 7. Rzut poziomy.

### 7.1 Rzut poziomy:

Jest to złożenie ruchu jednostajnie przyspieszonego (płaszczyzna pionowa) z ruchem jednostajnym (płaszczyzna pozioma).

### 7.2 Prędkość w rzucie poziomym:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad , \quad V_x = \text{const.} \quad , \quad V_y = g \cdot T$$

### 7.3 Wysokość i droga w rzucie poziomym:

$$h = \frac{gT^2}{2} \quad , \quad l = V_x \cdot T$$

Oznaczenia:

V - prędkość całkowita chwilowa;  $V_x$  - pozioma składowa V,  $V_x = \text{const}$ ;  $V_y$  - pionowa składowa V; g - przyspieszenie ziemskie; T - czas; h - wysokość (długość lotu w pionie); l - zasięg rzutu

## 8. Pęd i zasada zachowania pędu.

### 8.1 Pęd.

Jest to wielkość fizyczna wyrażająca się wzorem:

$$p = m \cdot V$$

### 8.2 Zasada zachowania pędu:

Jeżeli na ciało lub układ ciał nie działa żadna siła zewnętrzna (pochodząca od innego ciała), to całkowity pęd układu jest stały.

$$p = \text{const.}$$

### 8.3 Moment pędu:

Moment pędu:

$$b = r \times p = r \cdot p \cdot \sin(r, p)$$

### 8.4 Zasada zachowania momentu pędu:

Jeżeli na ciało lub układ ciał wypadkowy układ działających sił jest równy 0, to:

$$b = \text{const.}$$

### 8.5 Moment pędu bryły sztywnej:

$$b = \omega \cdot I$$

Oznaczenia:

V - prędkość całkowita chwilowa; p - pęd; m - masa ciała; b - moment pędu; r - ramię siły;  $\omega$  - prędkość kątowa; I - moment bezwładności;

## 9. Energia i zasada zachowania energii.

### 9.1 Energia kinetyczna:

Jest to energia związana z ruchem - posiada ją ciało poruszające się. Jej wartość wyraża się wzorem:

$$E_K = \frac{mV^2}{2} \quad [J]$$

### 9.2 Energia potencjalna ciężkości:

Jest to energia związana z wysokością danego ciała. Jej wartość wyraża się wzorem:

$$E_P = mgh \quad [J]$$

### 9.3 Zasada zachowania energii:

Jeżeli na ciało nie działa żadna siła zewnętrzna - nie licząc siły grawitacyjnej - to całkowita energia mechaniczna jest stała.

### 9.4 Energia kinetyczna w ruchu obrotowym:

$$E_K = \frac{I\omega^2}{2}$$

Oznaczenia:

$E_K$  - energia kinetyczna;  $E_P$  - energia potencjalna ciężkości; m - masa; V - prędkość chwilowa; g - przyspieszenie grawitacyjne; h - wysokość chwilowa; I - moment bezwładności;  $\omega$  - prędkość kątowa;

## 10. Praca i moc.

### 10.1 Praca:

Jest to wielkość fizyczna wyrażająca się wzorem:

$$W = F \cdot s \quad [J]$$

### 10.2 Moc:

Jest to praca wykonana w danym czasie:

$$P = \frac{W}{T} \quad [W]$$

Oznaczenia:

W - praca; F - siła; s - przemieszczenie; T - czas; P - moc

## 11. Siła tarcia.

### 11.1 Siła tarcia:

Jest to siła powodująca hamowanie. Wytracona w ten sposób energia zamienia się w ciepło i jest bezpowrotnie tracona. Siła tarcia jest skierowana w przeciwną stronę do kierunku ruchu. Jej wartość wyraża wzór:

$$T = f \cdot N \quad [N]$$

Oznaczenia:

T - siła tarcia; f - współczynnik tarcia (cecha charakterystyczna danego materiału); N - siła nacisku (siła działająca pod kątem prostym do płaszczyzny styku trących powierzchni, najczęściej jest to składowa ciężaru)

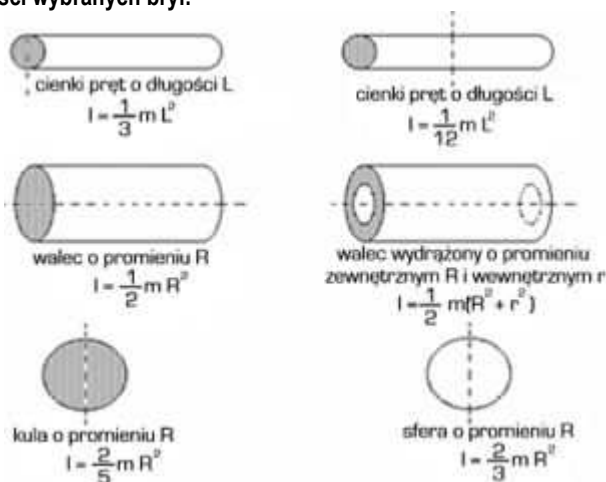
## 12. Moment bezwładności.

### 12.1 Moment bezwładności:

Jest to wielkość opisująca rozkład masy względem osi obrotu.

$$I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$$

### 12.2 Momenty bezwładności wybranych brył:



### 12.3 Twierdzenie Steinera:

$$I = I_0 + ma^2$$

Oznaczenia:

I - moment bezwładności;  $I_0$  - moment bezwładności bryły względem osi przechodzącej przez środek masy;  
 m - masa ciała; a - odległość nowej osi od osi przechodzącej przez środek masy; n - ilość punktów materialnych danego ciała; r - odległość punktu materialnego od osi obrotu.

## 13. Zderzenia centralne

### 13.1 Zderzenia centralne niesprężyste.

Ciała po zderzeniu poruszają się razem („sklejają się”) - nie jest spełniona zasada zachowania energii. Jest spełniona zasada zachowania pędu.

### 13.2 Zderzenia centralne sprężyste.

Ciała po zderzeniu poruszają się osobno, spełniona jest zasada zachowania energii i pędu.

## 14. Gęstość.

### 14.1 Gęstość :

$$\zeta = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

### 14.2 Ciężar właściwy :

$$d = \frac{mg}{V} = \zeta \cdot g \quad \left[ \frac{N}{m^3} \right]$$

Oznaczenia:

$\zeta$  - gęstość; m - masa substancji; V - objętość substancji; g - grawitacja; d - ciężar właściwy

## 15. Pole grawitacyjne.

### 15.1 Pole grawitacyjne.

Jest to taka własność przestrzeni, w której na umieszczone w niej ciała działają siły grawitacji.

### 15.2 Prawo powszechnej grawitacji (prawo jedności przyrody).

Dwa ciała przyciągają się wzajemnie siłami wprost proporcjonalnymi do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalnymi do kwadratu odległości między ich środkami:

$$F_G = -G \frac{Mm}{r^2} \cdot \vec{e}$$

#### Oznaczenia:

$F_G$  - siła grawitacji;  $G$  - stała grawitacji;  $M$  - masa pierwszego ciała;  $m$  - masa drugiego ciała;  $r$  - odległość między środkami ciał;  $\vec{e}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### 15.3 Stała grawitacji.

Jest to wielkość, z jaką przyciągają się dwa punkty materialne, z których każdy ma masę 1 kg i które są oddalone od siebie o 1 metr. Jest ona równa  $6,67 \cdot 10^{-11}$  N. Jej symbolem jest  $G$ .

### 15.4 Przyspieszenie grawitacyjne:

$$g = \frac{F_G}{m} = -G \frac{M}{r^2} \cdot \vec{e}$$

Przyspieszenie grawitacyjne jest związane z ciałem.

#### Oznaczenia:

$F_G$  - siła grawitacji;  $G$  - stała grawitacji;  $m$  - masa ciała;  $M$  - masa źródła;  $r$  - odległość między środkiem ciała a środkiem źródła;  $\vec{e}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### 15.5 Natężenie pola grawitacyjnego

Jest to siła grawitacji przypadająca na jednostkę masy ciała wprowadzonego do pola.

$$\gamma = \frac{\vec{F}}{m} = -G \frac{M}{r^2} \cdot \vec{e} \quad \left[ \frac{N}{kg} \right]$$

Natężenie pola grawitacyjnego jest związane z punktem pola.

#### Oznaczenia:

$G$  - stała grawitacji;  $m$  - jednostkowa masa;  $M$  - masa źródła;  $r$  - odległość między punktem a środkiem źródła;  $\vec{e}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### 15.6 Praca w polu grawitacyjnym.

Praca w polu grawitacyjnym zależy od położenia początkowego i końcowego - nie zależy od drogi.

$$W = -GMm \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)$$

#### Oznaczenia:

$W$  - praca;  $G$  - stała grawitacji;  $m$  - masa ciała;  $M$  - masa źródła;  $r_0$  - położenie początkowe;  $r$  - położenie końcowe

### 15.7 Energia potencjalna pola grawitacyjnego.

Jest to praca, jaką wykonają siły zewnętrzne przemieszczając ciało z nieskończoności do punktu oddalonego o  $r$  od źródła.

$$E_p = G \frac{mM}{r} \quad [J],$$

$$E_p = \sum_{i=1}^n E_{pi}$$

#### Oznaczenia

$E_p$  - energia potencjalna;  $G$  - stała grawitacji;  $m$  - masa ciała;  $M$  - masa źródła;  $r$  - odległość między środkami źródła i ciała

### 15.8 Potencjał pola grawitacyjnego.

Jest to energia pola grawitacyjnego przypadająca na jednostkę masy ciała wprowadzonego do pola grawitacyjnego.

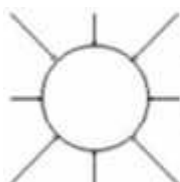
$$V = \frac{E_p}{m} = -G \frac{M}{r} \quad \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

#### Oznaczenia

V - stała grawitacji;  $E_p$  - energia potencjalna; G - stała grawitacji; m- masa ciała; M - masa źródła; r - odległość danego punktu od środka źródła.

### 15.9 Linie pola grawitacyjnego.

Są to tory, po jakich poruszają się swobodnie ciała umieszczone w polu grawitacyjnym.



linie pola są skierowane  
w kierunku do źródła pola

## 16. Prędkości kosmiczne.

### 16.1 Pierwsza prędkość kosmiczna.

I prędkość kosmiczna, (tzw. prędkość kołowa) to najmniejsza prędkość, jaką należy nadać obiektowi, aby mógł on orbitować wokół Ziemi lub innego ciała kosmicznego, np. innej planety w naszym układzie słonecznym. Jest to prędkość, jaką należy nadać ciału, aby doleciało ono na orbitę około planetarną.

$$V_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

### 16.2 Druga prędkość kosmiczna.

II prędkość kosmiczna, (tzw. prędkość paraboliczna), zwana też prędkością ucieczki to najmniejsza prędkość, jaką należy nadać ciału, aby jego orbita w polu grawitacyjnym Ziemi stała się paraboliczną, co oznacza, aby ciało pokonało przyciąganie Ziemi i zostało satelitą Słońca. Jest to prędkość, jaką należy nadać ciału, aby opuściło ono pole grawitacyjne macierzystej planety.

$$V_2 = \sqrt{2 \frac{GM}{r}}$$

### 16.3 Trzecia prędkość kosmiczna.

III prędkość kosmiczna jest najmniejszą prędkością początkową, przy której ciało, rozpoczynając ruch w pobliżu Ziemi lub innego ciała Układu Słonecznego, przezwycięży przyciąganie całego Układu (w szczególności Słońca) i go opuści.

#### Oznaczenia

$V_1$  - pierwsza prędkość kosmiczna;  $V_2$  - druga prędkość kosmiczna;  
G - stała grawitacji; M - masa źródła; r - promień macierzystej planety.

## 17. Elektrostatyka.

### 17.1 Zasada zachowania ładunku.

W układach izolowanych elektrycznie od wszystkich innych ciał ładunek może być przemieszczany z jednego ciała do drugiego, ale jego całkowita wartość nie ulega zmianie.

### 17.2 Zasada kwantyzacji ładunku.

Wielkość ładunku elektrycznego jest wielokrotnością ładunku elementarnego e.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \quad [C], \quad Q = ne, \quad n \in N$$

#### Oznaczenia

e - ładunek elementarny; n - ilość ładunków elementarnych

### 17.3 Prawo Coulomba:

$$F_C = \pm k \frac{Qq}{r^2} \cdot \vec{r}$$

#### Oznaczenia

$F_C$  - siła Coulomba;  $k$  - stała elektrostatyczna;  $Q$  - pierwszy ładunek;  $q$  - drugi ładunek;  $r$  - odległość pierwszego ładunku od drugiego;  $\vec{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

#### 17.4 Ciało naelektryzowane.

Jest to ciało, którego suma ładunków elementarnych dodatnich jest różna od sumy ładunków elementarnych ujemnych.

#### 17.5 Stała elektrostatyczna i przenikalność elektryczna próżni.

##### 17.5.1 Stała elektrostatyczna:

Jest to wielkość równa liczbowo sile, z jaką oddziałują na siebie dwa ładunki 1 C w odległości 1m.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

##### 17.5.2 Przenikalność elektryczna próżni:

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{F}{m} \right]$$

#### 17.6 Natężenie pola elektrostatycznego.

Jest to siła Coulomba przypadająca na jednostkę ładunku:

$$E = \frac{F_C}{q} = k \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{r}$$

Natężenie pochodzące od skończonej liczby ładunków jest równe wektorowej sumie natężeń pochodzących od poszczególnych ładunków.

#### Oznaczenia

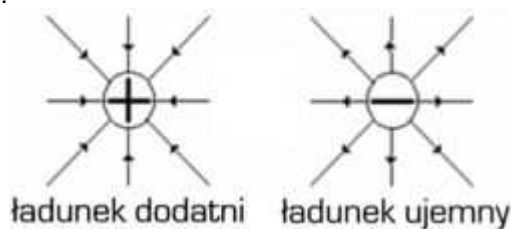
$E$  - natężenie pola;  $F_C$  - siła Coulomba;  $k$  - stała elektrostatyczna;  $Q$  - ładunek źródłowy;

$q$  - ładunek elementarny;  $r$  - odległość źródła od danego punktu;  $\vec{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły);

#### 17.7 Linie pola elektrostatycznego

##### 17.7.1 Linie pola elektrostatycznego:

Są to krzywe, o których styczne w każdym punkcie pokrywają się z kierunkiem pola elektrycznego. Linie ładunku punkowego:



Pole jednorodne - linie pola są równoległe, a wartość natężenia jest stała.  
Pole centralne - siły działają wzdłuż promienia.

##### 17.7.2 Własności linii pola elektrostatycznego.

- nigdzie się nie przecinają;
- wychodzą z ładunku + a schodzą się w ładunku - ;
- dla ładunków punktowych są to krzywe otwarte;
- są zawsze  $\perp$  do powierzchni;
- można je wystawić w każdym punkcie pola;
- im więcej linii, tym natężenie większe

#### 17.8 Strumień pola elektromagnetycznego.

Miarą strumienia pola elektromagnetycznego jest liczba linii pola elektromagnetycznego przechodzącego przez daną powierzchnię:

$$\phi = E \cdot s = E \cdot s \cdot \cos(E, s) \quad \left[ \frac{N \cdot m^2}{C} \right]$$

#### Oznaczenia

$\phi$  - strumień pola; E - natężenie pola; s - pole powierzchni;

### 17.9 Prawo Gaussa.

Prawo Gaussa służy do obliczania natężeń pochodzących od poszczególnych ciał. Aby posłużyć się prawem Gaussa należy wybrać dowolną powierzchnię zamkniętą wokół źródła (np. sferę).

Prawo Gaussa: 
$$\phi = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n q_i$$

Strumień pola elektrycznego obejmowany przez dowolną powierzchnię zamkniętą jest proporcjonalny do sumy ładunków zawartych wewnątrz powierzchni.

Podczas rozwiązywania zadań korzysta się najczęściej z równości:

$$\frac{1}{\epsilon_0} Q = E \cdot (4\pi r^2) \cos 0^\circ,$$

gdzie Q to ładunek punktowy, E - szukane natężenie, wartość w nawiasie - pole dowolnej sfery otaczającej ładunek, r - promień sfery. Podane równanie służy do obliczenia natężenia pochodzącego od jednego ładunku punktowego.

#### Oznaczenia

$\phi$  - strumień pola; E - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni; n - ilość ładunków obejmowanych przez daną powierzchnię zamkniętą

### 17.10 Gęstość powierzchniowa i gęstość liniowa ładunku.

Gęstość powierzchniowa:  $\zeta = \frac{q}{s} \cdot \vec{s} \quad \left[ \frac{C}{m} \right]$

Gęstość liniowa:  $\lambda = \frac{q}{l} \cdot \vec{l} \quad \left[ \frac{C}{m} \right]$

#### Oznaczenia

$\vec{s}$  - s-wersor (stosunek wektora do jego długości);  $\vec{l}$  - l-wersor (stosunek wektora do jego długości);  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa;  $\lambda$  - gęstość liniowa; q - ładunek; s - pole powierzchni; l - długość

17.11 Natężenie pola elektrostatycznego pomiędzy dwoma płytami:  $E = \frac{\zeta}{\epsilon_0} = \frac{U}{d}$

#### Oznaczenia

E - natężenie pola elektrostatycznego;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni; U - różnica potencjałów (napięcie); d - odległość pomiędzy płytami;

### 17.12 Praca w centralnym polu elektrycznym.

Praca wykonana w centralnym polu elektrycznym zależy od położenia początkowego i końcowego, a nie zależy od drogi.

$$W = kQq \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)$$

#### Oznaczenia

W - praca; k - stała elektrostatyczna; Q - ładunek źródłowy; q - ładunek;  $r_0$  - odległość początkowa źródła od ładunku; r - odległość końcowa źródła od ładunku

### 17.13 Energia pola elektrycznego.

Energia potencjalna pola elektrycznego:  $\mathcal{E}_p = \frac{kQq}{r}$

Sumowanie energii potencjalnych pola elektrycznego:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{p1} + \mathcal{E}_{p2} + \dots + \mathcal{E}_{pn}$$

#### Oznaczenia

$\mathcal{E}_p$  - energia potencjalna; k - stała elektrostatyczna; Q - pierwszy ładunek; q - drugi ładunek; r - odległość ładunków od siebie;

### 17.14 Potencjał pola elektrycznego.

Jest to energia potencjalna pola elektrycznego przypadająca na jednostkę ładunku:

$$V = \frac{\epsilon_P}{q} = k \frac{Q}{r}$$

$$[V = \frac{J}{C}]$$

Oznaczenia

V - potencjał;  $\epsilon_P$  - energia potencjalna; k - stała elektrostatyczna;  
 Q - ładunek źródłowy; q - ładunek elementarny; r - odległość punktu od źródła;

**17.15 Różnica potencjałów (napięcie).**

Różnica potencjałów :  $U = \Delta V$  [V]

Oznaczenia

V - potencjał; U - różnica potencjałów

**17.16 Praca w polu elektrycznym jednorodnym.**

$$W = qU = Eqd$$

Oznaczenia

U - różnica potencjałów; q - ładunek; E - natężenie pola;  
 d - przemieszczenie;

**17.17 Ruch ładunków w polu elektrycznym.**

**17.17.1** Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek porusza się równoległe do linii pola. Ładunek będzie się poruszał ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym.

Przyspieszenie:  $a = \frac{Eq}{m}$

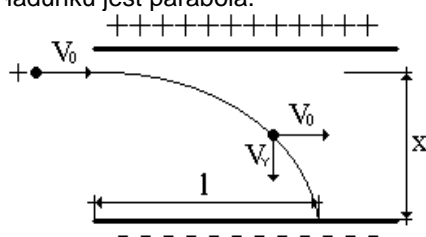
Jednocześnie ulegnie zmianie energia kinetyczna ładunku:

$$\epsilon_K = \epsilon_0 + Uq$$

Oznaczenia

U - różnica potencjałów, jaką przebył ładunek; q - ładunek; E - natężenie pola;  $\epsilon_K$  - energia kinetyczna;  $\epsilon_0$  - energia początkowa ładunku;  
 a - przyspieszenie; m - masa ładunku;

**17.17.2** Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek wpada pod kątem prostym do linii pola. Torom ładunku jest parabola.



Oznaczenia:

$V_0$  - prędkość początkowa;  
 $V_Y$  - pionowa składowa prędkości; x - wysokość początkowa; l - zasięg; d - odległość między okładkami kond.

$$a = \frac{Eq}{m};$$

$$x = \frac{at^2}{2} = \frac{Eq l^2}{2mV_0^2} = \frac{Uq l^2}{2mV_0^2 d};$$

$$V_Y = aT = \frac{Eq l}{mV_0}, \quad V = \sqrt{V_0^2 + \frac{E^2 q^2 l^2}{m^2 V_0^2}}$$

Oznaczenia

U - różnica potencjałów, jaką przebył ładunek; q - ładunek; E - natężenie pola;  $\epsilon_K$  - energia kinetyczna;  $\epsilon_0$  - energia początkowa ładunku; a - przyspieszenie; m - masa ładunku;  
 V - prędkość; T - czas; oraz oznaczenia na rysunku.

**17.18 Wektor indukcji elektrostatycznej.**

Wektor indukcji elektrostatycznej jest to stosunek ładunków wyindukowanych na powierzchni przewodnika do

powierzchni tego przewodnika:  $D = \frac{q}{s} \cdot \vec{s}$

Wektor indukcji elektrostatycznej jest zawsze przeciwnie skierowany do zewnętrznego pola elektrycznego.

### Oznaczenia

D - wektor indukcji elektrostatycznej; q - ładunek wyindukowany; s - powierzchnia przewodnika;  $\vec{d}$  - s wersor (stosunek wektora do jego długości)

#### 17.19 Natężenie pola elektrostatycznego kuli.

17.19.1 Natężenie pola elektrostatycznego wewnątrz kuli.

$$E = \frac{\zeta R^3}{3r^2 \epsilon_0}, \quad r > R$$

### Oznaczenia

E - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni; R - promień kuli; r - odległość środka kuli od wybranego punktu;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa ładunków.

17.19.2 Natężenie pola elektrostatycznego na zewnątrz kuli.

$$E = \frac{\zeta R}{3\epsilon_0 \epsilon_r}$$

### Oznaczenia

E - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $\epsilon_r$  - przenikalność elektryczna wewnątrz kuli; R - odległość środka kuli od wybranego punktu;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa ładunków.

## 18. Atom wodoru według Bohra.

### 18.1 Atom wodoru według Bohra.

Atom wodoru według Bohra składa się z dodatnio naładowanego jądra skupiającego prawie całą masę atomu i z elektronu krążącego po orbicie kołowej.

Aby elektron nie mógł przyjmować dowolnej odległości od jądra, Bohr wprowadził ograniczenia w postaci postulatów.

### 18.2 Pierwszy postulat Bohra.

Moment pędu elektronu w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną:

$$b = mVr = n \cdot \eta, \\ \eta = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N.$$

### Oznaczenia

b - moment pędu; V - prędkość elektronu; r - promień orbity elektronu; h - stała Plancka

### 18.3 Warunek kwantyzacji prędkości.

Prędkość elektronu w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną:  $V = \frac{1}{n} V_0, \quad V_0 = \frac{ke^2}{\eta},$

$$\eta = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N$$

### Oznaczenia

r - promień orbity;  $r_0$  - najmniejszy promień orbity; h - stała Plancka;  $V_0$  - najmniejsza prędkość elektronu

### 18.5 Warunek kwantyzacji energii.

Energia w atomie jest wielkością skwantowaną:

$$E = \frac{E_0}{n^2}, \quad E_0 = -\frac{ke^2}{2r_0}, \quad n \in N$$

Energia jest ujemna, aby elektron samodzielnie nie mógł wydostać się poza atom.

### Oznaczenia

E - energia;  $E_0$  - najmniejsza energia atomu;  $r_0$  - najmniejszy promień orbity; k - stała elektrostatyczna; e - ładunek elementarny;

### 18.6 Następny postulat Bohra.

W stanie stacjonarnym (elektron nie zmienia powłoki) atom nie może emitować energii.

### 18.7 Drugi postulat Bohra.

Atom przechodząc z poziomu energetycznego wyższego na niższy oddaje nadmiar energii w postaci kwantu promieniowania elektromagnetycznego.

Częstotliwość wyemitowanej energii :

$$\nu = A \left( \frac{1}{l^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad A = -\frac{E_0}{h}$$

poziom energetyczny - stan o ściśle określonej energii.

poziom podstawowy - wszystkie elektrony znajdują się najbliżej jądra.

Oznaczenia

$\nu$  - częstotliwość;  $l$  - poziom, na który spada atom;  $n$  - poziom początkowy.

### 18.8 Moment magnetyczny atomu i elektronu.

Moment magnetyczny jest zawsze przeciwnie skierowany do momentu pędu.

$$\text{Moment magnetyczny} : m = \frac{eb}{2m_e} = \frac{\eta n}{2m_e} = \mu_B n ;$$

$$\eta = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N$$

Moment magnetyczny w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną.

Oznaczenia

$b$  - moment pędu;  $h$  - stała Plancka;  $e$  - ładunek elementarny;  $m_e$  - masa elektronu;  $n$  - numer orbity;  $m$  - moment magnetyczny;  $\mu$  - moment magnetyczny Bohra (wielkość stała)

### 18.9 Spinowy moment magnetyczny.

Jest związany z ruchem elektronu wokół własnej osi.

$$s = \pm \frac{1}{2} \eta; \quad \eta = \frac{h}{2\pi}$$

$$\text{spinowy moment magnetyczny: } m = \frac{e}{m_e} s$$

Spinowy moment magnetyczny jest odpowiedzialny za właściwości magnetyczne materii (zob.pkt. 22.11)

Oznaczenia

$h$  - stała Plancka;  $e$  - ładunek elementarny;  $m_e$  - masa elektronu;  $m$  - spinowy moment magnetyczny;  $s$  - spin