

# Świat fizyki

Podręcznik dla uczniów gimnazjum

Część 2

Pod redakcją Barbary Sagnowskiej

Kraków 2010



**ZamKor**

Autorzy:

Barbara Sagnowska, Maria Rozenbajgier, Ryszard Rozenbajgier,  
Danuta Szot-Gawlik, Małgorzata Godlewska

Konsultacje merytoryczne:

Adam Kleiner, Jadwiga Salach

Korekta językowa:

Agnieszka Kochanowska-Sabljak

Rysunki:

Katarzyna Mentel

Zdjęcia:

Łukasz Opaliński

Zdjęcia na stronie 118 dzięki uprzejmości firmy AARSLEFF

Projekt okładki i układu typograficznego:

Joanna Wypiór

**„Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra  
właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu  
podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do naucza-  
nia fizyki, na podstawie opinii rzeczoznawców: mgr Anny Hartleb,  
prof. dr. hab. Włodzimierza Zycha, dr Henryki Kaczorowskiej.**

**Etap edukacyjny: III**

**Typ szkoły: gimnazjum**

**Rok dopuszczenia: 2010.”**

**Numer ewidencyjny w wykazie: 11/2/2010**



© Copyright by ZamKor P. Sagnowski i Wspólnicy sp. j.  
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków  
tel.: (12) 623 25 20  
faks: (12) 623 25 24  
e-mail: zamkor@zamkor.pl  
www.zamkor.pl

ISBN 978-83-60793-69-5 (całość)

ISBN 978-83-60793-46-6 (część 2)

Druk i oprawa:

P.W. STABIL, tel.: (12) 410 28 20



Podręcznik wydrukowano na „przyjaznym” papierze  
[www.przyjaznypapier.pl](http://www.przyjaznypapier.pl)

## 5.4. Trzecia zasada dynamiki Newtona

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

Podać wszystkie cechy sił wzajemnego oddziaływania.

Posługiwać się trzecią zasadą dynamiki do wyjaśniania obserwowanych zjawisk.

Opisać doświadczenie i przeprowadzić rozumowanie, z którego wynika, że siły akcji i reakcji mają jednakowe wartości.

Wiemy już, że jeśli jedno ciało działa siłą na drugie, to drugie działa siłą na pierwsze. Jedną z tych sił nazywamy **siłą akcji** i zwykle oznaczamy  $\vec{F}_{12}$  (ciało 1. działa na ciało 2.) lub  $\vec{F}_{AB}$  (ciało A działa na ciało B). Drugą siłą nazywamy **siłą reakcji** i często oznaczamy  $\vec{F}_{21}$  (ciało 2. działa na ciało 1.) lub  $\vec{F}_{BA}$  (ciało B działa na ciało A). Zwróć uwagę, że każda z wymienionych sił działa na inne ciało.

Wektor obrazujący siłę zawsze przyczepiamy do ciała, na które ta siła działa. Wynika stąd, że **siły akcji i reakcji są przyczepione do różnych ciał!**

A co możemy powiedzieć o pozostałych cechach tych sił?

Z doświadczeń, które dotąd wykonaliśmy, wynika, że siły akcji i reakcji działają wzdłuż jednej prostej, czyli mają ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty.

Pozostaje nam zbadać, jakie są wartości sił wzajemnego oddziaływania.



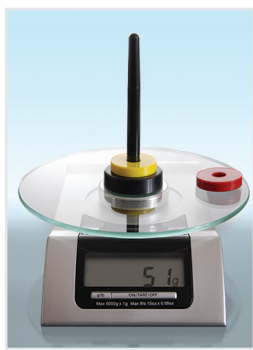
### Doświadczenie 5.9

**Cel:** Badamy, jakie wartości mają siły wzajemnego oddziaływania ciał.

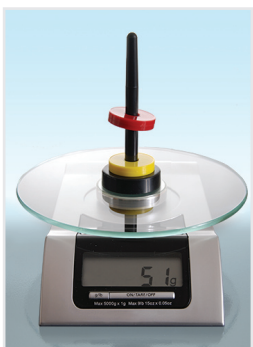
*Konieczne przedmioty:* waga, podstawka z pionowym prętem i magnesami nakładanymi na pręt.

*Kolejne czynności i pomiary:*

- ✓ Na szalkę wagi kładziemy podstawkę z prętem i magnesem, obok – drugi magnes. Ważymy ten układ ciał. Wynik jest wartością sumy ciężaru  $\vec{F}_c$  podstawki z prętem i magnesem A oraz ciężaru  $\vec{F}_{cB}$  magnesu B.



- ✓ Leżący na szalce magnes nakładamy na pręt tak, by zawisł nad magnesem A (lewitował).



*Wynik doświadczenia:* Niezależnie od tego, czy magnes B leży na szalce, czy unosi się, nie dotykając **niczego**, waga wskazuje tę samą wartość.

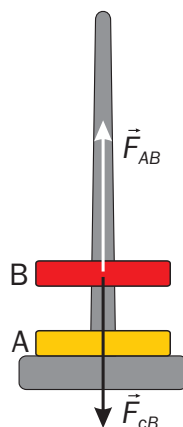
Zanim sformułujemy wniosek, wyjaśnijmy ten zaskakujący wynik. Wróćmy na chwilę do doświadczenia 5.5. Górny magnes (B) przyjmuje zawsze takie położenie, w którym wypadkowa sił działających na niego jest równa zero. Ciężar magnesu  $\vec{F}_{cB}$  jest zrównoważony przez siłę  $\vec{F}_{AB}$ , którą odpycha go dolny magnes (A):

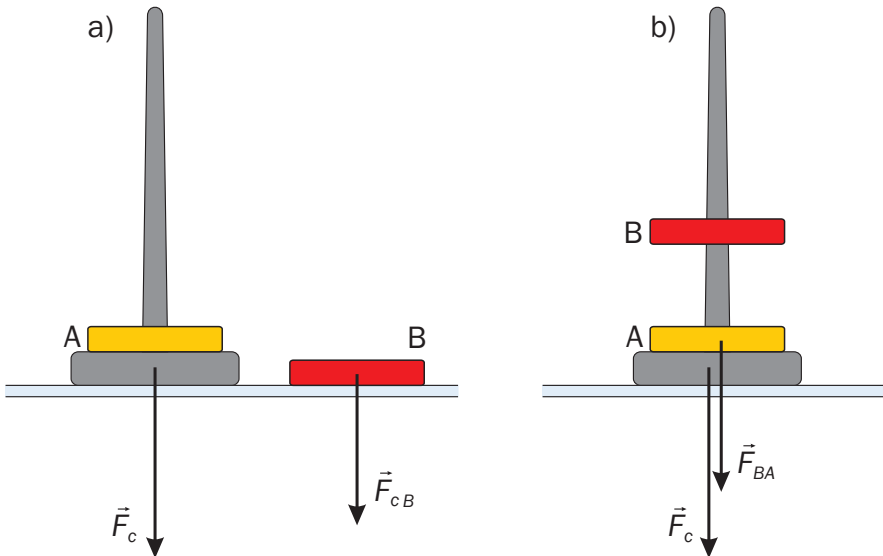
$$F_{cB} = F_{AB} \quad (5.1)$$

Oddziaływania są wzajemne, więc jeśli magnes A działa na magnes B w górę siłą  $\vec{F}_{AB}$ , to magnes B działa na magnes A w dół siłą  $\vec{F}_{BA}$  (rys. 5.13b).

W obu przypadkach przedstawionych na rysunku 5.13 waga wskazuje tę samą wartość, tzn. że wartość ciężaru leżącego na szalce magnesu B ( $F_{cB}$ ) jest równa wartości siły magnetycznej, którą magnes B, unosząc się, odpycha magnes A ( $F_{BA}$ ):

$$F_{cB} = F_{BA} \quad (5.2)$$





Rys. 5.13

Po lewej stronie równości (5.1) i (5.2) jest ta sama wielkość, więc i prawe strony równości muszą być jednakowe:

$$F_{AB} = F_{BA}$$

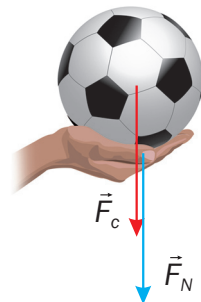
*Wniosek z doświadczenia:* Siły wzajemnego oddziaływania magnesów mają jednakowe wartości.



### Przykład 5.6

Leżąca na dłoni piłka o ciężarze  $\vec{F}_c$  naciska na dłoń, czyli działa na nią siłą  $\vec{F}_N$ .

Jeśli piłka działa na dłoń, to dłoń działa na piłkę siłą o takiej samej wartości, tym samym kierunku i przeciwnym zwrocie. Wzajemne oddziaływanie zachodzi w miejscu styku piłki i dłoni, ale zgodnie z wnioskiem z doświadczenia 5.3 siły możemy przesuwać wzdłuż prostej ich działania. Siłę  $\vec{F}_N$  zaczepiamy nieco niżej, by wyraźnie było widać, że jest przyłożona do dłoni (działa na dłoń), a siłę reakcji  $\vec{F}_R$ , którą dłoń działa na piłkę, przesuujemy w górę i zaczepiamy w punkcie, w którym zaczepiony jest jej ciężar.



Piłka pozostaje w spoczynku, z czego wynika, że działające na nią siły równoważą się wzajemnie:

$$F_R = F_c$$

Ale z trzeciej zasady dynamiki wynika, że wartości siły nacisku na dłoń  $\vec{F}_N$  i reakcji dłoni  $\vec{F}_R$  mają jednakowe wartości:

$$F_R = F_N$$

Stąd wniosek, że  $F_N = F_c$ , czyli piłka naciska na dłoń siłą o wartości równej wartości jej ciężaru. To dlatego, trzymając w ręce jakiś przedmiot, możemy oszacować jego ciężar.

Pamiętaj, że ciężar piłki  $\vec{F}_c$  działa na piłkę i pochodzi od Ziemi, a nacisk  $\vec{F}_N$  działa na dłoń i pochodzi od piłki.



## Podsumowanie

Trzecia zasada dynamiki: Jeśli jedno ciało działa siłą na drugie ciało, to drugie ciało działa siłą na pierwsze.

Siły wzajemnego oddziaływania dwóch ciał mają takie same wartości, ten sam kierunek, przeciwny zwrot i różne punkty przyłożenia.

Wynika z tego, że:

$$F_{21} = F_{12} \quad \text{lub wektorowo} \quad \vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

Znak „-” oznacza, że siły mają przeciwny zwrot.

Siła  $\vec{F}_{21}$  działa na ciało 1., a pochodzi od ciała 2.

Siła  $\vec{F}_{12}$  działa na ciało 2., a pochodzi od ciała 1.

Siły akcji i reakcji nie równoważą się wzajemnie, bo każda działa na inne ciało.

## Zadania i doświadczenia

### Zadania

---

1. Odpowiedz pisemnie (wraz z uzasadnieniem) na następujące pytanie: Czy siły akcji i reakcji, o których mówi trzecia zasada dynamiki, równoważą się wzajemnie?
2. Mikołaj biegnie po desce windsurfiowej do przodu. Opisz i wyjaśnij, jak zachowuje się deska względem wody.



3. Siedzący na łódce chłopiec ciągnie na sznurku w swoją stronę deskę windsurfiową, na której siedzi kolega i trzyma drugi koniec sznurka. Opisz i wyjaśnij zachowanie się obu obiektów.



4. Wyjaśnij, jaką rolę w ruchu motorówki spełnia śruba.



5. Odszukaj w Internecie informacje o kałamarnicach. Przygotuj prezentację wyjaśniającą sposób ich poruszania się. Użyj pojęcia 'odrzut'.

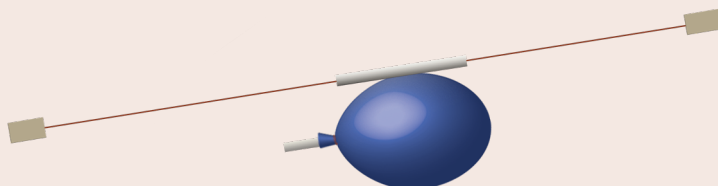
## Doświadczenie

**Cel: Budujemy model rakiety.**

*Konieczne przedmioty:* balonik, gumka recepturka, rurka do napojów, długa mocna nić, taśma klejąca.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Utnij 2 cm rurki do napojów, a przez pozostałą rurkę przeciągnij długą nić. Końce nici przywiąż do mebli tak, by nić była napięta.
- ✓ Do wylotu balonika włóż odcięty kawałek rurki, zwiąż wylot gumką recepturką.
- ✓ Napompowany balon przyczep do rurki taśmą klejącą, ściskając równocześnie palcami rurkę zamocowaną w wylocie, by powietrze nie uciekało z balonu.
- ✓ Przesuń balon na dolny koniec nici i puść go swobodnie.



*Wynik doświadczenia:* Powietrze wylatuje z balonu do tyłu, a balon porusza się do przodu (zostaje „odrzucony”).

*Wniosek:* Powłoka balonu, sprężając się, działa na powietrze znajdujące się w balonie siłą zwróconą do tyłu, a powietrze w balonie działa na powłokę do przodu. Jest to zjawisko odrzutu.



## 5.7.2 Siła wyporu

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

**Opisać sposób doświadczalnego wyznaczenia wartości siły wyporu.**

**Zapisać wzór wyrażający wartość siły wyporu, objaśnić występujące w nim wielkości fizyczne i wykorzystywać go do obliczeń.**

**Podać warunek, który musi być spełniony, aby ciało:**

- pływało częściowo zanurzone,
- pływało całkowicie zanurzone,
- tonęło.

**Stosować prawo Archimedesesa do wyjaśniania zjawisk z codziennego życia.**

Być może pływając łodzią, statkiem czy kajakiem, zastanawialiście się nad tym, dlaczego kawałek metalu, jak choćby metalowa moneta, włożona do szklanki z wodą opada na jej dno, a zbudowany głównie z metalu ciężki statek pływa.

W tym paragrafie odpowiemy na pytania:

- Dlaczego statki pływają?
- Dlaczego okręt podwodny może pływać całkowicie zanurzony w wodzie, ale może również pływać częściowo wynurzony?

W tym celu wykonajmy proste doświadczenia.



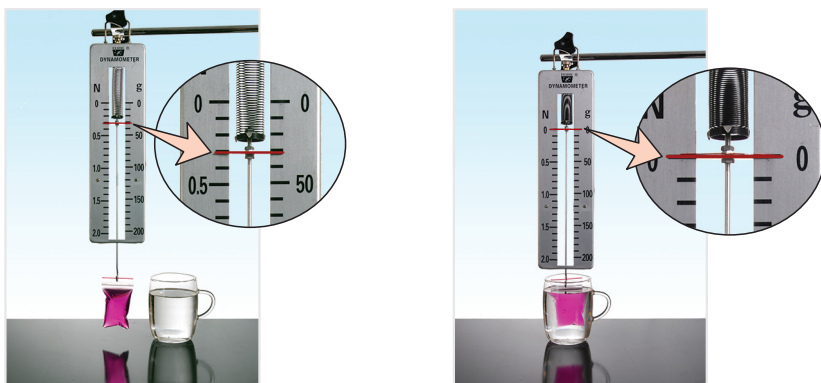
### Doświadczenie 5.16

**Cel: Badamy, jaką wartość ma siła, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.**

*Konieczne przedmioty:* naczynie z wodą, plastikowy woreczek zamykany od góry (tzw. woreczek strunowy), siłomierz.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Woreczek strunowy napełniamy wodą (na rysunku woda jest lekko zabarwiona, by była lepiej widoczna) i zamykamy go.



- ✓ Wieszamy woreczek na haczyku siłomierza i odczytujemy wartość jego ciężaru.
- ✓ Zanurzamy woreczek całkowicie w naczyniu z wodą i odczytujemy wskazanie siłomierza.

*Wynik doświadczenia:* Po zanurzeniu woreczka w wodzie siłomierz wskazuje około zera.

*Wniosek:* Ciężar woreczka z wodą  $\vec{F}_{c \text{ woreczka}}$  (równy w przybliżeniu ciężarowi wody w woreczku) został zrównoważony przez działającą na woreczek w górę **siłę wyporu**  $\vec{F}_w$ .

$$F_w = F_{c \text{ wody w woreczku}} \quad (5.3)$$

Źródłem siły wyporu  $\vec{F}_w$  jest woda w naczyniu, bo tylko z nią styka się woreczek po zanurzeniu.

Po zanurzeniu woreczka w naczyniu z wodą poziom wody podniósł się, czyli zanurzone ciało wyparło wodę. Objętość wypartej wody jest równa objętości zanurzonego woreczka z wodą, więc i wartość ciężaru wypartej wody  $F_{c \text{ wypartej wody}}$  jest równa ciężarowi wody w woreczku (ciężar pustego woreczka pomijamy).

$$F_{c \text{ wypartej wody}} = F_{c \text{ wody w woreczku}} \quad (5.4)$$

Prawe strony równości (5.3) i (5.4) są takie same, więc i lewe strony są sobie równe:

$$F_w = F_{c \text{ wypartej wody}}$$

Na ciało zanurzone w wodzie woda ta działa zwróconą w górę siłą wyporu, której wartość jest równa wartości ciężaru wody wypartej przez to ciało.

Powtórzmy doświadczenie 5.16, wieszając na siłomierzu sześcienny klocek o znanej objętości i gęstości.



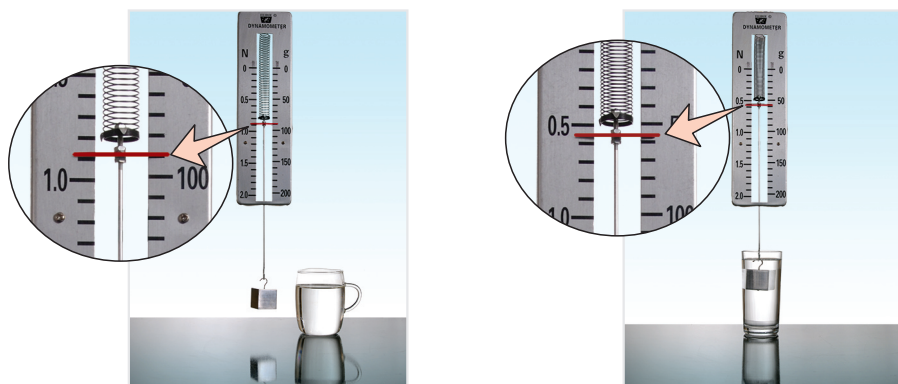
### Doświadczenie 5.17 (obowiązkowe)

**Cel:** Badamy, jaką wartość ma siła, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało.

*Konieczne przedmioty:* aluminiowy klocek sześcienny z haczykiem o znanej objętości ( $30 \text{ cm}^3$ ), siłomierz, naczynie z wodą.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Wieszamy klocek na siłomierzu i odczytujemy wartość jego ciężaru  $F_c$ .
- ✓ Zanurzamy klocek w wodzie i odczytujemy wskazanie siłomierza  $F$ .



*Wynik doświadczenia:* Po zanurzeniu klocka siłomierz wskazał mniejszą wartość, bo woda działa na klocek zwróconą w górę siłą wyporu  $\vec{F}_w$ .

Wartość siły wyporu jest równa różnicy wskazań siłomierza przed i po zanurzeniu:

$$F_w = F_c - F = 0,3 \text{ N}$$

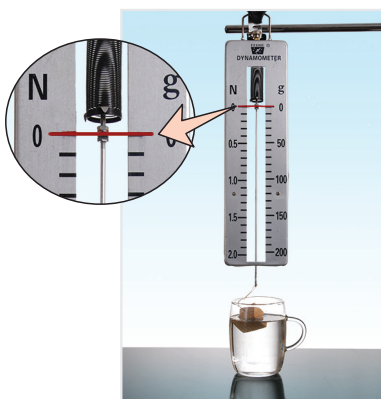
Sprawdźmy, czy podobnie jak w poprzednim doświadczeniu wartość siły wyporu jest równa ciężarowi  $F_{c \text{ wypartej wody}}$  wody wypartej przez zanurzone w niej ciało:

$$\begin{aligned} F_{c \text{ wypartej wody}} &= \rho_w \cdot g V_{\text{klocka}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 30 \text{ cm}^3 = \\ &= 1 \text{ g} \cdot \frac{10 \text{ N}}{1000 \text{ g}} \cdot 30 = 0,30 \text{ N} \end{aligned}$$

*Wniosek:*  $F_w = F_{c \text{ wypartej wody}}$

Biorąc pod uwagę niepewności pomiarowe, stwierdzamy, że **wartość siły wyporu jest równa wartości ciężaru wody wypartej przez zanurzone w niej ciało.**

Pozostaje nam jeszcze rozważenie przypadku, gdy na siłomierzu zawiesimy klocek drewniany. Po zanurzeniu go w wodzie wskazanie siłomierza maleje do zera, a klocek pływa tylko częściowo zanurzony.



W tym przypadku wniosek jest taki jak w poprzednich dwóch doświadczeniach.

Już częściowe zanurzenie klocka powoduje wyparcie takiej objętości wody, że siła wyporu, o wartości równej wartości ciężaru wypartej wody, równoważy ciężar klocka.

Wyniki doświadczeń nie zmieniają się, jeśli zamiast wody użyjemy innej cieczy. Podsumowując, możemy zatem sformułować następujący wniosek:

Na każde ciało zanurzone w cieczy działa zwrócona do góry siła wyporu  $\vec{F}_w$  o wartości równej wartości ciężaru cieczy wypartej przez to ciało.

$$F_w = F_c = \rho_c g V$$

gdzie:

$\rho_c$  – to gęstość cieczy,

$V$  – objętość ciała lub jego zanurzonej części.

Prawo to zostało odkryte w starożytności przez greckiego uczonego i od jego nazwiska zwane jest **prawem Archimedesesa**. Dotyczy ono również ciał zanurzonych w gazach.



## Doświadczenie 5.18

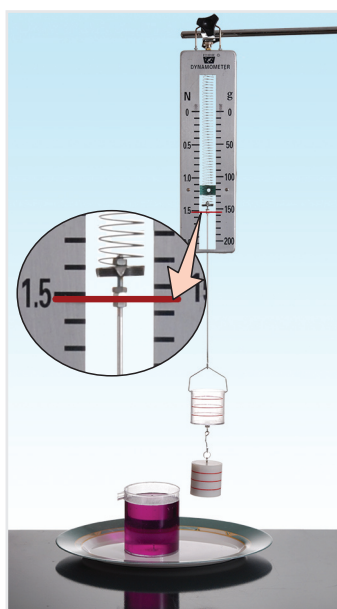
**Cel:** Sprawdzamy słusność prawa Archimedesesa za pomocą zestawu **Wiaderko Archimedesesa**.

**Konieczne przyrządy:** zestaw **Wiaderko Archimedesesa** składający się z cylindrycznego wiaderka, walca o takiej samej objętości jak pojemność wiaderka, siłomierza i naczynia z odpływem.

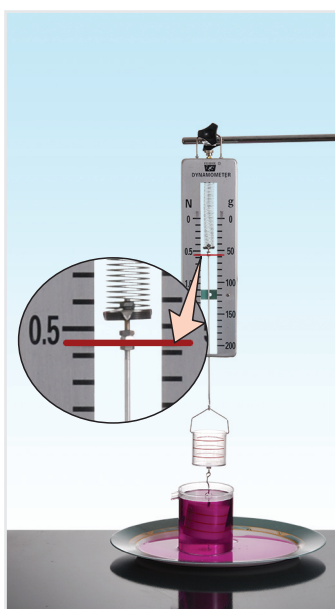


**Kolejne czynności:**

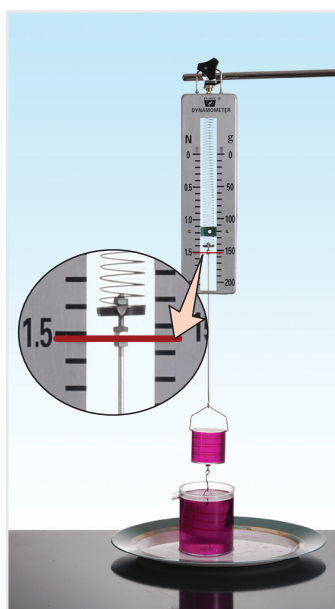
- ✓ Na siłomierzu wieszamy wiaderko i walec (rys. 5.24). Odczytujemy wskazanie siłomierza, czyli wartość ciężaru walca i pustego wiaderka.
- ✓ Naczynie wypełniamy wodą do wysokości otworu odpływowego i ustawiamy na pustym talerzu.
- ✓ Zanurzamy walec w naczyniu wypełnionym wodą tak, aby wyparta woda gromadziła się w talerzu.



Rys. 5.24



Rys. 5.25



Rys. 5.26

- ✓ Odczytujemy wskazanie siłomierza, gdy walec jest całkowicie zanurzony w wodzie (rys. 5.25).
- ✓ Wodę zgromadzoną na talerzu wlewamy do wiaderka i po raz trzeci odczytujemy wskazanie siłomierza (rys. 5.26).

**Wynik doświadczenia:** Trzecie wskazanie siłomierza jest dokładnie takie jak pierwsze.

**Wniosek:** Prawo Archimedesesa zostało potwierdzone. Wartość siły wyporu działającej na walec zanurzony w wodzie jest równa wartości ciężaru wody wypartej przez walec.

Możemy wyróżnić trzy przypadki zachowania się ciała zanurzonego w cieczy. Rozważymy je na przykładzie kulek o różnej gęstości. Do naczynia wypełnionego cieczą wkładamy kolejno kulki o gęstości: a) większej, b) równej i c) mniejszej od gęstości cieczy. Niech  $V$  oznacza objętość kulki,  $\rho$  – jej gęstość, a  $\rho_c$  – gęstość cieczy. Gdy kulka znajduje się pod powierzchnią cieczy – puszczone ją wolno. Na kulkę działają dwie siły:  $\vec{F}_c$  – siła ciężkości o wartości  $F_c = mg = \rho gV$  i  $\vec{F}_w$  – siła wyporu o wartości  $F_w = \rho_c gV$ .

a) Jeśli  $\rho > \rho_c$ , to

$$F_c > F_w$$

a więc wypadkowa sił  $\vec{F}_c$  i  $\vec{F}_w$  jest zwrócona w dół i kulka opada na dno naczynia (tonie) (rys. 5.27). Tam siła wypadkowa o wartości  $F_c - F_w$  będzie równoważona przez siłę sprężystości dna i kulka spocznie na dnie.

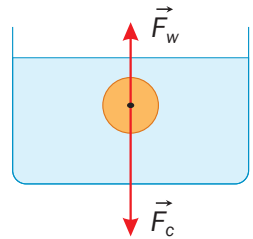
b) Jeśli  $\rho = \rho_c$ , to

$$F_c = F_w$$

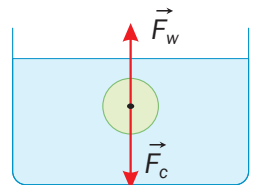
a więc wypadkowa sił działających na kulkę jest równa zeru i kulka pozostaje w miejscu, w którym została umieszczona, czyli pływa całkowicie zanurzona (rys. 5.28). Ponieważ siła wyporu nie zależy od głębokości zanurzenia, miejsce to może być dowolne.

c) Jeśli  $\rho < \rho_c$ , to

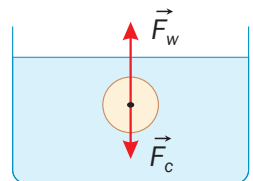
$$F_c < F_w$$



Rys. 5.27



Rys. 5.28



Rys. 5.29

więc wypadkowa sił działających na kulkę jest zwrócona w górę i kulka porusza się w stronę powierzchni cieczy (rys. 5.29).

W chwili dotarcia do niej kulka zaczyna się wynurzać. Wówczas objętość jej zanurzonej części zmniejsza się (maleje także objętość wypartej cieczy), a zatem siła wyporu

$$F_w = \rho_c g V_{\text{zanurzonej części ciała}}$$

maleje. Dzieje się tak do chwili, gdy wartości sił wyporu i ciężaru kulki zrównają się. Wówczas kulka będzie pływać w cieczy częściowo zanurzona.

$$F_w = \rho_c g V_{\text{zanurzonej części ciała}} = F_c \quad (5.5)$$



### Przykład 5.9

Drewniana tratwa pływa zanurzona do  $\frac{3}{5}$  swojej objętości ( $V$ ). Wiedząc, że gęstość wody wynosi  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ , obliczymy gęstość drewna, z którego wykonano tratwę.

Dane:  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $V_{\text{zan}} = \frac{3}{5}V$

Szukane:  $\rho_d$

Rozwiązanie:

Skoro tratwa ani nie tonie, ani nie wynurza się, działające na nią siły równoważą się

$$F_c = F_w$$

$$\rho_d g V = \rho_w g \frac{3}{5} V \quad \text{stąd} \quad \rho_d = \frac{3}{5} \rho_w$$

$$\rho_d = \frac{3}{5} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Spróbujmy teraz odpowiedzieć na pytanie postawione na początku paragrafu: Dlaczego ciężki, wykonany z żelaza statek może pływać?

Gęstość materiału, z którego wykonuje się statki, jest większa niż gęstość wody, statek powinien utonąć, tak jak tonie metalowa moneta włożona do szklanki z wodą. Ale siła wyporu zależy od **objętości zanurzonej w wodzie części ciała**.

Tajemnica leży w tym, że wewnątrz kadłuba jest puste, a dokładniej – wypełnione powietrzem. Średnia gęstość kadłuba wraz z wypełniającym go powietrzem jest mniejsza od gęstości wody.

Gdy statek jest pusty, nie przewozi ładunku, kadłub jest zanurzony tylko częściowo. Jeśli do wnętrza kadłuba będziemy ładować towary, statek będzie się coraz bardziej zanurzał. Często słyszymy, że w stoczni zwodowano statek o ładowności np. 10 tysięcy ton. Oznacza to, że możemy załadować do kadłuba statku towary o masie 10 tysięcy ton, nie przekraczając jego maksymalnego dopuszczalnego zanurzenia.

Gdy kadłub statku zostanie przebity, jego wnętrze wypełni woda. Ciężar kadłuba wraz z wypełniającą go wodą stanie się większy niż maksymalna siła wyporu – statek tonie. Tak się stało w przypadku Titanica, którego kadłub uległ przebiciu w zderzeniu z górą lodową. Aby zapobiec, w sytuacji przebicia, wypełnieniu całego kadłuba wodą i zatonięciu statku, współczesne jednostki mają kadłub podzielony poprzecznymi, wodoszczelnymi ścianami (tzw. grodzie wodoszczelne).

Teraz łatwo odpowiemy na pytanie, jak to jest możliwe, że okręty podwodne pływają zarówno całkowicie zanurzone w wodzie, jak i częściowo wynurzone.

Jeśli przeanalizujemy warunki pływania ciał, dochodzimy do wniosku, że aby okręt podwodny mógł zmieniać głębokość swojego zanurzenia, powinna być możliwa zmiana wartości jego ciężaru. W praktyce osiąga się to, wypełniając wodą lub opróżniając znajdujące się na statku zbiorniki balastowe. Napełnienie wodą zbiorników zwiększa całkowity ciężar okrętu. Okręt „tonie” – zanurza się pod wodę. Ilość wody trzeba tak dobrać, by całkowity ciężar był równoważony przez siłę wyporu działającą na zanurzony okręt. Gdy część wody wypchniemy ze zbiorników balastowych sprężonym powietrzem, okręt wynurza się częściowo i pływa na powierzchni.

Prawo Archimedesusa stosuje się także do ciał zanurzonych w gazie.



Balon uniesie się do góry, jeśli jego całkowity ciężar (wliczając w to zawarte w nim powietrze) będzie mniejszy niż ciężar wypartego powietrza. Przed



startem balonu zawarte w nim powietrze jest ogrzewane za pomocą palników gazowych do temperatury ponad  $100^{\circ}\text{C}$ . Gorące powietrze wewnątrz balonu ulega rozrzedzeniu, a spora jego część zostaje wypchnięta na zewnątrz. Zmniejszenie ilości powietrza zawartego w balonie powoduje zmniejszenie jego ciężaru, a więc siła wyporu ma wystarczająco dużą wartość, by balon zaczął się wznosić. Rzadziej można spotkać balony wypełnione helem (np. balony meteorologiczne). Hel ma gęstość mniejszą od powietrza, więc nie musi być podgrzewany.

## Podsumowanie

Prawo Archimedesesa:

Na każde ciało zanurzone w cieczy (lub w gazie) działa zwrócona w górę siła wyporu; wartość siły wyporu jest równa wartości ciężaru cieczy (lub gazu) wypartej przez to ciało.

Wartość siły wyporu wyraża się wzorem

$$F_w = \rho_{\text{cieczy}} g V_{\text{zanurzonego ciała lub jego zanurzonej części}}$$

Zachowanie się ciała zanurzonego w cieczy zależy od jego gęstości  $\rho$  w porównaniu z gęstością  $\rho_c$  tej cieczy.

$\rho > \rho_c$	$F_c > F_w$	ciało tonie
$\rho = \rho_c$	$F_c = F_w$	ciało pływa całkowicie zanurzone
$\rho < \rho_c$	$F_c < F_w$ po ustaleniu równowagi $F_c = F_w$	ciało pływa częściowo zanurzone

## Zadania i doświadczenia

### Zadania

---

1. Jak zmieni się zanurzenie statku, który wpływa rzeką do morza?
2. Stojący w porcie statek waży 100 000 kN.  
Jaka jest wartość siły wyporu działającej na ten statek?  
Przyjmując, że gęstość wody wynosi  $1 \text{ g/cm}^3$ , oblicz objętość zanurzonej części statku.
3. Odszukaj informacje o Morzu Martwym. Porównaj warunki kąpieli w nim z warunkami kąpieli w Bałtyku.
4. Wyjaśnij, dlaczego okręt wykonany m.in. z żelaza nie tonie?
5. Wskaż, jakie wielkości należy znać, aby przewidzieć, czy dane ciało będzie pływać, czy też tonąć w danej cieczy.
6. Spróbuj przewidzieć, czy ołowiany przedmiot będzie pływał w rtęci. Uzasadnij swój pogląd.
7. Odszukaj w Internecie informacje o Archimedesie i przygotuj prezentację na jego temat.
8. Oblicz wartość siły wyporu działającej na aluminiowy sześcián o boku 3 cm całkowicie zanurzony w wodzie. Konieczne dane odszukaj w tablicach stałych fizycznych.
9. Prostopadłościan o wysokości  $d$  stopniowo zanurzano w wodzie, aż jego górna powierzchnia znalazła się kilka centymetrów pod powierzchnią wody. Sporządź wykres zależności wartości siły wyporu  $F_w$  od głębokości zanurzenia.

## Doświadczenia

---

### 1. Cel: Badanie warunków pływania ciał (I).

*Konieczne przedmioty:* wysoka szklanka, woda mineralna gazowana, winogrono lub rodzynka.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Do szklanki nalewamy wodę mineralną.
- ✓ Do wody mineralnej wrzucamy winogrono (lub rodzynkę) i przynajmniej przez 5 minut obserwujemy jego zachowanie.

*Wynik:* Początkowo winogrono tonie, następnie zostaje otoczone bąbelkami gazu i wypływa na powierzchnię wody, gaz ulatnia się i winogrono znowu tonie.

Wyjaśnij wynik doświadczenia, używając pojęcia średniej gęstości.

### 2. Cel: Sprawdzamy słuszność prawa Archimedesa dla gazów.

*Konieczne przedmioty:* duży, możliwie jak najcieńszy plastikowy worek na śmieci, igła z nitką, suszarka do włosów.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Wylot worka zszywamy nitką tak, by miał średnicę nie większą niż 8 cm.
- ✓ Suszarką do włosów wdmuchujemy gorące powietrze do worka i puszczamy go swobodnie.

Opisz wynik doświadczenia i wyjaśnij go, posługując się wiadomościami o cząsteczkowej budowie ciał i prawem Archimedesa.

### 3. Cel: Badanie warunków pływania ciał (II).

*Konieczne przedmioty:* dwie metalowe zakrętki od butelek, duża szklanka z wodą.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Jedną z zakrętek uderz kilkakrotnie młotkiem, aby uzyskać możliwie płaską blaszkę.
- ✓ Obie zakrętki połóż delikatnie na powierzchni wody w szklance.
- ✓ Obserwuj ich zachowanie.

Zapisz samodzielnie wynik obserwacji i wnioski dotyczące wartości siły wyporu działającej na każdą z zakrętek. Porównaj w każdym przypadku wartość siły wyporu z wartością ciężaru zakrętki.

#### 4. Cel: Modelujemy zanurzenie okrętu podwodnego.

*Konieczne przedmioty:* mały słoiczek z zakrętką, drobne metalowe przedmioty do obciążania słoiczka, duży słoik z wodą.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Do słoiczka wkładamy kilka metalowych przedmiotów i po zamknięciu zakrętką kładziemy go na powierzchni wody w dużym słoju lub innym przezroczystym naczyniu.
- ✓ Sporządzamy rysunek (lub zdjęcie), który będzie przedstawiał zachowanie się słoiczka.
- ✓ Kilkakrotnie powtarzamy kolejne czynności: wyjmujemy słoiczek z wody, nalewamy do niego porcję wody, zakręcamy i wkładamy do słoika z wodą. Sporządzamy rysunek (lub zdjęcie) przedstawiający zachowanie się słoiczka.
- ✓ Należy doprowadzić nasz okręt (słoiczek) do całkowitego zanurzenia i udokumentować ten fakt.

#### 5.

Wejdź na stronę internetową [www.zamkor.pl](http://www.zamkor.pl), następnie do serwisu *Fizyka*. Otwórz portal *ZamKor Laboratorium* i wybierz *Symulacje zjawisk i doświadczeń*. Otwórz *Programy z fizyki w gimnazjum* i uruchom symulację *Siła wyporu w cieczach*. Wypróbuj różne czynności proponowane w programie.

Wykonaj poniższe doświadczenie składające się z dwóch części.

#### 5a. Cel: Wyznaczanie wartości siły wyporu działającej na to samo ciało zanurzone w różnych cieczach.

*Kolejne czynności:*

- ✓ Ustal kształt i objętość klocka.
- ✓ Wybierz gęstość  $\rho$  substancji, z której wykonany jest klocek.
- ✓ Zmierz i zapisz wartość ciężaru  $\vec{F}_c$  klocka.
- ✓ Zanurzaj klocek kolejno w cieczach, których gęstości wybierz dowolnie i zapisuj wskazania siłomierza  $F$ , gdy klocek jest całkowicie zanurzony.
- ✓ Wyniki wpisz do tabelki.

Lp.	Wartość ciężaru klocka $F_c$ (N)	Gęstość cieczy $\rho_c$ (g/cm <sup>3</sup> )	Wskazanie siłomierza $F$ (N)	Wartość siły wyporu $F_w = F_c - F$ (N)
1.				
2.				
...				

- ✓ Oblicz w każdym przypadku wartość siły wyporu, porównaj z odczytaną w oknie programu i wpisz do tabeli.

### 5b. Cel: Wyznaczanie wartości siły wyporu działającej na ciała o jednakowej objętości, wykonane z różnych substancji, zanurzone w tej samej cieczy.

Kolejne czynności:

- ✓ Ustal dowolnie kształt i objętość klocka.
- ✓ Wybierz gęstość cieczy  $\rho_c$ , w której będziesz zanurzać klocki o jednakowej objętości.
- ✓ Mierz i zapisuj kolejno wartość ciężaru każdego klocka oraz wskazanie siłomierza po zanurzeniu klocka w wybranej cieczy.
- ✓ Wyniki wpisz do tabelki.

Lp.	Wartość ciężaru klocka $F_c$ (N)	Gęstość cieczy $\rho_c$ (g/cm <sup>3</sup> )	Wskazanie siłomierza $F$ (N)	Wartość siły wyporu $F_w = F_c - F$ (N)
1.				
2.				
...				

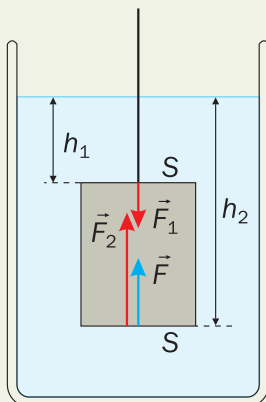
- ✓ Oblicz w każdym przypadku wartość siły wyporu, porównaj z odczytaną w oknie programu i wpisz do tabelki.
- ✓ Uzupełnij wniosek z doświadczenia:

Wartość siły wyporu działającej na ciało o określonej objętości zanurzone całkowicie w cieczy zależy tylko od \_\_\_\_\_.

## Dla tych, którzy chcą wiedzieć więcej

- Wiesz już, że na każde ciało zanurzone w cieczy działa zwrócona w górę siła wyporu. Spróbujmy zrozumieć, skąd bierze się ta siła.

W tym celu wyobraźmy sobie naczynie z wodą, w której zanurzono wiszący na sznurku metalowy klocek (rys. 5.30).



Rys. 5.30

Na górną powierzchnię  $S$  klocka naciska słup wody o wysokości  $h_1$ , działając w dół siłą parcia o wartości  $F_1 = p_1 S = \rho_c g h_1 S$ . Wraz z głębokością ciśnienie wody wzrasta. Na poziomie dolnej powierzchni klocka panuje większe ciśnienie wody. Zatem na dolną powierzchnię  $S$  działa w górę siła parcia  $\vec{F}_2$  o większej wartości  $F_2 = p_2 S = \rho_c g h_2 S$ . Zwrócona w górę wypadkowa tych dwu sił parcia to siła wyporu.

$$F_w = F_2 - F_1 = \rho_c g (h_2 - h_1) S$$

$h_2 - h_1 = h$  to wysokość klocka

$$F_w = \rho_c g h S$$

$hS$  to objętość zanurzonego klocka równa objętości wypartej wody.

$$F_w = \rho_c g V_{\text{wypartej wody}}$$

Jeśli klocek byłby zanurzony tylko częściowo, to

$$F_w = \rho_{\text{cieczy}} g V_{\text{zanurzonej części ciała}}$$

Woda działa także siłami parcia na boczne powierzchnie klocka, ale te siły równoważą się.

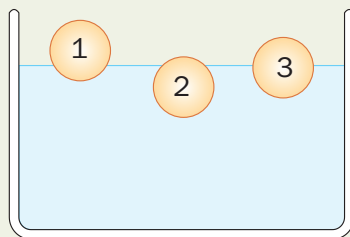
## Zadania i doświadczenia

### Zadania

**1.** W wodzie pływają trzy drewniane kule o jednakowych promieniach (jak na rysunku). Wymień numery kul według ich wzrastających gęstości.

Wskazówka: Zauważ, że  $\rho_k V_k g = \rho_w V_{zk} g$ , gdzie  $\rho_k$  to gęstość kuli przyjmująca w zadaniu wartości  $\rho_1, \rho_2$  i  $\rho_3$ ,  $V_k$  – objętość kuli,  $\rho_w$  – gęstość wody, a  $V_{zk}$  – objętość zanurzonej części kuli.

Wielkości  $\rho_w$  i  $V_k$  są stałe.



**2.** Do szklanki z wodą wrzuć kilka kostek lodu i zaznacz poziom wody w szklance. Spróbuj przewidzieć, jaki będzie poziom wody w szklance po stopieniu się lodu. Odczekaj, aż cały lód się stopi i porównaj poziom wody w szklance ze swoimi przewidywaniami. Wyjaśnij wynik doświadczenia.

Wskazówka: Zapisz za pomocą symboli dwa równania wyrażające to, że:

- masa lodu jest równa masie wody powstałej po jego stopieniu,
- po wrzuceniu kostek do wody ich ciężar jest równoważony przez siłę wyporu.

**3.** Pięciu rozbitków o masie 80 kg każdy znalazło się na bezludnej wyspie, na której rosło tylko jedno drzewo. Jego pień miał wysokość 20 m, a średnicę 40 cm. Sprawdź, czy na zbudowanej z tego pnia tratwie rozbitkowie mogą opuścić wyspę (przyjmij, że gęstość wody jest równa  $1 \text{ g/cm}^3$ , a gęstość drewna  $0,5 \text{ kg/dm}^3$ ).

**4.** Prom samochodowo-osobowy *Pomerania* pływający z Polski do Danii może przewieźć jednorazowo 1000 pasażerów i 273 samochody osobowe. Jego długość wynosi 127 m, a szerokość 22 m (na linii wody). Przyjmując, że prom ma kształt prostopadłościanu, oraz że masa pasażera wynosi średnio 80 kg, a samochodu osobowego 1000 kg, oblicz, o ile różni się zanurzenie pustego promu od jego zanurzenia z pełnym ładunkiem.

**5.** Dla statków pływających po morzach arktycznych problemem może być spotkanie z górą lodową. Oblicz, jaka część góry lodowej wystaje ponad powierzchnię wody. Przyjmij, że gęstość wody wynosi  $1000 \text{ kg/m}^3$ , a gęstość lodu  $900 \text{ kg/m}^3$ . Wyjaśnij, dlaczego góry lodowe są dla statków tak niebezpieczne.

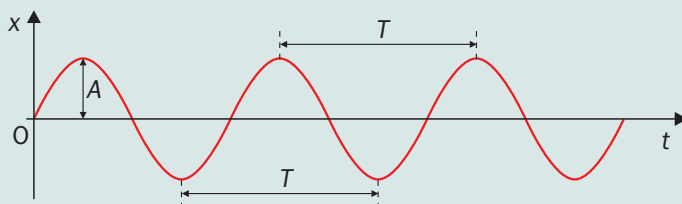
## Repetytorium część 8.

Znajomość tego rozdziału pozwala rozwiązywać zadania egzaminacyjne dotyczące następujących wymagań szczegółowych podstawy programowej: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7.

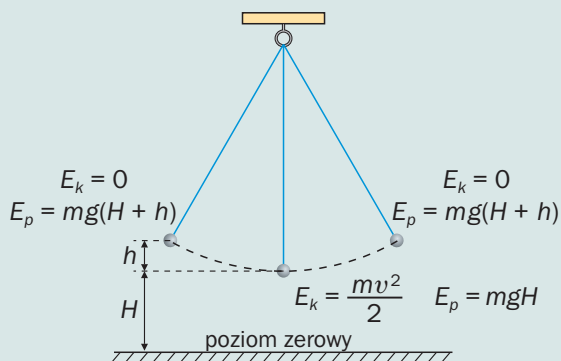
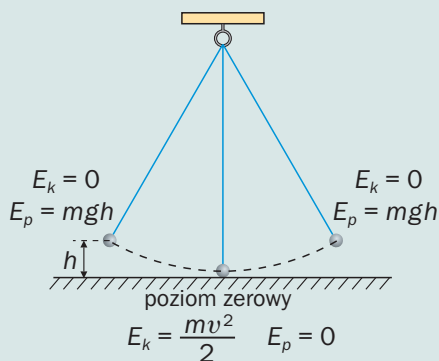
- Ruch drgający wykonuje np.: wahadło, ciężarek na sprężynie.
- Wielkości opisujące ruch drgający:

Amplituda	$A$ ; $[A] = 1 \text{ m}$	maksymalne wychylenie z położenia równowagi
Okres	$T$ ; $[T] = 1 \text{ s}$	czas jednego pełnego drgania
Częstotliwość	$f = \frac{1}{T}$ ; $[f] = \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ Hz}$	liczba drgań w jednostce czasu

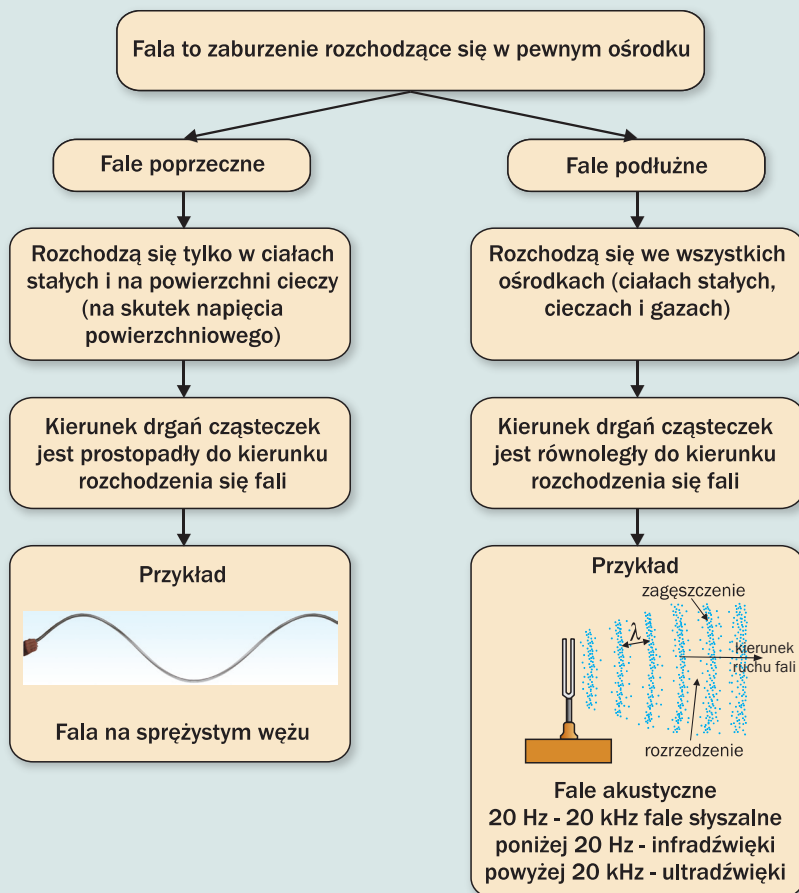
Wykres zależności od czasu wychylenia ciała drgającego z położenia równowagi:



- Przemiany energii mechanicznej w ruchu wahadła w zależności od wyboru poziomu zerowego:



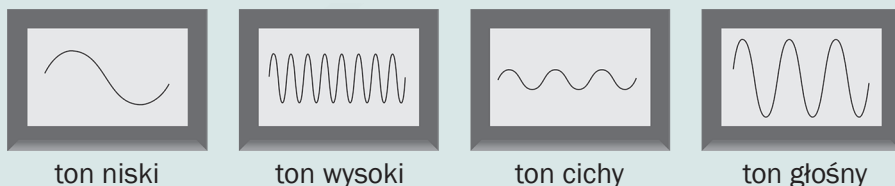




- Długość fali ( $\lambda$ ) to droga, jaką fala przebywa w czasie, gdy dowolna cząstka (niewielki obszar cząsteczek) ośrodka wykonuje jedno pełne drganie.

$$\lambda = vT \quad \text{lub} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

- Cechy dźwięków na przykładzie tonów:



- Instrumenty muzyczne dzielą się na: strunowe (drgania strun), perkusyjne (drgania np. sprężystych membran), dęte (drgania słupa powietrza).