**Krystyna Gronostaj**
**Zespół Fizyki, Akademia Rolnicza**

Do użytku wewnętrznego

# ĆWICZENIE 1
# WYZNACZANIE GĘSTOŚCI CIAŁ STAŁYCH

Kraków 02.2007

## SPIS TREŚCI



**Zakres wymaganych wiadomości:**
Podstawowe wielkości: masa, długość i czas, jednostki w jakich mierzymy je. Zasady dynamiki ruchu postępowego, pojęcie i jednostki siły. Prawo grawitacji. Ciężar ciała. Gęstość i ciężar właściwy. Zależność gęstości i ciężaru właściwego od temperatury. Zasada działania podziałki z noniuszem i śruby mikrometrycznej. Waga belkowa jako dźwignia, równowaga dźwigni, prawidłowe posługiwanie się wagą.

# I. Część teoretyczna

## 1. Zasady dynamiki Newtona

Dynamika bada zależności między wzajemnymi oddziaływaniami ciał i zmianami ruchu wywołanymi przez te oddziaływania. Liczne dane doświadczalne i rozważania teoretyczne otrzymane przez Newtona i jego poprzedników doprowadziły do sformułowania trzech zasad dynamiki znanych jako "Zasady dynamiki Newtona". I zasada dynamiki wyraża bardzo ważną własność ciał polegającą na tym, że każde ciało pozostaje w spoczynku lub w ruchu jednostajnym prostoliniowym, dopóki działanie innych ciałl nie zmusi je do zmiany tego stanu. Własność te nazywamy bezwładnością ciałla. Oddziaływanie między ciałami można opisać posługując się pojęciem siły. Działanie siły jakie ciało może przejawiać się, albo w zmianie ruchu tego ciała (zmianie prędkosci), lub w zmianie kształtu lub wymiarów ciałla (odkształcenie). Miara siły (a więc oddziaływań) jest wielkość skutku, jaki ona wywołuje.

I zasadę dynamiki możemy sformułować następująco:

Gdy na ciało nie działa żadna siła lub gdy wypadkowa sił działających na nie równa się zeru, wtedy ciałlo to pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

II zasada dynamiki ustala związek pomiędzy wzajemnym oddziaływaniem ciał a zmianą charakteru ruchu postępowego. Jedno ze sformułowań brzmi: ciało, na które działa niezrównoważona siła porusza się ruchem zmiennym, z przyspieszeniem proporcjonalnym do wartości siły i skierowanym tak jak działająca siła

$$\vec{a} \sim \vec{F} \qquad \textbf{(1)}$$

Współczynnikiem proporcjonalności jest odwrotność masy ciała. Masa jest w tym przypadku miara bezwładności ciała i nazywa się masa bezwładną.

Możemy zatem napisać:

$$\vec{a} = \frac{1}{m}\vec{F}$$

lub

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \qquad \textbf{(2)}$$

Jednostką siły w układzie SI jest 1 niuton (1 N). Jest to siła, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 m/s$^2$.

Zależność (2) jest spełniona tylko wtedy, gdy masa ciała jest stala. Według szczególnej teorii względności masa ciała zmienia się wraz z jego prędkością zgodnie ze wzorem:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \textbf{(3)}$$

gdzie: m - masa ciała w ruch

$m_0$ - masa ciała w spoczynku

v - prędkość ciała

c - prędkość swiatla

Wzór (2) jest zatem w przybliżeniu sluszny w przypadku gdy prędkość ciała jest znacznie mniejsza od prędkości światła.

Ważnym przykładem układu o zmiennej masie jest rakieta. W czasie ruchu wyrzuca ona gaz z dużą prędkością zmniejszając dzięki temu swoją masę i zwiększając prędkość.

Gdy ruch ciała odbywa się ze zmienną masą, należy podać inne sformułowanie II zasady dynamiki Newtona. Wymaga to jednak definiowania nowych wielkości dynamicznych: pędu ciała i popędu siły.

Pędem ciała nazywamy wielkość wektorową będącą iloczynem masy ciała i jego prędkości.

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \textbf{(4)}$$

Popędem siły π nazywamy iloczyn siły i czasu jej działania

dla stałej siły $\vec{\pi} = \vec{F}\Delta t$ **(5)**

dla zmiennej siły $\vec{\pi} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$

II zasada dynamiki w postaci ogólnej brzmi:

Przyrost pędu ciała jest równy popędowi siły.

$$d\vec{p} = \vec{F}dt \qquad \textbf{(6)}$$

lub

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad \textbf{(6a)}$$

Wzór (6) lub (6a) jest ogólniejszy niz wzór (2), gdyz jest sluszny zarówno wtedy, gdy masa jest stala jak i wtedy gdy masa zmienia się.

Powyższe zasady zostaly sformułowane dla przypadku, gdy na ciało działa tylko jedna siła. Doświadczenie pokazuje, ze postać wzorów nie zmieni się, gdy na ciało działa jednocześnie kilka sił.

Każda z sił działających na ciało nadaje mu przyspieszenie określone przez II zasadę dynamiki, tak jakby inne siły nie działały, a więc przyspieszenie całkowite $\vec{a}$ , jakie nadają ciału jednocześnie działające siły $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n$ wynosi:

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + ... + \vec{a}_n \qquad \textbf{(7)}$$

uwzględniając wzór (2) możemy zapisać:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1}{m} + \frac{\vec{F}_2}{m} + ... + \frac{\vec{F}_n}{m} = \frac{1}{m}(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n) \qquad \textbf{(7a)}$$

podstawiając $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = \vec{F}$ otrzymujemy:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Znając siły działające na ciało można wyznaczyć przyspieszenie, prędkość oraz położenie ciała w dowolnej chwili wykonując dwie kolejne operacje całkowania:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow d\vec{v} = \frac{\vec{F}}{m}dt \Rightarrow \vec{v} = \int \frac{\vec{F}}{m}dt$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \Rightarrow d\vec{r} = \vec{v}dt \Rightarrow \vec{r} = \int \vec{v}dt$$

III zasada dynamiki Newtona

Gdy ciało A działa na ciało B siłą $\vec{F}_A$, wtedy ciało B działa jednocześnie na ciało A siłą $\vec{F}_B$ równą co do wartości, równoległą i przeciwnie zwróconą.

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B \qquad \textbf{(8)}$$

Siły akcji i reakcji działają jednocześnie, ale nie mogą się równoważyć, ponieważ są przyłożone do różnych ciał.

Zasady dynamiki Newtona możemy stosować również w odniesieniu do układu punktów materialnych oddziałujących ze sobą. Wzajemne położenia poszczególnych punktów materialnych mogą się zmieniać w czasie w skomplikowany sposób. Istnieje jednaka w układzie jeden punkt, którego ruch da się łatwo opisać. Punktem tym jest "środek masy".

Środek masy układu n punktów materialnych o masach $m_1$, $m_2$, ..., $m_n$ i promieniach wodzących $\vec{r}_1, \vec{r}_2, ..., \vec{r}_n$ w określonym układzie odniesienia zdefiniowany jest jako punkt materialny o masie $M = m_1 + m_2 + ... + m_n$ i promieniu wodzącym równym:

$$\vec{r}_{SM} = \frac{1}{M}\sum m_1 \vec{r}_1 \qquad \textbf{(8a)}$$

Dla ciała o budowie ciągłej $$\vec{r}_{SM} = \frac{1}{M}\int_M \vec{r}\,dm$$ **(8b)**

gdzie M - masa ciała

Położenie środka masy nie zależy od przyjętego układu współrzędnych, zależy jedynie od mas punktów materialnych i od ich wzajemnego rozmieszczenia.

Równanie (8a) można zapisać w postaci:

$$M\vec{r}_{SM} = m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \ldots + m_n\vec{r}_n \tag{8c}$$

Po dwukrotnym zróżniczkowaniu względem czasu otrzymujemy kolejno:

$$M\vec{v}_{SM} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \ldots + m_n\vec{v}_n \tag{8d}$$

oraz

$$M\vec{a}_{SM} = m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2 + \ldots + m_n\vec{a}_n \tag{8e}$$

Równanie (8e) można przedstawić jako:

$$M\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n \tag{8f}$$

Jak widać:

1) iloczyn całkowitej masy układu przez prędkość środka masy jest równy sumie pędów poszczególnych punktów materialnych (8d);
2) iloczyn całkowitej masy układu przez przyspieszenie środka masy jest równe sumie wszystkich sił działających na układ (na poszczególne punkty materialne) (8f).

Wśród sił $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$ występują zarówno siły zewnętrzne jak i wewnętrzne (siły wzajemnego oddziaływania poszczególnych punktów materialnych między sobą). Zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona siły wewnętrzne występują parami, mają te same wartości, te same kierunki lecz przeciwne zwroty, dlatego też nie wnoszą nic do sumy sił w równaniu (8f).

Środek masy porusza się w taki sposób jakby cała masa była w nim skupiona i jakby wszystkie siły zewnętrzne na niego działały.

Gdy na układ n punktów materialnych nie działają siły zewnętrzne lub działające siły zewnętrzne równoważą się, wówczas środek masy tego układu pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

**2. Prawo powszechnego ciążenia**

Doświadczenia związane z ruchami planet, spadaniem ciał, ruchem wahadeł itp. dowodzą istnienia sił wzajemnego przyciągania się ciał. W roku 1697 Isaak Newton sformułował prawo, któremu podlegają te oddziaływania. Prawo to nosi nazwę prawa powszechnego ciążenia (grawitacji), a siły podlegające temu prawu są siłami ciążenia (grawitacyjnymi). Prawo powszechnego ciążenia mówi, że siła działająca między każdymi dwoma punktami materialnymi o masach $m_1$ i $m_2$ znajdującymi się w odległości r od siebie jest siłą przyciągającą skierowaną wzdłuż prostej łączącej te punkty i ma wartość

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad \textbf{(9)}$$

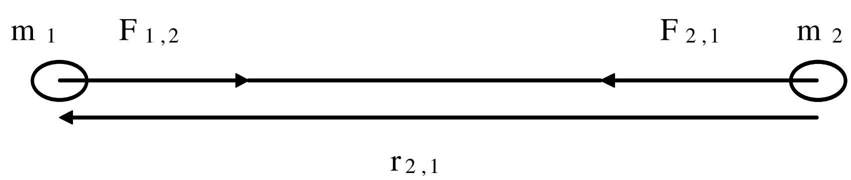
gdzie G - stała grawitacji -uniwersalna stała mająca tę samą wartość dla wszystkich par punktów.

Siły grawitacyjne stanowią parę sił akcja-reakcja, a zatem zgodnie z (8)

$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$

$\vec{F}_{1,2}$ - siła z jaką ciało 2 działa na ciało 1

$\vec{F}_{2,1}$ - siłą z jaką ciało 1 działa na ciało 2




Rys. 1. Wzajemne oddziaływanie ciał

Prawo powszechnego ciążenia możemy zapisać w postaci wektorowej:

$$\vec{F}_{1,2} = -G\cdot\frac{m_1 m_2}{r^2}\cdot\frac{\vec{r}_{2,1}}{r} \qquad \textbf{(10)}$$

gdzie $r = \left|\vec{r}_{1,2}\right| = \left|\vec{r}_{2,1}\right|$

Prawo powszechnego ciążenia w postaci (9) i (10) dotyczy oddziaływania dwóch punktów materialnych znajdujących się w pewnej odległości od siebie. Jeśli chcemy określić siłę oddziaływania pomiędzy dwoma ciałami rozciągłymi, musimy potraktować każde z nich jako złożone z punktów materialnych, a następnie obliczyć oddziaływanie pomiędzy wszystkimi możliwymi parami punktów. Siła oddziaływania będzie sumą wszystkich możliwych oddziaływań. Rozwiązanie tego problemu jest możliwe przy zastosowaniu rachunku całkowitego.

Okazało się jednak, że można tego uniknąć w następujących przypadkach:

a) gdy oba ciała mają kształt kulisty, a ich gęstości są stałe lub zależą tylko od odległości od środka tych ciał,

b) gdy rozmiary jednego z tych ciał są wielokrotnie mniejsze od rozmiarów drugiego, przy czym to większe ciało jest kulą o stałej gęstości, lub gęstości zmieniającej się wraz z odległością od środka kuli.

Praktycznie problemy związane z oddziaływaniami grawitacyjnymi można sprowadzić do powyższych dwóch przypadków. Można zatem stosować wzory (9) i (10) nie tylko w przypadku mas punktowych ale również rozciągłych, przy czym jako r należy przyjąć odległość pomiędzy środkami mas tych ciał.

Jak wiadomo, siła grawitacji działająca na ciało jest proporcjonalna do jego masy, którą w tym przypadku nazywamy masą grawitacyjną. Doświadczenia wykazały, że masa grawitacyjna i występujące we wzorze (2) masa bezwładna są sobie równe.

### 3. Ciężar ciała

Ciężar ciała jest w przybliżeniu równy sile grawitacji wynikającej z oddziaływania danego ciała z Ziemią. Siła ta ma postać:

$$F = G\frac{mM_z}{R_z^2} \qquad \textbf{(9a)}$$

gdzie: m - masa ciała

$M_z$ - Masa Ziemi

$R_z$ - promień Ziemi

Siłę grawitacji możemy zapisać w postaci:

F = m g gdzie g - przyspieszenie grawitacyjne

Gdyby Ziemia była jednorodną kulą, wówczas przyspieszenie ziemskie byłoby jednakowe we wszystkich miejscach na Ziemi a na wysokości h nad Ziemią wyrażałoby się wzorem

$$g = \frac{GM_z}{(R_z + h)^2} \qquad \textbf{(11)}$$

W rzeczywistości na wartość przyspieszenia ziemskiego wpływają takie czynniki jak: budowa geologiczna podłoża, rzeźba terenu, wysokość nad poziomem morza. Wymaga to wprowadzenia poprawek redukujących wartość przyspieszenia ziemskiego. Problemem tym zajmuje się geofizyka.

Przyspieszenie ziemskie na szerokości geograficznej 45° na poziomie morza jest w przybliżeniu równe 9.81 m/s$^2$ i nosi nazwę przyspieszenia ziemskiego normalnego.
Przyspieszenie ziemskie dla Krakowa wynosi g = 9.81054 m/s$^2$.
Aby dokładnie wyznaczyć ciężar ciała należy wprowadzić poprawki uwzględniające:

a) niekulistość Ziemi

Na skutek ruchu obrotowego Ziemi wokół własnej osi, Ziemia jest spłaszczona na biegunach. Promień Ziemi na biegunach jest mniejszy o około 21 km niż promień na równiku, co prowadzi do zmniejszenia siły grawitacji na równiku o około 0.66% w porównaniu z siłą grawitacji na biegunach.

b) siłę odśrodkową bezwładności

Na każde ciało na Ziemi działa siła odśrodkowa bezwładności, która wyraża się wzorem

$$F = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R_z \cdot \cos\varphi \qquad \textbf{(12)}$$

gdzie : T - okres obrotu Ziemi wokół własnej osi

φ - szerokość geograficzna

Siła odśrodkowa osiąga największą wartość na równiku i powoduje zmniejszenie ciężaru ciała o około 0.34% w porównaniu z ciężarem ciała na biegunach.

c) siłę wyporu w powietrzu

Jeśli uwzględnimy działającą na ciało siłę wyporu w powietrzu, wówczas ciężar ciała będzie pomniejszony o około 0.01%.

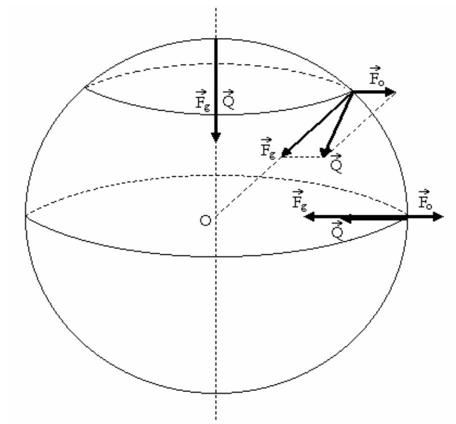
d) oddziaływanie grawitacyjne Księżyca

Poprawka wynikająca z oddziaływania grawitacyjnego Księżyca wynosi około 0.0003%.

e) oddziaływanie grawitacyjne Słońca

Poprawka wynikająca z oddziaływania grawitacyjnego Słońca wynosi około 0.000005%.

Z dobrym przybliżeniem można przyjąć, że ciężar ciała jest siłą wypadkową siły grawitacji i siły odśrodkowej (rys. 2). Poprawki wynikające z oddziaływania grawitacyjnego Księżyca i Słońca można pominąć, natomiast poprawkę wynikającą z działania siły wyporu w powietrzu przy bardzo dokładnych pomiarach należy uwzględnić.




Rys. 2. Ciężar ciała w różnych punktach na Ziemi

W rzeczywistości kierunki siły $\vec{P}$ i $\vec{F}_g$ różnią się nieznacznie.

**4. Ciężar właściwy, gęstość ciała**

Ciężar właściwy ciała γ jest to ciężar jednostki objętości tego ciała i wyraża się stosunkiem ciężaru ciała do jego objętości.

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{P}}{V} \qquad \textbf{(14)}$$

gdzie $\vec{P}$ - ciężar ciała

V - objętość

Jednostką ciężaru właściwego w układzie SI jest 1 N/m$^3$.

Ciężar właściwy nie jest niezmienną cechą danego rodzaju substancji ponieważ w różnych miejscach na Ziemi ta sama substancja ma różny ciężar właściwy.

Wielkością, która charakteryzuje substancję i nie zależy od miejsca na powierzchni Ziemi jest gęstość lub inaczej masa właściwa ciała. Gęstość jest to masa jednostki objętości ciała i wyraża się stosunkiem masy ciała do jego objętości

w przypadku ciał jednorodnych $$\rho = \frac{m}{V} \qquad \textbf{(15)}$$

oraz $\rho = \frac{dm}{dV}$ dla ciał niejednorodnych. Gęstość wyrażamy w kg/m$^3$.

Gęstością względną nazywamy stosunek gęstości dwóch substancji. Najczęściej gęstość względną określa się w stosunku do wody destylowanej.

Ciężar właściwy i gęstość są związane zależnością:

$$\gamma = \rho g$$

**5. Zależność ciężaru właściwego i gęstości ciała od temperatury**

Jak wiadomo, objętość ciała zależy od warunków zewnętrznych, w jakich ciało się znajduje tj. temperatury i ciśnienia.

Zależność objętości od temperatury przedstawia się w przybliżeniu następująco:

$V_T = V_0(1+\beta\Delta T)$ dla ciał stałych

$V_T = V_0[1+a\Delta T + b(\Delta T)^2 + c(\Delta T)^3]$ dla cieczy **(16)**

$V_T = V_0(1+\gamma\Delta T)$ dla gazów doskonałych pod stałym ciśnieniem

gdzie $V_0$ - objętość ciała w temperaturze $T_0$

$V_T$ - objętość ciała w temperaturze T

$\Delta T$ - przyrost temperatury ($\Delta T = T - T_0$)

a, b, c, $\beta$, $\gamma$ - stałe charakterystyczne dla danego ciała

Na ogół ze wzrostem temperatury objętość wzrasta co prowadzi do zmniejszenia zarówno gęstości ciała jak i jego ciężaru właściwego.

Niektóre ciecze, a zwłaszcza woda, wykazują pewne charakterystyczne anomalie. W zakresie temperatur od 0° - 4°C objętość wody maleje, a powyżej 4° C rośnie jak dla innych ciał.

Ze wzrostem ciśnienia objętość ciał maleje, co prowadzi do zwiększenia ich ciężaru właściwego i gęstości.

**6. Metoda pomiaru gęstości**

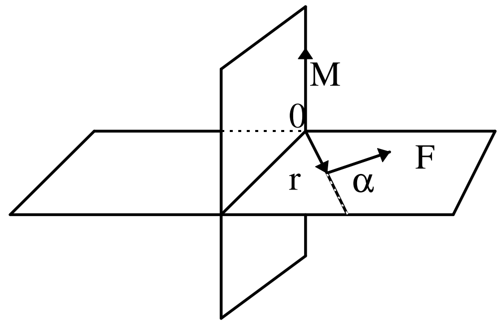
Jedna z metod pomiaru gęstości opiera się na definicji gęstości i sprowadza się do pomiaru masy i objętości danego ciała. Jest ona stosowana wówczas, gdy badane ciała mają kształt prostych brył foremnych.

Do pomiaru masy używamy wagi belkowej. Wymiary ciała konieczne do obliczenia objętości wyznaczamy przy pomocy suwmiarki lub śruby mikrometrycznej.

**7. Waga belkowa**

Waga belkowa jest dźwignią dwuramienną. Ważenie na niej sprowadza się do zastosowania warunków równowagi dźwigni dwuramiennej. Do dalszych rozważań wprowadźmy wielkość zwaną momentem siły. Moment siły zdefiniowany jest następująco:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad \textbf{(17)}$$




Rys. 3.

Wartość momentu siły wynosi:

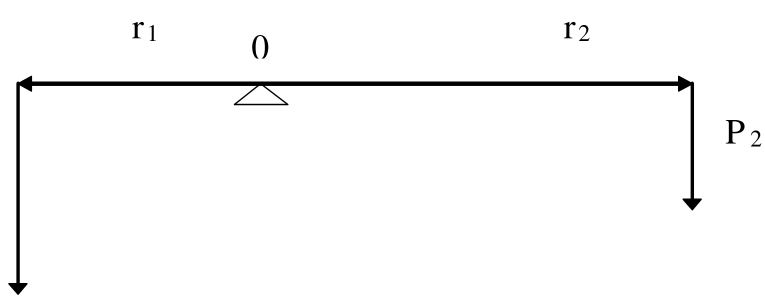
$$M = rF \cdot \sin\alpha \qquad \textbf{(18)}$$

Kierunek $\vec{M}$ jest prostopadły do płaszczyzny wyznaczonej przez wektory $\vec{r}$ i $\vec{F}$, a zwrot określa reguła śruby prawoskrętnej.

W szczególności, gdy $\alpha = 90°$, jak w przypadku wagi belkowej, wartość momentu siły wynosi:

$$M = r\,F \qquad \textbf{(18a)}$$

Dźwignia znajduje się w równowadze, gdy wypadkowy moment siły działających na dźwignię równa się zeru, co w przypadku dźwigni dwuramiennej sprowadza się do równości wartości momentów sił działających na oba ramiona wagi (rys. 4).




Rys. 4. Równość momentów dźwigni.

Zgodnie z rysunkiem (4) równość momentów można wyrazić równaniem

$$P_1 r_1 = P_2 r_2 \qquad \textbf{(19)}$$

Najczęściej mamy do czynienia z wagą równoramienną ($r_1 = r_2$) i wtedy równanie (19) przyjmuje postać:

$$P_1 = P_2 \qquad \textbf{(19a)}$$

Uwzględniając związek P = mg otrzymujemy:

$$m_1 = m_2 \qquad \textbf{(19b)}$$

Za pomocą wagi belkowej porównujemy więc ze sobą masy ciał.

Nawet w najdokładniej skonstruowanych wagach ramiona nieznacznie się różnią. Aby maksymalnie zmniejszyć błąd ważenia spowodowany nierównością ramion należy zważyć ciało dwukrotnie kładąc je raz na szalce lewej, raz na prawej.

oznaczamy: $m_r$ - masa rzeczywista

$m_l$ - masa odważników, ciało na lewej szalce,

$m_p$ - masa odważników, ciało na prawej szalce.

Uwzględniając warunki równowagi dźwigni możemy zapisać:

$m_r\ g\ r_l = m_p\ g\ r_p$

$m_l\ g\ r_l = m_r\ g\ r_p$

dzieląc stronami otrzymujemy:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{m_p}{m_r} \quad \text{lub} \quad m_r = \sqrt{m_l \cdot m_p} \qquad \textbf{(19c)}$$

Zasadniczą cechą danej wagi jest tzw. czułość wagi. Aby ją bliżej wyjaśnić przeprowadzimy następujące rozumowanie. Zakładamy, że po obu stronach belki znajdują się takie same ciężary P (mogą to być ciężary szalek). Wskazówka pokazuje wtedy 0. Belka wagi znajduje się w położeniu poziomym. Badamy jaki dodatkowy ciężar P należy położyć na jedną z szalek np. prawą aby wskazówka wychyliła się o jedną działkę. Ten dodatkowy ciężar $\Delta P$ (nadwaga) stanowi miarę czułości wagi. Im większa czułość, tym mniejszy jest ten dodatkowy ciężar.

Odchylenie wskazówki a jest proporcjonalne do nadwagi $\Delta P = g\ \Delta m$, co można zapisać

$$a = C \cdot \Delta m \qquad \textbf{(20)}$$

gdzie C - czułość wagi.

Czułość wag laboratoryjnych wynosi około 10 mg/działkę, co pozwala na ważenie z dokładnością $\Delta m = \pm 10$ mg.

Gdy chcemy ważyć z dokładnością do 0.0001 g = 0.1 mg (a ma to miejsce w przypadku wagi analitycznej) wówczas należy uwzględnić poprawkę związaną z działaniem siły wyporu. Ponieważ gęstości ciała ważonego i odważników są na ogół różne, zatem siły wyporu działające na ciało i odważniki też są różne. Z obliczeń wynika, że poprawka $\Delta M$, którą należy uwzględnić jest ujemna, gdy gęstość odważników jest większa od gęstości ciała i dodatnia w przeciwnym przypadku.

Przykładowo poprawka ta wynosi kilka mg w przypadku ciała o masie kilkunastu gramów i gęstości 2-3 razy mniejszej niż gęstość mosiądzu (odważników).

Nie uwzględnienie tej poprawki sprawia, że ważenie z dokładnością do 0.1 mg staje się nierealne.

**UWAGA**

Przed przystąpieniem do ważenia należy sprawdzić, czy:

a) waga znajduje się w kierunku pionowym

Wagi laboratoryjne są wyposażone w pion - nitkę z zawieszonym ciężarkiem lub libelkę. Jeśli wskazania pionu nie są na "0", wtedy należy uregulować nóżki wagi aż do uzyskania pionowego ustawienia wagi.

b) jest wyzerowana

Po wykonaniu czynności zawartych w punkcie a należy zwolnić belkę wagi za pomocą specjalnej dźwigni (odaretować wagę), a następnie obserwować wychylenie wskazówki na tle skali. Jeżeli wychylenie wskazówki w lewo i w prawo od podziałki środkowej, oznaczonej 0, są jednakowe, wówczas waga jest wyzerowana. Jeśli tak nie jest, należy tego dokonać za pomocą ciężarków umieszczonych na końcach belki wagi.

Po ustawieniu pionowym wagi i po jej wyzerowaniu możemy przystąpić do ważenia.

<u>Ważenie jest przeprowadzone poprawnie</u>, gdy przestrzegamy następujących reguł:

a) nakładanie i zdejmowanie odważników, umieszczanie ciała ważonego na szalce należy wykonywać przy wadze zatrzymanej (zaaretowanej). Zatrzymywanie i zwalnianie wagi odbywa się za pomocą specjalnej dźwigienki.

b) nakładanie i zdejmowanie odważników powinno się odbywać za pomocą specjalnych szczypczyków (nakładanie odważników palcami prowadzi do niszczenia powierzchni odważników przez znajdujące się na skórze kwasy tłuszczowe).

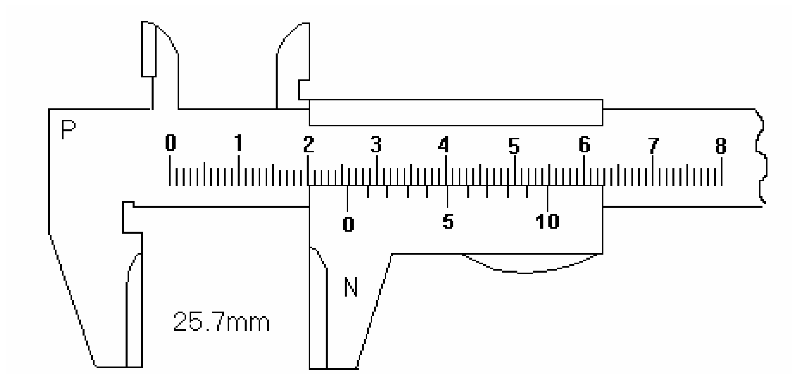
c) poszczególne czynności należy wykonywać powoli, gdyż, przy gwałtownych ruchach, szalki mogą zeskoczyć z pryzmatów, co nie jest wskazane.

d) odważników nie nakładamy w sposób przypadkowy, lecz dobieramy je systematycznie zaczynając od większych i przechodząc do coraz mniejszych. Jeśli na przykład z obserwacji wychyleń wagi wynika, że odważnik 100 g jest za duży, a 50 g za mały, to wiemy, że szukana masa jest zawarta w granicach 50-100 g. Kładziemy więc na szalce 70 g i obserwujemy wychylenie wagi, jeśli 70 g jest za dużo wówczas szukana masa leży w przedziale 50-70, jeśli za mało wówczas szukana masa jest zawarta w przedziale 70-100 g.

Zacieśniając coraz bardziej granice mas dochodzimy do kresu dokładności - w przypadku wagi laboratoryjnej - do 0.01 g.

**8. Suwmiarka**

Suwmiarka (rys.5) pozwala mierzyć długości z dokładności do 0.1 mm lub do 0.05 mm. Suwmiarka składa się z dwóch metalowych skal, z których jedna jest nieruchoma, a druga daje się względem niej przesuwać. Skala nieruchoma P posiada zwykła podziałkę milimetrową, natomiast skala ruchoma N zwana noniuszem posiada podziałkę, której 10 części mieści się na odcinku o długości 9 mm. Odległość między kolejnymi działkami skali noniusza wynosi 0.9 mm.

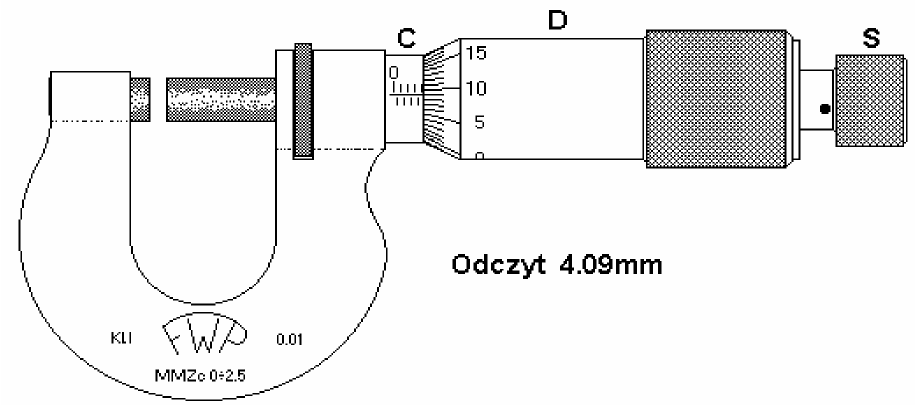



Jeżeli kreskę zerową skali N ustawimy naprzeciw kreski zerowej skali P, wówczas 10-ta kreska N pokryje się z 9-tą kreską P. Przy przesunięciu noniusza o 0.1 mm pierwsza kreska noniusza pokryje się z pierwszą kreską skali P. Przy przesunięciu o 0.2 mm stwierdzimy, że druga kreska noniusza zejdzie się z jakąś kreską skali głównej. Na skali głównej odczytujemy całkowitą liczbę milimetrów (zerowa kreska noniusza wskazuje ilość całych milimetrów), a na noniuszu dziesiętne części milimetra (numer kreski noniusza przedłużającej jedną z kresek skali milimetrowej jest równy ilości dziesiętnych milimetra).

Zasadę noniusza stosuje się również do pomiarów kątów. Skala główna w kształcie tarczy jest podzielona na 360 części (1 część - 1°). Noniusze kątowe mogą posiadać skale o różnych dokładnościach, np. 11 podziałek skali tarczy odpowiada 12 podziałkom noniusza. Różnica wartości działek wynosi (1/12)° a zatem dokładność odczytu wynosi 5'.

**9. Śruba mikrometryczna**

Śruba mikrometryczna (rys.6) zwana inaczej mikrometrem pozwala mierzyć z dokładnością do 0.01 mm. Zasadniczymi częściami śruby są, podobnie jak w suwmiarce, dwie skale. Skala nieruchoma znajdująca się na walcu C ma podziałkę milimetrową (zaznaczone są na niej również połówki milimetrów). Skala ruchoma znajduje się na bębnie D. Obwód bębna jest podzielony na 50 części (gdy skok śruby wynosi 0.5 mm) lub na 100 części (gdy skok śruby wynosi 1 mm). W obu przypadkach jednej podziałce odpowiada 0.01 mm.




Pomiar polega na przesuwaniu śruby umieszczonej w stałym zacisku wzdłuż jej osi przez obrót bębna. Na nieruchomej podziałce odczytujemy ilość całkowitych obrotów śruby określającą wymiar badanego ciała wyrażony w milimetrach, a na podziałce bębna odczytujemy setne części milimetra.

Przed przystąpieniem do pomiaru należy sprawdzić położenie “0” śruby w celu ustalenia ewentualnej poprawki. Dla uniknięcia błędów związanych z “martwym skokiem” śruby oraz z nierównomiernym dociskiem śruby do mierzonego przedmiotu należy śrubę przed odczytem dokręcać zawsze w tym samym kierunku i tylko przy pomocy sprzęgła S na jej końcu.

## II. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie gęstości kilku ciał stałych posiadających kształt prostych brył geometrycznych.

## III. WYKONANIE ĆWICZENIA

**1.** Zmierzyć przy pomocy suwmiarki (pkt. 8), a tam gdzie to możliwe śruby mikrometrycznej wymiary wyznaczonych ciał konieczne do obliczenia objętości tych ciał. Każdy pomiar powtórzyć co najmniej 6 razy wybierając różne miejsca pomiaru.

**2.** Zważyć kolejno ciała na wadze laboratoryjnej.

## IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW

**1**. Obliczyć objętości ciał stosując odpowiednie wzory matematyczne, wstawiając średnie wartości zmierzonych wielkości.

**2.** Obliczyć gęstości ciał ze wzoru

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**3**. Przeprowadzić dyskusję błędów:

*a)* błędy pomiarów poszczególnych wymiarów ciała ustalić jak w przykładzie 5 (patrz broszura "Opracowanie i prezentacja wyników pomiarów"),

*b)* błąd pomiaru masy przyjąć jako błąd systematyczny wagi,

*c)* obliczyć błąd względny pomiaru gęstości metodą logarytmiczną,

*d)* obliczyć błąd bezwzględny pomiaru gęstości $\Delta\rho$,

*e)* wyniki przedstawić w postaci $\rho = \rho_{obl} \pm \Delta\rho$ ,

*f)* otrzymane wyniki porównać z tablicowymi.

Tabela gęstości wybranych ciał (w zakresie temperatur 17-23°C)

| **substancja** | **gęstość [kg/m$^3$]** |
|---|---|
| aluminium | 2700 |
| ołów | 11340 |
| mosiądz | 8500-8700 |
| stal | 7700 |
| denaturat | 790 |
| korek | 220-260 |
| drewno: balsa | 120-200 |
| buk | 700-900 |

## V. Literatura

1. T. Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
2. D. Holliday, R. Resnick - Fizyka, tom I
3. J. Orear - Fizyka, tom I
4. Sz. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna, cz. 1