

REFORMA
2017

FIZYKA

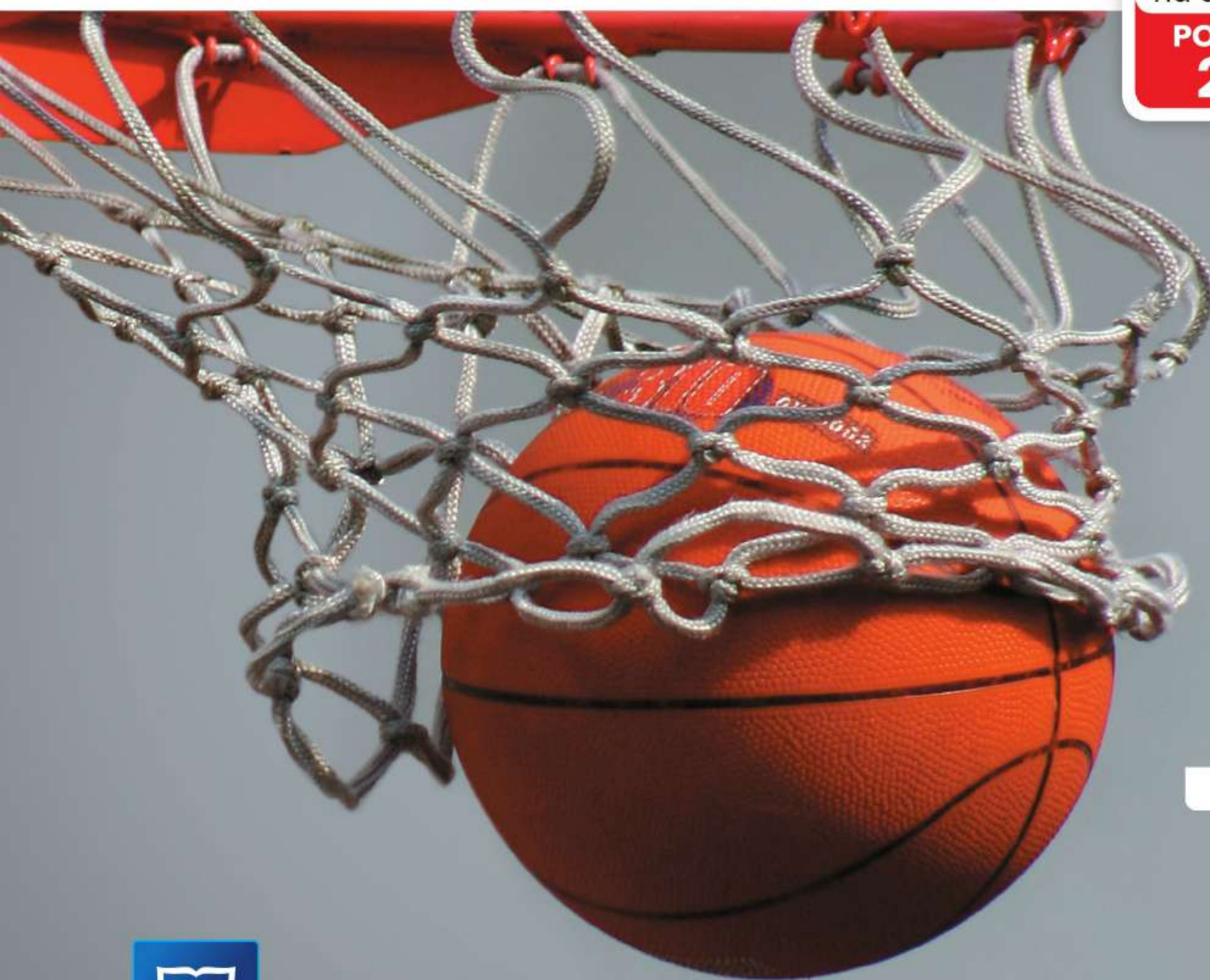
Świat fizyki

podręcznik

Oznaczono
zmiany
i wykreślenia

E-book
na eduranga.pl

PODSTAWA
2024



szkoła podstawowa

7

Drogi WSiP,

Nigdy bym nie publikowała publicznie książek wydawnictw, które działają na uczciwych zasadach.

Wasza firma jednak promuje masowy dodruk, całkowicie niepotrzebnych książek, które mogłyby być zastąpione wersjami elektronicznymi!

Co prawda e-booki są dostępne na waszej stronie, jednak:

- W przeciwieństwie do fizycznej książki, licencja na e-book kończy się po roku. Oznacza to, że jeżeli moja córka chciałaby powtórzyć sobie całą wiedzę do matury, musiałabym jej kupić wszystkie wasze książki od nowa.
- Waszych e-booków nie da się pobrać! Wymagają one dostęp do internetu, co uniemożliwia ich użycie na naszej wsi, gdzie zasięg jest ograniczony.
- Wasze e-booki nie działają na telefonach komórkowych!
- Wasze e-booki sprzedawane są po tej samej (albo wyższej) cenie co regulame książki. Cena e-booka powinna być niższa, gdyż e-booki wymagają elektronicznego czytnika (tabletu)!

Czas rozpocząć nową erę, w której papier nie jest beczelnie marnowany dla pieniędzy.

Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

O podręczniku	5
Wstęp	6
1. Wykonujemy pomiary	7
1.1. Wielkości fizyczne, które mierzysz na co dzień	8
1.2. Pomiar wartości siły ciężkości	18
1.3. Wyznaczanie gęstości substancji	24
1.4. Pomiar ciśnienia	32
1.5. Sporządzamy wykresy	39
Podsumowanie	42
Sprawdź się	44
Zadania problemowe	46
2. Niektóre właściwości fizyczne ciał	47
2.1. Trzy stany skupienia ciał	48
2.2. Zmiany stanów skupienia ciał	52
2.3. Rozszerzalność temperaturowa ciał	57
Podsumowanie	62
Sprawdź się	64
Zadania problemowe	66
3. Cząsteczkowa budowa ciał	67
3.1. Cząsteczkowa budowa ciał	68
3.2. Siły międzycząsteczkowe	75
3.3. Różnice w budowie ciał stałych, cieczy i gazów	80
3.4. Gaz w zamkniętym zbiorniku	83
Podsumowanie	86
Sprawdź się	88
Zadania problemowe	90
4. Jak opisujemy ruch?	91
4.1. Układ odniesienia	92
4.2. Tor ruchu, droga	95
4.3. Ruch prostoliniowy jednostajny	99
4.4. Wartość prędkości w ruchu jednostajnym	104
*4.5. Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym	111
4.6. Ruch zmienny	114
4.7. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony	118
4.8. Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym	121
*4.9. Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym	126
4.10. Ruch jednostajnie opóźniony	128
Podsumowanie	130
Sprawdź się	132
Zadania problemowe	134

5. Siły w przyrodzie	135
5.1. Rodzaje i skutki oddziaływań	136
5.2. Siła wypadkowa. Siły równoważące się	142
5.3. Pierwsza zasada dynamiki Newtona	150
5.4. Trzecia zasada dynamiki Newtona	156
5.5. Siła sprężystości	160
5.6. Siła oporu powietrza i siła tarcia	163
5.7. Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne	169
5.8. Siła wyporu	175
5.9. Druga zasada dynamiki Newtona	184
Podsumowanie	190
Sprawdź się	194
Zadania problemowe	198
 6. Praca, moc, energia mechaniczna	 199
6.1. Praca mechaniczna	200
6.2. Moc	204
6.3. Energia mechaniczna	206
6.4. Energia potencjalna i energia kinetyczna	211
6.5. Zasada zachowania energii mechanicznej	216
Podsumowanie	221
Sprawdź się	222
Zadania problemowe	224
 Dodatek A. Siła nośna	 225
Dodatek B. Poradnik matematyczny	228
Odpowiedzi do zadań	231
Skorowidz	245
Źródła ilustracji i fotografii	247

*Gwiazdką oznaczono treści nadobowiązkowe.



Treści usunięte według podstawy programowej z 2024 roku.



Treści fakultatywne według podstawy programowej 2024.

O podręczniku

Podręcznik składa się z sześciu działów. Działy podzielone są na rozdziały. Funkcje wyróżnień zastosowanych w podręczniku przedstawiono poniżej.

Dział 3 WYKONUJEMY POMIARY

Przykład 1.9
Oblicz ciśnienie wywarzone przez 2 kg wody na dno cylindrycznego naczynia o powierzchni dna równej 10 cm².
Dane: $m = 2 \text{ kg}$
 $S = 10 \text{ cm}^2 = 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,001 \text{ m}^2$
 $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$
 $g = 10 \text{ m s}^{-2}$
Rozwiązanie:
 $R = mg$, $p = \frac{F}{S}$, $p = \frac{mg}{S}$
 $p = \frac{2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,001 \text{ m}^2} = \frac{20 \text{ N}}{0,001 \text{ m}^2} = 20\,000 \text{ Pa} = 200 \text{ hPa}$
Odpowiedź: Ciśnienie wody na dno naczynia jest równe 200 hPa.

Przedstawiony na fotografii ciśnieniomierz do pomiaru ciśnienia powietrza w oponach samochodowych ma zakres do 1,6 MPa. Mierna rura mierzy ciśnienie w dokładności do 0,05 MPa, co, z dokładnością do 500 000 Pa. Wynikaj taki pomiar przy naciśnięciu tłoka.

Wskazy do wyznaczenia na poziomie rozdzielczości ciśnienia atmosferycznego i wykonajmy doświadczenia, które potwierdzają jego istnienie.

Doświadczenie 1.5
Sprawdzamy istnienie ciśnienia atmosferycznego.
Początkowo doświadczenie wykonano w 1654 r. przez nieśmiałego fizyka Ottavio van Guerickego (zryt. lin. górko).
Potrzebne przedmioty: dwie duże przyszwyczone zasłgające półkule magnetyczne.
Jeśli schwyty każdej przyszwyczonej są nachylnie (a), powierzchnie gwarantują się płasko i przylegają do siebie. Jeśli schwyty każdej przyszwyczonej są nachylnie (b), w gwarancji powierzchnie pozostają rozdzielone.
a) b)

34

W tekście głównym wyróżniono przykłady i doświadczenia.

Dział 4 Energia potencjalna i energia kinetyczna

6.4 Energia potencjalna i energia kinetyczna

Wyróżniamy dwa rodzaje energii mechanicznej: energię potencjalną i energię kinetyczną. Zmiana wzajemnego położenia ciał, które oddziałują na siebie siłami grawitacji lub sprężystości, prowadzi do zmiany ich energii potencjalnej (nazwa pochodzi od łacińskiego *potentia* – możliwość). W przypadku oddziaływania grawitacyjnego jest to zmiana odległości ciała od Ziemi, a w przypadku oddziaływania sprężystego – zmiana kształtu, czyli odkształcenie, np. sprężyny.

Właściwość oddziaływania sprężystości wyraża się siłą sprężystości (zryt. lin. górko).

Oddziaływanie sprężystości (przykład 6.4) ma energię potencjalną sprężystości. Kształtem tej energii może zostać wykonana praca. Energia potencjalna sprężystości jest wykorzystywana m.in. w zegarkach sprężynowych, zabawkach o napędzie sprężynowym, w m. odkształcenie sprężyn, w łuku, którego cięciwa jest napięta. Energię potencjalną ma ciało podniesione na pewną wysokość nad powierzchnię Ziemi. Ten rodzaj energii potencjalnej nazywamy energią potencjalną grawitacji, ponieważ wynika ona z oddziaływania ciał z Ziemią. Zauważmy, że energia potencjalna ciał leżących na powierzchni Ziemi jest równa zero – ciału to nie jest zdalne do wykonania pracy. Jednak powierzchnia nowym nie musi być powierzchnia Ziemi. Może to być dowolny poziom, z którego podnosimy ciału w górę.

211

Najważniejsze nowe pojęcia wyróżniono.

Dział 5 SIŁY W PRZYRODZIE

Przykład 5.11
Na hamulec ślizkiej powierzchni leży klocek o masie m . Drugi klocek o takiej samej masie wisie na wici.

Jeśli porównamy ten układ dwóch ciał o masie $2m$ z układem się poruszającym, to wartość przyspieszenia układu będzie odwrócić proporcjonalna do jego masy:

Tenże zwięzły dwukrotnie masę układu przez podzielenie na powierzchnię dwóch dodatkowych ciał.

Na układ działa siła ciężkości o wartości mg , a wówczas:

$a_1 \sim \frac{1}{2m}$ $a_2 \sim \frac{1}{m}$

Dwukrotnie większą masę układu ciał, na który działa siła ta sama siła, spowodował dwa krotnie zmniejszenie przyspieszenia układu.

Druga zasada dynamiki Newtona
Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na to ciału. Jeśli na ciału o różnych masach działają siły o takiej samej wartości, to ich przyspieszenia mają wartości odwrotnie proporcjonalne do ich mas.

$a = \frac{F_{\text{wypadkowa}}}{m}$

Jeśli przekształcimy tę zależność, otrzymamy:

$F_{\text{wypadkowa}} = ma$ (5.6)

186

Definicje i prawa wyraźnie zaznaczono innym kolorem.

5.1 Rodzaje i skutki oddziaływań

Podsumowanie

- Wszystkie oddziaływania są wzajemne. Oznacza to, że jeżeli jedno ciału działa na drugie, to drugie ciału działa na pierwsze.
- Występujące w przyrodzie wzajemne oddziaływania ciał możemy podzielić na:
 - bezpośrednie (mechaniczne),
 - na odległość (grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne i elektromagnetyczne).
- Skutki wzajemnego oddziaływania ciał mogą być:
 - statyczne (oddziaływanie ciał),
 - dynamiczne (zmiana prędkości – jej wartości, kierunku lub zwrotu).

Zadania i doświadczenia

- Czy siła ciężkości działa na przedmiot? A siła ciężkości? A siła ciężkości? A siła ciężkości?
- Wskazy ciał, których wzajemne oddziaływanie powodują zmiany prędkości witalności i siły wyporności w żółciu.

Doświadczenie 1.
Badamy dynamiczne skutki działania siły przyciągania ziemskiego.
Potrzebne przedmioty: waga, waga pryzmatyczny waga ze słuchawką.
Każde czynności:

- Nałóż waga pryzmatyczny waga ze słuchawką. Słuchawkę ustawiamy tak, aby przylegała do powierzchni wagi.
- Opatrz w wadze pryzmatyczny, jak sila przyciągania ziemskiego (sila przyciągania) w słuchawce Ziemi – słuchawki wagi, zmienia kierunek lub wartość prędkości wagi wypływającej z wagi. Sporządź schematyczne rysunki.

141

Na końcu każdego rozdziału zamieszczono Podsumowanie oraz Zadania i doświadczenia.

SIŁY W PRZYRODZIE

Sprawdź się

- Kasia trzyma na głowie piłkę pingpongową. Wybrać stwierdzenie słgprawdziwe.
 - A. Piłka z Ziemią oddziałuje na odległość.
 - B. Kasia z Ziemią oddziałuje na odległość.
 - C. Kasia z piłką oddziałuje bezpośrednio.
 - D. Kasia z Ziemią oddziałuje bezpośrednio.
- W czasie zabawy z piłką Kasia wykonała następujące czynności:
 - 1) zatrzymała toczącą się piłkę;
 - 2) zmieniła kierunek toczącej się piłki;
 - 3) wrzuciła na piłkę;
 - 4) rzuciła piłkę w górę.Statyczny skutek działania siły wystąpił w czynności A, B, C, D.
- Na wózek działają trzy siły, jak pokazano na rysunku.

Skutek działania tych sił jest taki jak skutek działania jednej siły o wartości A. 1 N B. 2 N C. 3 N D. 4 N

- Na stojącej na parkingu samochodzie działają trzy siły, jak pokazano na rysunku.

Masa tego samochodu jest równa A. 1200 kg B. 1400 kg C. 1600 kg D. 1800 kg

194

Na końcu każdego działu zamieszczono zadania testowe Sprawdź się...

SIŁY W PRZYRODZIE

Zadania problemowe

Zadanie 1.
Chcesz wyznaczyć wartość siły ciężkości o podanej podanej prędkości tego ciała. Do dyspozycji masz dwa ławki masowego czasu i kierunku o danym zakresie. Zaproponuj sposób rozwiązania tego problemu (wymień krótko czynności). Sporządź schematyczny rysunek i zaznacz na nim siły działające na ciało.

Zadanie 2.
Na samochodzie osobowym, który jedzie po poziomej drodze, działa siła ciężkości o wartości 2000 N, mająca na przyspieszenie o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Opary ruchu pomiarowy.

- Podaj wartość przyspieszenia tego samochodu, gdy kierunek ruchu jest przeciwny do kierunku siły ciężkości o wartości 6000 N.
- Oblicz wartość przyspieszenia samochodu ciężarowego o dwukrotnie większej masie, jeśli na ten samochód działa siła ciężkości o wartości 2000 N.

Zadanie 3.
Zgodnie z drugą zasadą dynamiki niezrównoważona siła (czyli siła wypadkowa) powoduje ruch przyspieszony ciała. Dlaczego wózek, gdy naciśnięty w sposób ciągły na pedał gazu samochodu (formuły 1, nie możemy go przyspieszyć do dowolnie dużej szybkości)?

Zadanie 4.
Do warty rozpędzonej wózek włożono piłkę pingpongową (tak, aby dotknęła dna, i puściliśmy ją swobodnie. Rozważamy ruch piłeczki tylko do chwili, gdy zacznie się wyślizgiwać z wózek.

- Wymień siły działające na piłkę podczas ruchu w wózek.
- Podaj nazwę ruchu piłeczki.
- Uzasadnij, dlaczego piłeczka porusza się takim ruchem.
- Naukowcy wykonali doświadczenie od czasu szybkości wózek i wypadkowej siły $F_{\text{wypadkowa}}$ działającej na piłkę.

Pomóż siły oporu wózek.

198

... oraz Zadania problemowe.

Pamiętaj, by odpowiedzi do wszystkich zadań zamieszczonych w podręczniku zapisywać w zeszyte przedmiotowym.

Wstęp

Moi Drodzy,

wybitny polski pisarz Stanisław Lem, zmarły w 2006 roku, w jednej ze swoich książek opisuje inwazję pozaziemskiej cywilizacji na naszą planetę. Wśród pierwszych działań obronnych podjętych przez władze Ziemi jest ukrycie w bezpiecznych schronach przedstawicieli nauk ścisłych – jako najcenniejszych członków ziemskiego społeczeństwa. Co prawda współdziałanie wszystkich Ziemian w ramach jednej społeczności to jeszcze odległa przyszłość, na razie nie grozi nam też najazd kosmitów, ale już teraz osoby wykonujące zawody związane z naukami ścisłymi są „w cenie”. Wszelkich specjalności inżynierowie: konstruktorzy, budowniczowie, elektronicy, informatycy, a także fizycy i wynalazcy to ludzie, dla których w nowoczesnym społeczeństwie opartym na wiedzy nigdy nie zabraknie pracy. Przeciwnie, już dzisiaj wiele uczelni wyższych funduje stypendia, by zachęcić maturzystów do podejmowania studiów ścisłych i technicznych. Wiem, że problem przyszłej pracy jest dla Was w tej chwili czymś bardzo odległym. Pamiętajcie jednak, że czas płynie szybko. Jeśli w przyszłości chcecie wykonywać ciekawą i dobrze wynagradzaną pracę, zabierzcie się solidnie do nauki fizyki. Czytajcie podręcznik, wykonujcie doświadczenia, a kiedy pozwolą Wam na to umiejętności matematyczne, rozwiązujcie zadania! Jeśli będziecie pracować systematycznie, to okaże się, że fizyka wcale nie jest taka trudna!

Dobre podstawy pozwolą w liceum wybrać klasę o profilu ścisłym, a potem studia techniczne. Jeśli wystarczy Wam determinacji, to kiedyś docenicie moje rady!

Pozostaje mi jeszcze zwrócić się do tych, którzy już teraz zakładają, że przedmioty ścisłe nie są dla nich. Spróbujcie, może jeszcze zmienicie zdanie! A jeśli nie, to wiedźcie, że humanista także powinien znać zasady funkcjonowania przyrody. Przyda się też trening w stosowaniu ścisłych reguł logicznego rozumowania.

Życzę Wam powodzenia w uczeniu się ciekawego i użytecznego przedmiotu, jakim jest fizyka.

Barbara Sagnowska

1

Wykonujemy pomiar

**pomiar
temperatury oleju
w silniku**

**pomiar
prędkości pojazdu**

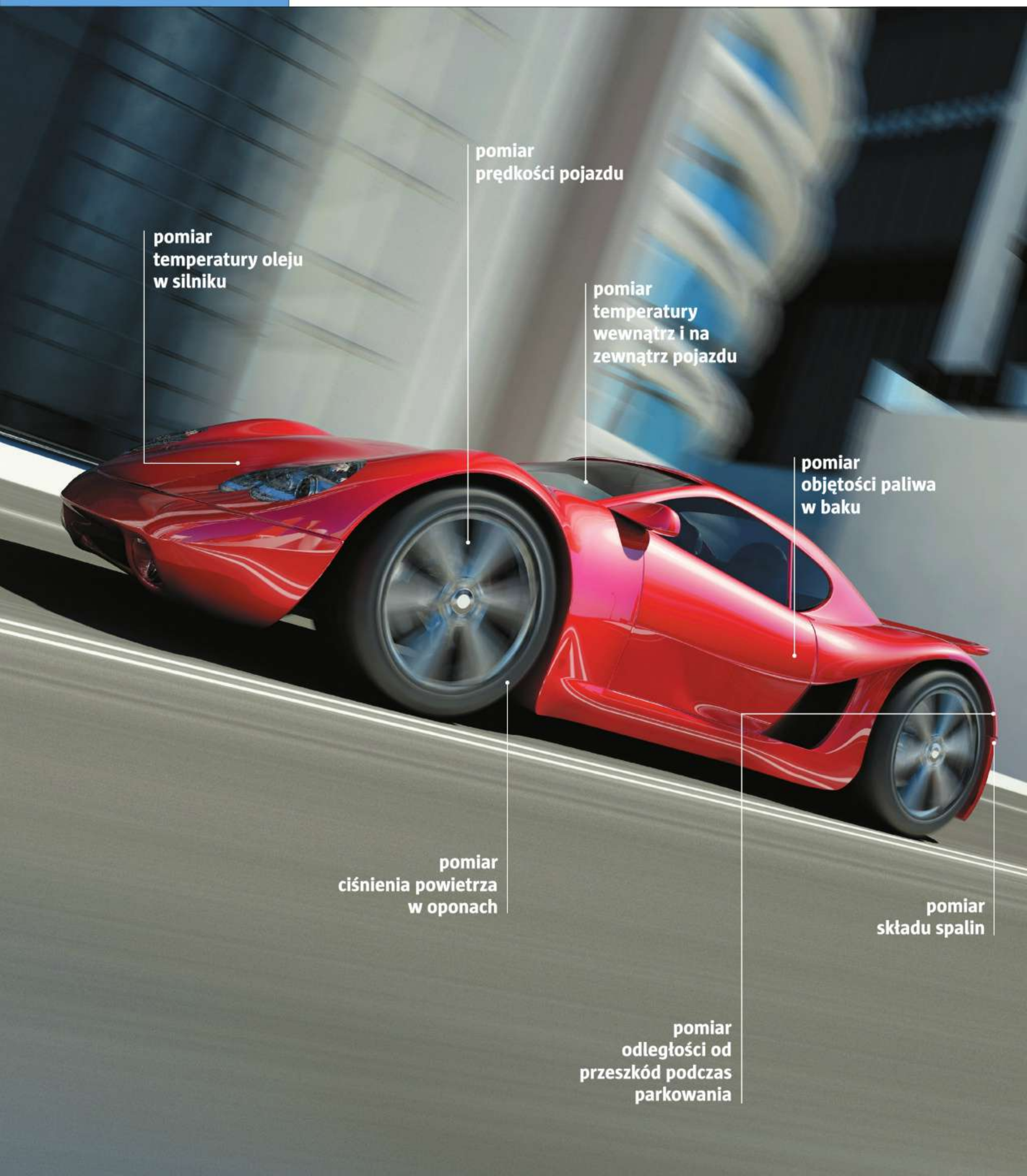
**pomiar
temperatury
wewnątrz i na
zewnątrz pojazdu**

**pomiar
objętości paliwa
w baku**

**pomiar
ciśnienia powietrza
w oponach**

**pomiar
odległości od
przeszkód podczas
parkowania**

**pomiar
składu spalin**



1.1 Wielkości fizyczne, które mierzysz na co dzień

Wszystkie wielkości fizyczne, o których będziemy mówić w tym rozdziale, są ci dobrze znane. Przecież naprawdę mierzysz je na co dzień! Teraz wystarczy uporządkować tę wiedzę i nieco ją poszerzyć.

W tabeli 1.1 przypominamy ważne przedrostki, które pozwalają nam na stosowanie różnych jednostek dla każdej wielkości fizycznej, np. $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, $1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$.

Tabela 1.1. Przedrostki wielkości fizycznych

Mnożnik	Przedrostek	Symbol
1 000 000	mega-	M
1000	kilo-	k
100	hekto-	h
10	deka-	da
0,1	decy-	d
0,01	centy-	c
0,001	mili-	m
0,000 001	mikro-	μ

Pomiar długości

Długość obiektu (np. długość pokoju, ołówka) i odległość (np. między bramkami boiska piłkarskiego, między miejscowościami) mierzymy za pomocą taśm mierniczych, linijek lub liczników kilometrów, które mierzą długość trasy przebytej przez pojazd.

Długość i odległość wyrażamy najczęściej w milimetrach, centymetrach, metrach lub kilometrach. Jednostką podstawową długości jest 1 metr. Przyrządem do mierzenia, którego najczęściej używasz, jest linijka.



Jeśli kilku uczniów zmierzy np. szerokość tej samej książki szkolną linijką, wyniki mogą się różnić. Nie oznacza to, że któryś z uczniów wykonał pomiar poprawnie, a inni wykonali go błędnie. Nie ma pomiarów idealnych. Każdy pomiar jest obarczony jakąś **niepewnością pomiarową**. Wystarczy np. pod nieco innym kątem spojrzeć na skalę przyrządu, by odczytać nieco inny wynik. Samo przyłożenie linijki do mierzonej książki może być powodem otrzymania różnych wyników.

Innym powodem wystąpienia niepewności pomiarowych może być np. słabsze lub silniejsze naprężenie centymetra krawieckiego przy pomiarze długości materiału przez krawcową (a także różne naprężenie mierzonego materiału), opory ruchu w mechanizmie wagi podczas ważenia itp.

Aby uzyskać wynik najbliższy rzeczywistej szerokości książki, należy pomiar wykonać kilka razy, dodać wyniki, a następnie podzielić przez liczbę pomiarów. Tym sposobem otrzymamy **średnią arytmetyczną** mierzonej wielkości. Gdybyśmy z dzielenia otrzymali np. 23,4284 cm, należy wynik zaokrąglić, bo najmniejsza działka skali linijki (odległość między najbliższymi kreskami na skali) to 0,1 cm i z taką dokładnością wykonywaliśmy każdy pomiar tą linijką. Wartość 23,4 cm byłaby w tym przypadku najbliższa rzeczywistej szerokości książki.

Przykład 1.1

Troje uczniów mierzyło linijką długość metalowego klocka. Otrzymali wyniki: 3,1 cm, 2,8 cm i 2,9 cm. Aby uzyskać możliwie dokładną długość klocka, obliczyli średnią arytmetyczną wyników pomiaru.

$$3,1 \text{ cm} + 2,8 \text{ cm} + 2,9 \text{ cm} = 8,8 \text{ cm}$$

$$\frac{8,8 \text{ cm}}{3} = 2,9333 \text{ cm}$$

Najmniejsza działka linijki to 0,1 cm. Wynik zaokrąglamy zatem do 2,9 cm. Gdyby w wyniku po cyfrze 9 znajdowała się cyfra 5 lub większa od 5, wtedy wynik zaokrąglilibyśmy do 3,0 cm.

Pomiar temperatury

Często, zanim rano zdecydujesz, w co się ubrać, spoglądasz na termometr okienny, wskazujący temperaturę w skali Celsjusza. Skala ta ma dwa ważne punkty odniesienia:

- podczas topnienia lodu temperatura mieszaniny wody z lodem nie zmienia się – szwedzki uczony Anders Celsjusz nadał jej wartość 0°C;
- podczas wrzenia temperatura wody nie zmienia się – Celsjusz nadał jej wartość 100°C.



Powtórzmy doświadczenie wykonane przez Celsjusza w XVIII wieku.

Doświadczenie 1.1

Skalujemy termoskop.

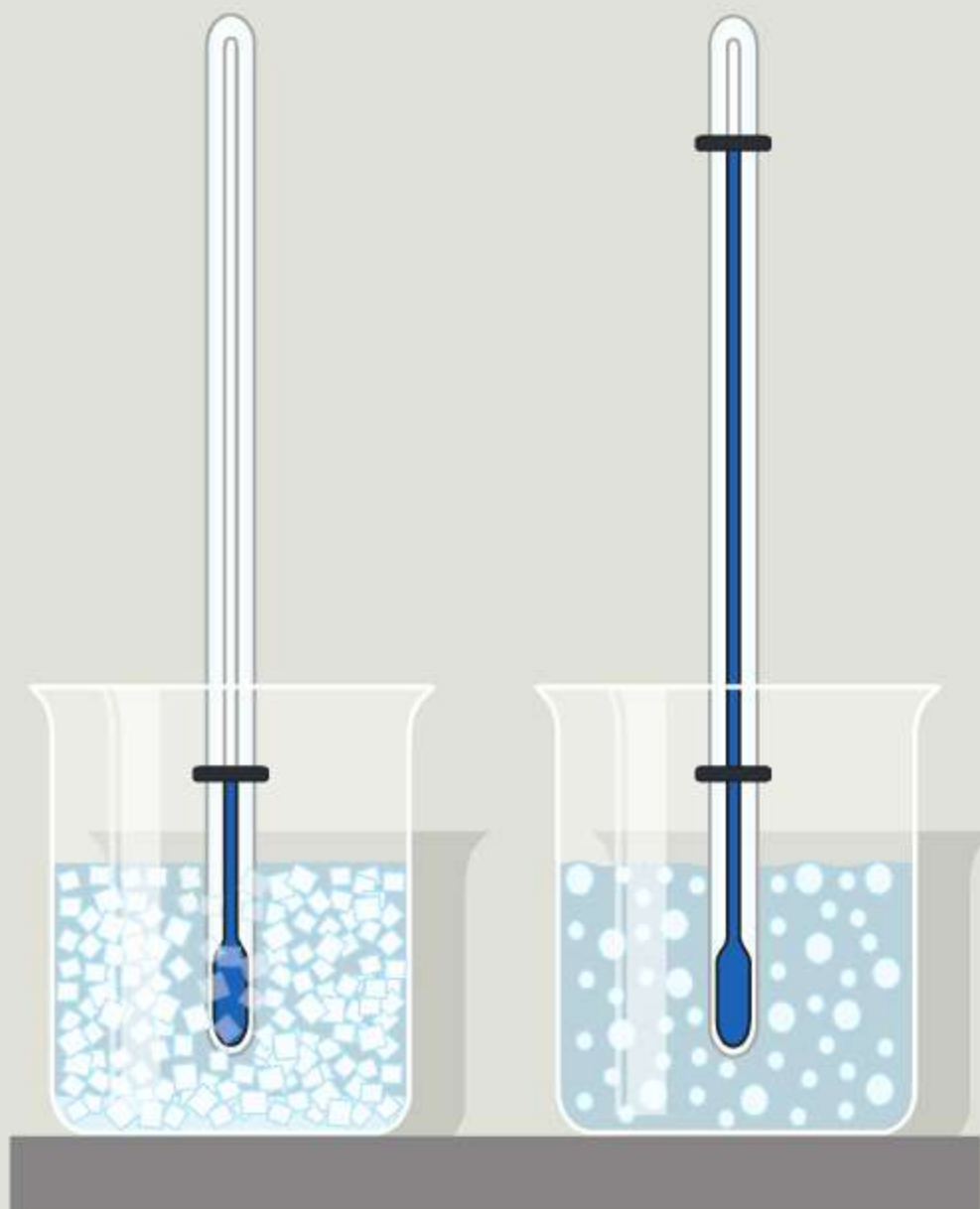
Termoskop to naczynko z cieczą, zakończone długą zamkniętą rurką o stałej średnicy wewnętrznej.

Potrzebne przyrządy: termoskop, naczynie z wrzącą wodą i naczynie z topniejącym lodem.

Kolejne czynności i pomiary:

- Zanurz termoskop w mieszaninie lodu z wodą.
- Czarną dolną obrączkę ustaw na poziomie, do którego sięga ciecz w rurce termoskopu.
- Zanurz termoskop w naczyniu z wrzącą wodą i ustaw górną obrączkę na poziomie, na którym ustali się powierzchnia cieczy w rurce termoskopu.
- Zmierz odległość między obrączkami. Podziel ją na 10 (a jeśli to możliwe – na 100) równych części.

Wniosek: Jeśli tak sporządzoną skalę przyczepisz do termoskopu między obrączkami, termoskop stanie się termometrem, mierzącym temperaturę w skali Celsjusza z dokładnością do 10°C (lub 1°C).



W skali Celsjusza ciało zdrowego człowieka ma temperaturę $36,6^{\circ}\text{C}$. Temperaturę w tej skali oznaczamy symbolem t (od angielskiego *temperature* – temperatura) i piszemy np. $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, $t_2 = -5^{\circ}\text{C}$, $t_3 = 36,6^{\circ}\text{C}$. W szkole używamy termometru laboratoryjnego. Przedstawiony na fotografii na s. 9 termometr laboratoryjny pozwala mierzyć temperaturę od $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$ do $t_2 = 110^{\circ}\text{C}$, a termometr lekarski – przedstawiony na fotografii poniżej – od $t_1 = 34^{\circ}\text{C}$ do $t_2 = 42^{\circ}\text{C}$.

Naukowcy posługują się na ogół inną skalą temperatur – skalą Kelvina, której istotę poznasz w trzecim dziale tego podręcznika.



Pomiar czasu

Wszystkie zjawiska fizyczne, tak jak wszystkie wydarzenia w naszym życiu, zachodzą w czasie. W jakiejś chwili t_0 (np. o godz. 10.30 pewnego dnia) się zaczynają i w jakiejś innej chwili t (np. tego samego dnia o godz. 12.00) się kończą. Mówimy, że zachodzą one w pewnym przedziale czasu $\Delta t = t - t_0$. Delta (Δ) to grecka litera, którą fizycy oznaczają różnicę między wartością końcową i początkową dowolnej wielkości fizycznej, czyli przyrost tej wielkości. W naszym przykładzie przyrost czasu wynosi 1,5 godziny. Niestety, fizycy umówili się, by czas oznaczać takim samym symbolem jak temperaturę w skali Celsjusza, czyli literą t (od angielskiego *time* – czas). Z tego powodu przy opisywaniu pewnych zjawisk może dochodzić do kolizji oznaczeń. Wtedy czas lub temperaturę oznaczamy inną literą, zwykle pochodzącą z alfabetu greckiego, np. czas oznaczamy grecką literą τ (tau).

Czas mierzymy w sekundach (s), minutach (min) i godzinach (h). Litera h (od angielskiego *hour*) oznacza godzinę.

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ min} = \frac{1}{3600} \text{ h}$$

Przyrządami do mierzenia czasu są różnego rodzaju zegary.



klepsydra



stoper



zegar ścienny

Jeśli do pomiaru czasu używamy stopera, w chwili początkowej (w chwili włączenia) wskazuje on zero ($t_0 = 0$), czyli jest „wyzerowany”. Stoper wyłączamy w chwili zakończenia obserwacji, a wskazany przez niego czas t jest równocześnie przedziałem czasu $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$.

Pomiar szybkości

Zwycięzca zawodów w jedzeniu pączków na czas w ciągu 10 minut zjadł 30 pączków. Możemy powiedzieć, że ów zwycięzca jadł z szybkością 3 pączków na minutę.

Z dwóch kosiarek do trawy jedna może pracować z większą wydajnością niż druga, czyli w tych samych warunkach kosi trawnik np. z szybkością 1000 m^2 na godzinę, podczas gdy druga pracuje z szybkością 600 m^2 na godzinę.

Bardzo byśmy chcieli, by wzrosła szybkość budowania autostrad w Polsce. Wyrażamy ją liczbą oddanych do użytku kilometrów na rok. Chcielibyśmy także szybciej przyswajać sobie angielskie zwroty i słówka. Szybkość w tym przypadku wyrażamy liczbą zapamiętanych słówek i zwrotów na tydzień lub miesiąc.

Najczęściej jednak pojęcie szybkości (zwanej także prędkością) odnosimy do ruchu pojazdów mechanicznych. Jeśli jeden samochód przebył w ciągu godziny 60 km, a drugi 120 km, to oczywiste jest, że ten drugi jechał średnio dwa razy szybciej niż pierwszy. Jeśli chcemy kogoś poinformować, z jaką szybkością jechaliśmy, mówimy, ile kilometrów przebywaliśmy w czasie jednej godziny. Szybkość pojazdu oznaczamy w fizyce symbolem v i piszemy np. $v_1 = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ($\frac{\text{km}}{\text{h}}$ to kilometry na godzinę). Przyrządami do pomiaru szybkości pojazdu w danej chwili są prędkościomierze¹ (fot.).



Pierwszy pojazd może się poruszać najwyżej z szybkością $240 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, czyli w ciągu godziny może przejechać maksymalnie 240 km. Maksymalna szybkość drugiego pojazdu to $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jeśli samochód jedzie z pierwszą z tych szybkości, w ciągu pół godziny przebywa 120 km, w ciągu 10 min – 40 km, a w ciągu 1 minuty – 4 km. W samochodzie wyścigowym trzeba by zamontować prędkościomierz o większym zakresie, bo wskazówka szybkościomierza widocznego na fotografii po prawej stronie mogłaby w takim przypadku „ucieć” poza skalę.

Na co dzień w przypadku ruchu szybkość wyznaczamy poprzez mierzenie dwóch innych wielkości za pomocą dwóch różnych przyrządów. Jeśli np. w biegu sprinterskim zawodnik przebył 100 m w czasie 10 s, to łatwo obliczyć, że średnio w jednej sekundzie przebywał 10 m. Jego szybkość to $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Właśnie w takich przypadkach mówimy, że szybkość biegu została wyznaczona na podstawie pomiaru odległości i czasu.

¹ Nazw prędkościomierz i szybkościomierz można używać zamiennie.

Pomiar masy

Prawie codziennie robimy jakieś zakupy. Większość kupowanych towarów wymaga zważenia. Waga służy do pomiaru masy kupowanego produktu.

Aby pomiar był poprawny, przed użyciem wagi za pomocą odpowiedniego pokrętła ustawiamy wskazówkę na kresce oznaczonej zerem (zerujemy wagę).

Jeśli masz w domu wagę, połóż na niej porcelanowy talerzyk i odczytaj jego masę. Następnie na talerzyku połóż drugi taki sam talerzyk. Masa jest teraz dwukrotnie większa, bo dwukrotnie zwiększyła się ilość ważonej materii.



Gdy mierzymy masę ciała, dokonujemy pomiaru ilości materii, z której jest zbudowane to ciało.

Masę wyrażamy w kilogramach (kg), gramach ($1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$) i tonach ($1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$). Wzorzec jednego kilograma w postaci walca wykonanego ze stopu platyny i irydu znajduje się w Międzynarodowym Urzędzie Miar i Wag we Francji.

Przedstawiona na fotografiach waga kuchenna pokazuje wynik z dokładnością do 20 g. Za jej pomocą można mierzyć masę ciał do 2 kg. Mówimy, że ta waga waży w zakresie od 0 do 2 kg, czyli jej zakres wynosi 2 kg.

Zakres pomiarowy przyrządu określamy przez podanie najmniejszej i największej wartości na skali (czyli przedziału wartości, które możemy mierzyć za pomocą danego przyrządu).

Na przykład zakres pomiarowy linijki przedstawionej na s. 8 wynosi od 0 do 20 cm, a zakres pomiarowy termometru przedstawionego na s. 9 wynosi od -10°C do 110°C . Zakresy pomiarowe prędkościomierzy ze s. 12 wynoszą od 0 do $240 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ i od 0 do $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Masę oznaczamy w fizyce symbolem m . Piszemy więc np. $m_1 = 100 \text{ g}$, $m_2 = 2 \text{ kg}$, $m_3 = 0,5 \text{ kg}$.



W szkole używa się czasem wagi laboratoryjnej, do której jest dołączony komplet odważników (fot.). Mierzenie masy danego ciała polega na porównywaniu jego masy z masą odpowiedniego zestawu odważników.

Najmniejszy odważnik w tym zestawie informuje o dokładności wagi.

Przykład 1.2

Na wadze laboratoryjnej zważono jabłko i uzyskano wynik $158,26 \text{ g}$.

Jeśli pomiar wykonaliśmy tylko jeden raz, to przyjmujemy, że mogliśmy się pomylić najwyżej o jedną działkę przyrządu. W przypadku wagi laboratoryjnej najmniejszej działce odpowiada najmniejszy odważnik, tj. 10 mg . Nie wiemy jednak, czy zawyżyliśmy wynik, czy zaniżyliśmy, i dlatego przedstawiamy go w postaci: $158,26 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$.

W praktyce coraz częściej używa się przyrządów pomiarowych z wyświetlaczem cyfrowym. Dokładność przyrządu cyfrowego określamy przez sprawdzenie, o jaką najmniejszą wartość może się zmienić wskazanie tego przyrządu. Sprawdź dokładność dowolnego przyrządu cyfrowego, którym posługujesz się na co dzień.

Podsumowanie

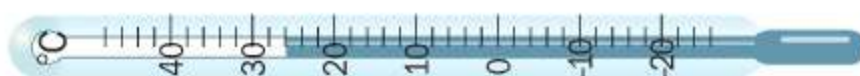
1. W celu wykonania pomiaru należy dobrać przyrząd o odpowiednim zakresie pomiarowym i odpowiedniej dokładności.
 - Długość i odległość mierzymy m.in. za pomocą linijek, taśm mierniczych i liczników kilometrów.
 - Temperaturę mierzymy termometrami.
 - Czas mierzymy za pomocą zegarów i stoperów.
 - Szybkość pojazdów mierzymy z użyciem prędkościomierzy.
 - Masę mierzymy za pomocą wagi.
2. Gdy mierzymy masę ciała, dokonujemy pomiaru ilości substancji, z której jest zbudowane to ciało.
3. Zakres pomiarowy przyrządu określamy przez podanie najmniejszej i największej wartości na skali (przedziału wartości, które możemy mierzyć za pomocą danego przyrządu).
4. Każdy przyrząd pozwala dokonywać pomiaru z pewną dokładnością. Jest ona równa najmniejszej działce skali tego przyrządu.
5. Każdy pomiar jest obarczony niepewnością pomiarową. Aby uzyskać wartość najbliższą rzeczywistej, wykonujemy pomiar tej samej wielkości fizycznej kilka razy, a następnie obliczamy średnią arytmetyczną wyników pomiarów i zaokrąglamy ją do najmniejszej działki skali przyrządu.

Zadania i doświadczenia

1. W jakich jednostkach zmierzysz:
 - długość ołówka,
 - szerokość basenu,
 - długość trasy samochodu jadącego z Białegostoku do Jeleniej Góry?
 Podaj nazwy przyrządów, których użyjesz w każdym z tych przypadków.
2. Sala ma długość 8,25 m. Podaj długość tej sali w milimetrach, decymetrach i kilometrach.
3. Pewnego dnia we wczesnych godzinach rannych temperatura wynosiła -2°C , a w południe 10°C . Oblicz, o ile stopni wzrosła temperatura.
4. Ustal dokładność wagi, której skalę przedstawiono na poniższym rysunku. Podaj zakres tej wagi. Odczytaj wynik pomiaru.



5. Pomiar temperatury termometrem przedstawionym na rysunku wykonaliśmy tylko jeden raz. Podaj wynik pomiaru z uwzględnieniem dokładności użytego przyrządu.



6. Za pomocą mierników elektronicznych, mierzących czas z dokładnością do 0,01 s, trójka uczniów sprawdzała, jak szybko ich kolega przebiegnie dystans 100 m. Wyniki ich pomiarów to: $t_1 = 17,26$ s, $t_2 = 17,35$ s i $t_3 = 17,08$ s. Oblicz średnią arytmetyczną wyników i podaj najbardziej prawdopodobny czas biegu.
7. Stertę odpadów zgnieciono i uformowano w niewielki walec. Jak sądzisz, czy masa tych odpadów się zmieniła?
8. Wiele osób uczęszcza obecnie na kursy szybkiego czytania. Ustal, w jakich jednostkach można by wyrazić szybkość czytania.
- *9. Każdy pomiar jest obarczony niepewnością pomiarową. Fizycy uwzględniają to przez zapisywanie wyników pomiaru w postaci: wynik $\pm$ niepewność pomiarowa. Wynik to obliczona z kilku pomiarów wartość średnia, a niepewność pomiarowa to największa z różnic między wartością średnią a wartościami poszczególnych pomiarów. Obliczona w ten sposób niepewność pomiarowa długości klocka z przykładu 1.1 wynosi 0,2 cm, gdyż od średniej wartości 2,9333 cm najbardziej różni się pomiar pierwszy – o 0,1667 cm ($\approx 0,2$ cm). Wynik pomiaru zapiszemy zatem w postaci:

$$l = 2,9 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$$

Zastosuj ten sposób obliczania niepewności pomiarowych do doświadczenia 1. *Mierzmy wysokość człowieka.*

Doświadczenie 1.

Mierzmy wysokość człowieka.

Potrzebne przedmioty: taśma klejąca, kartka papieru, książka lub sztywny zeszyt, centymetr krawiecki lub linijka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Osobę, której wysokość mierzysz, ustaw przy ścianie.
- Na wysokości jej głowy przyczep do ściany taśmą klejącą kartkę papieru, na której będziesz zaznaczać wysokość.



- Na głowie mierzonej osoby ustaw pionowo książkę i dociśnij jej krawędź do kartki przyklejonej do ściany (patrz fot.). Ołówkiem zaznacz położenie dolnego końca krawędzi książki. Czynności te powtórz trzykrotnie.
- Zmierz odległość od podłogi do zaznaczonych kresek z dokładnością do 1 cm.
- Wyrażone w centymetrach wyniki: l_1 , l_2 , i l_3 dodaj i podziel otrzymaną sumę przez liczbę wykonanych pomiarów:

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$$

Wynik uzyskany z dzielenia należy zaokrąglić do całkowitej liczby centymetrów. W ten sposób otrzymasz wysokość osoby z dokładnością do 1 cm.

Doświadczenie 2.

Badamy względność odczucia temperatury.

Jeśli temperatura powietrza jest wysoka, jest nam gorąco, a jeśli niska – jest nam zimno. Ale odczucie temperatury nie jest jednoznaczne – mówimy, że jest **względne**. Sprawdź, co to znaczy – wykonaj doświadczenie.

Potrzebne przedmioty: 3 naczynia z wodą.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do jednego naczynia nalej możliwie najzimniejszej wody, a do drugiego – gorącej.
- Do miedniczki nalej wody o temperaturze pokojowej.
- Zanurz równocześnie jedną dłoń w zimnej wodzie, a drugą w gorącej.
- Potrzymaj chwilę i przełóż dłonie do miedniczki.
- Opisz swoje odczucia i sformułuj wniosek wynikający z doświadczenia.



1.2 Pomiar wartości siły ciężkości

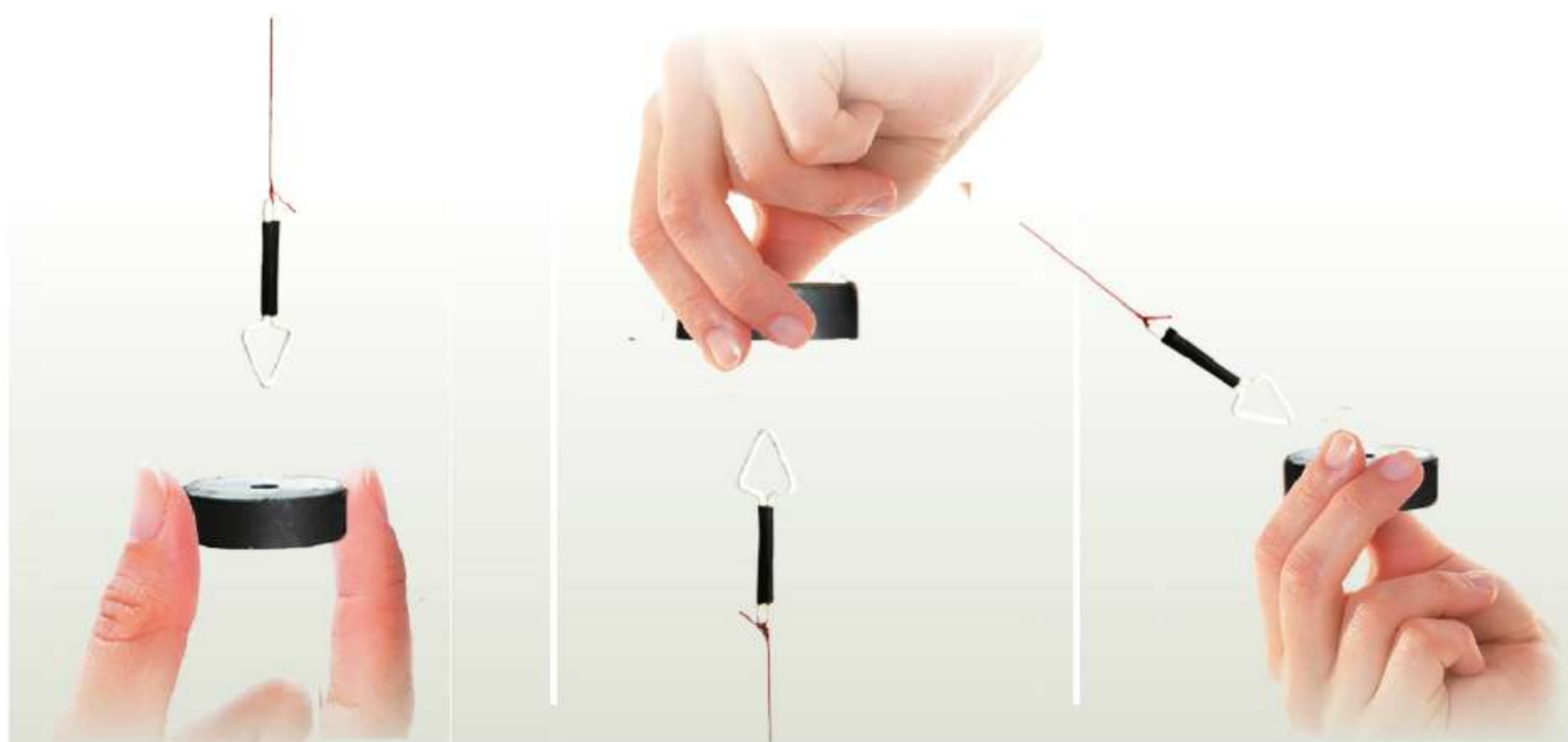
Jeśli jakiś przedmiot pchamy, ciągniemy, podnosimy, przyciskamy, to działamy na niego siłą. Tę wielkość zwykle oznaczamy symbolem F (od angielskiego *force* – siła) i dodajemy indeks: F_c , F_g , F_1 itp., który pozwala rozróżnić siły.

Siła różni się od wielkości fizycznych, które omawialiśmy dotychczas. Aby się o tym przekonać, leżącą na stole gąbkę naciśnijmy w różny sposób.



Jak widać, skutki działania siły są zależne nie tylko od wartości tej siły (czyli od tego, czy naciskamy mocniej czy słabiej), ale także od tego, w którą stronę działa ta siła.

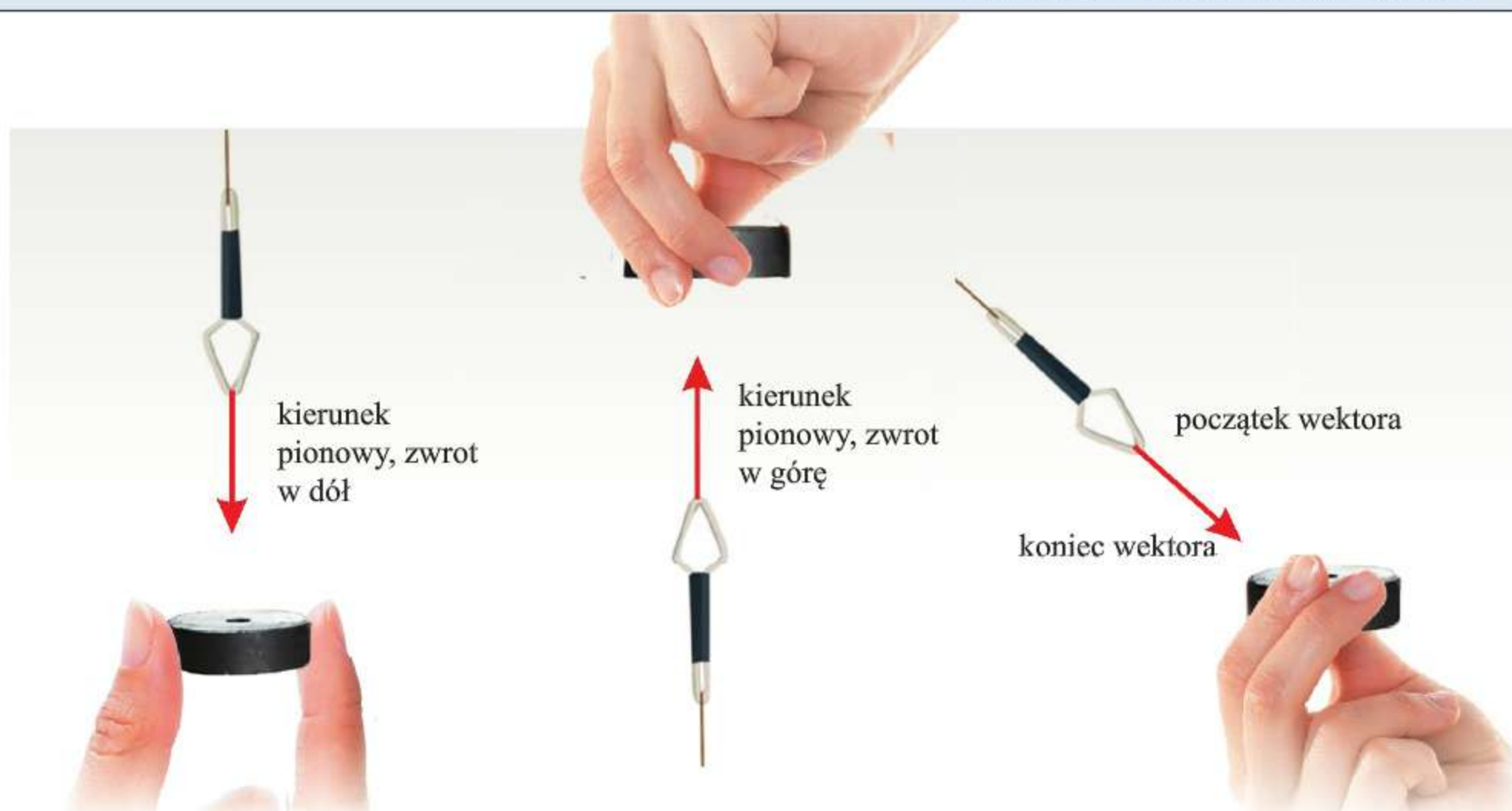
Aby potwierdzić naszą obserwację, do magnesu w kształcie krążka zbliżamy z różnych stron stalową strzałkę (może być spinacz biurowy) zawieszoną na nitce.



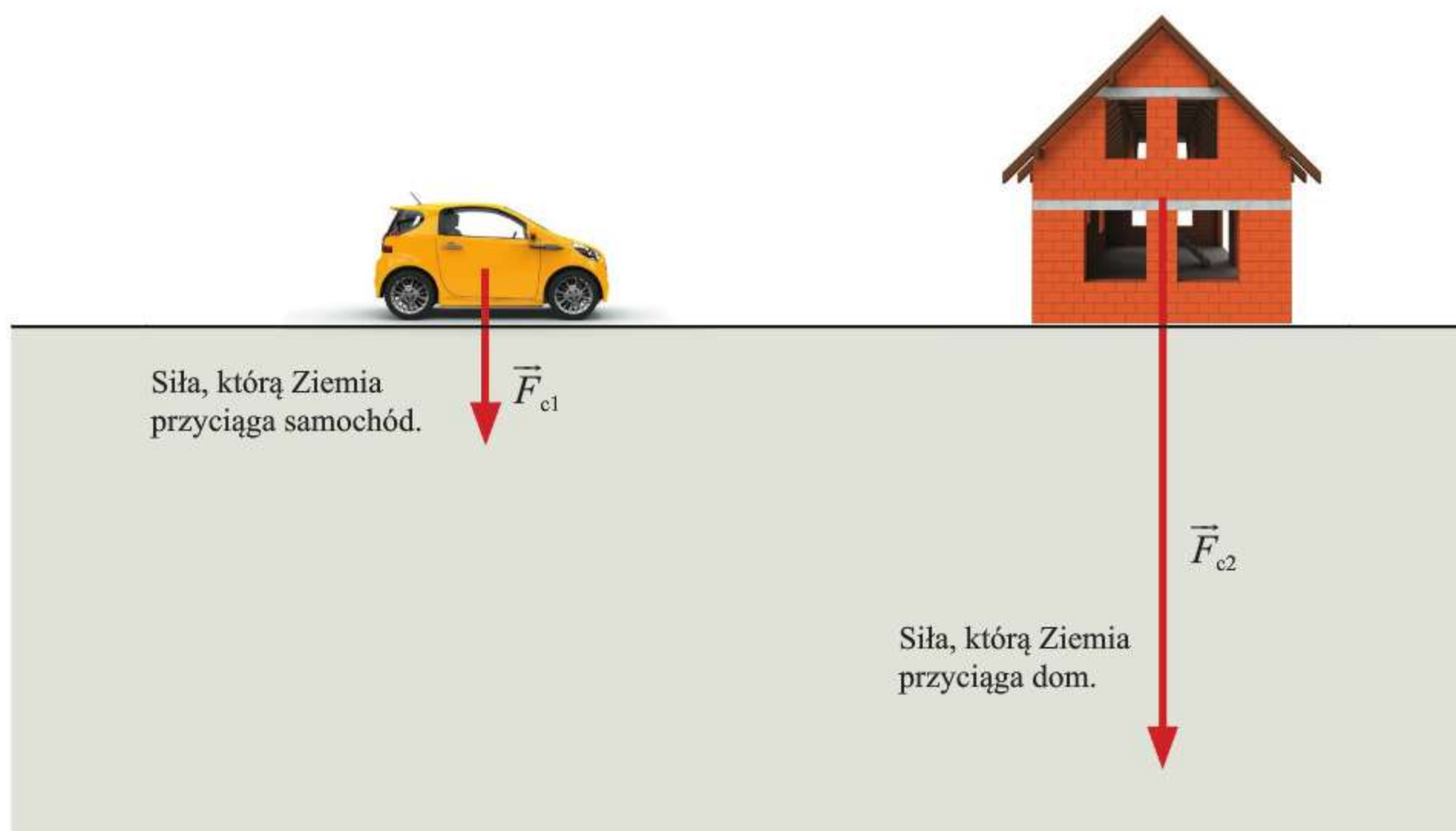
Strzałka jest przyciągana przez magnes siłą działającą pionowo w dół. Wskazuje na to położenie nitki, do której strzałka jest przyczepiona.

Siła działa na strzałkę pionowo do góry (siła ma kierunek pionowy i jest zwrócona w górę).

Siła działa na strzałkę skośnie. Nitka wyznacza kierunek działania siły, a strzałka jej zwrot.



Jak widzisz, żeby określić siłę, nie wystarczy podać jej wartości w odpowiednich jednostkach. Trzeba jeszcze powiedzieć, wzdłuż jakiej prostej ta siła działa i w którą stronę. Matematycy podpowiedzieli fizykom, że mogą do opisu siły użyć odcinka skierowanego, w matematyce zwanego **wektorem**. W naszym doświadczeniu odcinek ten leży na prostej wyznaczonej przez nitkę. Tę prostą nazywamy **kierunkiem wektora**. Początek wektora lokalizujemy w stalowej strzałce, bo na nią działa siła. To **punkt przyłożenia** wektora. Koniec odcinka zaopatrujemy w grot wskazujący, w którą stronę działa siła. Jest to **zwrot** wektora. Jeśli puścisz trzymany w ręce przedmiot, spada on na ziemię. Dzieje się tak dlatego, że Ziemia przyciąga wszystkie ciała. Siłę przyciągania ziemskiego nazywamy **siłą ciężkości** lub **ciężarem ciała**.



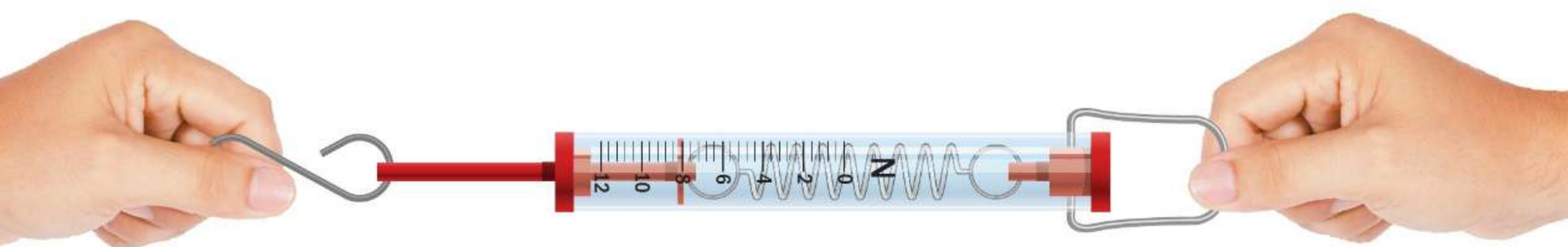
Siła ciężkości jest zawsze zwrócona pionowo w dół, w stronę środka Ziemi. Na rysunkach przedstawiamy ją za pomocą wektora (strzałki) zwróconego pionowo w dół. Aby podkreślić wektorowy charakter siły, nad symbolem F dorysowujemy małą strzałkę, np. $\vec{F}_c$ lub $\vec{F}_g$.

Jeśli ciało jest przyciągane przez Ziemię większą siłą, czyli jest cięższe, wektor przedstawiający siłę przyciągania na rysunku jest dłuższy. Mówimy, że **wartość** siły jest większa. Jeśli ciało jest przyciągane mniejszą siłą, wektor na rysunku jest krótszy, bo wartość siły jest mniejsza. Na rysunku na s. 19 ilustrują to siły $\vec{F}_{c1}$ i $\vec{F}_{c2}$.

Siła jako wielkość, którą przedstawiamy graficznie za pomocą wektora, ma następujące cechy:

- **wartość, którą określa długość wektora;**
- **kierunek – wyznaczony przez prostą, na której leży wektor;**
- **zwrot – wskazywany przez grot strzałki (koniec wektora);**
- **punkt przyłożenia (początek wektora) – w tym obiekcie, na który działa siła.**

Do mierzenia siły używamy siłomierzy.



Tak jak przed przystąpieniem do pomiaru każdej wielkości, powinniśmy:

- wyzerować siłomierz, tzn. za pomocą odpowiedniego pokrętła ustawić wskazówkę na pozycji 0;
- odczytać, w jakich jednostkach siłomierz mierzy wartość siły;
- odczytać, jaką największą wartość siły można zmierzyć tym siłomierzem, czyli sprawdzić zakres siłomierza;
- odczytać, jaka jest dokładność pomiaru wartości siły, czyli jaką wartość siły oznacza najmniejsza działka skali.

Na siłomierzu odczytujemy wartość siły w **niutonach**. Niuton to jednostka oznaczana literą N. Jej nazwa pochodzi od nazwiska wielkiego angielskiego uczonego Isaaca Newtona. Aby się przekonać, jak dużą siłą jest siła o wartości jednego niutona, wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie 1.2**Badamy, jak dużą siłą jest jeden niuton.****Potrzebne przyrządy:** siłomierz i dwa odważniki po 50 g.**Kolejne czynności i pomiary:**

- Siłomierz przymocuj do statywu i obciąż go odważnikami o łącznej masie 100 g.
- Odczytaj wartość siły, którą wskazuje siłomierz.

Wynik: Siłomierz wskazuje wartość siły równą 1 niutonowi.**Wniosek:** Siła o wartości 1 N jest siłą, którą Ziemia przyciąga ciało o masie 100 g, np. tabliczkę czekolady.

Jeśli twój siłomierz był dokładnie taki, jak na fotografii, to pomiar wykonujesz z dokładnością 0,1 N. Zakres tego siłomierza wynosi 2 niutony.



Siłomierz przedstawiony na rysunku na s. 20 ma zakres 0–12 N i mierzy siłę z dokładnością 0,4 N.

Zbadajmy teraz, jak siła, którą Ziemia przyciąga ciało, zależy od masy tego ciała.

Doświadczenie 1.3**Badamy zależność wartości ciężaru ciała od masy tego ciała.****Potrzebne przyrządy:** 8 obciążników szkolnych o masie 50 g każdy, siłomierz i statyw.**Kolejne czynności i pomiary:**

Jeden koniec siłomierza przymocuj do statywu, a drugi koniec obciążaj kolejnymi obciążnikami. Odczytaj wskazania siłomierza, wyniki pomiarów zapisz w tabeli takiej jak poniżej.

$m \text{ (kg)}$	$F_c \text{ (N)}$	$\frac{F_c}{m} \left(\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right)$
0,1	1	10
0,2	2	10
0,3	3	10
0,4	4	10

Wniosek:

- Na ciało o dwukrotnie większej masie działa dwukrotnie większa siła ciężkości.
- Na ciało o trzykrotnie większej masie działa trzykrotnie większa siła itd.

Wynik doświadczenia wskazuje na to, że wartość siły ciężkości (czyli ciężaru) jest tyle razy większa, ile razy większa jest masa ciała.

Wartość siły ciężkości (którą oznaczamy symbolem siły bez strzałki) jest wprost proporcjonalna do masy ciała:

$$F_c \sim m$$

Wynika stąd, że iloraz $\frac{F_c}{m}$ jest stały. Oznaczono go literą g .

W pobliżu powierzchni Ziemi:

$$g = \frac{F_c}{m} = \frac{1 \text{ N}}{0,1 \text{ kg}} \cdot \frac{10}{10} = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Wartość siły ciężkości możemy zatem obliczyć ze wzoru:

$$F_c = m \cdot g$$

gdzie $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Przykład 1.3

Waga łazienkowa, na której stanął chłopiec, pokazuje 50 kg. Oblicz wartość ciężaru chłopca.

Dane: $m = 50 \text{ kg}$

Szukane: F_c

Rozwiązanie:

$$F_c = m \cdot g$$

$$F_c = 50 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 500 \text{ N}$$

Uwaga: Jednostki skracamy tak jak liczby.

Odpowiedź: Ciężar chłopca ma wartość 500 N.

Często siłomierze mają także drugą podziałkę (skale), wyrażoną w gramach lub kilogramach. Wartości na tej skali uzyskuje się na podstawie wzoru $m = \frac{F_c}{g}$. Dzięki temu siłomierz może służyć do pomiaru masy ciała.

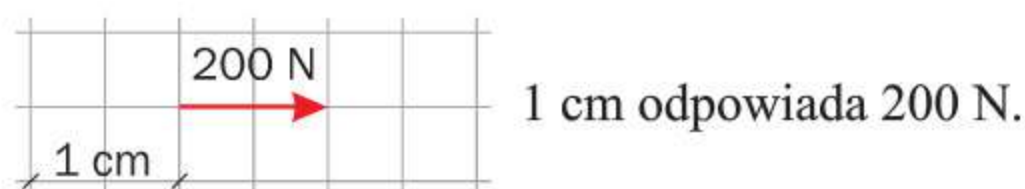
Zwróć uwagę, że sformułowanie **ważyć ciało** ma dwa znaczenia. Może oznaczać pomiar masy (w gramach, kilogramach, tonach) lub pomiar wartości ciężaru (w niutonach). Słowo **waga** oznacza przyrząd do ważenia.

Podsumowanie

1. Aby określić np. masę ciała lub jego temperaturę, wystarczy podać ich wartości. W przypadku siły to nie wystarcza. Działające na ciało siły o tej samej wartości mogą mieć różne kierunki oraz zwroty i powodować różne skutki.
2. Siła jest zawsze przyłożona do tego ciała, na które działa – początek wektora przyczepiamy do tego ciała.
3. Wartość siły mierzy się za pomocą siłomierza i wyraża w jednostkach zwanych niutonami.
4. Na każde ciało w pobliżu powierzchni Ziemi działa siła ciężkości (ciało ma ciężar) o kierunku pionowym i zwrocie w stronę środka Ziemi. Wartość siły ciężkości obliczamy za pomocą wzoru $F_c = m \cdot g$, gdzie m jest masą ciała, a g jest stałą równą $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
5. Gdy przekształcimy wzór $F_c = m \cdot g$, otrzymamy wyrażenie $m = \frac{F_c}{g}$ (patrz s. 230). Pozwala ono obliczyć masę ciała na podstawie znajomości jego ciężaru.
6. Na siłomierzach często jest umieszczona druga podziałka, pozwalająca odczytać masę ciała wiszącego na haczyku siłomierza w gramach lub kilogramach.

Zadania i doświadczenia

1. Wymień cechy, które należy podać, żeby mieć pełną informację o sile działającej na jakieś ciało.
2. Podaj kierunek i zwrot siły, którą należy zadziałać na piłkę, by podrzucić ją w górę.
3. Oblicz wartość ciężaru pudełka z herbatą o masie 10 dag.
4. Oblicz wartość ciężaru samochodu dostawczego o masie 2 t.
5. Za pomocą siłomierza zmierz ciężar dowolnie wybranego batonika. Na tej podstawie oblicz jego masę i porównaj z masą podaną na opakowaniu.
6. Zważ się na wadze łazienkowej i oblicz wartość siły, którą Ziemia cię przyciąga.
7. Wyjaśnij, dlaczego powietrze otaczające Ziemię nie oddala się od niej, tylko tworzy warstwę zwaną atmosferą.
8. Aby narysować wektor obrazujący siłę o pewnej wartości, należy przyjąć, że np. wektor o długości 1 cm oznacza siłę o wartości 200 N.



Ciężar człowieka o masie 40 kg jest równy:

$$F_c = 40 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 400 \text{ N}$$

Narysuj wektor ilustrujący ten ciężar.

1.3 Wyznaczanie gęstości substancji

Za pomocą wagi kuchennej zważmy szklankę cukru i szklankę płatków śniadaniowych.



Te same objętości różnych substancji mają różne masy. Szklanka płatków śniadaniowych jest lżejsza od szklanki cukru. Gdybyśmy jednak zważyli duży worek płatków i garść cukru, to cukier okazałby się lżejszy.

Jeśli chcemy odpowiedzieć na pytanie: „Co jest lżejsze – cukier czy płatki?”, **musimy porównywać masy jednakowych objętości tych substancji**². Fizycy zmierzili masy 1 cm³ i 1 m³ wszystkich znanych substancji, a wielkość fizyczną informującą nas o tym, jaka jest masa jednostki objętości danej substancji, nazwali **gęstością** tej substancji. Poniższa tabela zawiera gęstości niektórych ciał stałych.

Tabela 1.2. Gęstości ciał stałych

Rodzaj substancji	Gęstość	
	$\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	$\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$
aluminium	2700	2,70
cukier	1590	1,59
drewno dębowe (suche)	800	0,80
lód (0°C)	920	0,92
ołów	11 400	11,40
mosiądz	8500	8,5
sól kamienna	2160	2,16
srebro	10 800	10,80
złoto	19 300	19,30
żelazo	7900	7,90

² Gdy mówimy o substancji, mamy na myśli także mieszaniny różnych substancji.

Z tej tabeli możesz dowiedzieć się, że:

- 1 cm^3 srebra ma masę 10,8 g;
- 1 m^3 cukru ma masę 1590 kg;
- 1 m^3 drewna dębowego jest lżejszy od 1 m^3 aluminium o 1900 kg;
- 1 cm^3 aluminium jest lżejszy od 1 cm^3 żelaza o 5,2 g;
- 1000 kg wody zajmuje objętość 1 m^3 , podczas gdy 1 m^3 lodu to tylko 920 kg (skorzystaj także z tabeli 1.3);
- kawałek złota jest prawie 1,7 razy cięższy od kawałka ołowiu o tych samych wymiarach.

Przedmioty, które nas otaczają, mają różne objętości. Jeśli chcemy wyznaczyć gęstość substancji, z której są wykonane, musimy zmierzyć masę ciała i jego objętość, a następnie podzielić masę przez objętość.

Przeprowadźmy doświadczenie pozwalające wyznaczyć gęstość substancji, z której wykonano sześciennie klocki.

Doświadczenie 1.4

Wyznaczamy gęstość substancji, z której wykonano przedmiot o regularnych kształtach.

Potrzebne przyrządy: klocki wykonane z różnych substancji, których gęstość chcemy wyznaczyć, waga (może być siłomierz ze skalą w gramach), linijka.



Kolejne czynności i pomiary:

- Każdy z członków zespołu waży dany klocek i zapisuje jego masę w gramach.
- Zespół oblicza średnią arytmetyczną wyników pomiarów masy klocka w gramach.
- Każdy z członków zespołu mierzy długość, szerokość i wysokość klocka.
- Zespół oblicza średnią arytmetyczną objętości klocka w centymetrach sześciennych.
- Dzielimy masę klocka przez jego objętość, a wynik zaokrąglamy do pierwszego miejsca po przecinku.
- W tablicach odszukujemy substancję o gęstości najbliższej naszemu wynikowi (szkolne pomiary są mało dokładne!).

Wniosek (dokończ w zeszycie): Wyznaczona gęstość wskazuje, że dany klocek jest wykonany z .

Dla przedmiotów wykonanych z tej samej substancji iloraz masy i objętości jest stały. Oznacza to, że masa ciała jest wprost proporcjonalna do objętości tego ciała. Jeśli wykonamy z danej substancji ciało o dwukrotnie większej objętości, będzie ono mieć dwa razy większą masę. Ciało o trzykrotnie większej objętości będzie mieć trzykrotnie większą masę itd.

$$m \sim V$$

$$\frac{\text{masa}}{\text{objętość}} = \text{const}$$

$$\frac{m}{V} = \text{const}$$

Zapis „const” pochodzi od łacińskiego słowa *constans* (czytaj: konstans), które tłumaczy się jako „stały”.

Gdy podobne doświadczenie wykonamy dla ciała zbudowanego z innej substancji, okaże się, że iloraz masy i objętości także jest stały, ale ma inną wartość.

Iloraz masy i objętości danej substancji nazywamy jej gęstością i w fizyce oznaczamy symbolem d (od ang. *density*).

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

W celu określenia jednostki gęstości do powyższego wzoru wstawiamy jednostki masy i objętości. Fizycy przyjęli, że symbol wielkości fizycznej ujęty w nawias kwadratowy będzie oznaczał jednostkę tej wielkości. Jednostka gęstości $[d]$ jest równa ilorazowi jednostki masy $[m]$ i jednostki objętości $[V]$.

$$[d] = \frac{[m]}{[V]} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ lub } 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Jednostką gęstości jest $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, czyli kilogram na metr sześcienny. Gęstość możemy wyrażać także w gramach na centymetr sześcienny.

Gęstość informuje nas o tym, jaka jest masa 1 m^3 lub 1 cm^3 danej substancji. Dzięki doświadczalnemu wyznaczeniu gęstości możemy się dowiedzieć, z jakiej substancji zostało wykonane ciało.

Jeśli przedmiot wykonany z substancji, której gęstość chcemy wyznaczyć, ma nieregularne kształty i jest mały, do pomiaru jego objętości możesz wykorzystać menzurkę (inaczej cylinder miarowy).

Doświadczenie 1.5**Wyznaczamy objętość i gęstość ciała o nieregularnych kształtach.****Potrzebne przyrządy:** menzurka, odważnik lub klucz.**Kolejne czynności i pomiary:**

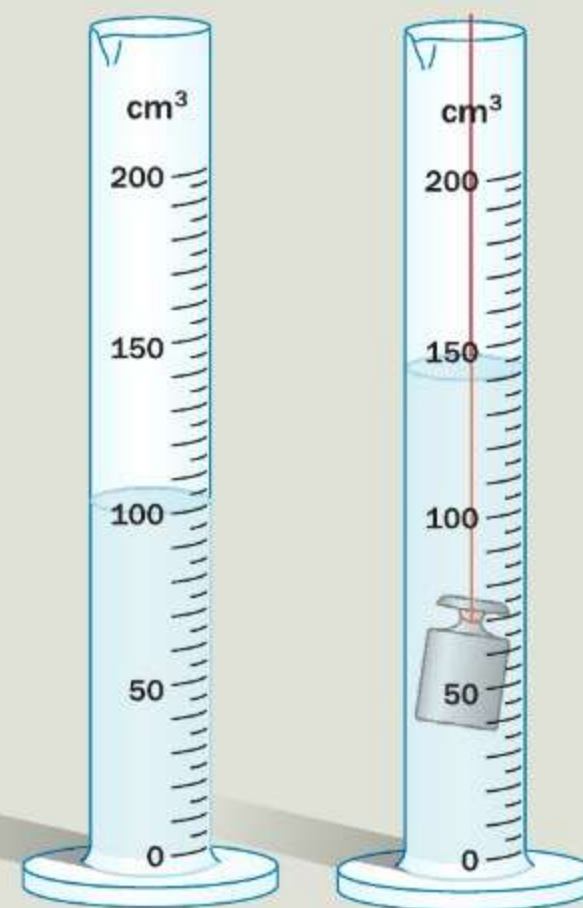
- Do menzurki nalej wody i odczytaj jej objętość V_1 .
- W menzurce zanurz uwiązany na nitce odważnik, który się w niej zmieści i utonie w wodzie.
- Odczytaj objętość V_2 wody z zanurzonym w niej ciałem.
- Różnica między odczytami V_2 i V_1 to objętość zanurzonego ciała:

$$V = V_2 - V_1$$

- Zważ to ciało lub odczytaj jego masę, jeśli to odważnik.
- Skorzystaj ze wzoru:

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

i oblicz gęstość ciała.



Menzurkę możesz także wykorzystać do pomiaru objętości cieczy przy wyznaczaniu gęstości tej cieczy. Masę cieczy wyznaczamy przez odjęcie od masy menzurki z cieczą masy pustej menzurki.

Jeśli zna się gęstość substancji, z której jest wykonane ciało, można obliczyć jego masę:

$$m = d \cdot V$$

lub objętość:

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

Przykład 1.4

Gęstość aluminium wynosi $2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Wyrażmy tę gęstość w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

$$d = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2700 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1\,000\,000 \text{ cm}^3} = 2700 \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ cm}^3} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Przykład 1.5

Gęstość suchego drewna dębowego wynosi $0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Wyrażmy tę gęstość w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Jak wiesz, $1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg} = \frac{1 \text{ kg}}{1000}$. Taki zapis ułatwi ci dalsze rachunki.

$$\begin{aligned} d &= 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,8 \cdot \frac{\frac{1 \text{ kg}}{1000}}{\frac{1 \text{ m}^3}{1\,000\,000}} = 0,8 \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000} \cdot \frac{1\,000\,000}{1 \text{ m}^3} = 0,8 \cdot \frac{1\,000\,000 \text{ kg}}{1000 \text{ m}^3} = \\ &= 0,8 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Przykład 1.6

Oblicz masę dębowej deski w kształcie prostopadłościanu o wymiarach: 20 cm, 4 cm, 1,20 m. Gęstość drewna dębowego odczytaj z tabeli 1.2.

Dane: szerokość 20 cm, grubość 4 cm, długość 1,2 m = 120 cm, $d = 0,80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Szukane: m

Rozwiązanie:

$$V = 20 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 120 \text{ cm} = 9600 \text{ cm}^3$$

$$m = d \cdot V$$

$$m = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 9600 \text{ cm}^3 = 7680 \text{ g} = 7,68 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Deska ma masę 7,68 kg.

Przykład 1.7

Masz do dyspozycji tylko menzurkę. Odmierz za jej pomocą 23 g oliwy. Gęstość oliwy odczytaj z tabeli 1.3.

Dane: $m = 23 \text{ g}$, $d = 0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Szukane: V

Rozwiązanie:

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

$$V = \frac{23 \text{ g}}{0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 23 \text{ g} \cdot \frac{\text{cm}^3}{0,92 \text{ g}} = 25 \text{ cm}^3$$

Odpowiedź: Do menzurki należy wlać 25 cm³ oliwy.

Poniższe tabele zawierają gęstości niektórych cieczy i gazów. Gęstości innych substancji możesz znaleźć w książkowych wydaniach *Tablic fizycznych* lub w internecie.

Tabela 1.3. Gęstości cieczy

Rodzaj substancji	Gęstość	
	$\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	$\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$
alkohol etylowy	790	0,79
azot (−196°C)	808	0,81
ciekłe powietrze (−194°C)	860	0,86
nafta	810	0,81
oliwa	920	0,92
rtęć	13 500	13,5
woda (4°C)	1000	1
wodór (−253°C)	71	0,07

Uwaga: Gęstości w tabeli 1.3 dotyczą substancji w temperaturze pokojowej (20°C), z wyjątkiem przypadków, dla których temperatury podano przy nazwie substancji.

Tabela 1.4. Gęstości gazów (w temperaturze 0°C i pod ciśnieniem atmosferycznym)

Rodzaj substancji	Gęstość $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$
azot	1,25
dwutlenek węgla	1,98
hel	0,179
para wodna (100°C)	0,60
powietrze	1,29
tlen	1,43
wodór	0,09

Podsumowanie

1. Każda substancja ma swoją własną gęstość. Gęstość informuje nas o tym, jaka jest masa 1 m^3 lub 1 cm^3 danej substancji. Gęstość wyrażamy w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
2. Aby obliczyć gęstość danej substancji, należy masę ciała wykonanego z tej substancji podzielić przez jego objętość:

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

Zadania i doświadczenia

1. 1 m^3 powietrza ma masę $1,29 \text{ kg}$. Oblicz masę powietrza wypełniającego pokój o objętości 25 m^3 . Skorzystaj z tego, że masa substancji jest wprost proporcjonalna do objętości.
2. Wiemy, że 1 cm^3 wody ma masę 1 g . Opisz, jak odmierzyć 20 g wody za pomocą menzurki z podziałką.
3. Korona ma objętość 100 cm^3 i masę 1700 g . Skorzystaj z danych w tabeli 1.2 i sprawdź, czy korona jest wykonana z czystego złota.
4. Wykonaj odpowiednie obliczenia i wyraż w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gęstość złota równą $19,30 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Sprawdź w tabeli 1.2, czy twoje obliczenia są poprawne.
5. Wykonaj odpowiednie obliczenia i wyraż gęstość nafty równą $810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ w gramach na centymetr sześcienny. Sprawdź w tabeli 1.3, czy twoje obliczenia są poprawne.
6. Na wadze laboratoryjnej zważono pustą menzurkę. Jej masa wynosiła $0,25 \text{ kg}$. Do menzurki wlane 150 cm^3 cieczy i ponownie zważono. Teraz masa jest równa $0,388 \text{ kg}$.
 - Oblicz gęstość cieczy wlanej do menzurki.
 - Na podstawie tabeli gęstości cieczy sprawdź, jaka to mogła być ciecz.
7. Często w mowie potocznej używamy sformułowań typu: „ołów jest cięższy od aluminium” lub „benzyna jest lżejsza od wody”. Uzasadnij, dlaczego na lekcjach fizyki taka wypowiedź nie może być uznana za poprawną.
- *8. Gęstość wnętrza Słońca jest 160 razy większa od gęstości wody. Średnia gęstość Słońca jest równa gęstości wody. Na tej podstawie sformułuj wniosek dotyczący budowy Słońca.

Doświadczenie 1.

Wykorzystaj wagę kuchenną i naczynie o znanej pojemności, np. szklankę o pojemności $0,25\text{ l} = 250\text{ cm}^3$, do wyznaczenia gęstości wody i oleju. Która z tych substancji ma większą gęstość?

Opisz doświadczenie, czyli:

- podaj cel doświadczenia,
- wymień potrzebne przyrządy,
- wymień kolejne czynności i pomiary,
- wykonaj obliczenia i podaj ich wyniki,
- zapisz słownie wniosek z doświadczenia.

Doświadczenie 2.**Wyznaczamy średnią gęstość swojego ciała.**

Potrzebne przedmioty i przyrządy: waga łazienkowa, wanna z wodą, garnek o znanej pojemności.

Kolejne czynności i pomiary:

- Zważ się na wadze łazienkowej i zapisz swoją masę w kilogramach.
- Nalej tyle wody do wanny, by można było się w niej całkowicie zanurzyć (wraz z głową).
- Poproś kogoś z domowników, by zaznaczył poziom wody w wannie w chwili twojego całkowitego zanurzenia.
- Po wyjściu z wanny garnkiem o znanej pojemności dolewaj wodę do wanny aż do zaznaczonego poziomu.
- Wiadomo, że 1 litr wody to 1 dm^3 . Oblicz objętość swojego ciała (równą objętości dolanej wody) w decymetrach sześciennych i wyraż ją w metrach sześciennych ($1\text{ dm}^3 = \frac{1}{1000}\text{ m}^3$).

Obliczenia:

- Podziel masę przez objętość, a otrzymasz przybliżoną gęstość swojego ciała w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

1.4 Pomiar ciśnienia

W codziennym życiu często używa się pojęcia ciśnienia: ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie krwi, ciśnienie powietrza w oponie samochodu. W tym rozdziale ciśnieniem zajmiemy się dokładniej.

Gdy poruszamy się w butach po głębokim śniegu, nogi zapadają się w śnieg. Gdy przypniemy narty, głębokość zapadania się jest znacznie mniejsza. Mimo że ciężar człowieka jest w każdym przypadku taki sam (a więc człowiek naciska na śnieg taką samą siłą), obserwujemy różne skutki nacisku. Im mniejsza jest powierzchnia zetknięcia się ciała ze śniegiem, tym większe zagłębienie. Podeszwy naszych butów mają łączną powierzchnię około 500 cm², natomiast powierzchnia dwóch nart jest około sześciu razy większa. Wielkość zagłębienia zależy więc od ciśnienia, czyli wielkości fizycznej, która informuje nas, jak duża jest wartość siły działającej na jednostkę powierzchni.



Siła nacisku ciała na podłoże (lub powierzchnię innego ciała) działająca prostopadle do powierzchni nazywa się **siłą parcia**.

Iloraz wartości siły parcia i powierzchni, na którą ta siła działa, nazywamy ciśnieniem i oznaczamy literą p .

$$\text{ciśnienie} = \frac{\text{wartość siły nacisku}}{\text{pole powierzchni}}, \quad p = \frac{F}{S}$$

Z powyższego wzoru wynika, że:

- im większa jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym mniejsze jest ciśnienie;
- im mniejsza jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym większe jest ciśnienie (dlatego noże i nożyczki powinny być odpowiednio ostre – chodzi o to, aby miały małą powierzchnię nacisku, a więc dobrze cięły materiał).

Gdy wstawimy do wzoru definiującego ciśnienie jednostkę wartości siły i jednostkę pola powierzchni, otrzymamy jednostkę ciśnienia, którą nazywamy **paskalem** i oznaczamy symbolem Pa. Zapisujemy to następująco:

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ Pa}$$

1 paskal jest to ciśnienie wytwarzane przez siłę o wartości 1 niutona działającą na powierzchnię, której pole wynosi 1 m². Takie ciśnienie wytwarza np. 100 g cukru rozsypanego równomiernie na stole o powierzchni 1 m² (100 g = 0,1 kg, $F = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1 \text{ N}$). Jak wynika z tego przykładu, jest to bardzo małe ciśnienie. Dlatego w praktyce często używa się jednostek będących wielokrotnościami paskala. Należą do nich chociażby:

- hektopaskal 1 hPa = 100 Pa,
- kilopaskal 1 kPa = 1000 Pa,
- megapaskal 1 MPa = 1 000 000 Pa.

Nazwa jednostki ciśnienia pochodzi od nazwiska francuskiego uczonego Blaise'a Pascala (czytaj: bleza paskala).

Przykład 1.8

Oblicz ciśnienie na ostrzu pinezki wciskanej w drewno siłą o wartości 50 N, jeżeli powierzchnia tego ostrza wynosi 0,1 mm².

Dane: $F = 50 \text{ N}$

$$S = 0,1 \text{ mm}^2 = 0,1 \cdot 1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} = 0,1 \cdot 0,001 \text{ m} \cdot 0,001 \text{ m} = 0,000\,000\,1 \text{ m}^2$$

Szukane: p

Rozwiązanie:

$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = \frac{50 \text{ N}}{0,000\,000\,1 \text{ m}^2} = \frac{50 \text{ N}}{0,000\,000\,1 \text{ m}^2} \cdot \frac{10\,000\,000}{10\,000\,000} = 500\,000\,000 \text{ Pa} = 500 \text{ MPa}$$

Odpowiedź: Ostrze wciskanej pinezki wytwarza ciśnienie 500 MPa. Jest to ciśnienie około 1500 razy większe od ciśnienia pod kołami samochodu osobowego.

Przykład 1.9

Oblicz ciśnienie wytworzone przez 2 kg wody na dnie cylindrycznego naczynia o powierzchni dna równej 10 cm².

Dane: $m = 2 \text{ kg}$

$$S = 10 \text{ cm}^2 = 10 \cdot 1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 10 \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 0,01 \text{ m} = 10 \cdot 0,0001 \text{ m}^2 = 0,001 \text{ m}^2$$

Szukane: p

Rozwiązanie:

$$F_c = m \cdot g, \quad p = \frac{F_c}{S} = \frac{m \cdot g}{S}$$

$$p = \frac{2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{0,001 \text{ m}^2} = \frac{20 \text{ N}}{0,001 \text{ m}^2} \cdot \frac{1000}{1000} = 20\,000 \text{ Pa} = 200 \text{ hPa}$$

Odpowiedź: Ciśnienie wody na dnie naczynia jest równe 200 hPa.

Przedstawiony na fotografii ciśnieniomierz do pomiaru ciśnienia powietrza w oponach samochodowych ma zakres do 1,6 MPa. Można nim zmierzyć ciśnienie z dokładnością do 0,05 MPa, tzn. z dokładnością do 50 000 Pa. Wykonaj taki pomiar przy najbliższej okazji.

Wróćmy do wspomnianego ciśnienia atmosferycznego, czyli ciśnienia wytwarzanego przez otaczające nas powietrze, i wykonajmy doświadczenia, które potwierdzają jego istnienie.

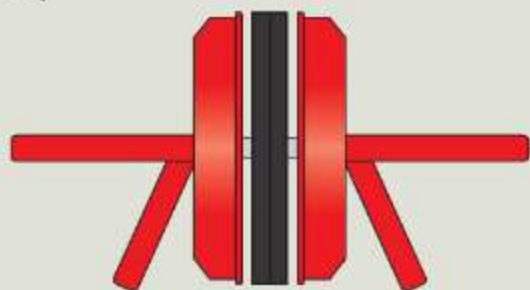
**Doświadczenie 1.6****Sprawdzamy istnienie ciśnienia atmosferycznego.**

Powtarzamy doświadczenie wykonane w 1654 r. przez niemieckiego fizyka Ottona von Guerickego (czyt. fon gerikego).

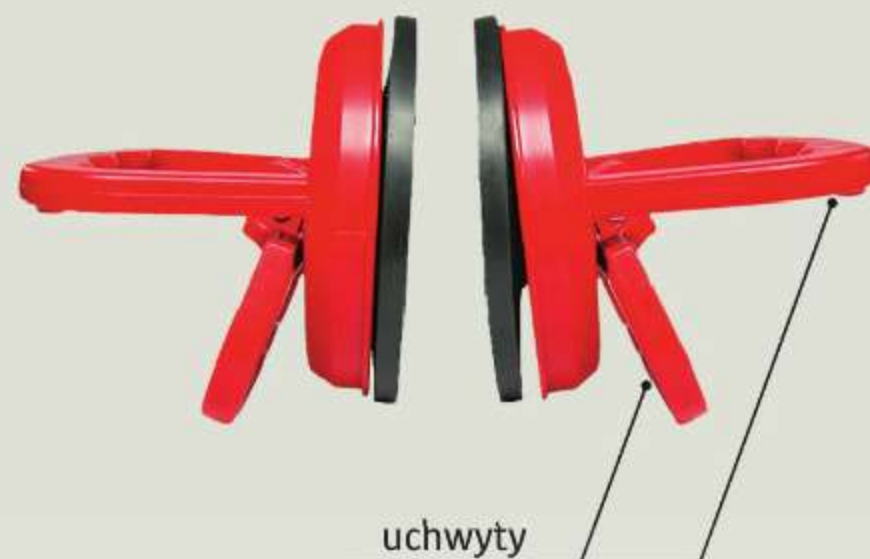
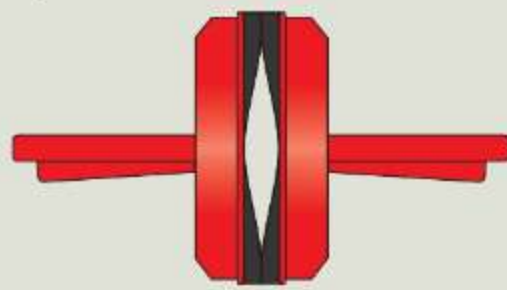
Potrzebne przedmioty: 2 duże przyssawki zastępujące półkule magdeburskie.

Jeśli uchwyty każdej przyssawki są rozchylone (a), powierzchnie gumowe są płaskie i przylegają do siebie. Jeśli uchwyty każdej przyssawki złączymy (b), w gumowej powierzchni powstaje zagłębienie.

a)



b)



Kolejne czynności:

- Przykładamy do siebie 2 przyssawki.
- Uchwyty każdej przyssawki łączymy ze sobą.
- Ciągąc za uchwyty w przeciwne strony, próbujemy rozdzielić przyssawki.

Wniosek: W zagłębieniu powstaje pusta przestrzeń. Przyssawki stanowią teraz odpowiednik złożonych razem półkul magdeburskich, z których wnętrza wypompowano powietrze. Siła parcia powietrza atmosferycznego działająca z zewnątrz na przyssawki jest tak duża, że nie można ich rozdzielić.

Doświadczenie 1.7**Wyznaczamy ciśnienie atmosferyczne za pomocą strzykawki i siłomierza.**

Potrzebne przedmioty: siłomierz, szklana strzykawka bez igły, plastelina, linijka, kalkulator, nitka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Wsuń całkowicie tłoczek ze strzykawki i zmierz jego średnicę.
- Oblicz promień r tłoczka i następnie za pomocą kalkulatora oblicz powierzchnię tłoczka ze wzoru $S = \pi r^2$, gdzie $\pi = 3,14$.
- Wsuń tłoczek do strzykawki maksymalnie głęboko i zatkaj plasteliną wylot przeznaczony do założenia igły.
- Do uchwyty tłoczka przyczep nitką haczyk siłomierza.
- Trzymając strzykawkę poziomo, odciągaj powoli siłomierz tak, by tłoczek w strzykawce przesunął się równomiernie, i odczytaj maksymalne wskazanie siłomierza.



- Ponieważ wylot strzykawki jest zatkany plasteliną i powietrze nie może się dostać pod tłoczek, ciśnienie wewnątrz strzykawki jest bardzo małe. Możemy przyjąć, że panuje tam próżnia. Powietrze z zewnątrz działa na tłoczek siłą o wartości równej wartości siły, którą ciągniemy tłoczek (odczytujemy na skali siłomierza).
- Podziel zmierzoną wartość siły przez obliczoną powierzchnię tłoczka, by otrzymać ciśnienie atmosferyczne.
- Wysłuchaj najbliższej prognozy pogody i sprawdź, czy wyznaczone przez ciebie ciśnienie atmosferyczne odpowiada w przybliżeniu ciśnieniu zmierzonemu profesjonalnymi przyrządami.

Przyrząd do pomiaru ciśnienia atmosferycznego nazywa się **barometrem**. Zmiany ciśnienia odczytane na barometrze mogą być pomocne przy przewidywaniu, jaka będzie jutro pogoda. Nadchodzenie wyżu – czyli układu mas powietrza, w którego centrum ciśnienie jest wyższe niż w otoczeniu – objawia się wzrostem ciśnienia wskazywanego przez barometr i zwykle niesie poprawę pogody (zimą także spadek temperatury). Jeśli zbliża się niż – czyli układ mas powietrza, w którego centrum ciśnienie jest niższe niż dookoła – wskazania barometru maleją i zwykle pogoda się psuje.

Picie napojów chłodzących przez słomkę także jest przykładem wykorzystania ciśnienia atmosferycznego. Wciągając do płuc powietrze ze słomki, obniżasz w niej ciśnienie powietrza (wytwarzasz podciśnienie), a wówczas ciśnienie atmosferyczne panujące nad powierzchnią napoju „wpycha” napój do słomki i w ten sposób dostaje się on do twoich ust. Na podobnej zasadzie działają strzykawka i miękka, plastikowa pipeta (fot.).



Podsumowanie

1. Skutek działania określonej siły zależy od tego, na jak dużą powierzchnię działa ta siła. Aby lepiej przewidywać skutki działania siły, fizycy wprowadzili pojęcie ciśnienia, tj. wielkości, która informuje nas o wartości siły działającej na jednostkę powierzchni (na 1 m^2). Ciśnienie oblicza się poprzez dzielenie wartości siły, którą ciało naciska na podłoże, przez pole powierzchni, na którą działa siła:

$$p = \frac{F}{S}$$

F – wartość siły nacisku (inaczej siły parcia),

S – powierzchnia, na którą działa siła o wartości F .

2. Ciśnienie mierzymy w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.
3. $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$. W hektopaskalach jest zwykle podawane ciśnienie atmosferyczne. Zmierzone na poziomie morza ciśnienie atmosferyczne wynosi ok. 1013 hPa . W obliczeniach przyjmuje się na ogół przybliżoną wartość ciśnienia atmosferycznego, równą 1000 hPa .
4. Picie płynów przez rurkę, nabieranie płynu do strzykawki i pipety, używanie przyssawek i pompek do udrażniania zlewów to przykłady wykorzystania w praktyce ciśnienia atmosferycznego.

Zadania i doświadczenia

1. Wyjaśnij:

- dlaczego igły, noże, nożyczki, piły muszą być dobrze zastrzone;
- dlaczego nosidła dla niemowląt, torby na ramię, plecaki mają szerokie paski na ramiona;
- dlaczego ratownik zbliżający się do człowieka, pod którym załamał się lód, kładzie się na lodzie.

2. Fotografie przedstawiają sposób nabierania cieczy do strzykawki. Wyjaśnij, dlaczego przy odciąganiu tłoka ciecz wpływa do strzykawki.



- ### 3. Wyjaśnij, dlaczego sok z kartonowego pudełka łatwiej jest pić, jeśli oprócz otworu do picia zrobimy w górnej części pudełka jeszcze jeden otwór.
- ### 4. Wiesz, że 1 Pa odpowiada działaniu siły nacisku o wartości 1 N na powierzchnię 1 m². Przerysuj do zeszytu poniższą tabelę, wykonaj obliczenia i wypełnij trzecią kolumnę.

Siła	Powierzchnia	Ciśnienie
5 N	1,0 m ²	
100 N	1,0 m ²	
40 N	2,0 m ²	
40 N	4,0 m ²	
10 N	0,5 m ²	
10 N	1,0 cm ²	

5. Według Słownika Języka Polskiego PWN doświadczenie to „wywoływanie lub odtwarzanie zjawiska w sztucznych warunkach”. Odtwarzane w doświadczeniu zjawisko może podlegać obserwacji (a) lub obserwacji z pomiarami wykonywanymi za pomocą odpowiednich przyrządów (b).

Przyporządkuj każde z niżej wymienionych doświadczeń do grupy (a) lub (b).

1. Doświadczenie 1.1 na s. 10.
2. Doświadczenie 1. na s. 16.
3. Doświadczenie 2. na s. 17.
4. Doświadczenie 1.2 na s. 21.
5. Doświadczenie 1.4 na s. 25.
6. Doświadczenie 1.6 na s. 34.
7. Doświadczenie 3. na s. 38.

Doświadczenie 1.

Obserwujemy skutki ciśnienia atmosferycznego (I).

Potrzebne przedmioty: plastikowa butelka z wodą mineralną niegazowaną.

Kolejne czynności:

- Otwórz butelkę i pij wodę tak, by powietrze z zewnątrz nie dostawało się do butelki.
- Wyjaśnij zachowanie się ścianek tej butelki.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy skutki ciśnienia atmosferycznego (II).

Potrzebne przedmioty: szklanka, woda, sztywna kartka papieru.

Kolejne czynności:

- Szklankę napełnij wodą po brzegi.
- Przykryj ją kartką papieru.
- Połóż dłoń na kartce i odwróć szklankę do góry dnem.
- Usuń dłoń.
- Sporządź rysunek układu doświadczalnego.
- Opisz wynik obserwacji. Wyjaśnij go.

Doświadczenie 3.

Obserwujemy skutki ciśnienia atmosferycznego (III).

Potrzebne przedmioty: plastikowa butelka po wodzie mineralnej, woda.

Kolejne czynności:

- W dolnej części butelki wykonaj mały otworek. Zatkaj go palcem i napełnij butelkę wodą.
- Zabierz palec i obserwuj wodę w dwóch przypadkach: gdy butelka jest otwarta i gdy jej wylot jest zamknięty zakrętką.
- Wyjaśnij obserwowane zjawisko.

1.5 Sporządzamy wykresy

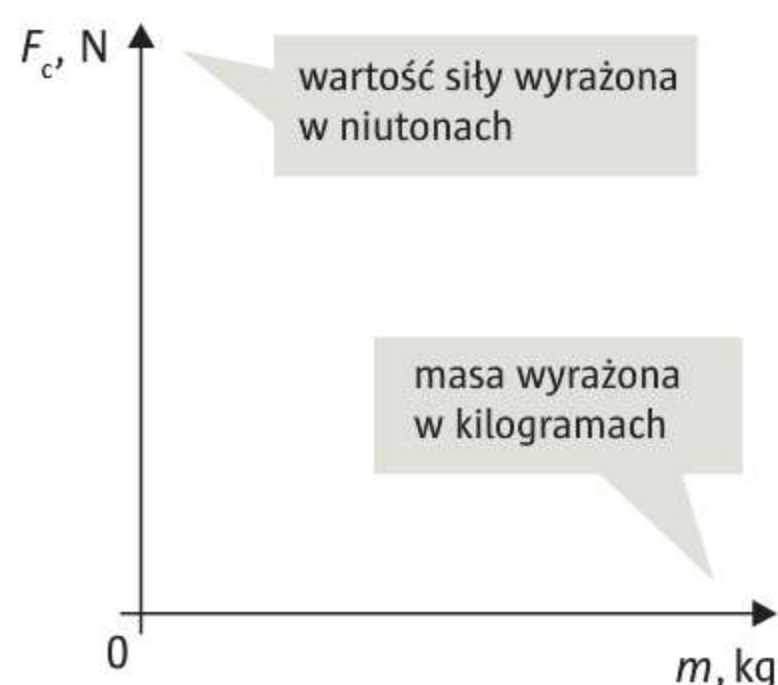
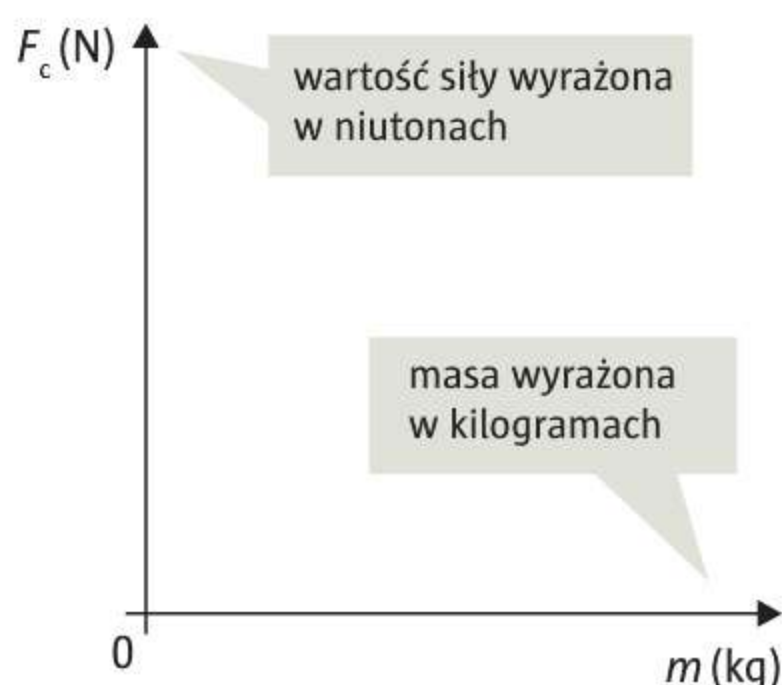
W jesienny poranek temperatura powietrza jest zwykle niska. Jeśli jednak dzień jest pogodny, wraz z upływem czasu temperatura wzrasta. Gdyby mierzyć ją co pół godziny, a wyniki wpisywać do dwukolumnowej tabeli (w jednej kolumnie czas, w którym dokonujemy pomiaru, np. 7.00, 7.30, 8.00, 8.30 itd., w drugiej wartości odczytanej temperatury), udokumentowalibyśmy **zależność temperatury powietrza od czasu** w danym dniu.

W rozdziale 1.2 wykonaliśmy doświadczenie 1.3, którego celem było zbadanie zależności wartości ciężaru ciała od masy tego ciała. Siłomierz obciążaliśmy kolejno odważnikami o masie 0,1 kg, 0,2 kg, 0,3 kg i 0,4 kg i mierzyliśmy wartość siły wskazywaną w każdym przypadku przez siłomierz. Wyniki umieściliśmy w tabeli. Stwierdziliśmy wówczas, że na odważnik o dwukrotnie większej masie działała dwukrotnie większa siła ciężkości, na ciało o trzykrotnie większej masie działała trzykrotnie większa siła itd. Wykazaliśmy więc, że wartość siły ciężkości (wartość ciężaru) jest wprost proporcjonalna do masy ciała: $F_c \sim m$.

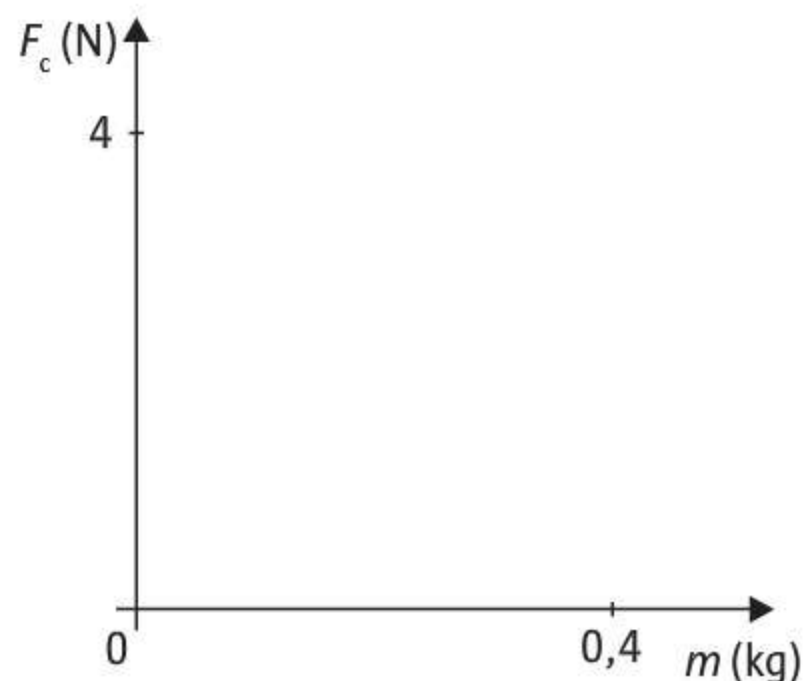
Zależność jednej wielkości fizycznej od innej wielkości można przedstawić na wykresie. Kolejne czynności, które należy wykonać przy sporządzaniu wykresu, przedstawimy na wyżej przytoczonym przykładzie doświadczenia 1.3.

Aby wykonać wykres, należy wykonać poniższe czynności.

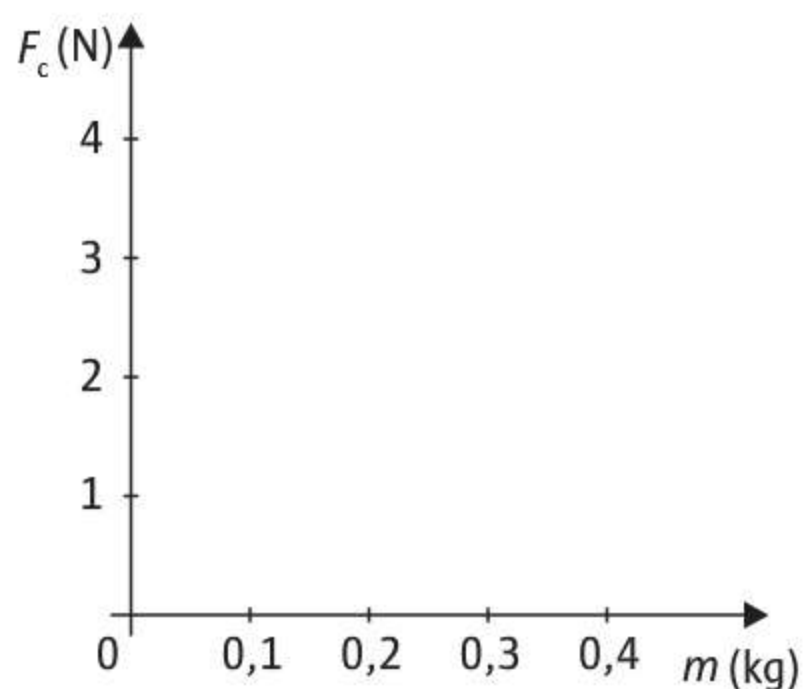
1. Rysujemy dwie prostopadłe do siebie osie. Na ich końcach zaznaczamy symbole mierzonych wielkości i ich jednostki. Jednostki zapisujemy w nawiasach okrągłych lub po przecinku. Miejsce przecięcia osi, zwane początkiem układu osi, oznaczamy symbolem 0.



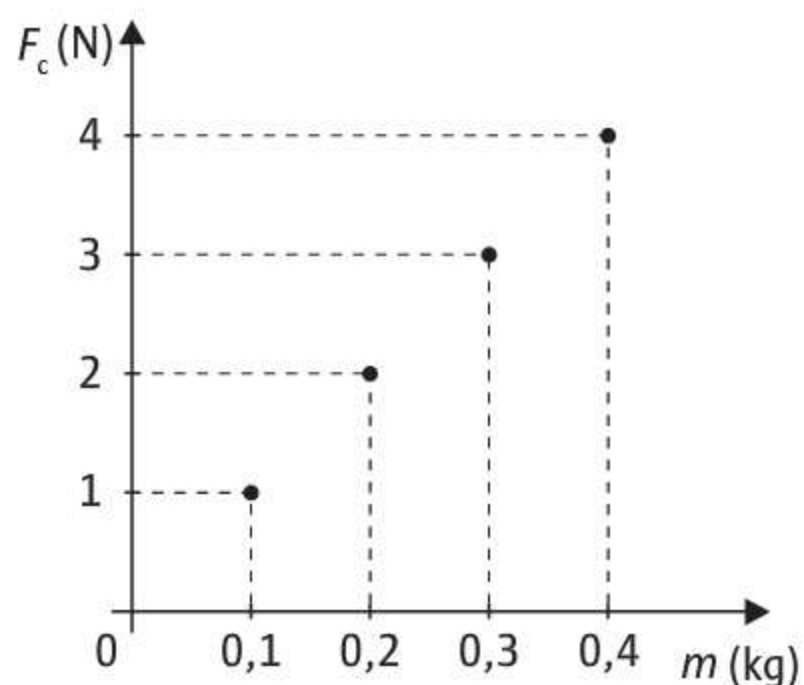
2. W niewielkiej odległości od końców obu osi zaznaczamy największe wartości zmierzonych wielkości fizycznych.



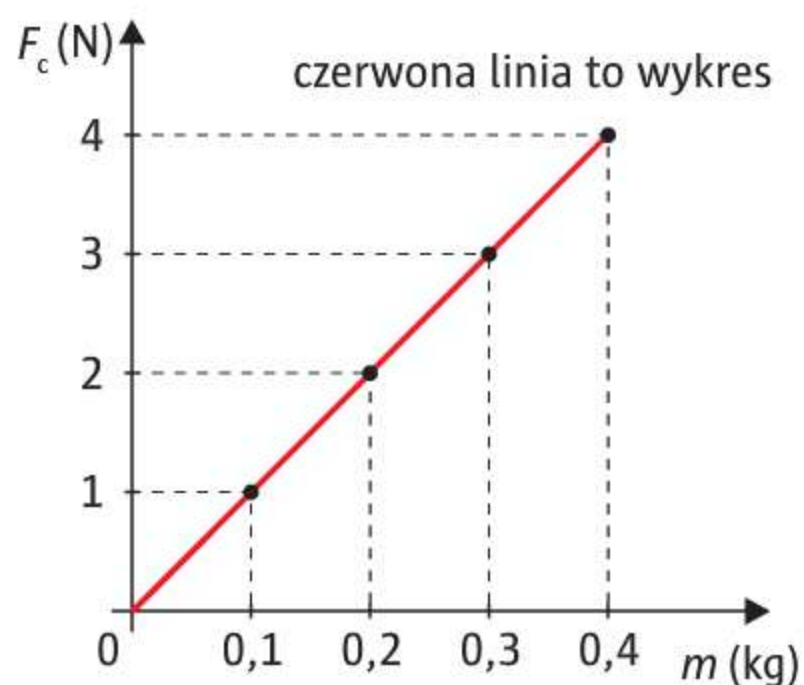
3. Odcinki od miejsca przecięcia się osi do zaznaczonych największych wartości dzielimy na równe części (w naszym przypadku na tyle części, ile pomiarów wykonaliśmy).



4. Teraz dla każdej pary zmierzonych wartości zaznaczamy punkty w miejscach przecięcia się przerywanych linii pomocniczych.



5. Przez te punkty przeprowadzamy wykres i kończymy go na ostatnim punkcie.



Gdy mamy wykres zależności F_c od m , co zapisujemy jako $F_c(m)$, możemy odczytać z niego wartość ciężaru ciała o dowolnej masie, np. ciało o masie 0,25 kg (25 dag) jest przyciągane przez Ziemię siłą o wartości 2,5 N.

Dzięki sporządzeniu wykresu $F_c(m)$ uzyskaliśmy jeszcze jedną bardzo ważną informację.

Jeśli dwie wielkości są do siebie wprost proporcjonalne, to wykres zależności jednej z nich od drugiej jest półprostą wychodzącą z początku układu osi.

Zadania i doświadczenia

1. W tabeli zamieszczono wyniki pomiarów objętości V wody w basenie od czasu t napełniania basenu.

t (h)	V (m ³)
1	8
2	16
3	24
4	32
5	40

- Sporządź wykres zależności $V(t)$.
 - Odczytaj z wykresu objętość wody w tym basenie, jeśli napełnia się on przez 2,5 godziny.
2. Samochód zużywa 6 l benzyny na każde 100 km jazdy. Narysuj wykres zależności objętości zużytego paliwa od liczby przejechanych kilometrów.

Doświadczenie 1.

Wykazujemy, że gdy mierzymy masę, dokonujemy pomiaru ilości materii.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: waga kuchenna, 4 jednakowe talerzyki.

Kolejne czynności i pomiary:

- Zważ kolejno: 1 talerzyk, 2 talerzyki, 3 talerzyki i 4 talerzyki.
- Sporządź wykres zależności masy od liczby talerzyków leżących na wadze.
- Zapisz wniosek z doświadczenia.

Podsumowanie

- Tabela wielkości fizycznych, które nauczyliśmy się mierzyć.

NAZWA	SYMBOL	JEDNOSTKI	PRZYRZĄD
długość odległość	l lub s	1 cm, 1 m, 1 km	linijka, przymiar metrowy, licznik kilometrów
temperatura	t	1°C	termometr
czas	t lub τ	1 s, 1 h	zegar
wartość prędkości (szybkość)	v	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	prędkościomierz
masa	m	1 g, 1 kg	waga
gęstość	d	$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
siła siła ciężkości	$\vec{F}$ $\vec{F}_c$ lub $\vec{F}_g$	1 N	siłomierz
ciśnienie	p	1 Pa, 1 hPa	ciśnieniomierz barometr

- Każdy przyrząd ma określony zakres i pozwala mierzyć z pewną dokładnością.

Zakres pomiarowy przyrządu określamy poprzez podanie najmniejszej i największej wartości na skali, czyli przedziału wartości, które możemy mierzyć za pomocą tego przyrządu. Jeśli w instrukcji obsługi przyrządu nie podano jego dokładności, to możemy przyjąć, że jest ona równa najmniejszej działce skali tego przyrządu.

- Każdy pomiar jest obarczony niepewnością pomiarową. Jeśli wykonujemy pojedynczy pomiar, jako wartość niepewności otrzymanego wyniku przyjmujemy dokładność użytego przyrządu pomiarowego.

Zazwyczaj jednak, aby uzyskana wartość wielkości fizycznej była możliwie najbliższa wartości rzeczywistej, pomiar powtarzamy kilkakrotnie i obliczamy średnią arytmetyczną wyników pomiarów. W takim przypadku jako wartość niepewności pomiarowej przyjmujemy największą z różnic pomiędzy wartością średnią a wartościami poszczególnych pomiarów lub dokładność przyrządu, jeśli jest większa od tej największej różnicy.

- Pomiar masy to pomiar ilości materii, z której wykonane jest ciało.

- Substancje różnią się od siebie gęstością. Gęstość substancji wyznaczamy doświadczalnie poprzez zmierzenie masy oraz objętości ciała wykonanego z tej substancji i podstawienie wyników pomiarów do wzoru:

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

Tak obliczona wielkość informuje nas o tym, jaka jest masa jednostki objętości (1 cm³ lub 1 m³) danej substancji.

- W zależności od tego, w którą stronę działa na ciało siła o tej samej wartości, skutek jej działania jest inny. Z tego powodu siłę opisujemy za pomocą wektora. Gdy mówimy „siła”, mamy na myśli jej wartość wyrażoną w niutonach, kierunek, czyli prostą, wzdłuż której działa, oraz zwrot informujący, w którą stronę działa.

- Siła $\vec{F}_c$, którą Ziemia przyciąga ciało o masie m (siła ciężkości, ciężar), ma wartość $F_c = m \cdot g$ (gdzie $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$), kierunek pionowy i zwrot w dół (w stronę środka Ziemi).

- Skutek nacisku ciała o ciężarze $\vec{F}_c$ zależy od wielkości powierzchni zetknięcia ciała z podłożem.



- Ciśnienie informuje nas o wartości siły działającej na jednostkę powierzchni (1 cm² lub 1 m²). Ciśnienie obliczamy ze wzoru:

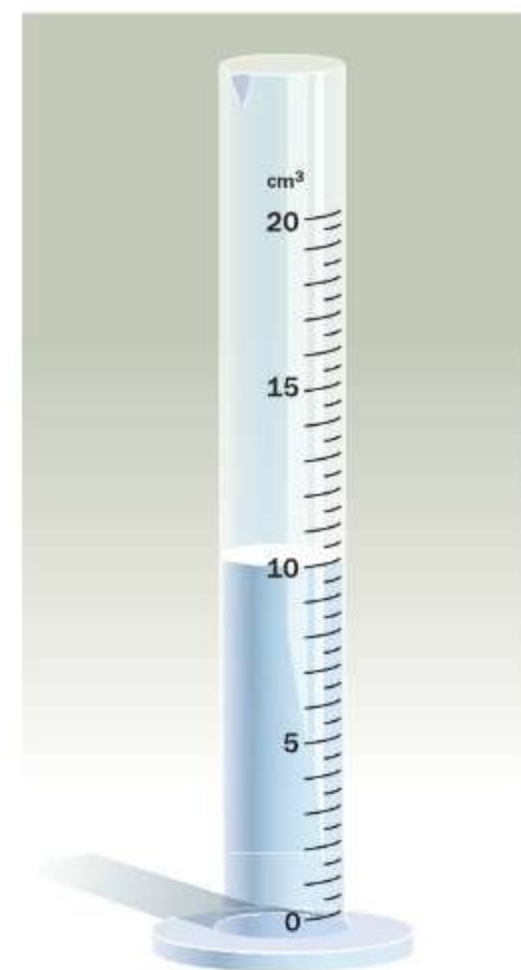
$$p = \frac{F}{S}$$

i wyrażamy w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

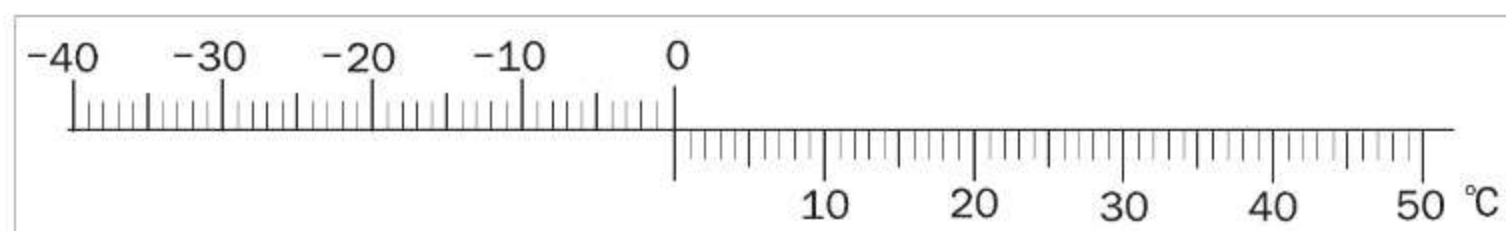
- Przyciągana przez Ziemię warstwa otaczającego ją powietrza wytwarza ciśnienie atmosferyczne. Przy powierzchni Ziemi jest ono równe ok. 1000 hPa = 100 000 Pa.

Sprawdź się

- Przedział czasu równy $\Delta t = 45 \text{ s}$ to
 A. $\frac{1}{4} \text{ min}$ B. 1 min C. $\frac{3}{4} \text{ min}$ D. 3 min
- Jeśli metalowy klocek o wymiarach 2 cm, 2 cm, 2 cm zostanie wrzucony do menzurki pokazanej na rysunku, poziom cieczy podniesie się i wskaże objętość
 A. $18,0 \text{ cm}^3$ B. $10,9 \text{ cm}^3$ C. $16,0 \text{ cm}^3$ D. $14,5 \text{ cm}^3$
- Barometr może mieć podziałkę wyrażoną
 A. w stopniach. B. w metrach na sekundę.
 C. w hektopaskalach. D. w niutonach.
- Astronauta wybierający się w podróż kosmiczną otrzymał od swojej córki maskotkę. Masa maskotki będzie
 A. wszędzie jednakowa.
 B. największa na Ziemi.
 C. największa na Księżycu.
 D. największa po opuszczeniu przez raketę atmosfery ziemskiej.
- Na rysunku przedstawiono dwie skale: termometru lekarskiego i okiennego.



Skala termometru lekarskiego



Skala termometru okiennego

- Prawdą jest, że
- zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest mniejszy, a dokładność obu termometrów jest jednakowa.
 - zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest mniejszy, a dokładność większa niż termometru okiennego.
 - zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest większy, a dokładność mniejsza niż termometru okiennego.
 - zakresy pomiaru obu termometrów są jednakowe i dokładności także.
- Ciężar 2 kg maki jest równy
 A. 200 N B. 0,2 N C. 2 N D. 20 N

7. Samochód jechał z szybkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. W ciągu 15 minut przebył drogę
A. 10 km B. 15 km C. 20 km D. 25 km
8. Gęstość pewnej substancji wynosi $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oznacza to, że
A. masa 800 m^3 tej substancji wynosi 1 kg.
B. iloraz masy i objętości tej substancji wynosi $8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
C. ciężar jednego metra sześciennego tej substancji wynosi 800 kg.
D. masa jednego metra sześciennego tej substancji wynosi 800 kg.
9. Szkolną linijką trzykrotnie zmierzono długość ołówka i otrzymano następujące wyniki: 11,4 cm, 11,6 cm i 11,5 cm. Wynik najbliższy rzeczywistej długości ołówka to
A. 11,5 cm B. 11,4 cm C. 34,5 cm D. 11,43 cm
10. Do wyznaczenia gęstości klocka prostopadłościennego o wymiarach $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ wystarczy skorzystać z
A. linijki. B. wagi.
C. menzurki z wodą. D. menzurki z wodą i wagi.
11. Jeśli powierzchnia ekranu telewizora wynosi $0,5 \text{ m}^2$, a ciśnienie atmosferyczne 1000 hPa, to na ekran działa siła nacisku (parcia) powietrza o wartości
A. 50 N B. 500 N C. 5000 N D. 50 000 N
12. Ciężar sześciennego klocka o krawędzi 2 cm wynosi 0,216 N. Metal, z którego wykonano klocek, ma gęstość
A. $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ B. $7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ C. $2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ D. $11\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Tata zamontował w ogródku plastikowy okrągły basenik. Za pomocą gumowego węża będzie napełniał go wodą. Zaplanuj pomiary, które pozwolą ci obliczyć masę wody w całkowicie wypełnionym basenie.

- a) Wymień potrzebne przyrządy.
- b) Wymień kolejne czynności i pomiary, które masz zamiar wykonać.
- c) Podaj (jeśli jest taka konieczność) dodatkowe dane, np. z tablic, które będą ci potrzebne do obliczeń.

Zadanie 2.

Ciśnienie na dnie bojlera napełnionego wodą wynosi $p = 12\,000\text{ Pa}$. W dnie bojlera powstała szczelinka o powierzchni $\frac{1}{4}\text{ cm}^2$.

- a) Oblicz wartość siły, którą należy działać od dołu na szczelinę, by woda nie wyciekała z bojlera.
- b) Oceń, czy uda ci się zatrzymać strumień wody, jeśli zatkasz otwór palcem. Podaj odpowiedni argument.

Zadanie 3.

Po obejrzeniu telewizyjnej prognozy pogody twój młodszy kolega zapytał o ciśnienie atmosferyczne. Wyjaśniasz mu, że Ziemia jest otoczona warstwą powietrza. Powietrze ze wszystkich stron naciska na obiekty znajdujące się na Ziemi.

Aby go przekonać o istnieniu ciśnienia atmosferycznego, wykonujesz jedno ze znanych ci doświadczeń.

- a) Wymień potrzebne przedmioty.
- b) W kilku zdaniach opisz przebieg doświadczenia i wynik świadczący o istnieniu ciśnienia atmosferycznego.
- c) Wykonaj rysunek przedstawiający układ doświadczalny.

2

Niektóre właściwości fizyczne ciał

sublimacja
łodu

krzepnięcie
wody

parowanie
wody

topnienie lodu
w morskiej wodzie

Zamarzająca woda
zwiększa swoją objętość.
To sprawia, że lód pływa
w wodzie.

boczny widok
góry lodowej



2.1 Trzy stany skupienia ciał

Każdy z otaczających nas przedmiotów – piłka, książka, szklanka, telewizor itd. – to tzw. **ciało fizyczne**, a materiał, z którego dany przedmiot jest wykonany, nazywamy **substancją**. W przyrodzie substancje mogą występować w trzech stanach skupienia: **stałym, ciekłym i gazowym** (lotnym).

W ustalonej temperaturze ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość. Zmiana kształtu ciała stałego nie powoduje zmiany jego objętości. Można się o tym przekonać, jeśli wyznaczamy np. za pomocą menzurki z wodą objętość kulki plasteliny oraz objętość tej plasteliny po zmianie jej kształtu.

Doświadczenie 2.1

Badamy, czy ciała stałe zachowują objętość przy zmianie kształtu.

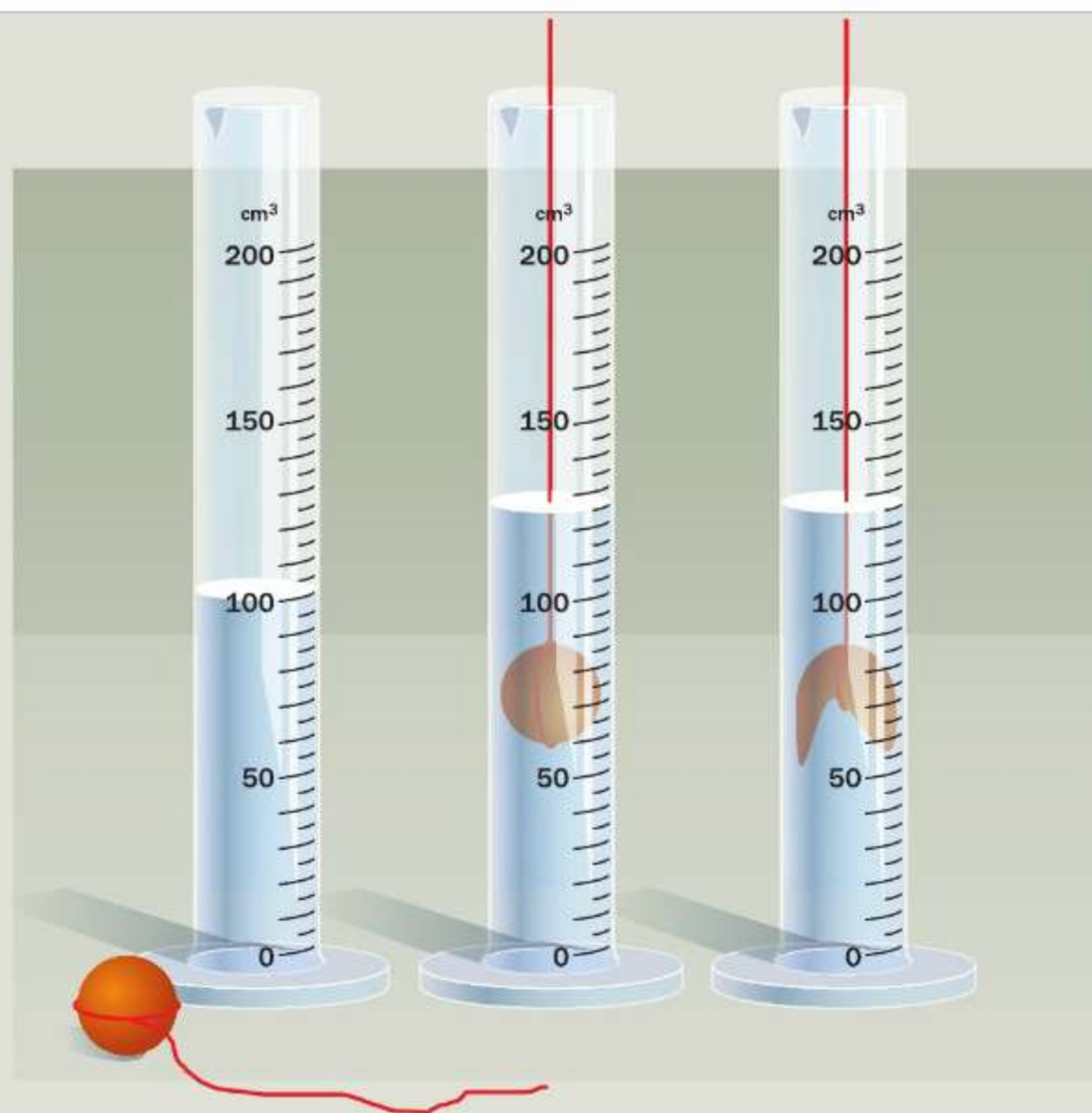
Potrzebne przedmioty i przyrządy: menzurka z wodą, plastelina, nitka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Do menzurki nalej wody i odczytaj na podziałce objętość tej wody.
- W menzurce zanurz kulkę plastelinową i odczytaj objętość wody i kulki.
- Wyjmij kulkę plastelinową z wody i zmień jej kształt, a następnie zanurz ją повторно w wodzie i odczytaj objętość wody i plasteliny.

Wynik: Objętość wody i kulki jest taka jak poprzednio.

Wniosek: Różnica między odczytami objętości wody z zanurzoną w niej plasteliną i samej wody to w każdym przypadku ta sama objętość zanurzonej w wodzie plasteliny.



Ciała stałe oprócz tego, że mają określony kształt i trudno zmienić ich objętość, mają pewne właściwości, które są przydatne w różnych praktycznych zastosowaniach. Gdy piszemy kredą po tablicy, wykorzystujemy **kruchość** kredy. Pod wpływem nacisku kreda

kruszy się i pozostawia ślad na tablicy. Kiedy siedzimy wygodnie w fotelu, wykorzystujemy **sprężystość** gąbki lub sprężyn znajdujących się w środku. Pod wpływem nacisku naszego ciała gąbka lub sprężyny zmieniają kształt (odkształcają się), a kiedy wstajemy z fotela, powracają do pierwotnej postaci. Kiedy lepimy ludziki z plasteliny, wykorzystujemy jej **plastyczność**. Pod wpływem nacisku naszych palców kształt plasteliny ulega trwałej zmianie.

Należy pamiętać o tym, że sprężystość, plastyczność czy kruchość nie są stałymi cechami danej substancji. I tak np. glina, z której garncarz wykonuje dzbanek, jest substancją plastyczną, ale po wypaleniu dzbanka w piecu staje się substancją kruchą. Stal w temperaturze pokojowej jest substancją sprężystą, ale przy dużym odkształceniu zachowuje się jak ciało plastyczne, np. stalowy pręt można zgiąć. Również w wysokiej temperaturze staje się ona substancją plastyczną i kowal może z niej wówczas wykuć różne przedmioty.

Ciecze przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują, ale mają określoną objętość. W naczyniach o różnych kształtach (fot.) znajduje się taka sama ilość zabarwionej wody.



Jakie właściwości ciał stałych wykorzystuje w swojej pracy przedstawiony na zdjęciu artysta?

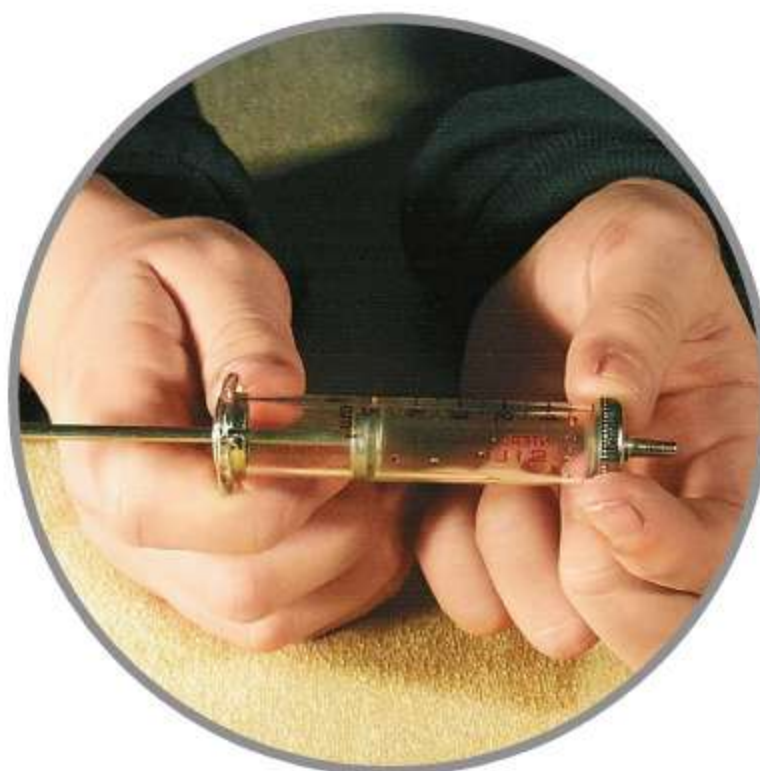




Ciecze są praktycznie **nieściśliwe** – bardzo trudno jest zmienić ich objętość. Żeby się o tym przekonać, wystarczy nabrać do strzykawki wody, a następnie – po zatkaniu wylotu strzykawki palcem – próbować zmniejszać objętość tej wody przez przesunięcie tłoka w stronę wylotu (fot.).

Gazy, podobnie jak ciecze, nie mają określonego własnego kształtu. Przyjmują kształt zbiornika (naczynia), w którym się znajdują, np. balonu, butli. Gazy nie mają określonej objętości, wypełniają całą objętość naczynia. Gdy w doświadczeniu zilustrowanym na fotografiach wodę zastąpimy powietrzem, objętość znajdującego się w strzykawce powietrza można znacznie zmniejszyć. Oznacza to, że gazy są **ściśliwe**.

Jeśli przestaniemy naciskać palcem na tłok, powietrze będzie dążyć do zwiększenia zajmowanej objętości. Podobnie będzie uciekać z przebitej dętki rowerowej. Oznacza to, że gazy **rozprężają się** lub że są **rozprężliwe**.



W przyrodzie występuje jeszcze jeden stan skupienia materii. Jest to **plazma**. Plazmą wypełnione jest np. wnętrze Słońca, gdzie temperatura osiąga 15,5 miliona stopni, gęstość materii jest około 160 razy większa od gęstości wody, a ciśnienie jest 300 miliardów razy większe niż ciśnienie atmosferyczne przy powierzchni Ziemi. Plazmę zalicza się do substancji w stanie lotnym.

Podsumowanie

1. W przyrodzie substancje mogą występować w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i lotnym.
2. Ciała stałe mają określony kształt. Zmiana kształtu ciała stałego nie powoduje zmiany jego objętości. Ciała stałe mogą być kruche, sprężyste lub plastyczne.
3. Ciecze mają określoną objętość, ale nie mają określonego kształtu – przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują. Są one praktycznie nieściśliwe – bardzo trudno jest zmienić ich objętość.
4. Gazy nie mają określonego własnego kształtu ani objętości, przyjmują kształt zbiornika (naczynia), w którym się znajdują, i wypełniają całą jego objętość. Są ściśliwe i rozprężliwe.

Zadania i doświadczenia

1. Wymień cechę substancji stałych – kruchość, sprężystość lub plastyczność – wykorzystywaną podczas:
 - rozbijania bloków skalnych w kamieniołomach na mniejsze kamienie,
 - napinania łuku,
 - rysowania rysunków ołówkiem na kartce papieru,
 - wytłaczania z blach elementów karoserii samochodowych,
 - wykonywania skoku z trampoliny.
2. Podaj właściwość gazów, którą wykorzystuje się podczas pompowania piłki, pontonu lub dętki rowerowej.
3. Wykorzystaj odpowiedź z zadania 2. i ustal, czy opony samochodowe napełnione cieczą spełniałyby swoje zadanie.

Doświadczenie 1.

Badamy właściwości stalowego drutu.

Potrzebne przedmioty: nowy, nieużywany, stalowy spinacz biurowy.

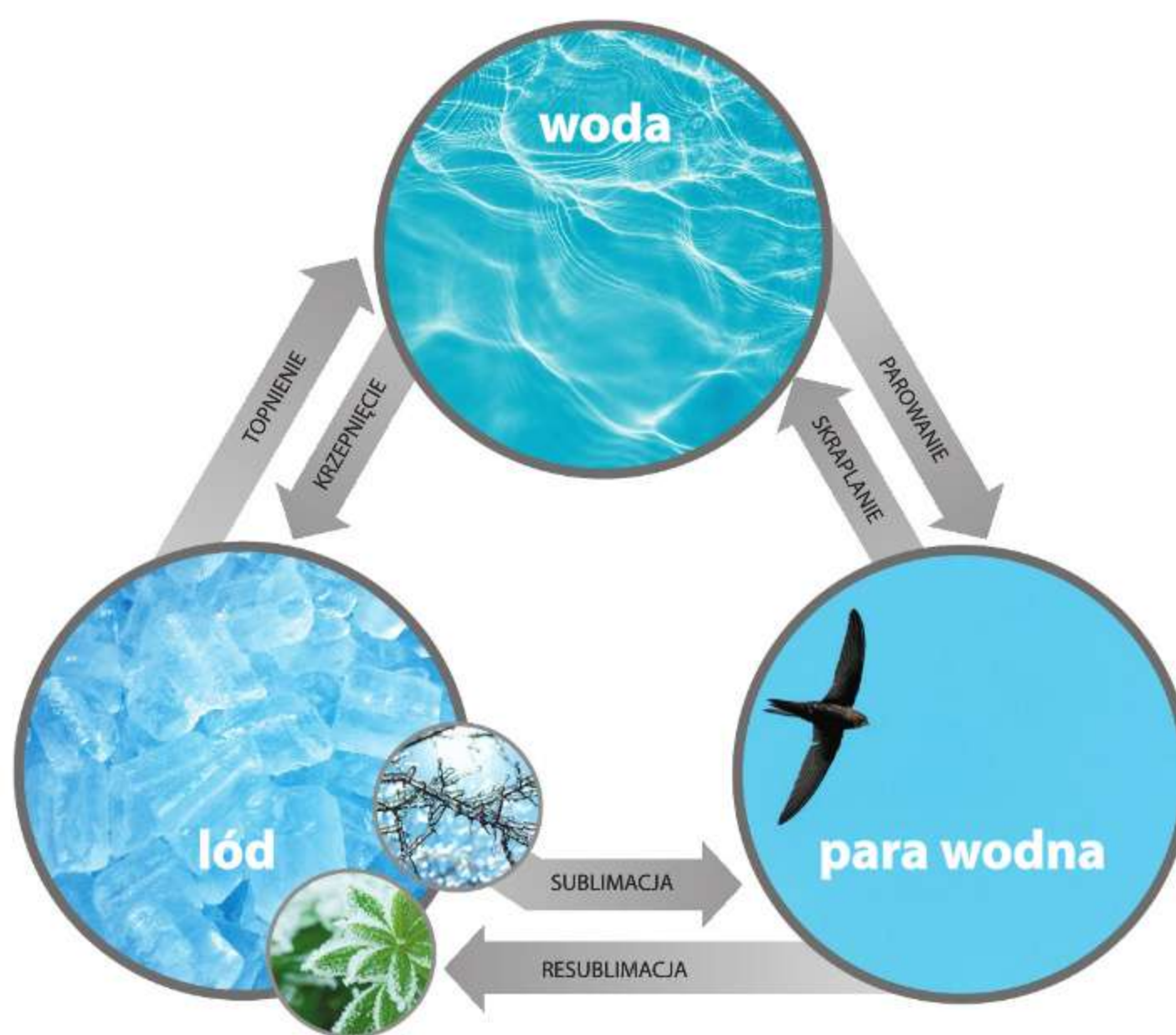
Kolejne czynności:

- Zepnij spinaczem kilka kartek, a następnie je uwolnij. Przyjrzyj się spinaczowi. Oceń, czy zmienił się jego kształt.
- Rozegnij spinacz, czyli zmień kształt drutu, z którego go wykonano.
- Uchwyć drut w połowie długości i wyginaj jedną połowę aż do złamania.
- Podaj nazwy właściwości, jakie wykazywał drut w kolejnych trzech fazach doświadczenia.

2.2 Zmiany stanów skupienia ciał

Z obserwacji wody w naszym codziennym życiu wiesz, że może ona zmieniać swój stan skupienia: może być lodem, cieczą lub gazem (parą wodną). Ta właściwość dotyczy także innych substancji.

Procesy fizyczne polegające na przechodzeniu z jednego stanu w drugi mają odpowiednie nazwy. Przedstawiamy je na poniższym schemacie.



W rozdziale 1.1 wspomnieliśmy, że podczas topnienia lodu temperatura mieszaniny wody z lodem się nie zmienia. Łatwo sprawdzić, że taką właściwość ma także większość innych substancji. Temperatura topnienia danej substancji jest równa temperaturze jej krzepnięcia. Wartości te dla kilku wybranych substancji są podane w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Temperatuty topnienia wybranych substancji

Nazwa substancji	Temperatura topnienia (°C)
alkohol metylowy	−98
rtęć	−39
lód (woda)	0
naftalen	80
ołów	327
złoto	1063
żelazo	1535
wolfram	3350



Spójrz na tabelę 2.1 i pomyśl, jaka temperatura może być w miejscu pracy przedstawionego na zdjęciu hutnika, jeśli wylewającą się z kadzi cieczą jest ciekłe żelazo.

Podczas topnienia i krzepnięcia substancje zmieniają swoją objętość. Aby to sprawdzić, wykonaj proste doświadczenie.

Doświadczenie 2.2

Badamy zmiany objętości podczas zmiany stanu skupienia ciała.

Potrzebne przedmioty: świeczka, przezroczysty kubek.

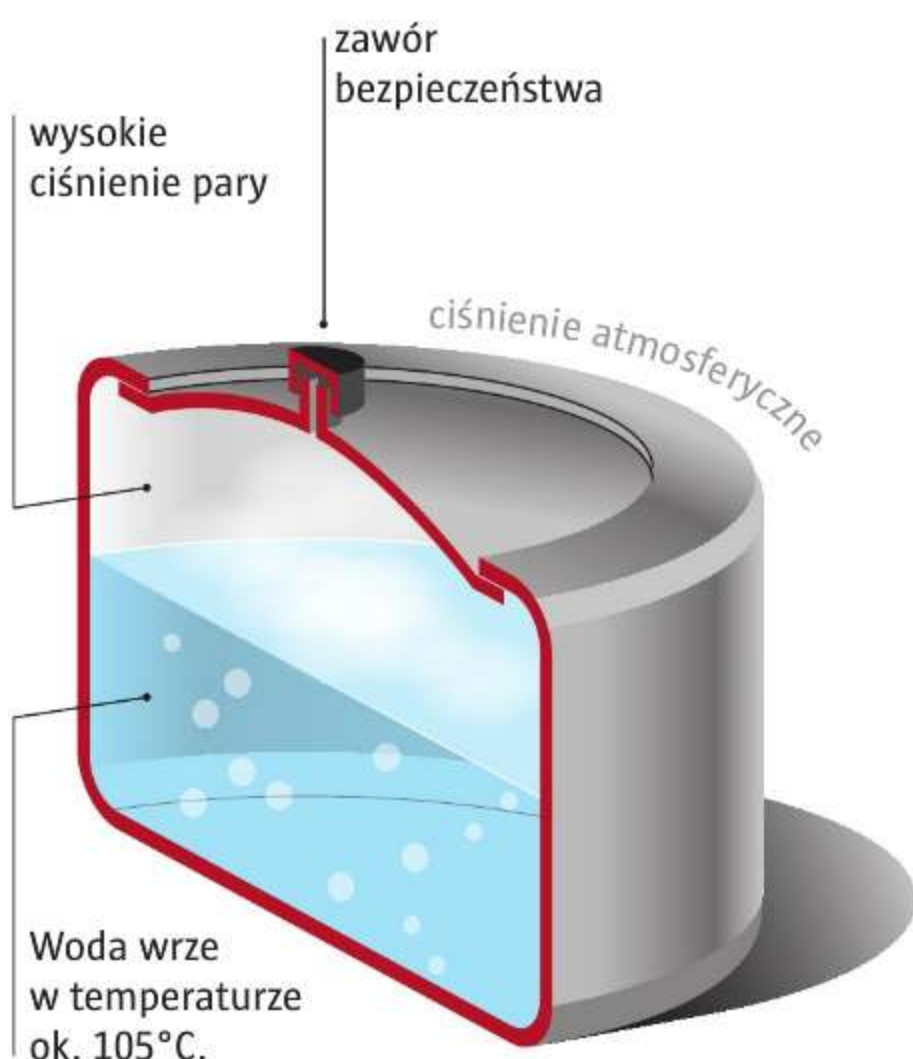
Kolejne czynności:

- Zapal świeczkę i wylej kroplę ciekłej stearyny na płaski talerz.
- Zaobserwuj, jak zmienia się objętość kropli po zakrzepnięciu.
- W zeszycie naszkicuj kształt kropli w stanie ciekłym i stałym.
- Do plastikowego kubka nalej wody i zaznacz pisakiem jej poziom.
- Włóż kubek do zamrażarki. Zaobserwuj, jaka jest objętość lodu w porównaniu z objętością wody.

Początkowo wypukła kropla stearyny po zakrzepnięciu stała się płaska. Objętość stearyny przy krzepnięciu zmalała, a objętość lodu jest większa od objętości wody wlanej do kubka. Doświadczenia z innymi substancjami wskazują, że woda stanowi wyjątek.

Znaczna większość substancji, podobnie jak stearyna, gdy krzepnie, zmniejsza swoją objętość, a zwiększa ją, gdy topnieje.

Przejście substancji ze stanu ciekłego w stan gazowy to **parowanie**. Rozwieszona na sznurkach bielizna i kałuża na ulicy po pewnym czasie wysychają, tym szybciej, im wyższa jest temperatura powietrza. Fakty te świadczą o tym, że woda paruje w każdej temperaturze, choć niejednakowo intensywnie – w wyższej temperaturze paruje szybciej. Cieczami bardzo szybko parującymi są np. alkohol, eter, benzyna.



Woda w stanie gazowym jest niewidoczna. Przyjrzyj się czajnikowi z wrzącą wodą. Tuż nad ujściem z dzióbka nie widać nic. Dopiero wyżej widać białą chmurę. Składa się ona z małych kropelek wody – w stanie ciekłym. Mgła i chmury również składają się z kropelek wody. W chłodne poranki na trawie i liściach pojawia się rosa. To zawarta w powietrzu i skraplająca się w niskiej temperaturze para wodna. Podobnie wyjęte z lodówki produkty natychmiast pokrywają się kropelkami wody.

Specjalnym przypadkiem parowania jest **wrzenie** (gotowanie się). Podczas wrzenia bąbelki pary powstają w całej objętości cieczy. Wrzenie każdej cieczy odbywa się w stałej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia.

Temperatura wrzenia wszystkich cieczy obniża się wraz z obniżaniem się zewnętrznego ciśnienia, pod którym odbywa się wrzenie.

Aby to sprawdzić, wystarczy umieścić w naczyniu próżniowym szklankę z gorącą wodą (fot.). Podczas intensywnego wypompowywania powietrza z naczynia woda zaczyna wrzeć, choć jej temperatura jest niższa od 100°C .

Na wysokości 4000 m n.p.m., gdzie ciśnienie powietrza jest prawie o połowę mniejsze niż na poziomie morza, woda wrze w temperaturze 86°C .

Jeśli chcemy podnieść temperaturę wrzenia wody, trzeba zwiększyć ciśnienie nad jej powierzchnią. Na przykład w tzw. kotłach wysokopiętnych, pod ciśnieniem pięć razy większym od ciśnienia atmosferycznego, temperatura wrzenia wody wynosi 150°C .

Z podobnym zjawiskiem podniesienia temperatury wrzenia wody mamy również do czynienia w szybkowarach (rys.). W wodzie, która wrze w temperaturze wyższej niż 100°C , potrawy gotują się szybciej. Każdy szybkowar zaopatrzony jest w zawór bezpieczeństwa, przez który uchodzi nadmiar pary, jeżeli jej ciśnienie zbliży się do górnej granicy wartości ciśnienia bezpiecznego. Ciśnienie większe od ciśnienia bezpiecznego może być przyczyną groźnego wypadku – duża siła działająca na ścianki naczynia może wywołać eksplozję. W tabeli 2.2 podano temperatury wrzenia kilku wybranych cieczy pod ciśnieniem atmosferycznym zwanym ciśnieniem normalnym, równym 1013 hPa.

Tabela 2.2. Temperatury wrzenia wybranych cieczy

Nazwa substancji	Temperatura wrzenia ($^{\circ}\text{C}$)
alkohol etylowy	78
azot	-196
eter	35
woda	100
wodór	-253
rtęć	357

Możliwe jest również bezpośrednie przejście substancji ze stanu stałego w stan gazowy, z pominięciem stanu ciekłego. Zjawisko to nosi nazwę **sublimacji**. O tym, że zachodzi sublimacja, świadczy rozchodzenie się zapachów ciał stałych, chociażby kostek zapachowych używanych w samochodach i urządzeniach sanitarnych. Podobnie dzięki zjawisku sublimacji bielizna wysycha na mrozie. Niewielka część wody zawartej w bieliźnie paruje, jej większość zamraża, a powstały lód sublimuje.



Zjawisko odwrotne do sublimacji nazywa się **resublimacją**. Pojawiający się w zimie na wychłodzonych przedmiotach (np. szybach samochodowych lub roślinach) szron (fot.) jest efektem resublimacji zawartej w powietrzu pary wodnej.

Powyżej temperatury 5000°C niemal wszystkie substancje istnieją już tylko w stanie lotnym, czyli w stanie gazowym.

Podsumowanie

1. Topnienie i krzepnięcie substancji zachodzi w tej samej, stałej temperaturze, charakterystycznej dla tej substancji.
2. Podczas topnienia i krzepnięcia zmienia się objętość ciała. Krzepnąca woda zwiększa swoją objętość; prawie wszystkie inne substancje podczas krzepnięcia zmniejszają swoją objętość.
3. Ciecze parują w każdej temperaturze. Im wyższa temperatura, tym szybsze parowanie.
4. Skraplanie pary wodnej zawartej w powietrzu obserwujemy na zimnych przedmiotach przeniesionych do ciepłego pomieszczenia.
5. Wrzenie polega na gwałtownym parowaniu cieczy w całej objętości. Zachodzi ono w ściśle określonej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia nad cieczą.
6. Przy wyższym ciśnieniu zewnętrznym temperatura wrzenia jest wyższa.
7. W temperaturze wyższej od temperatury wrzenia substancja może istnieć tylko w stanie lotnym.
8. Sublimacja to bezpośrednie przechodzenie ciała ze stanu stałego w lotny (parowanie ciała stałego). Resublimacja to zjawisko odwrotne do sublimacji.

Zadania i doświadczenia

1. Odczytaj z tabel 2.1 i 2.2, jaki jest stan skupienia:
 - ołowiu w temperaturze 400°C ,
 - rtęci w temperaturze -20°C i 250°C ,
 - alkoholu metylowego w temperaturze -90°C .
2. Odszukaj informację na temat żywności liofilizowanej. Jaka zmiana stanu skupienia zachodzi podczas liofilizacji?
3. Ustal, która lub które z wymienionych wielkości fizycznych pozostają stałe podczas zmiany stanu skupienia ciała: objętość, temperatura, masa.
4. Wymyśl, wykonaj i opisz doświadczenie, które wskazywałoby, że w powietrzu jest para wodna. Wymień i zapisz:
 - cel doświadczenia,
 - potrzebne przedmioty,
 - kolejne czynności i obserwacje,
 - wniosek.
5. Ustal zakres temperatur, które można mierzyć termometrem rtęciowym, tzn. zakres temperatur, w których rtęć jest w stanie ciekłym.
6. Ustal, którą ciecz należy zastosować w termometrach dla polarników.
7. Opisz przemiany stanów skupienia ciał przedstawione na schemacie na s. 52.
8. Opisz, co należy zrobić, aby otrzymać wodę w stanie ciekłym o temperaturze wyższej niż 100°C .

2.3 Rozszerzalność temperaturowa ciał

Zwiększanie się objętości ciał wraz ze wzrostem ich temperatury to zjawisko powszechnie obserwowane w przyrodzie. Zasada działania termoskopu opisanego w rozdziale 1.1 opiera się na zjawisku rozszerzalności cieczy wypełniającej rurkę termoskopu.

Rozszerzalność temperaturową metalu można zademonstrować za pomocą prostego urządzenia składającego się z kulki wiszącej na łańcuszku i metalowego pierścienia.



W temperaturze pokojowej kulka swobodnie przechodziła przez pierścień. Po ogrzaniu kulki próba przesunięcia jej przez pierścień nie powiodła się, ponieważ ogrzana kulka zwiększyła swoją objętość.

Także ogrzewane gazy zwiększają swoją objętość. Jeśli wylot dużej pustej butelki po wodzie mineralnej zanurzymy w naczyniu z wodą i wzdłuż butelki będziemy przesuwali tam i z powrotem włączoną suszarkę do włosów, ogrzewając powietrze zawarte w butelce, zaobserwujemy pęcherzyki powietrza wydobywające się z butelki. Zwiększające swoją objętość powietrze przestanie mieścić się w butelce.

Przedmioty wykonane z jednych substancji bardziej rozszerzają się wraz ze wzrostem temperatury, a wykonane z innych – mniej. Zazwyczaj zmiany rozmiarów ciał są jednak niewielkie. Diagram 1. przedstawia, o ile wydłużają się pręty o długości $l_0 = 1$ m, wykonane z różnych substancji, jeśli zostaną ogrzane o 100°C .



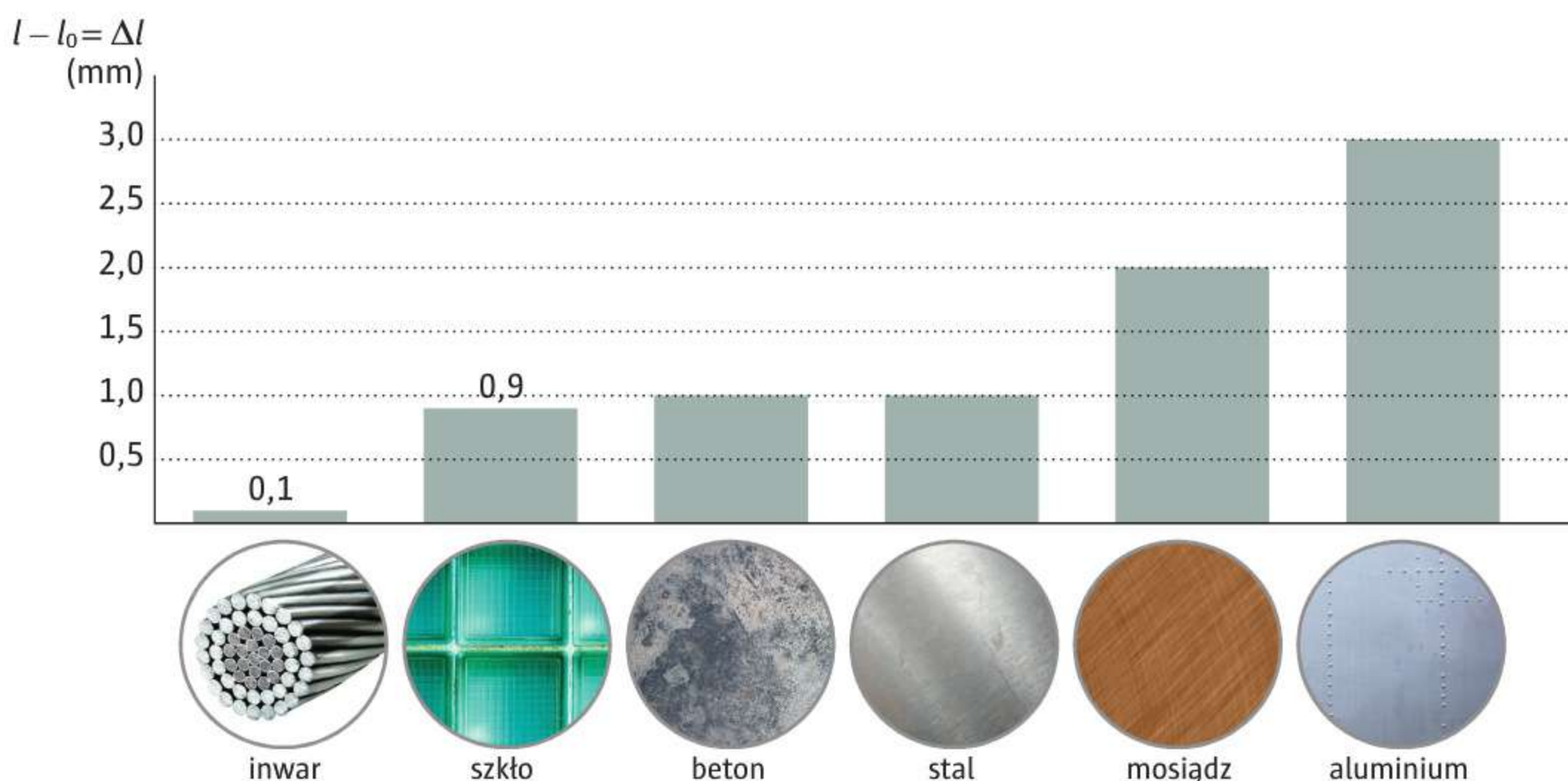


Diagram 1.

Jak już wiesz, grecka litera Δ (delta) oznacza różnicę między wartością końcową i początkową, czyli przyrost długości pręta.

przyrost długości = długość końcowa – długość początkowa

$$\Delta l = l - l_0, \quad \text{gdzie} \quad l_0 = 1 \text{ m}$$

Na przykład przy ogrzaniu o 100°C drutu stalowego o długości 1 m wydłuży się on o $\Delta l = 1 \text{ mm}$, a w przypadku drutu mosiężnego – o $\Delta l = 2 \text{ mm}$. **Przyrost długości pręta Δl jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt :**

$$\Delta l \sim \Delta t$$

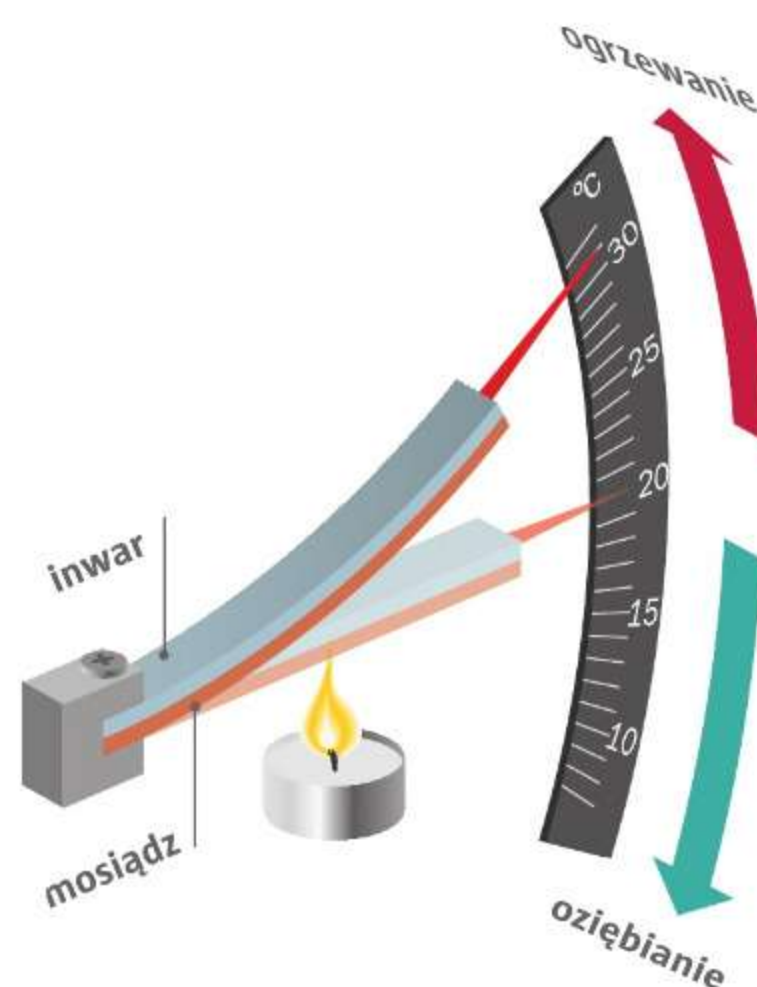
Oznacza to, że jeśli aluminiowy pręt o długości 1 m przy ogrzaniu o $\Delta t = 100^\circ\text{C}$ wydłuży się o $\Delta l = 3 \text{ mm}$, to przy ogrzaniu o $\Delta t = 200^\circ\text{C}$ wydłuży się o $\Delta l = 6 \text{ mm}$, a przy ogrzaniu o $\Delta t = 300^\circ\text{C}$ wydłuży się o $\Delta l = 9 \text{ mm}$ itd.

Zjawisko rozszerzalności ciał stałych ma szerokie zastosowanie. W różnego rodzaju urządzeniach wykorzystuje się taśmę bimetalową. Jest ona wykonana z połączonych



ze sobą pasków z dwóch różnych metali, najczęściej inwaru i mosiądzu (inwar jest stopem żelaza i niklu). Podczas ogrzewania takiej taśmy część wykonana z mosiądzu rozszerza się bardziej niż część wykonana z inwaru (rys.). Skutkiem tego jest wygięcie taśmy bimetalowej.

Taką taśmę wykorzystuje się m.in. w piecykach gazowych (powoduje ona zamknięcie dopływu gazu w przypadku zgaśnięcia tzw. „świeczki”) oraz w żelazku lub piecyku elektrycznym (wyłącza urządzenie po osiągnięciu odpowiedniej temperatury). Wraz ze wzrostem temperatury rozszerzają się również stalowe konstrukcje mostów. Zastanów się, jaką rolę odgrywają wówczas przedstawione na zdjęciach stalowe „grzebienie” z naprzemiennymi zębami oraz stalowe rolki, na których oparte są te konstrukcje. A dlaczego rury ciepłownicze są powyginane?



W przypadku prętów, szyn, rur jeden wymiar znacznie przewyższa pozostałe wymiary, dlatego istotny jest przyrost długości. Jednak ciało wraz ze wzrostem temperatury rozszerza się we wszystkich kierunkach i gdy wszystkie jego wymiary zwiększają się w porównywalny sposób, to mówimy wtedy o rozszerzalności objętościowej ciała. Także wszystkie ciecze wykazują rozszerzalność objętościową.

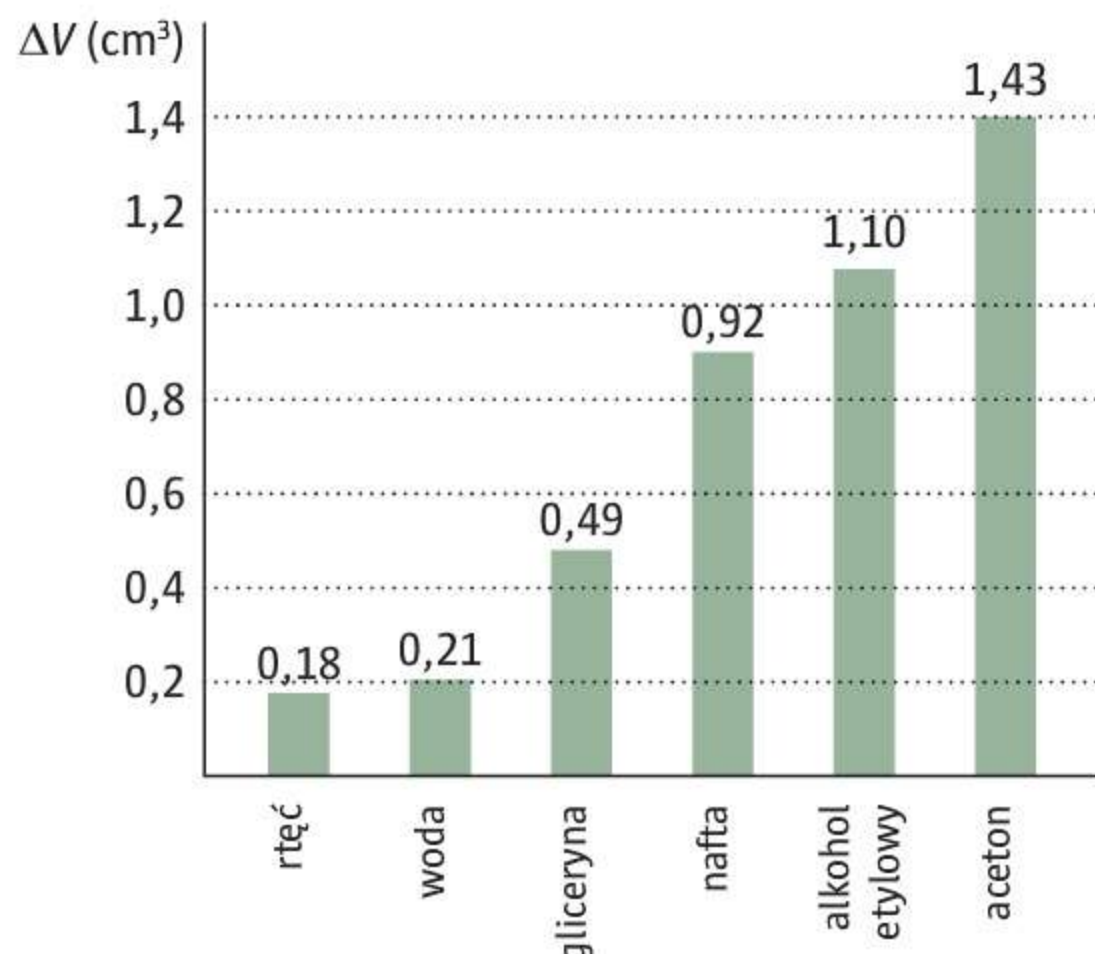
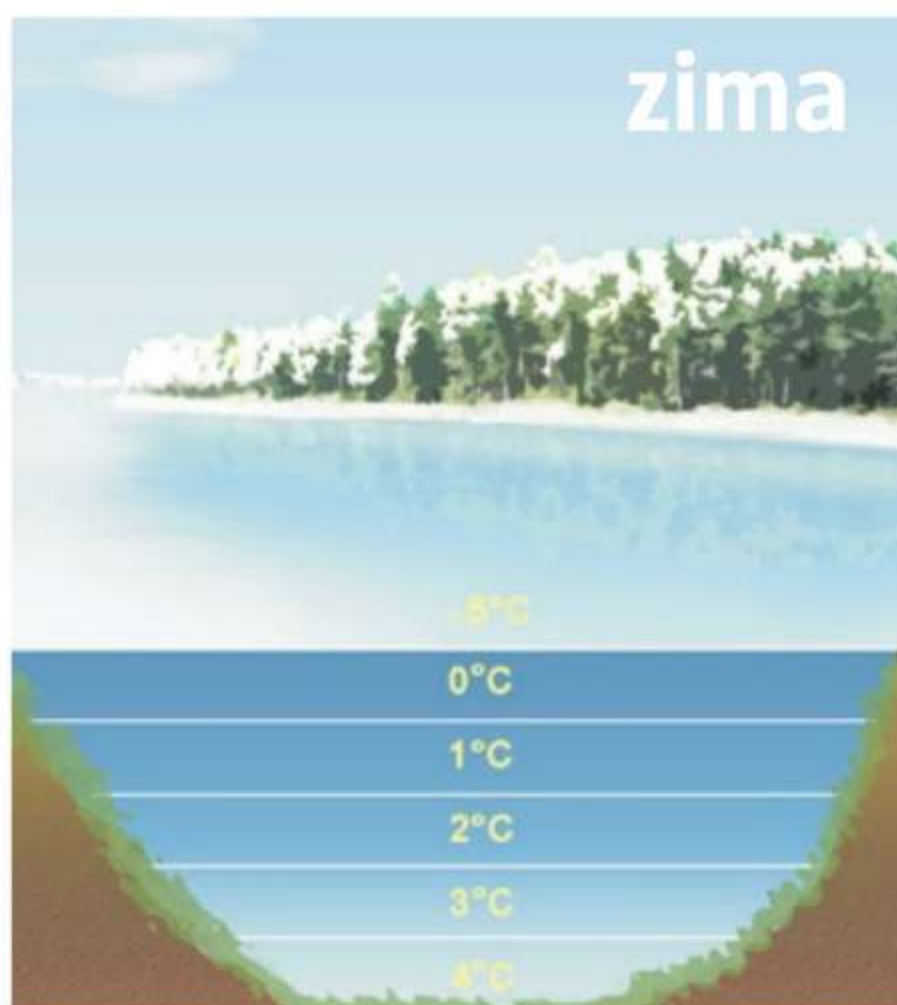
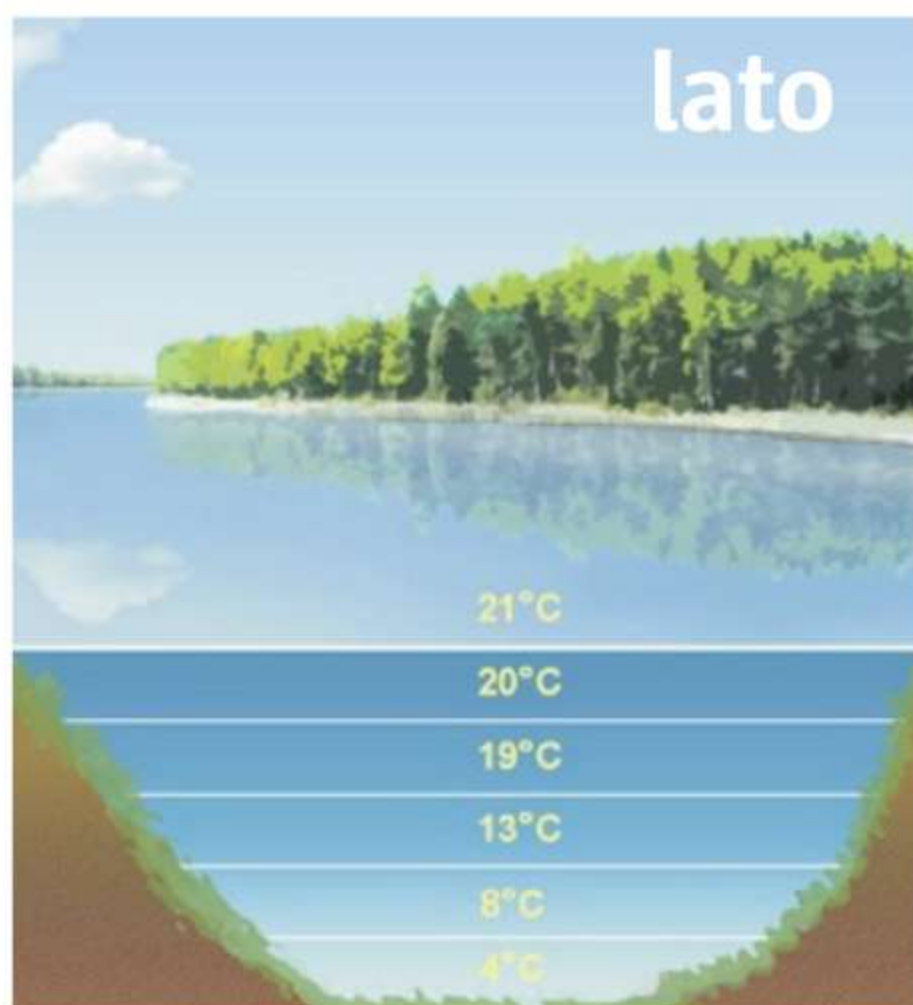


Diagram 2.

Przyrost objętości ΔV jest różny dla różnych cieczy. Diagram 2. ilustruje, o ile zwiększa swoją objętość 1 dm³ cieczy przy wzroście temperatury o 1°C (od 20°C do 21°C).

Przyrost objętości ΔV cieczy jest wprost proporcjonalny do przyrostu jej temperatury Δt . Jak wykazaliśmy w doświadczeniu z butelką ogrzewaną za pomocą suszarki, także gaz zwiększa swoją objętość, gdy jego temperatura wzrasta.

Woda zachowuje się w niezwykle sposób. W przeciwieństwie do innych cieczy kurczy się, gdy jest ogrzewana od 0°C do 4°C. Natomiast ogrzewana od 4°C do wyższej temperatury rozszerza się tak jak inne ciecze. Oznacza to, że w temperaturze 4°C woda ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość.



Z tego właśnie powodu woda o tej temperaturze opada na dno jeziora lub innego zbiornika. Dzięki temu, jeżeli nawet powierzchnia jeziora pokryje się lodem, to przy jego dnie woda ma wciąż 4°C, co pozwala rybom przeżyć ciężką zimę (aby nie zabrakło im tlenu, w lodzie robi się przeręble).

Zjawisko rozszerzalności temperaturowej wpływa na dokładność przyrządów. Wynik pomiaru długości działki budowlanej, wykonanego za pomocą metalowej taśmy mierzniczej przy dwudziestostopniowym mrozie, będzie się różnił od wyniku uzyskanego w upalny dzień. W lecie pomiar określonego odcinka gruntu da wynik nieco mniejszy niż w zimie.

Podsumowanie

1. Przy wzroście temperatury prawie wszystkie ciała (z wyjątkiem wody ogrzewanej od 0°C do 4°C) zwiększają swoją objętość, a przy obniżaniu temperatury – zmniejszają swoją objętość.
2. Woda w temperaturze od 0°C do 4°C kurczy się podczas ogrzewania. Dopiero powyżej 4°C zaczyna się rozszerzać wraz ze wzrostem temperatury.
3. Wykonane z różnych substancji ciała o jednakowych objętościach, ogrzane o tę samą liczbę stopni, rozszerzają się niejednakowo.
4. Przyrost objętości ΔV ciała o określonej początkowej objętości jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt tego ciała:

$$\Delta V \sim \Delta t$$

Także przyrost długości prętów i drutów jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury:

$$\Delta l \sim \Delta t$$

Zadania i doświadczenia

1. Wyjaśnij, dlaczego w celu wzmocnienia betonu zbroi się go prętami stalowymi, a nie prętami z innego metalu. Skorzystaj z diagramu 1. na s. 58.
2. Ustal, czy linijkę do bardzo dokładnego pomiaru długości lepiej wykonać ze stali czy z aluminium. Skorzystaj z diagramu 1. na s. 58.
3. Ustal, która lub które z wymienionych wielkości fizycznych – masa, objętość, ciężar – zmienia się wraz ze zmianą temperatury ciała.
- *4. Podaj długość metrowego pręta mosiężnego po ogrzaniu go o 150°C.
- *5. Diagram 2. pokazuje przyrost objętości (ΔV) 1 dm³ (czyli 1 litra) cieczy przy wzroście temperatury o 1°C. Skorzystaj z diagramu i odpowiedz na poniższe pytania.
 - Jaką objętość zajmie 1 litr nafty, gdy ją ogrzejemy o 10°C?
 - Jaką objętość zajmie 5 litrów acetonu ogrzanego o 1°C?
 - Jaką objętość zajmą 2 litry gliceryny ogrzanej o 5°C?

Doświadczenie 1.

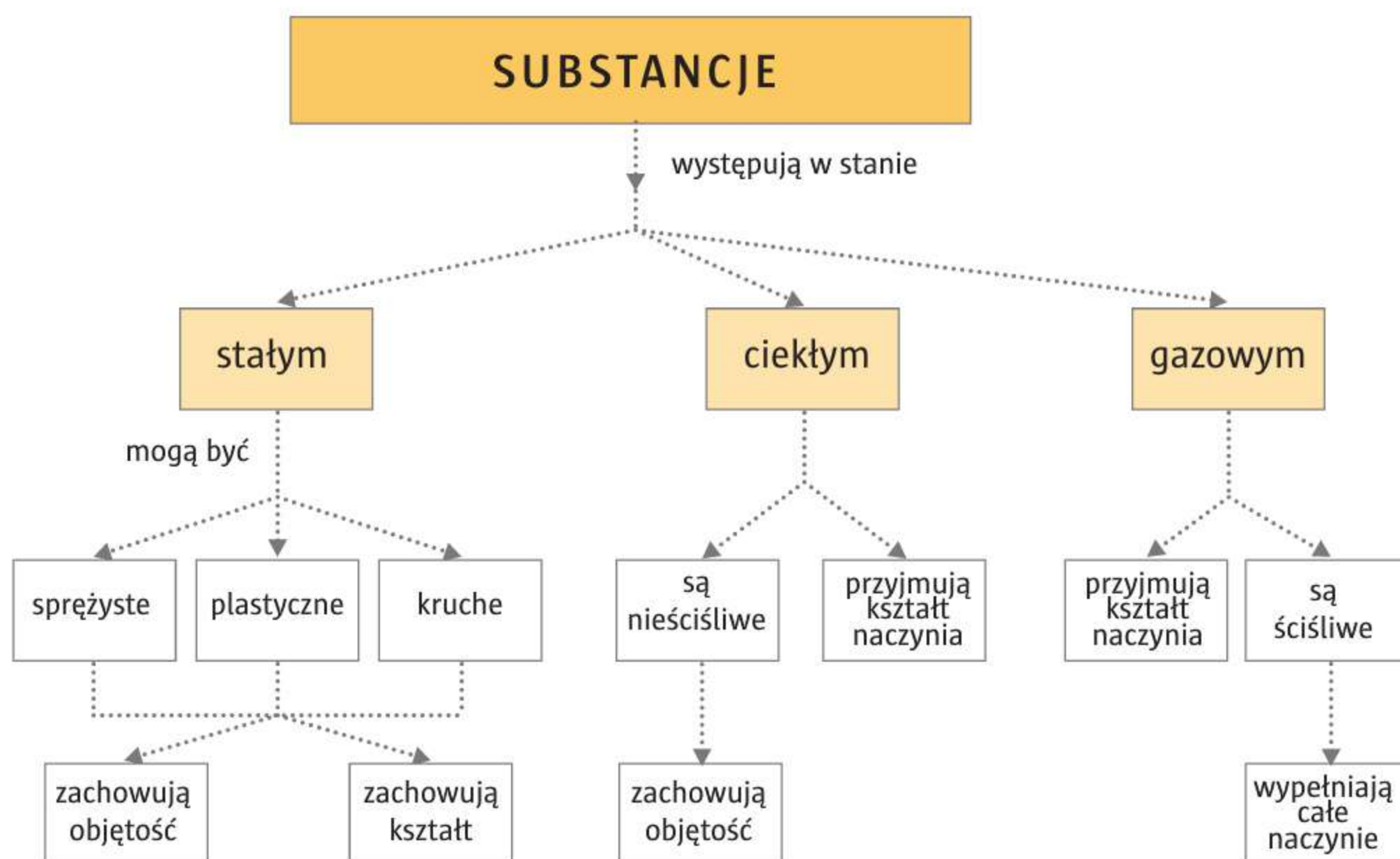
Badamy rozszerzalność powietrza.

Potrzebne przedmioty: plastikowa butelka, woda.

Kolejne czynności:

- Do butelki nalej trochę bardzo ciepłej wody.
- Potrząśnij butelką, by woda ogrzała powietrze, wylej wodę i zakręć wylot butelki zakrętką.
- Podstaw butelkę pod strumień zimnej wody z kranu.
- Pisemnie wyjaśnij zachowanie się butelki.

Podsumowanie



■ Zmiany stanu skupienia ciał

Topnienie i krzepnięcie substancji zachodzi w tej samej, stałej temperaturze, charakterystycznej dla tej substancji.

Podczas topnienia i krzepnięcia zmienia się objętość ciała. Krzepnąca woda zwiększa swoją objętość; prawie wszystkie inne substancje zmniejszają swoją objętość podczas krzepnięcia.

Ciecze parują w każdej temperaturze. Im wyższa temperatura, tym szybsze parowanie.

Wrzenie polega na gwałtownym parowaniu cieczy w całej objętości. Zachodzi ono w ściśle określonej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia nad cieczą.

Przy wyższym ciśnieniu zewnętrznym temperatura wrzenia jest wyższa.

■ Wraz ze wzrostem temperatury ciał stałych i cieczy wzrasta ich objętość. Przyrost objętości ΔV jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt :

$$\Delta V \sim \Delta t$$

Oznacza to, że jeśli np. 1 dm³ gliceryny przy ogrzaniu o 1°C zwiększa swoją objętość o 0,49 cm³, to przy ogrzaniu o 2°C przyrost objętości wynosi $2 \cdot 0,49 \text{ cm}^3 = 0,98 \text{ cm}^3$, a przy ogrzaniu o 3°C przyrost objętości wynosi $3 \cdot 0,49 \text{ cm}^3 = 1,47 \text{ cm}^3$ itd.

- Jeśli interesuje nas wpływ zmian temperatury na jeden wymiar ciała, np. dla prętów, drutów, rozważa się rozszerzalność liniową tego ciała.

Przyrost długości Δl takiego ciała jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt :

$$\Delta l \sim \Delta t$$

Oznacza to, że jeśli np. 1 m stalowego drutu przy ogrzaniu o 100°C wydłuży się o 1 mm, to przy ogrzaniu o 200°C wydłuży się o 2 mm, przy ogrzaniu o 300°C – o 3 mm itd.

-
- W przeciwieństwie do innych cieczy woda ogrzewana od 0°C do 4°C się kurczy. Dopiero powyżej tej temperatury rozszerza się tak jak inne ciecze. W temperaturze 4°C woda ma największą gęstość. W zbiornikach wodnych opada na dno. Dzięki temu nawet gdy powierzchnia zbiornika pokryje się lodem, woda przy dnie ma temperaturę 4°C , co pozwala rybom i roślinom wodnym przetrwać zimę.

Sprawdź się

1. Najistotniejszą cechą dobrego materaca jest jego
A. ściśliwość. B. sprężystość. C. plastyczność. D. kruchość.
2. Użytkownik powinien postępować ostrożnie z porcelanowym talerzem ze względu na jego
A. plastyczność. B. kształt.
C. kruchość. D. twardość.
3. Po przelaniu cieczy ze szklanki do flakonu
A. nie zmieni się jej objętość, ale zmieni się kształt.
B. objętość cieczy wzrośnie, a kształt się zmieni.
C. objętość cieczy zmaleje, a kształt się zmieni.
D. nie zmieniają się ani objętość, ani kształt cieczy.
4. Której z wymienionych niżej właściwości gazów nie mają ciecze?
A. Łatwość zmiany kształtu.
B. Wywieranie nacisku na dno pojemnika, w którym się znajdują.
C. Dostosowywanie się kształtów do zbiornika.
D. Samorzutne wypełnianie całej objętości zbiornika.
5. Czy para wodna jest widoczna?
A. Tak, widzimy ją w postaci mgły i chmur.
B. Tak, widzimy ją na wewnętrznej powierzchni szklanki, gdy nalejemy do niej gorącej wody.
C. Tak, wydobywa się z dzióbka czajnika, gdy gotujemy w nim wodę.
D. Nie, para wodna jest bezbarwnym gazem.
6. W szybkowarach potrawy gotują się szybciej, ponieważ
A. szybkowary są wykonane ze specjalnych materiałów, które rozgrzewają się do wyższych temperatur niż zwykłe garnki.
B. pod przykrywką szybkowara panuje podwyższone ciśnienie.
C. potrawy nie mają swobody parowania.
D. w szybkowarach potrawy są szczelnie zamknięte.
7. Wyjęty z zamrażarki kartonik z lodami
A. pokrywa się parą wodną. B. pokrywa się kropelkami wody.
C. pokrywa się stopionymi lodami. D. pozostaje suchy.
8. Czy metalowa taśma miernicza wycechowana w temperaturze 20°C będzie dobrze mierzyć w temperaturze -20°C ?
A. Tak.
B. Nie, będzie wskazywać wartość za małą.
C. Nie, będzie wskazywać wartość za dużą.
D. Nie, ale nie można powiedzieć, czy będzie wskazywać wartość za małą czy za dużą.

9. Rury ciepłownicze mają specjalnie wykonane wygięcia. Wykonuje się je po to, by
- A. ładniej wyglądały.
 - B. można je było przeprowadzić między zabudowaniami.
 - C. przy zmianach temperatury mogły się bezawaryjnie rozszerzać i kurczyć.
 - D. łatwiej przepływała przez nie gorąca woda.
10. Zimą pod zamrożoną powierzchnią jeziora
- A. temperatura wody jest taka sama jak nad powierzchnią lodu.
 - B. temperatura wody wynosi 4°C .
 - C. temperatura wody tuż pod powierzchnią wynosi 4°C , a przy dnie około 0°C .
 - D. temperatura wody tuż pod powierzchnią wynosi 0°C , a przy dnie około 4°C .
11. Szklany pręt o długości $l = 1\text{ m}$ przy ogrzaniu o 100°C wydłuża się o $\Delta l = 0,9\text{ mm}$. Przy ogrzaniu o 150°C pręt wydłuży się
- A. o $0,45\text{ mm}$.
 - B. o $0,9\text{ mm}$.
 - C. o $1,35\text{ mm}$.
 - D. o $1,8\text{ mm}$.
- *12. Miedziany pręt o długości 1 m przy ogrzewaniu o 100°C wydłuża się o 2 mm . Przyrost długości Δl jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt , co można zapisać następująco:

$$\Delta l = \blacksquare \Delta t$$

W ramce należy umieścić współczynnik proporcjonalności równy:

- A. $0,02\text{ mm}$
- B. $0,2 \frac{\text{mm}}{^{\circ}\text{C}}$
- C. $2 \frac{\text{mm}}{^{\circ}\text{C}}$
- D. $0,02 \frac{\text{mm}}{^{\circ}\text{C}}$

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Do menzurki z wodą wrzucono połowę surowej marchewki tak, by była całkowicie zanurzona, i na skali odczytano poziom wody. Następnie marchewkę wyjęto, pokrojono na małe kawałki i powtórnie wrzucono do menzurki.

- a) Ustal, czy poziom wody po wrzuceniu rozdrobnionej marchewki wzrośnie o tyle samo co poprzednio. A może o mniej lub więcej?
- b) Uzasadnij odpowiedź.

Zadanie 2.

Pręt aluminiowy o długości 1 m przy ogrzaniu o $\Delta t = 100^\circ\text{C}$ wydłuża się o 3 mm.

- a) Podaj przyrost długości tego pręta po ogrzaniu go o 200°C .
- b) Zależność przyrostu długości Δl pręta od przyrostu jego temperatury Δt za pomocą symboli zapisujemy następująco:

$$\Delta l \sim \Delta t$$

Wyraż tę zależność słowami.

- c) Oblicz długość metrowego pręta aluminiowego po ogrzaniu go o 50°C .

Zadanie 3.

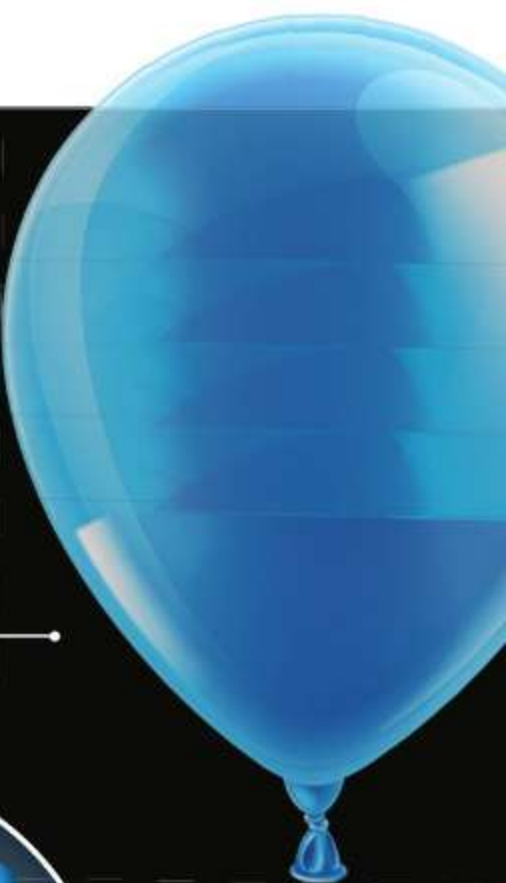
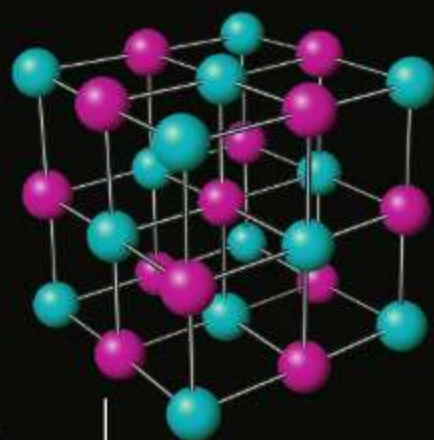
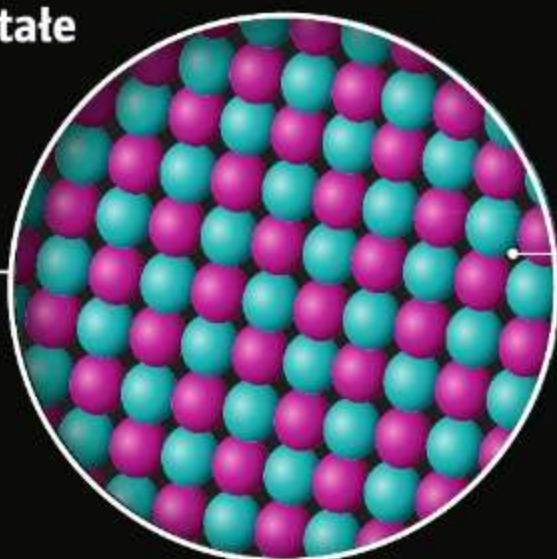
Po kąpieli w łazience okazało się, że aby przejrzeć się w lustrze, musisz je przetrzeć ręcznikiem. Odpowiedz na pytania.

- a) Jakie zjawisko spowodowało, że nie można było się przejrzeć w lustrze?
- b) Jakie mogły być przyczyny wystąpienia tego zjawiska?

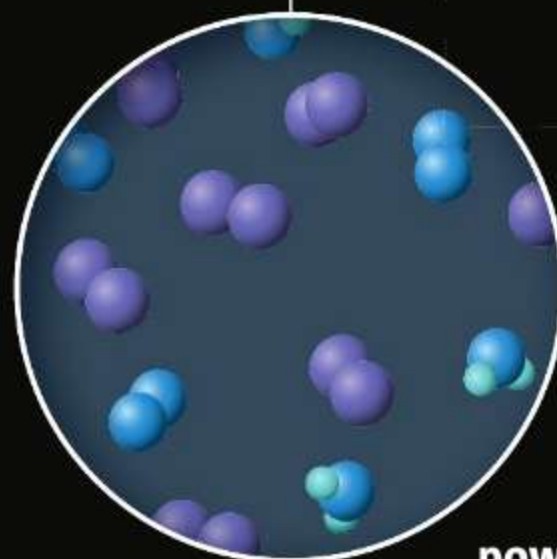
3

Cząsteczkowa budowa ciał

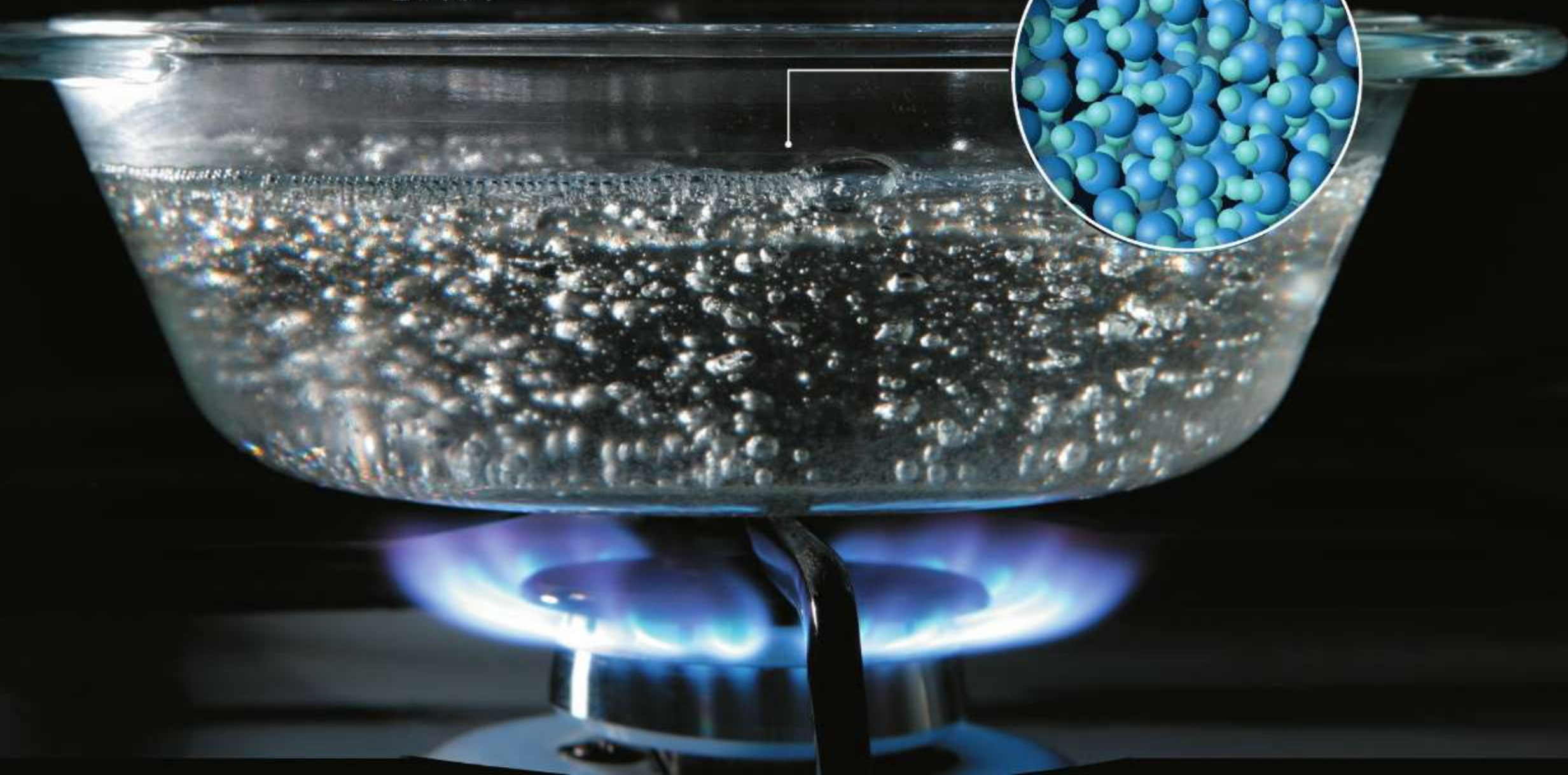
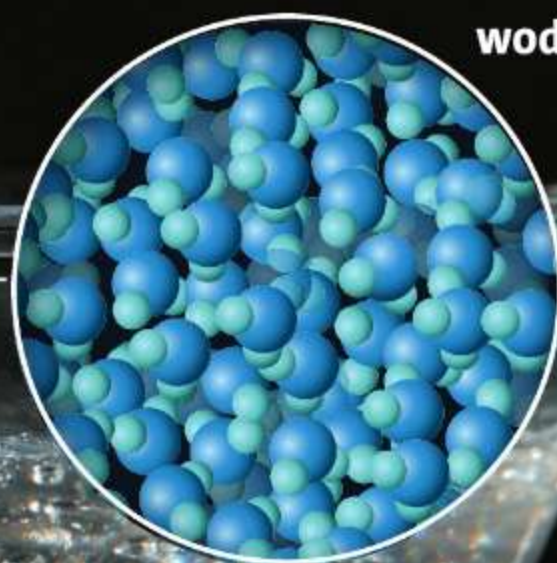
sól kuchenna –
ciało stałe



powietrze – gaz



woda – ciecz



3.1

Cząsteczkowa budowa ciał

Kiedy fizycy odkrywają i opiszą jakieś zjawisko, czyli potrafią odpowiedzieć na pytanie „Jak to zjawisko przebiega?”, natychmiast stawiają sobie następne: „Ale dlaczego właśnie tak?”. Aby na nie odpowiedzieć, wysuwają różne przypuszczenia, które w nauce nazywa się **hipotezami**. W poprzednim rozdziale poznaliśmy różne właściwości ciał stałych, cieczy i gazów. Już w starożytności wysunięto hipotezę, że właściwości ciał stałych, cieczy i gazów wynikają z ich ziarnistej (w fizyce mówimy: cząsteczkowej) budowy³. W 1827 roku angielski botanik Robert Brown (czytaj: braun) obserwował pod mikroskopem pływające w wodzie pyłki kwiatowe i zauważył ich nieustanny chaotyczny ruch. Początkowo sądził, że pyłki są żywe. Dalsze obserwacje doprowadziły do wniosku, że pyłki są potrącane przez wielokrotnie mniejsze, poruszające się chaotycznie cząsteczki wody. Dokładne wyjaśnienie ruchów Browna podali, niezależnie od siebie, Albert Einstein (1879–1955) i polski fizyk Marian Smoluchowski (1872–1917).

Obecnie, gdy wykonujemy doświadczenie Browna, zwykle obserwujemy pod mikroskopem grudki tłuszczu w kropli rozcieńczonego mleka (1 łyżeczka mleka na 15 łyżeczek wody). Ruchy Browna stanowią doświadczalne potwierdzenie **cząsteczkowej teorii budowy materii**.

Wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek pozostających w ciągłym ruchu.

Wykonajmy kilka doświadczeń, które przekonają nas o prawdziwości tej hipotezy.



Marian Smoluchowski to wybitny polski fizyk. Był profesorem Uniwersytetu Lwowskiego i Uniwersytetu Jagiellońskiego.

³ Chemicy używają nazwy „drobinowa budowa ciał”.

Doświadczenie 3.1

Sprawdzamy hipotezę o cząsteczkowej budowie ciał.

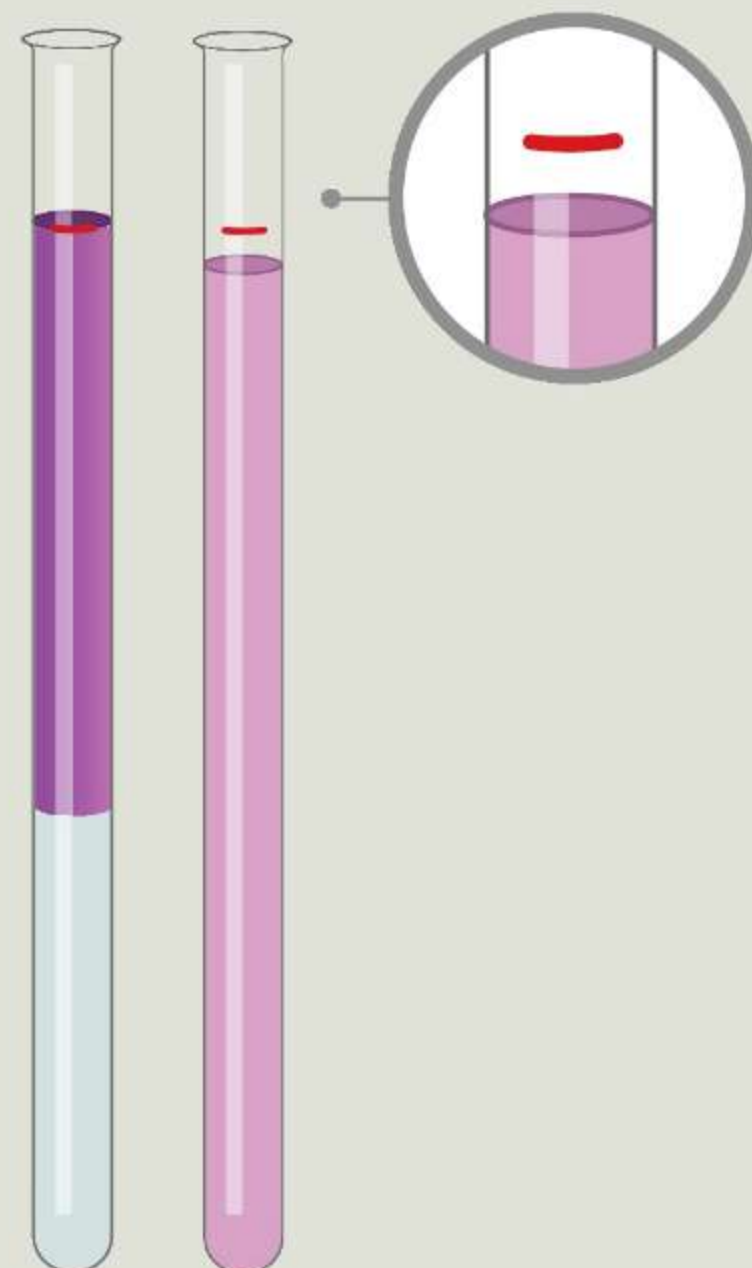
Potrzebne przedmioty: długa, wąska probówka lub plastikowa rurka zasklepiąca na jednym końcu, denaturat, woda.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do probówki wlewamy wodę (około połowy pojemności naczynia).
- Powoli dolewamy denaturat tak, by ciecze się nie mieszały.
- Zaznaczamy pisakiem górny poziom cieczy i zatykamy probówkę palcem.
- Obracamy probówkę i mieszamy obie ciecze. Obserwujemy poziom mieszaniny wody i denaturatu.

Wynik: Wymieszanie spowodowało obniżenie się poziomu cieczy.

Wniosek: Przypuszczamy, że woda i denaturat mają budowę ziarnistą. Podczas ich mieszania puste miejsca między cząsteczkami jednej cieczy zostały wypełnione przez mniejsze cząsteczki drugiej cieczy.



W celu potwierdzenia tej hipotezy wykonajmy tzw. doświadczenie modelowe, w którym modelem cząsteczek wody będą ziarna kaszy, a modelem cząsteczek denaturatu – ziarna grochu. Do doświadczenia można także użyć kaszy manny i ryżu.

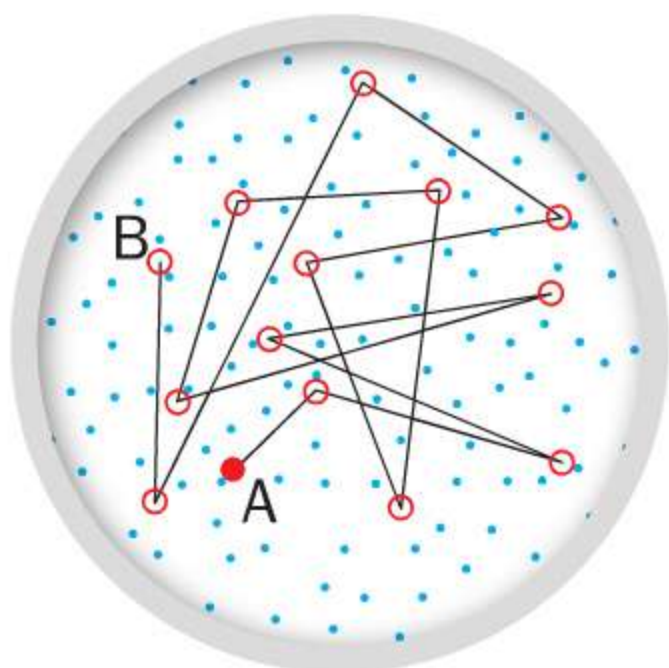


Doświadczenie 3.2

Uzasadniamy hipotezę za pomocą doświadczenia modelowego.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do menzurki wsypujemy kaszę, a następnie podobną objętość grochu.
- Zaznaczamy górny poziom gumką recepturką, a następnie mieszamy groch z kaszą i obserwujemy poziom powstałej mieszaniny.



Tak jak przewidywaliśmy, poziom mieszaniny jest niższy. Puste miejsca między ziarnami grochu zajęły ziarna kaszy. To doświadczenie modelowe tłumaczy wynik doświadczenia 3.1 i potwierdza hipotezę o cząsteczkowej budowie wody i denaturatu.

Ten sam zbiór cząsteczek substancji w zależności od temperatury może tworzyć ciało stałe (np. lód), ciecz (np. wodę) lub gaz (np. parę wodną), stąd wniosek, że ciała stałe i gazy także są zbudowane z cząsteczek.

Aby wyobrazić sobie rozmiary cząsteczek, posłużmy się przykładem: gdyby wszystkie ciała powiększyć trzy miliony razy, to cząsteczki wody miałyby średnice około 1 mm, a wzrost przeciętnego człowieka wynosiłby około 4800 km. Warto sobie także uzmysłwić, że np. w jednym centymetrze sześciennym naczynia z tlenem (w temperaturze 0°C, pod ciśnieniem 1013 hPa, czyli w tzw. warunkach normalnych) znajduje się około

27 000 000 000 000 000 000

cząsteczek. Zajmują one jedynie około $\frac{1}{1000}$ objętości naczynia. Pozostała część naczynia to próżnia. Poruszające się chaotycznie we wszystkie strony cząsteczki wypełniają całą dostępną objętość. W danej chwili jedne poruszają się szybciej, inne wolniej. Ich średnia szybkość wynosi w tych warunkach około $425 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a każda cząsteczka w ciągu 1 sekundy zderza się z innymi mniej więcej 4 miliardy razy. Między kolejnymi zderzeniami każda cząsteczka przebywa średnio 0,0001 mm. Mimo że cząsteczka przebywa średnio w ciągu sekundy około 425 m, nie oddala się bardzo od początkowego położenia, ponieważ w wyniku zderzeń z innymi cząsteczkami jej ruch jest zygzakowaty.

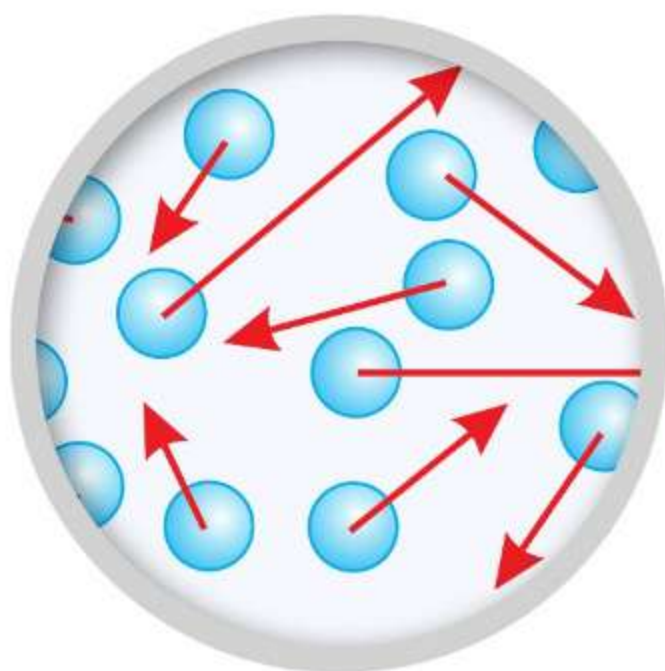
Jeśli jednak rozpylisz nieco perfum w jednym końcu sali, to po pewnym czasie poczujesz ich zapach w całym pomieszczeniu. Gdy cząsteczki perfum zderzają się z cząsteczkami powietrza, wnikają



Szkodliwe gazy wydobywające się z kominów fabrycznych...



...i spaliny samochodowe rozprzestrzeniają się w powietrzu. Jednym ze zjawisk wpływających na to rozprzestrzenianie się i zanieczyszczanie środowiska jest dyfuzja.



po między te cząsteczki i przemieszczają się we wszystkich kierunkach. Zjawisko samorzutnego mieszania się różnych substancji nazywa się **dyfuzją**.

Zjawisko dyfuzji ma duże znaczenie dla życia ludzi i zwierząt. Dzięki dyfuzji i podobnemu do niej zjawisku osmozy możliwa jest wymiana gazowa przez skórę i przenikanie substancji odżywczych z układu trawienego do krwi. W rzekach i jeziorach znajdują się cząsteczki powietrza, które m.in. dzięki dyfuzji docierają nawet do dna zbiorników wodnych. To sprawia, że ryby mogą korzystać z tlenu.

Na skutek wzajemnych zderzeń w dowolnie wybranej chwili różne cząsteczki mają różne szybkości i poruszają się w różnych kierunkach.

Sprawdźmy, czy w wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej i w określonym czasie docierają na większą odległość.

Doświadczenie 3.3

Obserwujemy zależność szybkości dyfuzji od temperatury.

Potrzebne przedmioty: 3 szklanki, woda zimna i gorąca, cukier, torebka herbaty ekspresowej.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do jednej szklanki nalej wodę zimną, do drugiej gorącą – w obu przypadkach do $\frac{2}{3}$ wysokości szklanki. Do każdej nasyp 3 łyżeczki cukru i dokładnie wymieszaj. Oczekaj około 2 minut, żeby powierzchnia wody się uspokoiła.
- W trzeciej szklance umieść torebkę herbaty i zalej niewielką ilością wrzątku. Mniej więcej po 30 sekundach ostrożnie przenieś po jednej łyżeczce esencji do każdej ze szklanek z wodą. Nie mieszaj!
- Obserwuj, jak zachowuje się esencja w obu szklankach.
- Wyniki zapisz w zeszycie. Sporządź rysunek.

Wniosek: Zjawisko dyfuzji przebiega znacznie szybciej w szklance z gorącą wodą. To oznacza, że w wyższej temperaturze średnie szybkości cząsteczek są większe.



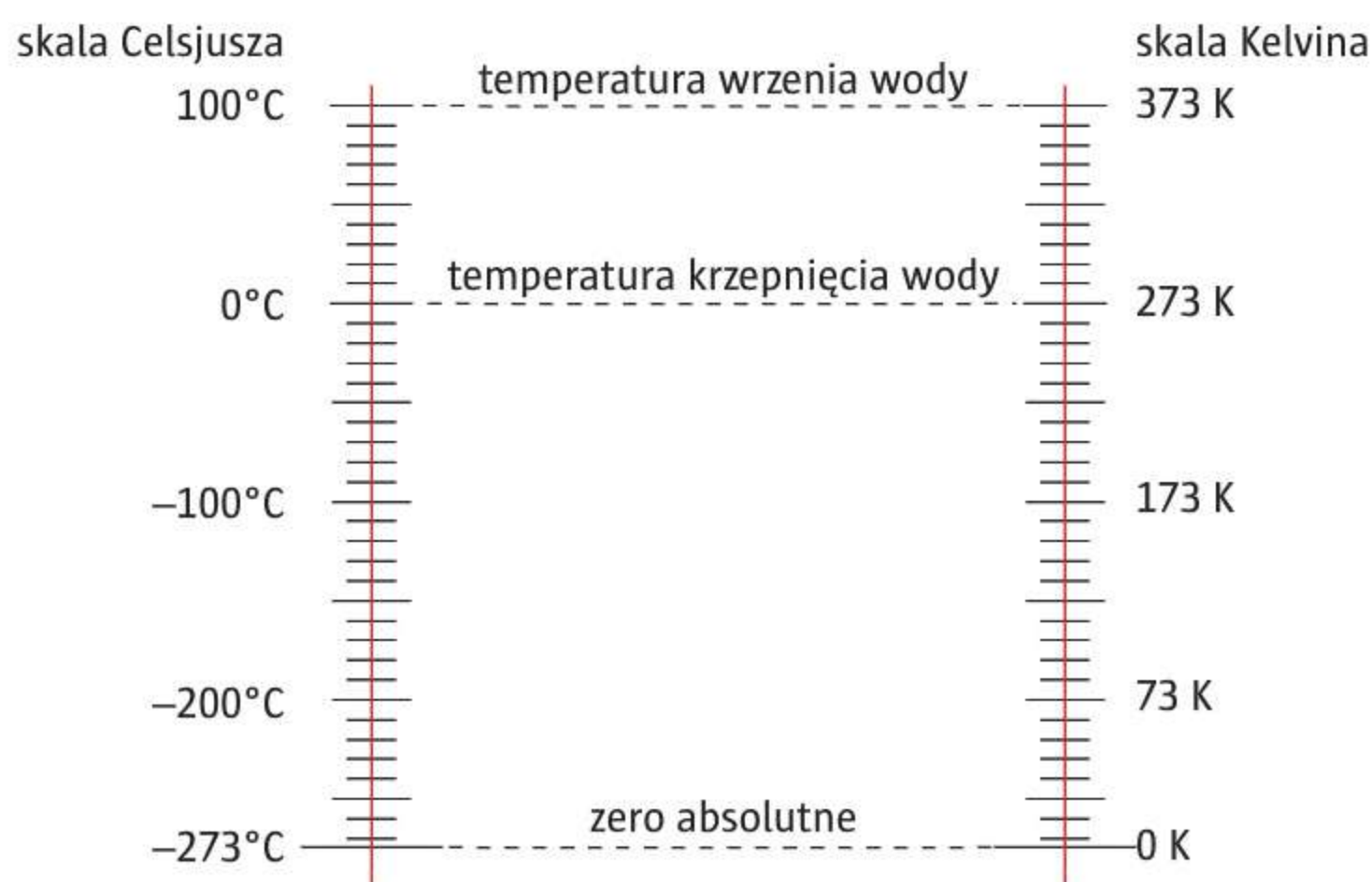
Poniższa tabela pokazuje, jak zmienia się średnia szybkość cząsteczek tlenu w zależności od temperatury.

Tabela 3.1. Średnia szybkość cząsteczek tlenu w różnych temperaturach

Temperatura (°C)	Średnia szybkość cząsteczek $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Temperatura (°C)	Średnia szybkość cząsteczek $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$
10 000	2830	−100	338
1000	996	−250	124
100	539	−270	46
50	505	−272	28
0	462	−273	0

Zauważ, że średnia szybkość cząsteczek gazu maleje wraz z obniżaniem się temperatury (w temperaturze -183°C tlen się skrapla, a w temperaturze -219°C krzepnie). Zwróć uwagę, że gdy temperatura maleje do -273°C , średnia szybkość cząsteczek maleje do zera. Nie można uzyskać mniejszej szybkości niż ta, której odpowiada spoczynek. Wynika z tego bardzo ważny wniosek: temperatura -273°C (dokładnie $-273,15^{\circ}\text{C}$) jest najniższą temperaturą w przyrodzie. W **skali Kelvina**, zwanej także bezwzględną skalą temperatur, jest ona oznaczona jako 0 kelwinów (0 K) i nosi nazwę **zera bezwzględnego** lub **absolutnego**.

Na rysunku poniżej przedstawiono porównanie skal temperatury: Celsjusza i Kelvina.



Jak łatwo zauważyć, do przeliczenia temperatury bezwzględnej (oznaczanej literą T) na temperaturę w skali Celsjusza (oznaczanej literą t) i odwrotnie można stosować wzory:

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

Przykład 3.1

- 50°C – ile to kelwinów?

$$50^{\circ}\text{C} = (50 + 273) \text{ K} = 323 \text{ K}$$

- 50 K – ile to stopni Celsjusza?

$$50 \text{ K} = (50 - 273)^{\circ}\text{C} = -223^{\circ}\text{C}$$

- Różnica temperatur $\Delta t = 50^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$. Ile to kelwinów?

$$\Delta T = (50 + 273) \text{ K} - (20 + 273) \text{ K} = 323 \text{ K} - 293 \text{ K} = 30 \text{ K}$$

Różnica temperatur w obu skalach jest taka sama!

W niektórych krajach, np. w Stanach Zjednoczonych, powszechnie używa się **skali Fahrenheita** (czytaj: farenhajta). Aby temperaturę w skali Celsjusza przeliczyć na stopnie Fahrenheita, należy posłużyć się wzorem:

$$t_{\text{F}} = \frac{9}{5}t + 32$$

Oblicz, jakiej temperaturze w skali Fahrenheita odpowiada temperatura 20°C .

Podsumowanie

1. Wszystkie ciała są zbudowane z cząsteczek, które pozostają w ciągłym ruchu.
2. Zjawisko samorzutnego mieszania się różnych substancji nazywa się dyfuzją. Dyfuzja świadczy o cząsteczkowej budowie materii i nieustannym ruchu cząsteczek.
3. W danej temperaturze szybkości poszczególnych cząsteczek są różne, ale średnia szybkość cząsteczek jest tym większa, im wyższa jest temperatura ciała.
4. W wyższej temperaturze dyfuzja zachodzi szybciej, bo średnie szybkości cząsteczek są większe.
5. Skalę Kelvina oparto na obserwacji, że w temperaturze $t = -273^{\circ}\text{C}$ zamiera ruch cząsteczek. Przyjęto zatem, że najniższą temperaturą w przyrodzie jest:

$$-273^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K}$$
 (dokładniej $-273,15^{\circ}\text{C}$).
6. Skalę Kelvina nazywamy skalą bezwzględną, a zero tej skali nazywamy zerem bezwzględnym. W tej skali nie ma ujemnych temperatur.



Zadania i doświadczenia

1. Wyraż w skali Kelvina następujące temperatury:
a) $36,6^{\circ}\text{C}$, b) 100°C , c) 0°C , d) -20°C , e) -156°C .
2. Wyraż w skali Celsjusza temperatury podane w skali bezwzględnej:
a) 10 K, b) 273 K, c) 383 K, d) 253 K, e) 213 K.
3. Na oświetlonej części jednej z planet Układu Słonecznego temperatura wynosi około 700 K, a na części nieoświetlonej spada do 100 K. Oblicz, ile wynosi różnica temperatur między częścią oświetloną i nieoświetloną tej planety w skali bezwzględnej i w skali Celsjusza.
4. Wyjaśnij, w jaki sposób rozchodzą się zapachy.
5. Czy ręka może służyć jako „przyrząd” do porównywania szybkości ruchu cząsteczek wody? Uzasadnij odpowiedź. Czy takiemu „przyrządowi” można zaufać? (patrz doświadczenie 2. w rozdziale 1.1).
6. Aby dowiedzieć się więcej o zagadnieniach omówionych w tym rozdziale, możesz skorzystać z wyszukiwarki internetowej. Wypisz trzy słowa kluczowe, których warto użyć w tym celu.

Doświadczenie 1.

Obserwujemy dyfuzję.

Potrzebne przedmioty: szklanka z wodą, sok.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Szklankę napełnij wodą zabarwioną np. sokiem z buraków lub atramentem.
- Odlej połowę cieczy do innego naczynia, a szklankę uzupełnij czystą wodą. Obserwuj zmianę barwy cieczy w szklance.
- Znowu odlej połowę cieczy do innego naczynia, a szklankę uzupełnij czystą wodą.
- Wynik doświadczenia zapisz w zeszycie.
- Zapisz wniosek z doświadczenia. Wyjaśnij zmianę intensywności barwy cieczy wypełniającej szklankę.

3.2 Siły międzycząsteczkowe

Z poprzedniego rozdziału wiesz, że wszystkie ciała składają się z cząsteczek. Skoro jednak tak jest, to dlaczego te ciała się nie rozpadają? Ciała stałe mają swój kształt. Trudno jest je rozciągnąć, pokruszyć. Rozlana na stole herbata tworzy jedną moką plamę i nie rozpada się na poszczególne cząsteczki.

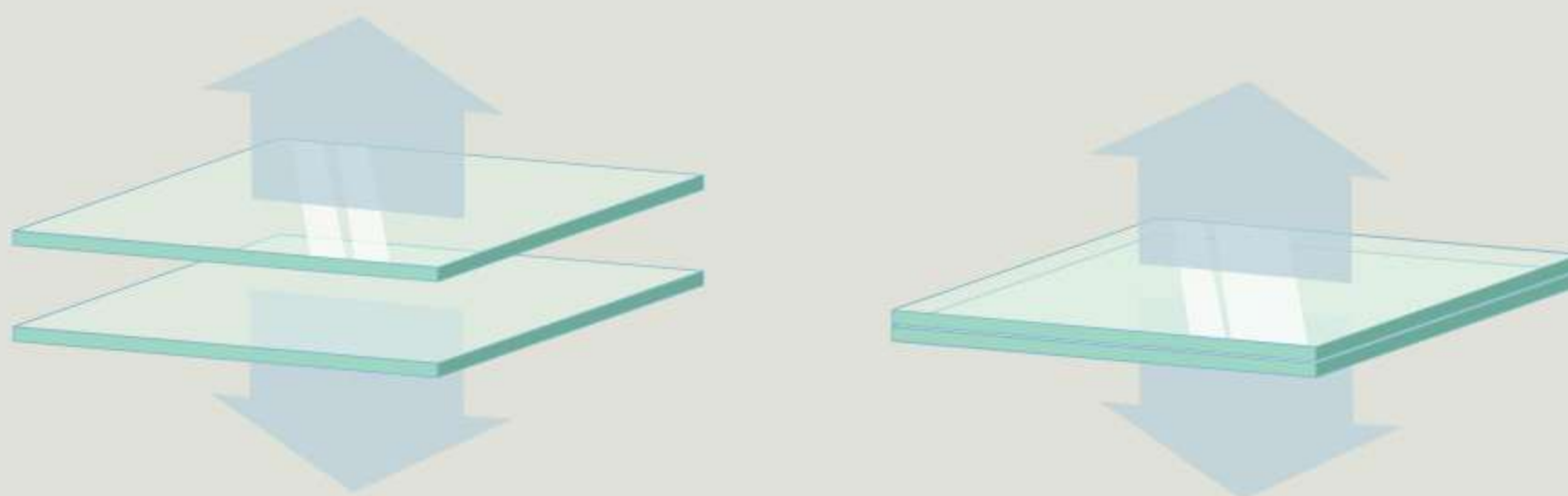
Doświadczenie 3.4

Badamy, jak duże są siły międzycząsteczkowe.

Potrzebne przedmioty: 2 lusterka bez oprawek lub 2 szkiełka preparacyjne.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Ułóż poziomo jedno szkiełko na drugim i zacznij oddalać je od siebie – górne unosz, a dolne opuszczaj.
- Powtórz te czynności, ale wcześniej umieść na dolnym szkiełku kilka kropli wody.



Wynik: W drugim przypadku rozdzielenie szkiełek jest niemożliwe.

Wniosek: Między cząsteczkami wody i szkła działają siły o bardzo dużych wartościach.

Między cząsteczkami działają siły wzajemnego przyciągania. Każda cząsteczka przyciąga sąsiednie cząsteczki i sama jest przez nie przyciągana.

Siły wzajemnego przyciągania występują wyłącznie przy bardzo małych odległościach między cząsteczkami, rzędu wielkości cząsteczki. Takie siły nazywamy **siłami międzycząsteczkowymi**.

Jeśli złamiemy kawałek kredy na dwie części i będziemy się starali ponownie je z sobą połączyć poprzez dociskanie, nie uda nam się to. Widocznie teraz odległości między cząsteczkami dwóch kawałków kredy są zbyt duże, aby wystąpiło między nimi wzajemne przyciąganie.

F

Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami tego samego rodzaju nazywa się siłami spójności.

To siły spójności powodują, że krople przyjmują kształt kulisty.

Z kolei fakt, że szklanka po umyciu jest mokra, świadczy o tym, że cząsteczki wody przylgnęły do szkła.

Siły działające między cząsteczkami różnych ciał nazywa się siłami przylegania.

Wygląd naszych włosów po zmoczeniu to także efekt działania sił przylegania.



Przyczepianie się cząsteczek kredy do tablicy; grafitu ołówkowego, toneru i farby drukarskiej do papieru; kleju i lakieru do drewna – to także przykłady działania sił przylegania.

Szczególnym przykładem sił międzycząsteczkowych są siły działające między cząsteczkami tworzącymi powierzchnię cieczy.

Wzajemne przyciąganie się cząsteczek tworzących powierzchnię wody sprawia, że na tej powierzchni powstaje coś w rodzaju cienkiej, elastycznej błony, która utrzymuje na sobie nawet stalową szpilkę. Zjawisko powstawania tej błony nosi nazwę **napięcia powierzchniowego**. Istnienie tej błony wykorzystują nartniki – owady poruszające się po powierzchni wody w stawach i rzekach.



Jeśli jednak obok szpilki znajdującej się na powierzchni wody sypniemy odrobinę proszku do prania, szpilka natychmiast utonie. Mydło i detergenty (proszki do prania, płyny do mycia naczyń, szampony) znacznie zmniejszają siły międzycząsteczkowe takiego roztworu. Na przykład w czasie prania cząsteczki wody z detergentem docierają do zakamarków tkaniny, zmniejszają wzajemne przyciąganie cząsteczek i tym sposobem ułatwiają wypłukiwanie brudu. Zmniejszenie sił działających między tłuszczem a powierzchnią naczynia pozwala łatwiej umyć to naczynie.

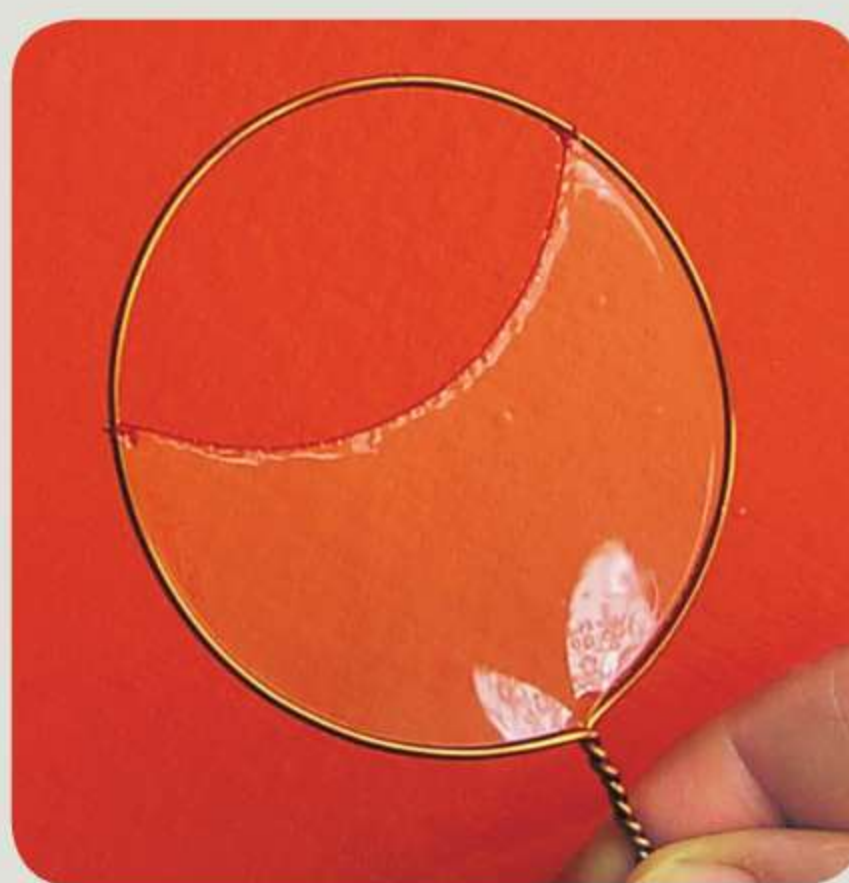
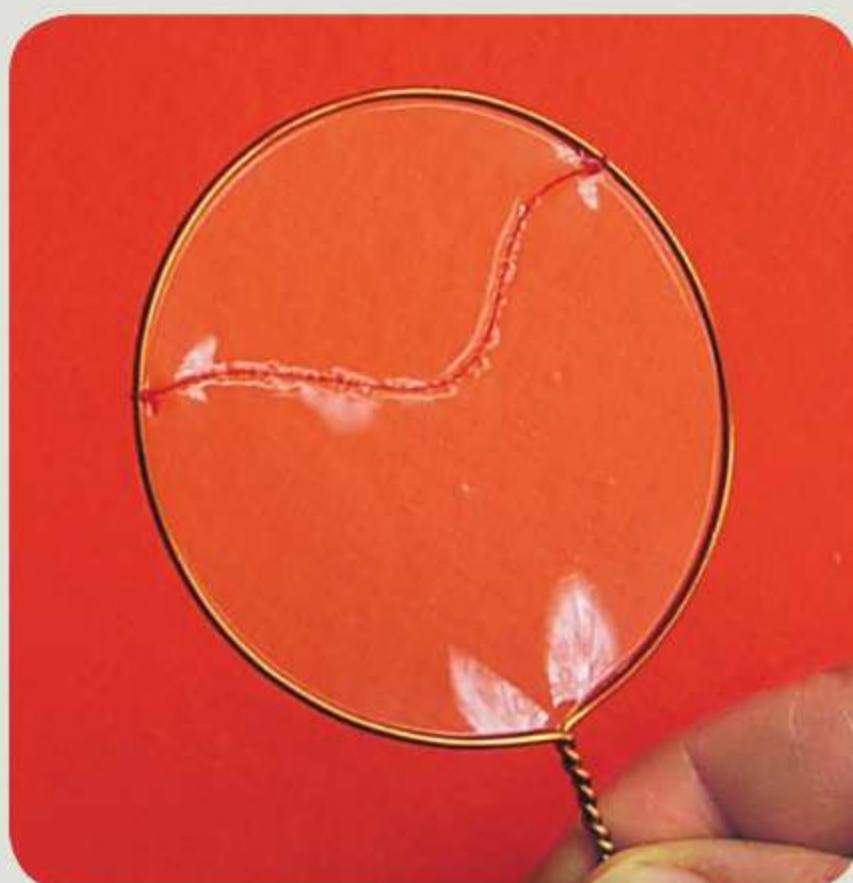
Doświadczenie 3.5

Badamy siły napięcia powierzchniowego.

Potrzebne przedmioty: około 30 cm drutu, mydliny (np. z szamponu), nitka.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Z dość sztywnego drutu wykonaj pierścień o średnicy około 8 cm i wzdłuż jego średnicy umocuj luźno nitkę.



- Zamocz pierścień w mydlinach.
- Po wyjęciu pierścienia z mydlin utrzymuje się na nim przez pewien czas błonka z mydlin. Przerwij błonkę po jednej stronie nitki. Co obserwujesz?

Wynik: Nitka została napięta w kształcie łuku okręgu.

Wniosek: Stało się to na skutek działania sił pomiędzy cząsteczkami błonki mydlanej; siły te dążą do maksymalnego zmniejszenia powierzchni błonki, która utworzyła się teraz między częścią pierścienia a nitką.

F

Podsumowanie

1. Między cząsteczkami wszystkich ciał działają siły zwane siłami międzycząsteczkowymi.
2. Napięcie powierzchniowe to zjawisko powstawania błonki na powierzchni cieczy wskutek działania sił przyciągania między cząsteczkami.
3. Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami tego samego rodzaju nazywa się siłami spójności. Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami różnych ciał nazywa się siłami przylegania.
4. Detergenty zmniejszają siły międzycząsteczkowe i w ten sposób ułatwiają zmywanie naczyń i pranie.

Zadania i doświadczenia

1. Wyjaśnij, dlaczego tłuszcz na powierzchni rosołu tworzy oka.
2. Wyjaśnij, dlaczego krople deszczu przyczepiają się do powierzchni szyby.
3. Podaj przyczynę powstawania baniek mydlanych.
4. Wyjaśnij, dlaczego krople wody przyjmują kształt kulek.



Doświadczenie 1.**Obserwujemy skutki działania sił napięcia powierzchniowego.**

Potrzebne przedmioty: szklanka z wodą, drobne przedmioty (gwoździe, spinacze, pierścionki itp.).

Kolejne czynności:

- Suchą od zewnątrz szklankę napełnij całkowicie wodą.
- Delikatnie wrzucaj do wody drobne metalowe przedmioty.
- Obserwuj zachowanie błonki powierzchniowej.
- Opisz obserwowane zjawisko. Wyjaśnij je.

Doświadczenie 2.**Badamy siły napięcia powierzchniowego.**

Zanim wykonasz doświadczenie, spróbuj przewidzieć, ile kropli wody można nanieść na monetę jednogroszową tak, by woda z niej nie spływała.

Potrzebne przedmioty: moneta jednogroszowa, zakraplacz, woda.

Kolejne czynności:

- Za pomocą zakraplacza lub strzykawki umieszczaj krople wody na monecie. Czy twoje przewidywania się sprawdziły?
- Opisz wynik doświadczenia. Wyjaśnij go.

Doświadczenie 3.**Badamy działanie detergentów.**

Potrzebne przedmioty: talerz, mielony pieprz, woda, szampon lub płyn do mycia naczyń.

Kolejne czynności:

- Na talerz nalej wodę.
- Posyp ją zmielonym pieprzem.
- Palcami spróbuj odsunąć pieprz z części powierzchni wody.
- Zanurz palec w szamponie lub płynie do mycia naczyń i włóż do wody na talerzu.
- Opisz wynik obserwacji i wyjaśnij zachowanie się pieprzu.

Doświadczenie 4.**Obserwujemy skutki działania sił międzycząsteczkowych – dziwny napęd.**

Potrzebne przedmioty: nieważna karta kredytowa lub inna, mydło, wanna z wodą.

Kolejne czynności:

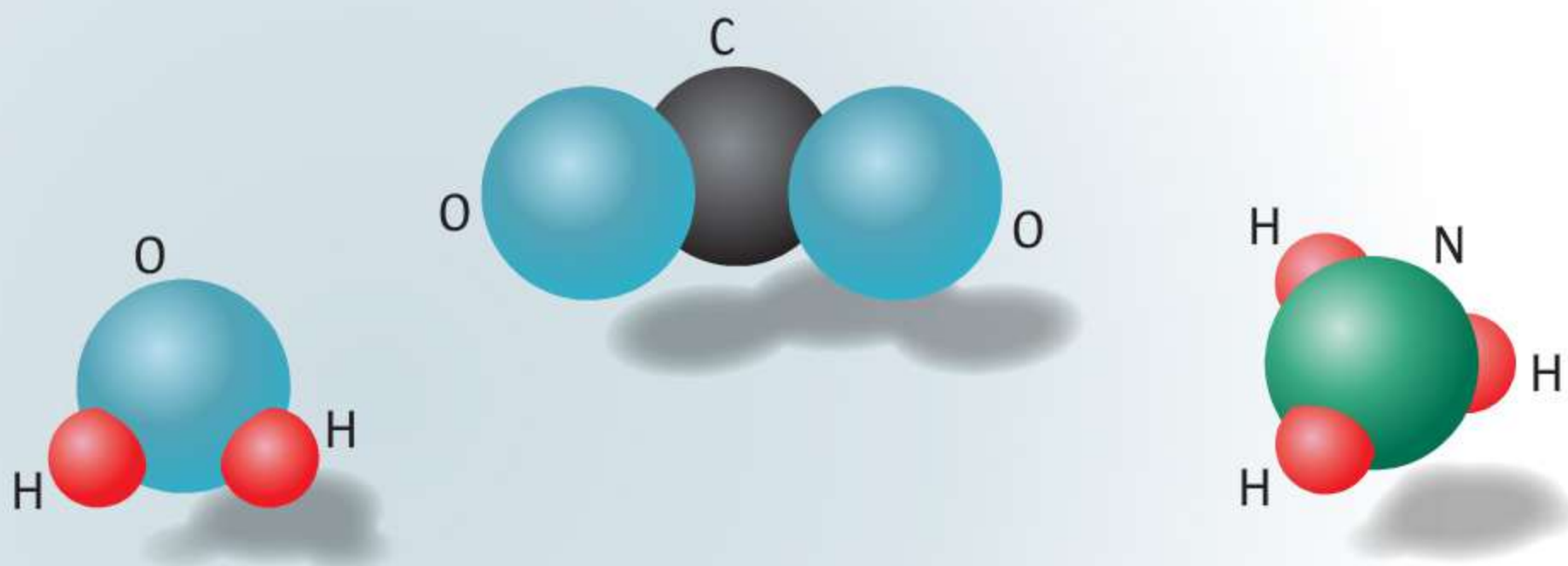
- Krótszą krawędź karty posmaruj mydłem.
- Połóż ją na powierzchni wody w wannie.
- Opisz wynik obserwacji i wyjaśnij zachowanie się karty.

3.3 Różnice w budowie ciał stałych, cieczy i gazów

Z lekcji chemii wiesz, że cząsteczki składają się z atomów. Twój organizm składa się z atomów, które przez miliony lat wchodziły w skład niezliczonej liczby elementów przyrody nieożywionej i organizmów żywych, w tym wcześniej żyjących ludzi.

Substancja składająca się z jednakowych atomów to **pierwiastek**. Pierwiastkami są np. żelazo, rtęć, węgiel, tlen.

Podobnie jak z liter polskiego alfabetu można utworzyć wielką liczbę słów, z których każde ma inne znaczenie, tak z mniej więcej 90 różnych atomów występujących w przyrodzie i tworzących pierwiastki można zbudować niezliczoną ilość związków chemicznych o przeróżnych właściwościach. **Związek chemiczny** to substancja składająca się z atomów różnego rodzaju, która powstała w przemianie chemicznej. Związkami chemicznymi są np. woda, dwutlenek węgla, amoniak. Modele cząsteczek wymienionych związków chemicznych przedstawiono na rysunku.



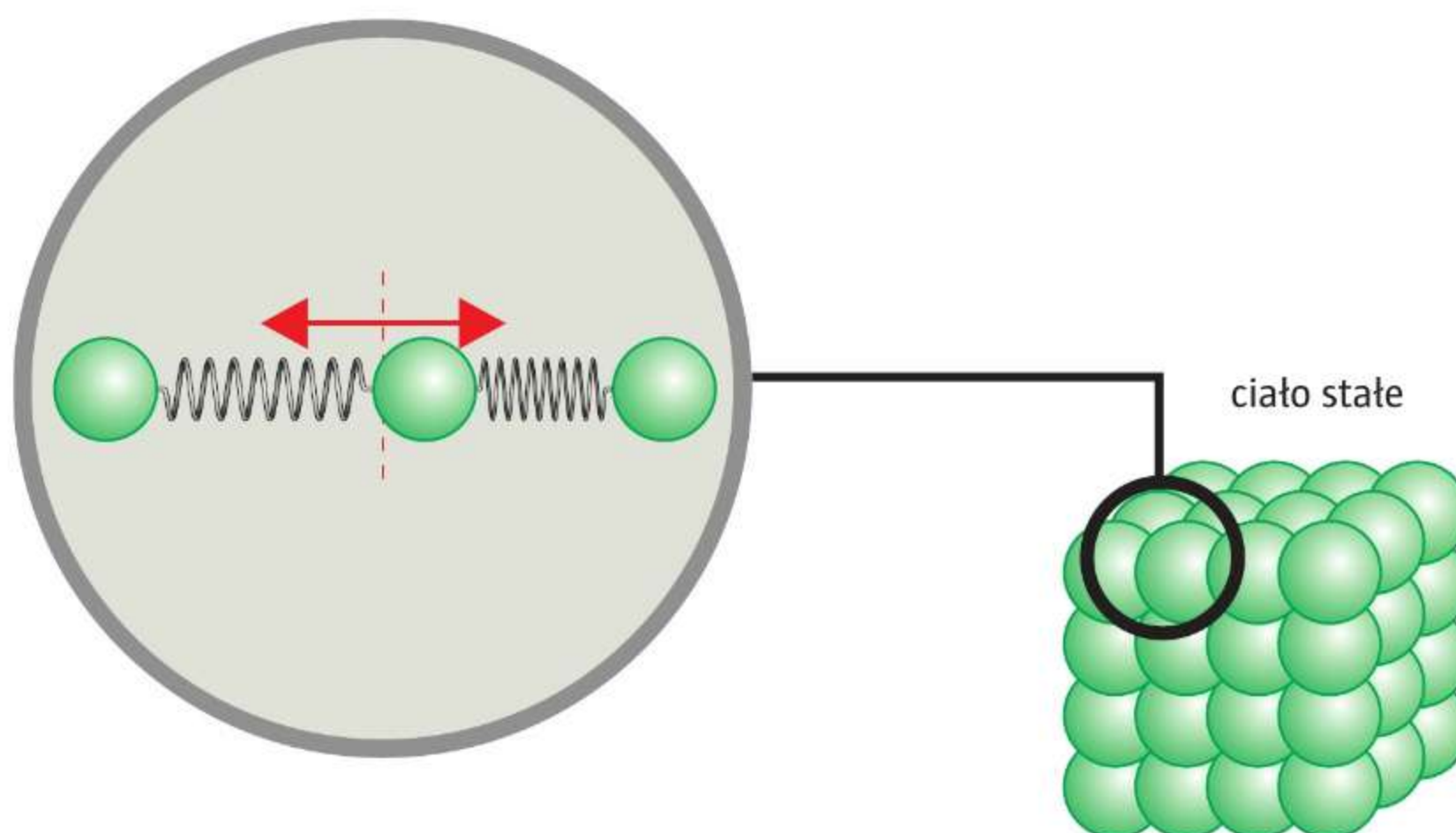
Cząsteczka wody H_2O składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu. Cząsteczka dwutlenku węgla CO_2 składa się z jednego atomu węgla i dwóch atomów tlenu. Cząsteczka amoniaku NH_3 składa się z jednego atomu azotu i trzech atomów wodoru.

Podczas badania właściwości gazów zauważyliśmy, że gazy są ściśliwe. Zmniejszanie objętości gazów jest możliwe, bo odległości między cząsteczkami są duże. Przy dużych odległościach cząsteczki prawie nie przyciągają się wzajemnie. Dlatego gazy nie mają określonego kształtu. Nie można napęlić gazem naczynia np. do połowy, bo cząsteczki poruszające się chaotycznie we wszystkich kierunkach wypełniają całe naczynie.



Z kolei ciecze są nieściśliwe. Oznacza to, że odległości między cząsteczkami są dużo mniejsze niż w gazach. Dlatego między cząsteczkami działają dużo większe siły międzycząsteczkowe, choć nie są one na tyle duże, by ciecze zachowywały własny kształt. Cząsteczki cieczy mogą swobodnie się przemieszczać, co potwierdzają obserwacje dyfuzji. Przy próbie zmniejszenia objętości cieczy między cząsteczkami pojawiają się siły odpychania. Podobnie jest w ciałach stałych.

Cząsteczki wchodzące w skład większości ciał stałych ułożone są regularnie i tworzą tzw. **sieć krystaliczną**. Mówimy, że większość ciał stałych ma **budowę krystaliczną**. Przykładem substancji o budowie krystalicznej jest chlorek sodu (NaCl), czyli sól kuchenna. Cząsteczki tworzące sieć krystaliczną wykonują drgania wokół położenia równowagi. Podobne drgania wykonuje kulka umieszczona między dwiema sprężynkami i wytrącona ze stanu spoczynku. Gdy cząsteczka zanadto zbliży się do sąsiedniej cząsteczki, jest od niej odpychana; gdy się zanadto oddali, jest przyciągana.



Podsumowanie

1. Wszystkie ciała są zbudowane z atomów lub cząsteczek powstających z połączenia atomów.
2. Substancja składająca się z jednakowych atomów to pierwiastek. Atomy różnych pierwiastków, gdy łączą się w przemianach chemicznych, tworzą cząsteczki różnych związków chemicznych.
3. Z faktu, że gazy są ściśliwe, wynika, że cząsteczki tych gazów poruszają się chaotycznie w dużych odległościach od siebie i prawie się nie przyciągają.
4. Odległości między cząsteczkami cieczy są dużo mniejsze niż odległości między cząsteczkami gazów, stąd siły międzycząsteczkowe (spójności) w cieczach są większe. Nie są jednak wystarczająco duże, by ciecze zachowywały kształt.
5. Ciała stałe w większości mają budowę krystaliczną. Cząsteczki tworzące sieć krystaliczną nie mogą się swobodnie poruszać. Wykonują jedynie drgania.

Zadania i doświadczenia

1. Wy tłumacz, dlaczego spośród ciał w różnych stanach skupienia gazy mają najmniejsze gęstości.
2. Zastanów się, od czego zależy gęstość ciała stałego.
3. Wyjaśnij, dlaczego gaz całkowicie wypełnia zbiornik, w którym się znajduje, a ciecz – nie.
4. Wyjaśnij, dlaczego cząsteczki cieczy pozostają blisko siebie. Czy wpływa na to ciśnienie, czy siły międzycząsteczkowe, a może temperatura?
5. Parowanie polega na tym, że cząsteczki z powierzchni cieczy odrywają się i oddalają od tej powierzchni. Jeśli do butelki i na talerz wlejemy takie same ilości wody, to z którego z tych naczyń woda wyparuje wcześniej? Uzasadnij odpowiedź.
6. Przeczytaj poniższy fragment wiersza Wisławy Szymborskiej *Ruch* (Twórczość Wisławy Szymborskiej © Fundacja Wisławy Szymborskiej, www.szymborska.org.pl). Wyodrębnij z tekstu treści fizyczne oraz chemiczne i napisz komentarz, czyli „co autorka miała na myśli”.

„Ty tu płaczesz, a tam tańczą
A tam tańczą w twojej łzie
(...)

Ten lekkoduch wodór z tlenem
Te gagatki chlor i sól”.

3.4 Gaz w zamkniętym zbiorniku

Powietrze znajdujące się wewnątrz gumowego balonu wywiera nacisk (parcie) na jego wewnętrzne ścianki. Nacisk ten jest wynikiem nieustannego bombardowania ścianek przez cząsteczki gazu. Gdy te cząsteczki zderzają się ze ściankami, zmieniają kierunek – odbijają się od ścianek jak piłki.

Wartości sił, jakimi pojedyncze cząsteczki gazu działają na ścianki zbiornika podczas uderzenia, są małe. Jednak liczba cząsteczek w zbiorniku jest duża, wobec czego duża jest liczba ich uderzeń o ścianki (rzędu 10^{23} uderzeń na 1 cm^2 w czasie 1 sekundy!). Wartość siły działającej prostopadle na każdy centymetr kwadratowy powierzchni ścianki zbiornika jest więc spora. Gaz wywiera nacisk nie tylko na ścianki zbiornika, w którym się znajduje, ale także na powierzchnie przedmiotów znajdujących się w zbiorniku. Gdy zmieniamy ciśnienie gazu w zbiorniku, zmieniamy parcie na przedmioty znajdujące się wewnątrz. Można się o tym przekonać poprzez wykonanie następującego doświadczenia.

Doświadczenie 3.6

Badamy skutki zmniejszania ciśnienia powietrza w zbiorniku.

Potrzebne przedmioty: pojemnik próżniowy, pianka do utrwalania fryzury lub do golenia lub ciastko, którego głównym składnikiem jest ubita piana z białka.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do plastikowego pojemnika próżniowego wkładamy talerzyk z pianką lub ciastko.
- Zamykamy pojemnik i wypompowujemy z niego powietrze.



Wynik: W miarę pompowania pianka pęcznieje. Ciśnienie powietrza w pęcherzykach piany dopasowuje się do zmniejszającego się ciśnienia zewnętrznego w naczyniu i objętość piany wzrasta.

Wniosek: Zmniejszanie się ciśnienia w pęcherzykach jest spowodowane zwiększeniem objętości tych pęcherzyków. W pojemniku liczba uderzeń cząsteczek przypadająca na jednostkę powierzchni ścianki się zmniejsza.

Ciśnienie w zbiorniku, a więc i parcie na ścianki tego zbiornika, można zwiększyć np. przez dopompowanie powietrza, czyli zwiększenie liczby cząsteczek, które uderzają w ścianki. Wtedy zderzenia są częstsze. To właśnie robimy, gdy pompujemy gumowy ponton, piłkę do siatkówki czy opony samochodowe. Od prawidłowego ciśnienia w oponach zależą bezpieczeństwo pasażerów i czas użytkowania opon.

Jest jeszcze jeden sposób zwiększania ciśnienia w zbiorniku, a więc i zwiększania parcia na ściany. Poznamy go w kolejnym doświadczeniu.

Doświadczenie 3.7

Badamy wpływ wzrostu temperatury gazu na ciśnienie w zbiorniku.

Potrzebne przedmioty: 2 naczynia o różnych objętościach, balon lub gumowa rękawiczka, mocna nitka.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Na słoik o pojemności 0,5 litra w miejsce nakrętki nałóż gumową membranę. Wykorzystaj do tego celu np. gumową rękawiczkę lub balonik. Membranę przymocuj do słoika mocną nitką.
- Słoik umieść w naczyniu z gorącą wodą i obserwuj powierzchnię membrany.

Wynik: Po umieszczeniu słoika w gorącej wodzie obserwujemy odkształcenie (wybrzuszenie) gumowej membrany. Czy domyślasz się, dlaczego tak się dzieje?

Wniosek: Im wyższa jest temperatura powietrza, tym szybciej poruszają się cząsteczki gazów tworzących powietrze. W konsekwencji silniej uderzają one o ścianki naczynia, więc ciśnienie powietrza wewnątrz słoika jest większe.



Podsumowanie

1. Gaz w zbiorniku wywiera parcie na ścianki tego zbiornika; jest to wynik uderzeń cząsteczek gazu o ścianki.
2. Ciśnienie gazu w zbiorniku możemy zwiększyć:
 - a) przy stałej objętości gazu
 - przez zwiększenie liczby cząsteczek, czyli zwiększenie masy gazu w zbiorniku,
 - b) przy stałej masie gazu w zbiorniku
 - przez zmniejszenie objętości zbiornika,
 - przez podwyższenie temperatury gazu.

Zadania i doświadczenia

1. Wyjaśnij, dlaczego wraz ze wzrostem temperatury rośnie ciśnienie powietrza w dętce rowerowej.
2. Spróbuj przewidzieć, czy unoszący się w górę gumowy balon meteorologiczny ma stale taką samą objętość.
3. Dlaczego na większości pojemników z dezodorantami zamieszczone jest ostrzeżenie przed ogrzewaniem do wysokiej temperatury?
4. Zastanów się, dlaczego gulasz w puszcze powinno się podgrzewać po otwarciu puszki, a nie przed jej otwarciem. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Doświadczenie 1.

Obserwujemy skutek występowania różnicy ciśnień nad i pod jajkiem.

Potrzebne przedmioty: butelka (lub wazon), której szyjka ma trochę mniejszy obwód od obwodu jajka, ugotowane i obrane ze skorupki jajko, papierek, zapalki.

Kolejne czynności:

- Do wnętrza butelki wrzucić zapalony papierek.
- Natychmiast po tym na otworze butelki położyć jajko.
- Opisz wynik obserwacji. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.

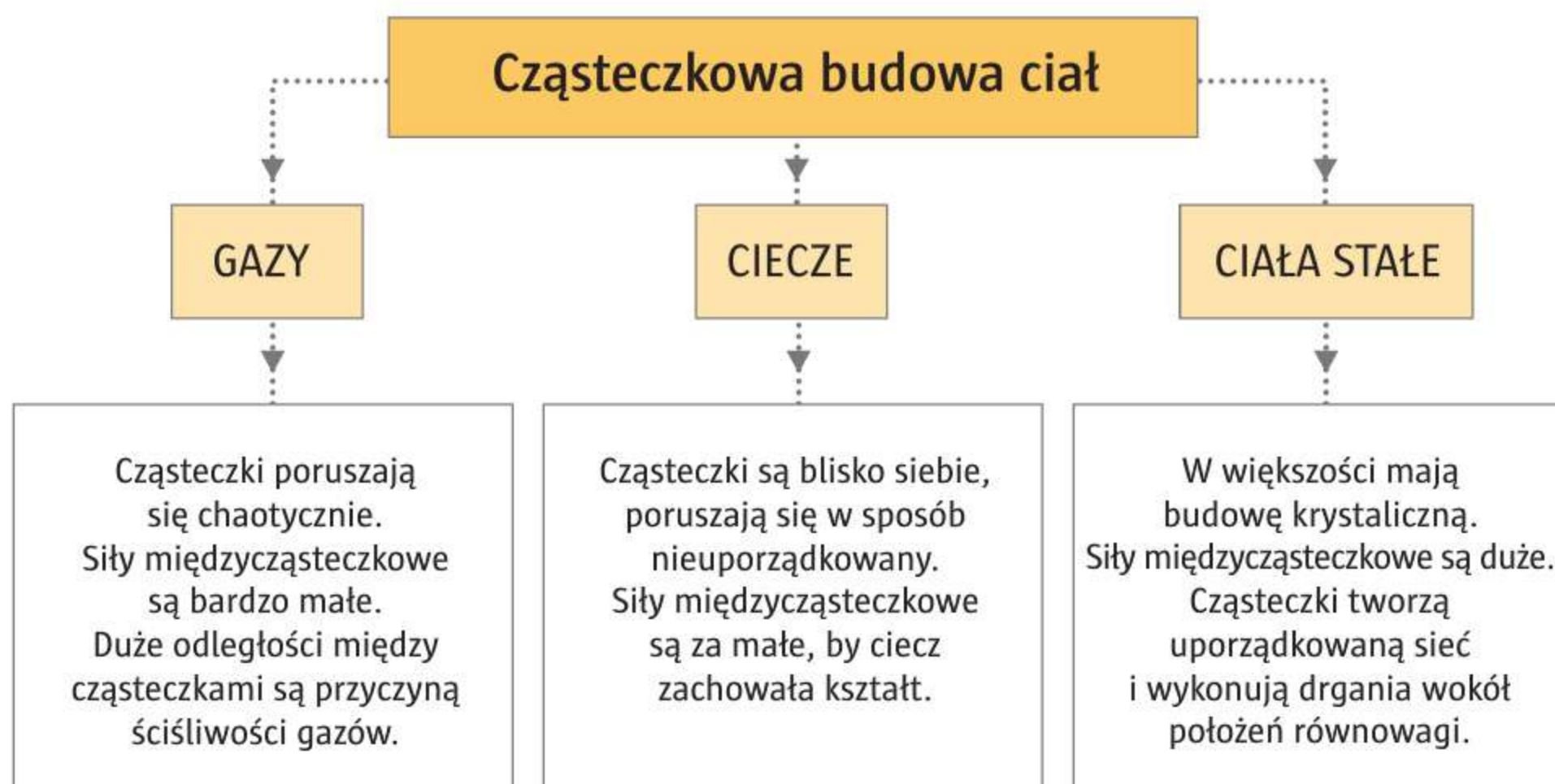


Podsumowanie

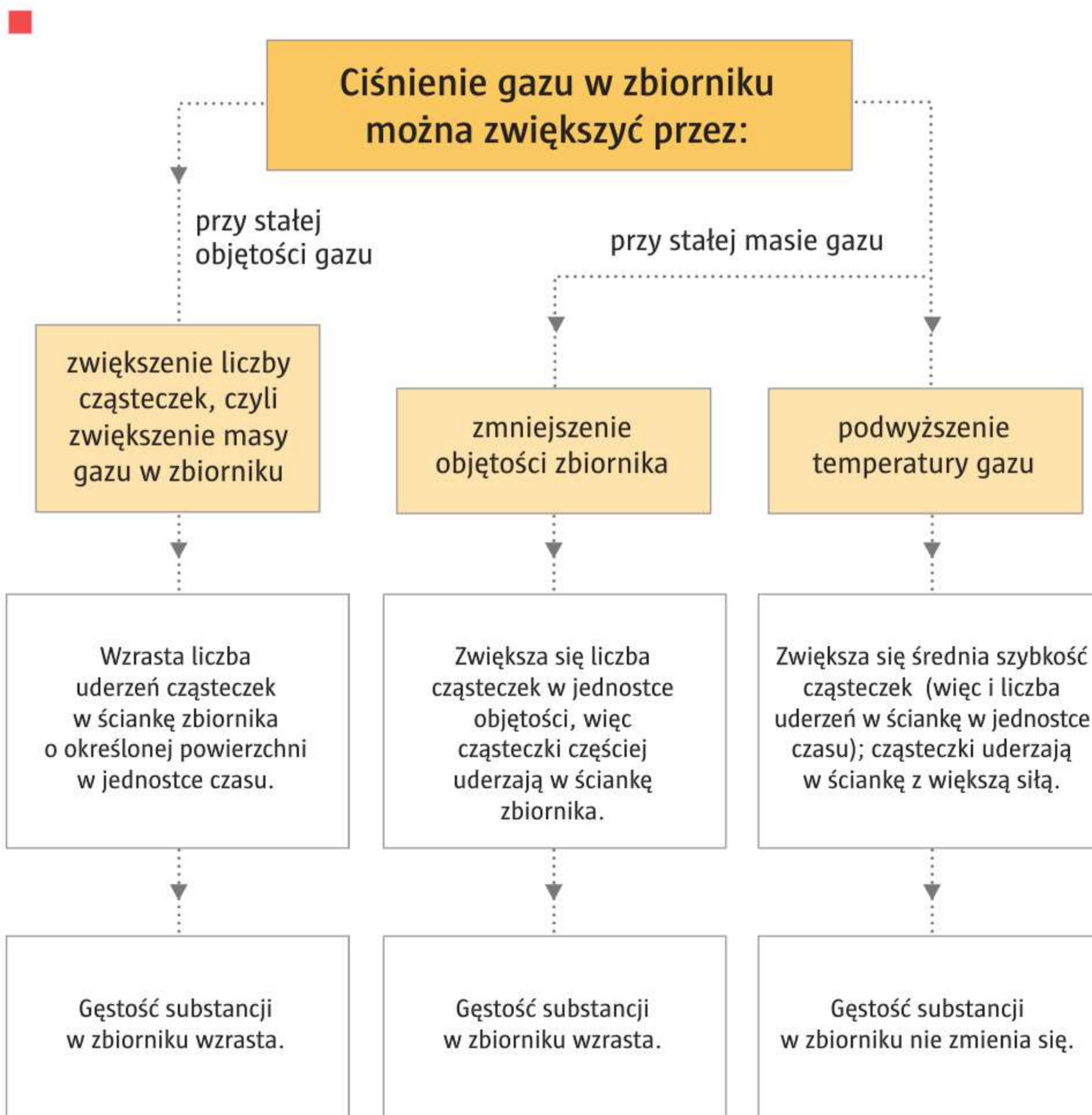


Siły przylegania między cząsteczkami szkła i wody są większe od sił spójności wody i dlatego woda zwilża szkło.

Siły napięcia powierzchniowego to siły przyciągania działające między cząsteczkami na powierzchni cieczy. Dążą one do zmniejszenia tej powierzchni.



- Gęstość danej substancji zależy od tego, z jakich cząsteczek składa się ta substancja, a dokładnie od mas tych cząsteczek i od tego, jak gęsto są one upakowane. To dlatego gęstości gazów są znacznie mniejsze od gęstości ciał stałych i cieczy.



Sprawdź się

1. Która z wymienionych substancji: węgiel, woda, tlen, żelazo – nie jest pierwiastkiem chemicznym?
A. Węgiel. B. Woda. C. Tlen. D. Żelazo.
2. Przykładem substancji o budowie krystalicznej jest
A. szkło. B. plastik. C. stal. D. masło.
3. Ogórki, które zamierzamy ukusić, zalewamy w słoiku osoloną wodą. Po ukuszeniu także wewnątrz ogórków jest słone. Zawdzięczamy to zjawisku
A. rozszerzalności objętościowej ogórków.
B. dyfuzji.
C. przylegania.
D. spójności.
4. Temperatura 7°C to
A. 280 K B. 180 K C. 80 K D. 7 K
5. Temperatura 373 K to
A. 0°C B. 53°C C. 73°C D. 100°C
6. Gdy przysuniemy boczną powierzchnię ułożonej poziomo szklanki do strumienia wody z kranu, to zauważymy, że woda częściowo „opasuje” szklankę. Główną rolę w tym zjawisku odgrywają siły
A. przylegania cząsteczek wody i szkła.
B. spójności cząsteczek wody i szkła.
C. spójności cząsteczek wody.
D. przylegania cząsteczek szkła.
7. W którym z wymienionych niżej przypadków **nie** występuje zjawisko napięcia powierzchniowego?
A. Bieganie owadów po powierzchni wody.
B. Wytwarzanie bąbków mydlanych.
C. Zmniejszanie się powierzchni cieczy.
D. Zlepianie się mokrych włosów.
8. Objętość gazu można łatwo zmienić, a zmienianie objętości cieczy jest bardzo trudne, gdyż
A. cząsteczki cieczy poruszają się szybciej niż cząsteczki gazu.
B. odległości między cząsteczkami gazu są znacznie większe od odległości między cząsteczkami cieczy.
C. cząsteczki gazu odpychają się, a cząsteczki cieczy nie.
D. ciecze są zbudowane z cząsteczek, a gazy z atomów.



9. Przeczytaj poniższe stwierdzenia i oceń ich prawdziwość.

- I. Masa kilogramowej sztaby złota jest równa sumie mas atomów, z których składa się ta sztaba.
 - II. Objętość kilogramowej sztaby złota jest równa sumie objętości atomów, z których składa się ta sztaba.
- A. Obydwa stwierdzenia są prawdziwe.
 - B. Tylko pierwsze stwierdzenie jest prawdziwe.
 - C. Tylko drugie stwierdzenie jest prawdziwe.
 - D. Obydwa stwierdzenia są nieprawdziwe.

10. Odszukaj w podręczniku niżej wymienione doświadczenia.

1. Rozdział 1.4, doświadczenie 1. na s. 38.
2. Rozdział 2.1, doświadczenie przedstawione na dwóch fotografiach na s. 50.
3. Rozdział 2.3, doświadczenie 1. na s. 61.
4. Rozdział 3.4, doświadczenie 1. na s. 85.

W tych doświadczeniach nastąpiły zmiany ciśnienia powietrza w zbiornikach. Można je opisać następująco:

- I. Ciśnienie zmalało, bo wzrosła objętość, którą powietrze zajmuje w zbiorniku.
- II. Na skutek wzrostu temperatury zmalała masa powietrza w zbiorniku. Po zamknięciu zbiornika i obniżeniu temperatury ciśnienie powietrza się zmniejszyło.
- III. Ciśnienie wzrosło, bo objętość zbiornika zmalała.

Wybierz poprawne przyporządkowanie przyczyn zmian ciśnienia do doświadczeń.

- A. 1 – I, 2 – III, 3 i 4 – II
- B. 1 – II, 2 i 3 – I, 4 – III
- C. 1 – III, 2 – I, 3 i 4 – II
- D. 1 i 4 – III, 2 – II, 3 – I

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Przeczytaj poniższy tekst i odpowiedz na pytania.

Od pewnego czasu obserwujemy pewne zmiany, jakie nastąpiły w dziedzinie reklamy. Dotąd wykorzystywano w niej zmysły wzroku i słuchu. Teraz został „zaatakowany” nasz zmysł węchu. Na przykład w piekarni, nawet wówczas, gdy na półkach zalega tylko zafoliowane pieczywo, wyprodukowane wiele dni wcześniej, w powietrzu unosi się zapach bułeczek świeżo wyjętych z pieca. W przypadku towarów niespożywczych używane zapachy poprawiają nasz nastrój i przez to zachęcają do zakupów.

- Jakie zjawisko fizyczne zostało wykorzystane do celów reklamowych?
- Czy ten sposób przyciągania klientów sprawdza się w pełnym otwartych zamrażarek sklepie z mrożonkami? A w sklepie z elegancką odzieżą? Uzasadnij odpowiedź.

Zadanie 2.

Poniższa tabela zawiera masy cząsteczek kilku gazów oraz ich średnie szybkości w temperaturze 0°C.

Cząsteczka	Masa (10^{-24} g)	Szybkość ($\frac{m}{s}$)
wodór	3,3	1840
azot	46,5	493
tlen	53,1	462
dwutlenek węgla	73,1	394
para rtęci	333,0	184

Czy szybkość cząsteczek gazu w danej temperaturze zależy od mas tych cząsteczek? Jeśli tak, opisz tę zależność.



Zadanie 3.

Na wybranym przykładzie opisz zjawisko napięcia powierzchniowego.

4

Jak opisujemy ruch?

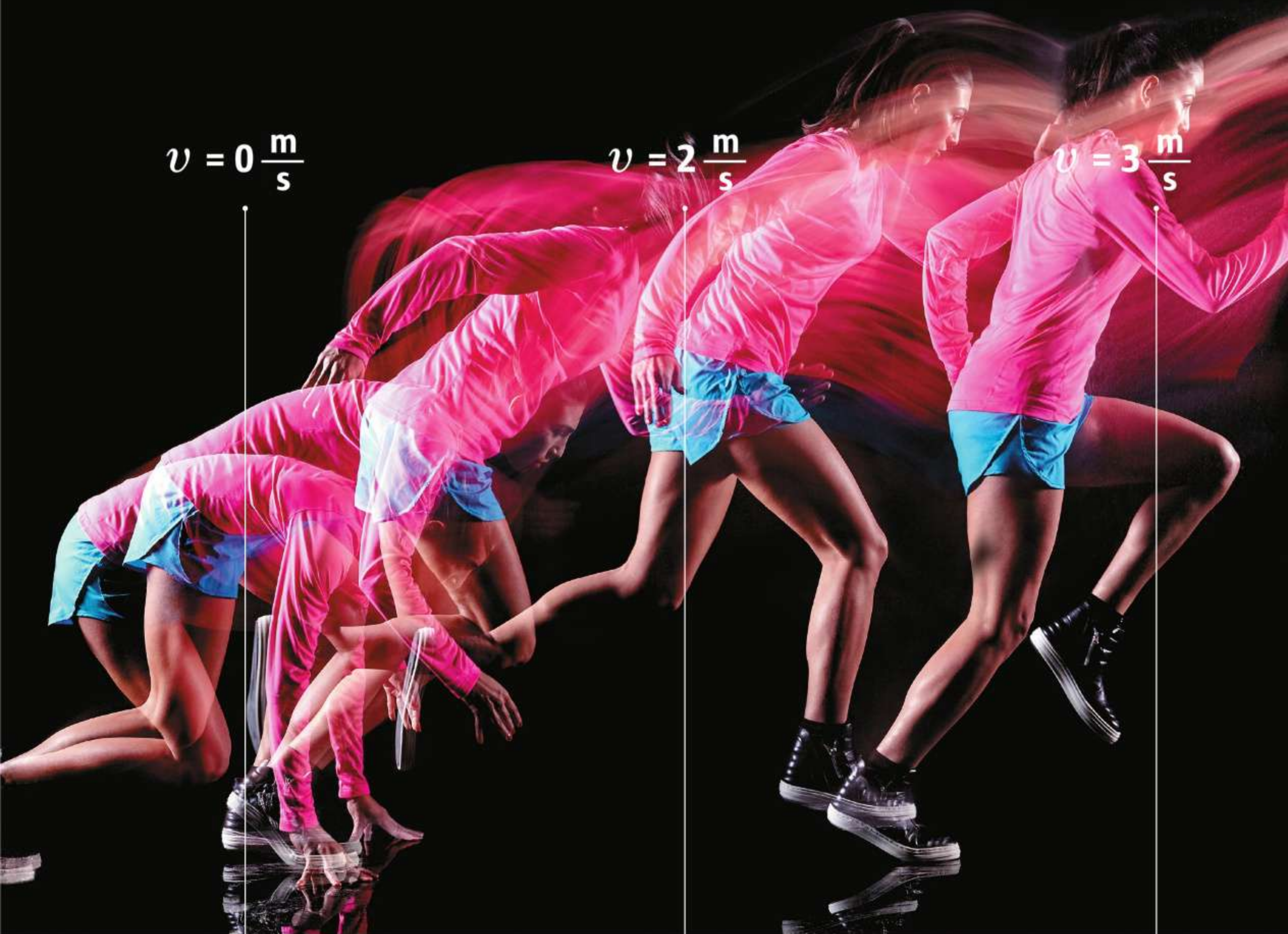


W czasie biegu sprinterka porusza się różnymi rodzajami ruchu. Podczas startu jest to ruch przyspieszony, czyli taki, w którym wartość prędkości rośnie.

$$v = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



4.1 Układ odniesienia

O każdym zjawisku fizycznym można powiedzieć, że zachodzi ono gdzieś i kiedyś; wszystkie zjawiska zachodzą zatem w przestrzeni (gdzie?) i w czasie (kiedy?). Powszechnym zjawiskiem w przyrodzie jest ruch. Dział fizyki zajmujący się opisem ruchu ciał nazywa się kinematyką, a jego nazwa pochodzi od greckiego słowa *kinema* oznaczającego ruch.

Każdy przedmiot lub organizm żywy, czyli **ciało fizyczne**, w danej chwili zajmuje określone położenie w przestrzeni. Rozejrzyj się po klasie. W danej chwili nauczyciel, uczniowie, tablica i obraz na ścianie zajmują określone położenia. Położenie ciała w przestrzeni można określić jedynie względem jakiegoś innego ciała, zwanego **układem odniesienia**. Na przykład nauczyciel stoi przy tablicy, obraz wisi półtora metra nad podłogą, a Kasia siedzi w trzeciej ławce, w pierwszym rzędzie od ściany z oknami. Najczęściej używanym układem odniesienia jest Ziemia lub jakieś ciało, które względem niej się nie porusza, a więc dom, drzewo, znak drogowy itp.

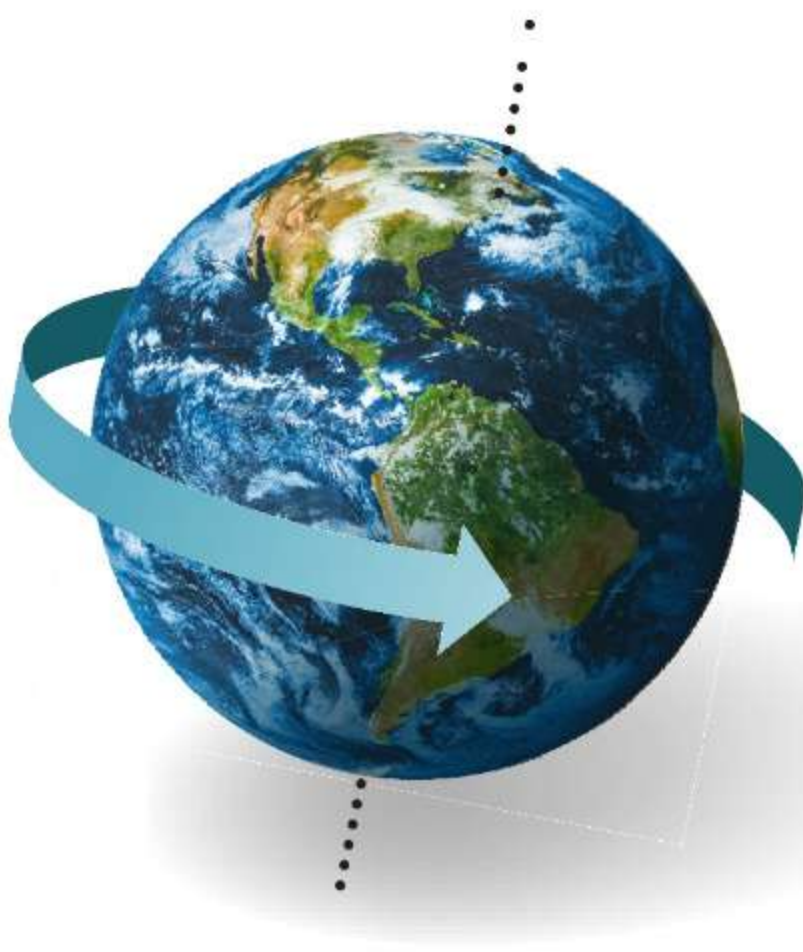
Jeżeli w miarę upływu czasu położenie ciała względem przyjętego przez nas układu odniesienia ulega zmianie, mówimy, że ciało się porusza. Jeżeli położenie ciała nie ulega zmianie w czasie obserwacji, mówimy, że ciało w tym układzie pozostaje w spoczynku.



Na fotografiach przedstawiono sportowców, którzy poruszają się w układzie odniesienia związanym z Ziemią.

Przykład 4.1

Przypatrzmy się sytuacji przedstawionej na fotografii. Jeśli przyjmiemy, że układem odniesienia, względem którego obserwujemy osoby w płynącym kajaku, są drzewa, stwierdzimy, że osoby te się poruszają. W układzie odniesienia, którym jest kajak, te same osoby pozostają w spoczynku.



Nie można więc stwierdzić, że dane ciało jest naprawdę w spoczynku lub że naprawdę się porusza. Możemy jedynie powiedzieć, że jedno ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się względem drugiego ciała.

Ruch i spoczynek są względne.

W zależności od wyboru układu odniesienia to samo ciało w tym samym czasie może znajdować się w spoczynku lub poruszać się w różny sposób. Gdy siedzimy na ławce, pozostajemy w spoczynku względem Ziemi, ale Ziemia obraca się z zachodu na wschód, a my razem z nią (rys.). W konsekwencji względem Słońca jesteśmy w ruchu, a Słońce jest w ruchu względem nas. Dlatego na niebie widzimy Słońce wędrujące ze wschodu na zachód.

Przykład 4.2

Rafał i Bartek siedzą obok siebie w autobusie. Ich koleżanka Ania właśnie wysiadła i stoi na przystanku, a autobus ruszył do przodu. W układzie odniesienia związanym z:

- Rafałem – Bartek pozostaje w spoczynku, Ania porusza się do tyłu,
- Bartkiem – Rafał pozostaje w spoczynku, Ania porusza się do tyłu,
- Anią – Rafał i Bartek poruszają się do przodu.

Podsumowanie

1. Położenie ciała w przestrzeni można określić jedynie względem jakiegoś innego ciała zwanego układem odniesienia (ciałem odniesienia).
2. Ciało porusza się, jeżeli w miarę upływu czasu położenie tego ciała zmienia się względem przyjętego przez nas układu odniesienia.
3. Jeżeli położenie to w miarę upływu czasu nie zmienia się, mówimy, że ciało pozostaje w spoczynku względem tego układu odniesienia.
4. Ruch i spoczynek są względne. Oznacza to, że w zależności od wyboru układu odniesienia to samo ciało w tym samym czasie może znajdować się w spoczynku lub się poruszać i to w różny sposób.
5. Gdy opisujemy ruch, zawsze musimy dodać, względem jakiego układu odniesienia go opisujemy.

Zadania i doświadczenia

1. Łódź płynie z prądem rzeki. Wyjaśnij, dlaczego w czasie mgły, gdy nie są widoczne brzegi rzeki, osoba siedząca w łodzi nie może stwierdzić, czy łódź się porusza, czy jest nieruchoma.
2. Na łodzi płynącej z prądem rzeki siedzą pelikany. Określ stan, w jakim znajdują się pelikany względem łodzi, wody i drzew na brzegu.
3. Z podanych elementów ułóż trzy zdania prawdziwe. Każdej z liczb 1, 2 i 3 przyporządkuj jedną z liter A, B lub C. Bramkarz drużyny Wisły wybił piłkę w stronę bramkarza drużyny Polonii. W układzie odniesienia związanym
 1. z bramkarzem Wisły
 2. z bramkarzem Polonii
 3. z grudką błota przyczepionego do piłki
 - A. piłka się zbliża.
 - B. piłka spoczywa.
 - C. piłka się oddala.



4.2 Tor ruchu, droga

Ciało zmieniające położenie między dwoma punktami porusza się wzdłuż jakiejś linii. Widoczną lub niewidoczną linię, którą zakreśla ciało wykonujące ruch, nazywamy **torem** jego ruchu. Ruch, którego torem jest prosta, nazywamy **prostoliniowym**. Ruch, którego torem jest dowolna krzywa, nazywamy ruchem **krzywoliniowym**.

Widoczne tory ruchu pozostawiają po sobie np. narciarz poruszający się po śniegu, lecący samolot odrzutowy, meteor, łyżwiarz jeżdżący po lodzie.

Po tej alei rowerzysta może się poruszać ruchem prostoliniowym.



Przy bezwietrznej pogodzie balony wznoszą się w górę ruchem prostoliniowym.



Po tej szosie pojazdy poruszają się ruchem krzywoliniowym.



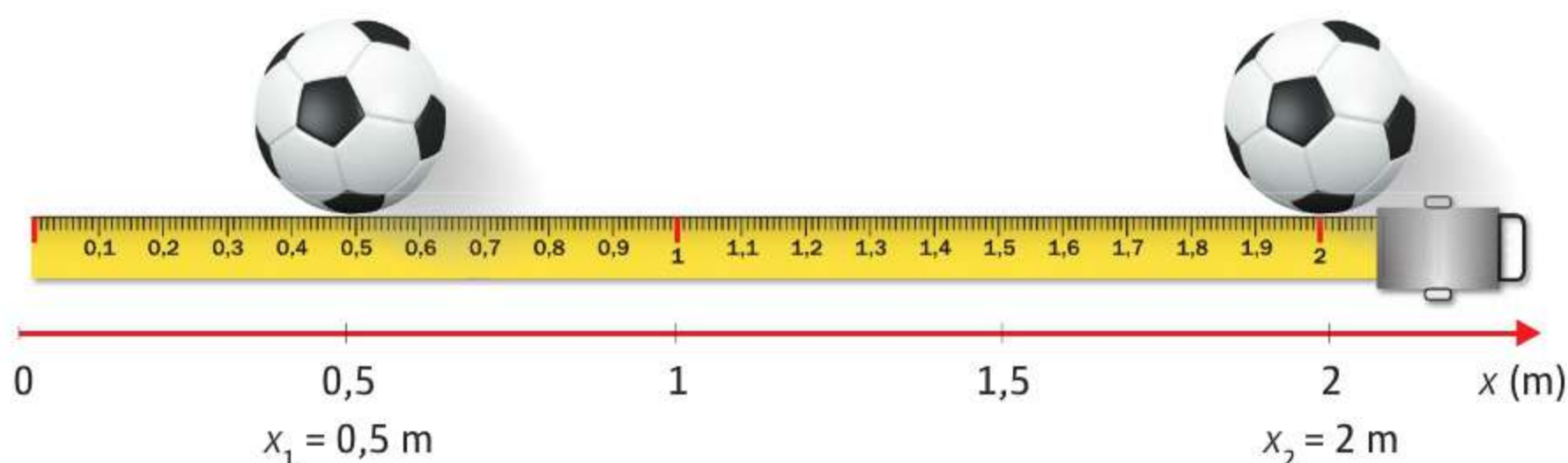
Pasażerowie tej kolejki poruszają się ruchem krzywoliniowym.

Przypatrzmy się fragmentowi mapy komunikacyjnej Polski. Zaznaczona czerwoną kreską szosa przedstawia tor, po którym poruszają się samochody na trasie Poznań–Warszawa. Wracający z Warszawy do domu mieszkaniec Strykowa przebędzie tylko część tego toru, podobnie jak mieszkaniec Wrześni.



Długość części toru przebywanej przez poruszający się obiekt nazywamy **drogą**. Drogę w naszych dalszych rozważaniach będziemy oznaczali literą s i wyrażali w metrach. Przy określaniu drogi możemy posługiwać się także mniejszymi lub większymi jednostkami długości, np. centymetrami, kilometrami.

Zajmiemy się teraz ruchem, którego **tor jest prostą**. Rozpatrzmy ruch piłki wzdłuż taśmy mierniczej. Położenia piłki w kolejnych chwilach możemy odczytać na skali taśmy.



Rzeczywistą taśmę możemy zastąpić osią biegnącą wzdłuż toru piłki. Na osi zaznaczamy skalę jak na taśmie. Kolejne położenia oznaczamy literą x ; na przykład: $x_1 = 0,5 \text{ m}$, $x_2 = 2 \text{ m}$. Matematycy nazywają je **współrzednymi położenia** na osi x .

Aby wskazać położenie piłki w dowolnej chwili t , wystarczy znać współrzedną x położenia piłki w tej chwili. Jeżeli w chwili t_1 (np. pewnego dnia o godzinie 11 28 min i 32 s)

współrzędna położenia piłki wynosi $x_1 = 0,5 \text{ m}$, a w chwili t_2 (np. tego samego dnia o godzinie 11 28 min i 35 s) wynosi $x_2 = 2 \text{ m}$, oznacza to, że w czasie:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3 \text{ s}$$

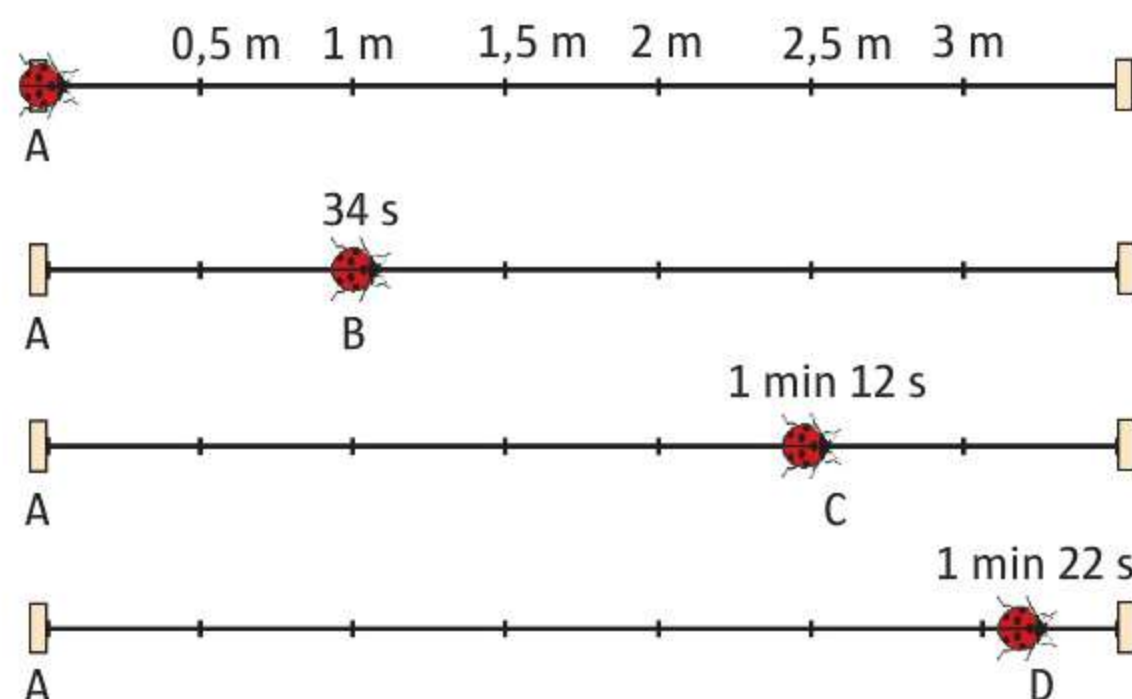
piłka przesunęła się o:

$$s = \Delta x = x_2 - x_1 = 2 \text{ m} - 0,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

Przypomnijmy, że symbol Δ (czytaj: delta) to grecka litera, którą oznaczamy zmianę danej wielkości fizycznej. W naszym przypadku Δ dotyczy zmiany czasu i zmiany współrzędnej x . Symbol Δ należy zawsze rozumieć jako: „od wielkości końcowej odejmij wielkość początkową”.

Przykład 4.3

Po drucie wędruje biedronka. Drut ma długość 3,5 metra. W chwili, gdy biedronka weszła na drut, włączono stoper, by zmierzyć czas. Nad biedronką zapisano wskazanie stopera w chwili, gdy owad był kolejno w punktach B, C i D.



Drogę $s_1 = AB$ biedronka przebyła w czasie:

$$\Delta t_1 = 34 \text{ s}$$

Drogę $s_2 = AC$ biedronka przebyła w czasie:

$$\Delta t_2 = 1 \text{ min } 12 \text{ s}$$

Drogę $s_3 = AD$ biedronka przebyła w czasie:

$$\Delta t_3 = 1 \text{ min } 22 \text{ s}$$

Drogę $s_4 = BC$ biedronka przebyła w czasie:

$$\Delta t_4 = 38 \text{ s}$$

Drogę $s_5 = BD$ biedronka przebyła w czasie:

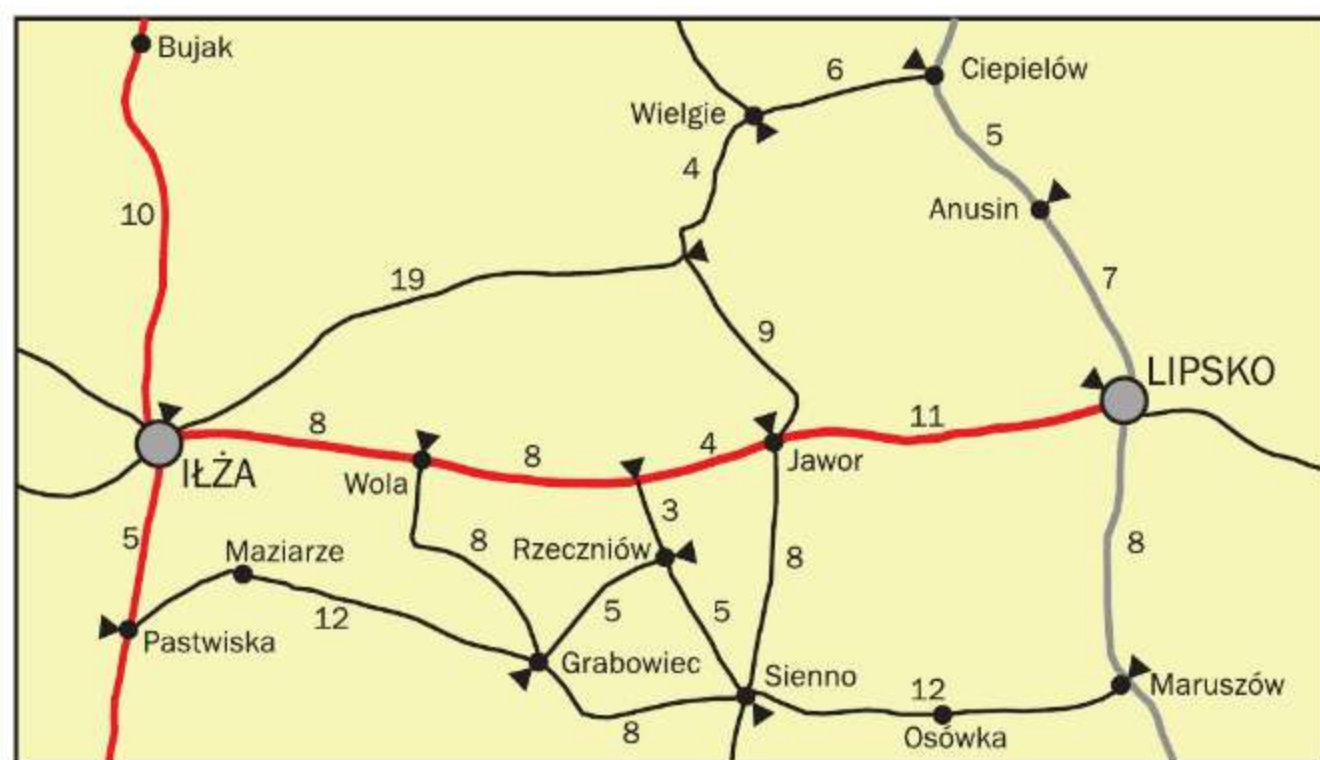
$$\Delta t_5 = 48 \text{ s}$$

Drogę $s_6 = CD$ biedronka przebyła w czasie:

$$\Delta t_6 = 10 \text{ s}$$

1. Torem ruchu nazywamy linię, którą zakreśla ciało wykonujące ruch.
2. Ruch, którego torem jest prosta, nazywamy ruchem prostoliniowym.
3. Ruch, którego torem jest dowolna krzywa, nazywamy ruchem krzywoliniowym.
4. Długość toru między dwoma jego punktami nazywamy drogą przebytą przez ciało i oznaczamy symbolem s .
5. Jednostką drogi jest metr (1 m).
6. Jeżeli ciało przemieszcza się wzdłuż osi x zgodnie z jej zwrotem, to przebyta droga jest równa $s = \Delta x$.

1. O godzinie 8.10 współrzędna położenia piłki poruszającej się ruchem prostoliniowym wynosiła $x_1 = 1$ m, a pięć sekund później $x_2 = 6$ m. Oblicz drogę przebytą przez piłkę w tym czasie.
2. Magda przejechała na łyżworolkach 4 km w kierunku północnym, po czym skręciła na wschód i przejechała jeszcze 3 km. Obierz taką skalę, na której 1 cm odpowiada 1 km, i przedstaw graficznie tor jazdy Magdy. Oblicz przebytą przez nią drogę.
3. Na mapie odległości są podane w kilometrach.



a) z miejscowości Wola dojechać do miejscowości Lipsko,
b) z miejscowości Ciepiałów dojechać do miejscowości Sienno,
c) z miejscowości Bujak dojechać do miejscowości Anusin.

4.3 Ruch prostoliniowy jednostajny

Rozważmy teraz najprostszy z możliwych ruchów, to znaczy **ruch prostoliniowy jednostajny**. Jest to ruch, który spełnia równocześnie dwa warunki:

- jego torem jest prosta,
- ciało poruszające się tym ruchem w dowolnie wybranych, ale jednakowych odstępach czasu przebywa jednakowe odcinki drogi.

Dodatkowo założmy, że ruch odbywa się **stale w tę samą stronę**.

Przykład 4.4

Jeżeli samolot poruszający się po linii prostej w ciągu dowolnych, ale jednakowych odstępów czasu przebywa jednakowe odcinki drogi (np. w ciągu każdej godziny przelatuje 600 km, w ciągu każdego kwadransa 150 km, w ciągu każdej minuty 10 km), to mówimy, że samolot ten porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. W praktyce z takim ruchem mamy do czynienia bardzo rzadko.

Ruch jednostajny prostoliniowy możemy zbadać np. poprzez mierzenie czasu, w którym banieczka powietrza poruszająca się w długiej, zamkniętej rurce wypełnionej olejem przebywa jednakowe odcinki drogi.

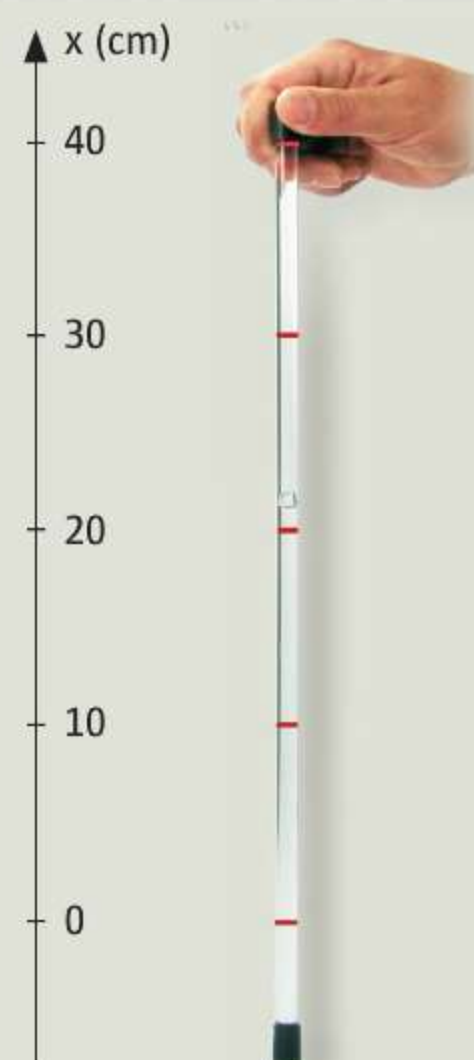
Doświadczenie 4.1

Badamy ruch prostoliniowy jednostajny.

Potrzebne przedmioty: szklana rurka o długości co najmniej 45 cm, wypełniona olejem z banieczką powietrza, pisak, stoper lub zegarek z sekundnikiem, linijka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Rozpocznij od dolnego końca rurki i pozaznaczaj pisakiem kreseczki co 10 cm.
- Szybkim ruchem obróć rurkę „do góry nogami”.
- Zmierz czasy, w których pęcherzyk przebywa dziesięciocentymetrowe odcinki drogi między kolejnymi kreskami.
- Pomiary powtórz trzykrotnie.



Do pomiaru możesz użyć stopera telefonu komórkowego lub stopera zamieszczonego w internecie. Wykorzystaj dostępną w tym stoperze możliwość zapisywania wyników pośrednich.

- Wyniki wpisz do tabeli.
- Oblicz średnie arytmetyczne czasów przebywania przez pęcherzyk kolejnych odcinków $\Delta x = 10$ cm.

W tabeli poniżej umieszczono przykładowe wyniki pomiarów. Czasy t_1 , t_2 i t_3 przebywania drogi Δx są tylko w przybliżeniu jednakowe, co nie powinno nas dziwić. Używaliśmy stopera mierzącego czas z dokładnością do 0,01 s, ale czas od chwili zaobserwowania przejścia banieczki powietrza przez kreskę do naciśnięcia przycisku stopera (czas reakcji) jest rzędu 0,1 s. Za dokładność pomiaru przyjmujemy więc 0,1 s. Stąd wynik zaokrąglamy do $t_{sr} = 3,3$ s.

Δx (cm)	Czas przebycia odcinka Δx				
	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_{sr} (s)	$t_{sr} \pm \Delta t$ (s)
10	3,30	3,35	3,20	3,28	$3,3 \pm 0,1$
10	3,25	3,29	3,22	3,25	$3,3 \pm 0,1$
10	3,18	3,32	3,28	3,26	$3,3 \pm 0,1$
10	3,29	3,33	3,21	3,28	$3,3 \pm 0,1$

Wniosek: jeżeli zmierzone czasy przebywania jednakowych odcinków drogi są jednakowe, to badany ruch jest ruchem jednostajnym.

Na podstawie tych wyników pomiarów możemy także odpowiedzieć na pytanie: „Jak droga przebyta przez ciało zależy od czasu trwania ruchu?”.

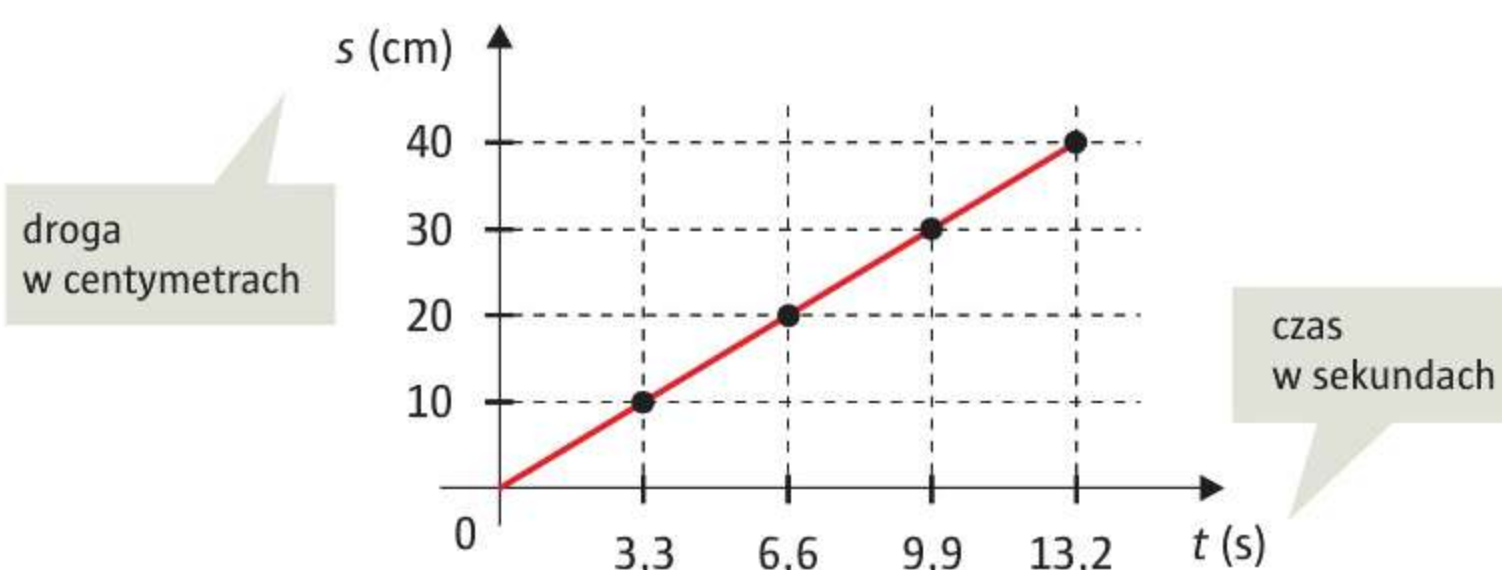
Jak widać, jeśli w czasie 3,3 s została przebyta droga 10 cm, to:

- droga przebyta przez ciało w czasie dwukrotnie dłuższym jest dwukrotnie większa,
- droga przebyta przez ciało w czasie trzykrotnie dłuższym jest trzykrotnie większa itd.

Droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu.

Wykorzystajmy wyniki z tabeli do sporządzenia wykresu zależności drogi od czasu. Na osi poziomej zaznaczamy czas t liczony od chwili, gdy pęcherzyk mija pierwszą kreskę. Na osi pionowej zaznaczamy drogę s przebytą przez ciało.

Na tak przygotowany układ osi nanosimy kolejno – z wykorzystaniem przerywanych linii pomocniczych – punkty o współrzędnych $(0; 0)$, $(3,3; 10)$, $(6,6; 20)$, $(9,9; 30)$, $(13,2; 40)$. Pierwsza liczba to wartość współrzędnej czasu, druga – współrzędnej położenia. Otrzymane punkty leżą na tej samej półprostej.



Jak widać na powyższym rysunku, **wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.**

Przykład 4.5

Żółw wędruje ruchem jednostajnym prostoliniowym. W pierwszej minucie ruchu przebył 1 m.

Ten żółw:

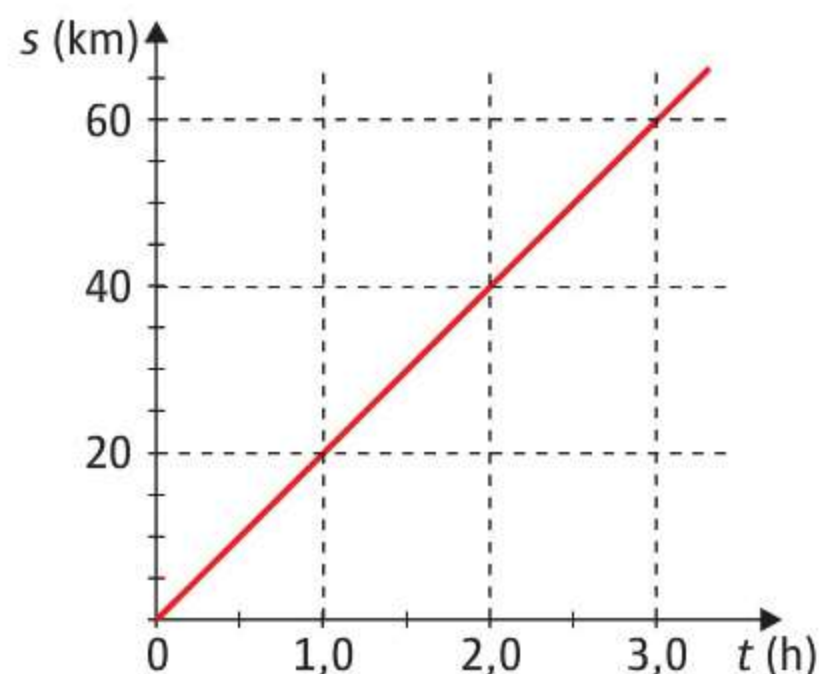
- w drugiej minucie przejdzie 1 m,
- w ciągu dwóch minut przejdzie 2 m,
- w trzeciej minucie przejdzie 1 m,
- w ciągu trzech minut przejdzie 3 m,
- w dziesiątej minucie przejdzie 1 m,
- w ciągu dziesięciu minut przejdzie 10 m.



Przykład 4.6

Z wykresu zależności drogi (s) od czasu (t) dla łodzi płynącej ruchem jednostajnym można odczytać, że:

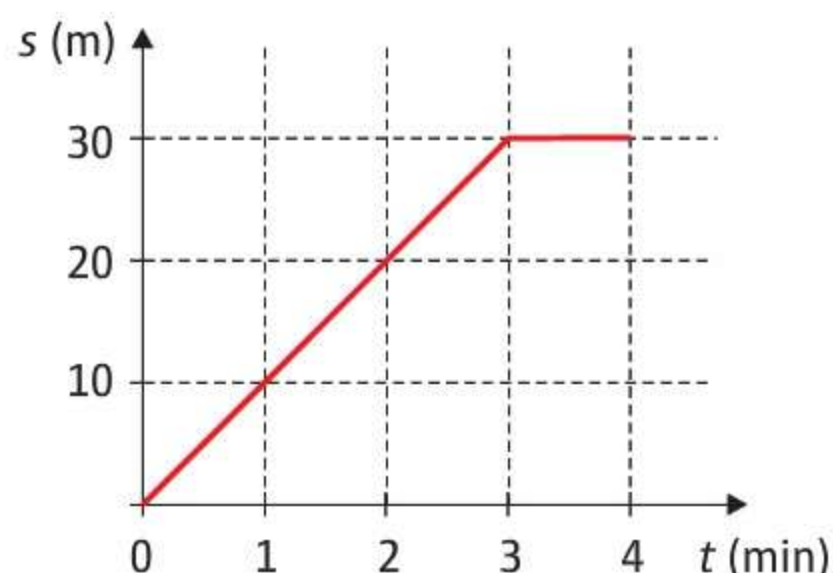
- w czasie 2,5 godziny łódź przeplęła 50 km,
- drogę równą 30 km łódź przeplęła w czasie 1,5 h.



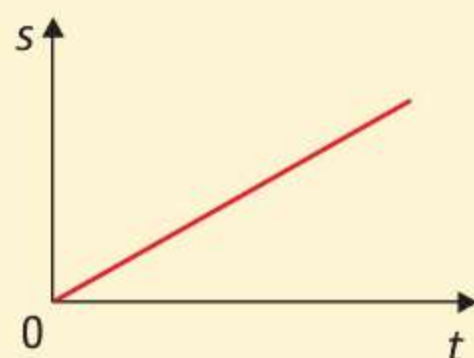
Przykład 4.7

Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez dziecko jadące na hulajnodze od czasu trwania ruchu.

- W pierwszej minucie dziecko przejechało 10 m.
- W drugiej minucie przejechało 10 m.
- W końcu trzeciej minuty zatrzymało się i przez całą czwartą minutę pozostawało w spoczynku.

**Podsumowanie**

1. Ruchem prostoliniowym jednostajnym nazywamy taki ruch, którego torem jest prosta i w czasie którego ciało w dowolnych, ale jednakowych odstępach czasu przebywa jednakowe odcinki drogi.
2. Droga przebyta przez ciało w czasie tego ruchu jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu, np. w dwukrotnie większym czasie ciało przebywa dwukrotnie dłuższą drogę.
3. Wykresem zależności drogi od czasu $s(t)$ w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



4. Przy opisywaniu osi można symbole używanych jednostek umieszczać w nawiasach, np. s (km) oraz t (h), albo po przecinku, np. s , km oraz t , h. W tym podręczniku stosujemy pierwszą z tych konwencji.
5. Informacje zawarte w punktach 2–4 obowiązują także dla ruchu jednostajnego po torze o dowolnym kształcie (dla ruchu krzywoliniowego).

Zadania i doświadczenia

1. Narysuj wykres zależności drogi przebytej przez żółwia z przykładu 4.5 od czasu jego ruchu.
2. Kolarz jedzie ruchem jednostajnym prostoliniowym. W pierwszej sekundzie przebywa drogę równą 10 m. Podaj drogę, którą przejedzie ten kolarz:
 - a) w drugiej sekundzie i w ciągu dwóch sekund,
 - b) w piątej sekundzie i w ciągu pięciu sekund,
 - c) w dziesiątej sekundzie i w ciągu dziesięciu sekund.Wykonaj wykres zależności drogi s przebytej przez kolarza od czasu t .
3. Dźwięk w powietrzu w jednej sekundzie przebywa drogę 340 m. Wiadomo, że przebyta droga jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu. Oblicz, po jakim czasie dźwięk dzwonu Zygmunta na Wawelu dotrze na kopiec Kościuszki, oddalony od Wawelu o 3,06 km.
4. W stalowych szynach kolejowych dźwięk w jednej sekundzie przebywa drogę 5800 m.
 - a) Oblicz czas, po jakim usłyszymy dźwięk wydawany przez pociąg odległy od nas o 2,9 km, jeśli przyłożymy ucho do szyny.
 - b) Sporządź wykres zależności drogi przebytej przez dźwięk rozchodzący się w stali od czasu.

4.4 Wartość prędkości w ruchu jednostajnym

W poprzednim rozdziale wykazaliśmy, że droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu. Oznacza to, że iloraz drogi s i czasu t trwania tego ruchu ma wartość stałą. Możemy to zapisać następująco:

$$\frac{\text{droga}}{\text{czas}} = \frac{s}{t} = \text{const} \quad (4.1)$$

Tę stałą wielkość, charakterystyczną dla danego ruchu jednostajnego, nazywamy **wartością prędkości**⁴ lub krócej – **szybkością** – i oznaczamy literą v .

$$\begin{aligned} \text{wartość prędkości} &= \frac{\text{droga}}{\text{czas}} \\ v &= \frac{s}{t} \end{aligned} \quad (4.2)$$

W celu określenia jednostki szybkości do wzoru (4.2) wstawiamy jednostkę drogi (1 m) i jednostkę czasu (1 s). Zapisujemy to następująco:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Używane są również inne jednostki szybkości, np. $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$, $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Gąsienica porusza się z małą szybkością, tzn. w długim czasie przebywa krótką drogę.



Narciarz porusza się z dużą szybkością, tzn. w krótkim czasie przebywa długą drogę.

⁴ Prędkość, podobnie jak siła, jest wielkością wektorową i oprócz wartości ma kierunek i zwrot. Można o tym przeczytać na s. 111.

Wróćmy do przykładu z piłką toczącą się wzdłuż taśmy mierniczej (s. 96). W ciągu 3 sekund piłka przebyła drogę 1,5 metra. Jeśli podzielimy całą przebytą drogę przez czas trwania ruchu, otrzymamy informację o drodze przebytej przez piłkę w jednej sekundzie: w czasie jednej sekundy piłka przebyła drogę 0,5 metra.

Wartość prędkości (szybkość) ciała informuje nas o tym, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu.

Przykład 4.8

Szybkość $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oznacza, że w czasie jednej sekundy ciało przebywa drogę 5 m.

Szybkość $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ oznacza, że w czasie jednej godziny ciało przebywa drogę 100 km.

Przykład 4.9

Samochód jedzie ruchem jednostajnym z szybkością $v = 36 \text{ km/h}$ ⁵. Wyrazimy tę szybkość w m/s.

Przypomnij sobie, że $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$, a jedna godzina $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$.

$$36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 36 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przykład 4.10

Samochód jedzie z szybkością 15 m/s . Wyrazimy tę szybkość w km/h.

Przypomnij sobie, że $1 \text{ m} = \frac{1}{1000} \text{ km}$ oraz $1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h}$.

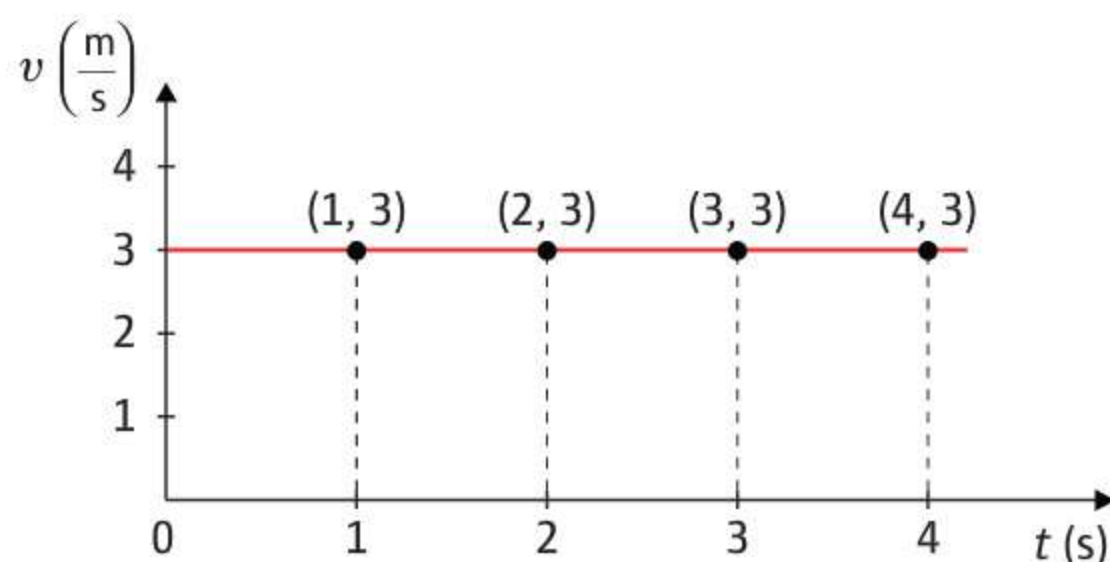
$$15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15 \cdot \frac{\frac{1 \text{ km}}{1000}}{\frac{1 \text{ h}}{3600}} = 15 \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000} \cdot \frac{3600}{1 \text{ h}} = 15 \cdot \frac{1 \text{ km} \cdot 3600}{1000 \cdot 1 \text{ h}} = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Narysujmy wykres zależności wartości prędkości od czasu w ruchu jednostajnym dla wyników przedstawionych w tabeli. W każdej chwili, a więc po 1 sekundzie ruchu, po 2 sekundach ruchu itd., szybkość wynosi 3 m/s .

$t \text{ (s)}$	1	2	3	4
$v \text{ (m/s)}$	3	3	3	3

⁵ Zapis 36 km/h oznacza to samo co $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jest często stosowany w podręcznikach fizyki i zbiorach zadań.

Zgodnie z tym, co napisano w rozdziale 1.5, na układzie osi zaznaczamy kolejne punkty o współrzędnych (1, 3), (2, 3), (3, 3) itd. i je łączymy.



Wykresem zależności wartości prędkości od czasu w ruchu jednostajnym jest półprosta równoległa do osi czasu.

Jeżeli znamy szybkość i czas trwania ruchu, możemy obliczyć drogę przebytą przez ciało. W tym celu posłużymy się wzorem (4.2) i przekształcimy go do postaci:

$$\text{droga} = \text{wartość prędkości} \cdot \text{czas}$$

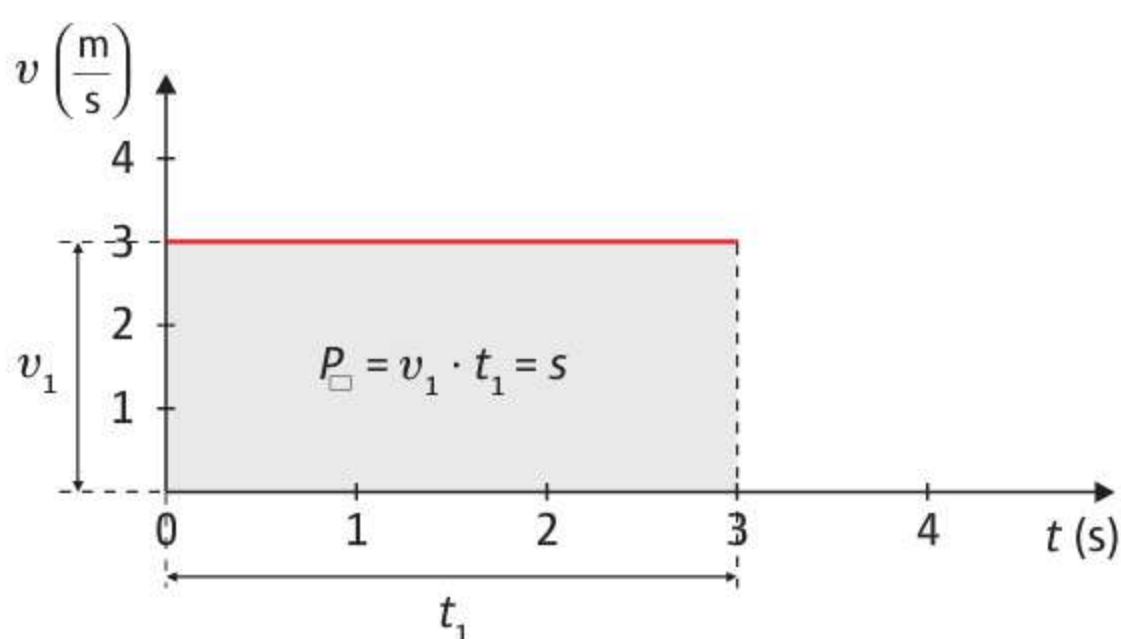
$$s = v \cdot t \quad (4.3)$$

W rozważanym wyżej przykładzie droga s przebyta np. w czasie $t_1 = 3$ s jest równa:

$$s = v_1 \cdot t_1, \quad \text{gdzie} \quad v_1 = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$s = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ s} = 9 \text{ m}$$

Zauważ, że drogę obliczamy jak pole szarego prostokąta na rysunku poniżej, którego boki są wyrażone w jednostkach takich jak na osiach układu współrzędnych. Taki sposób obliczania drogi na podstawie wykresu $v(t)$ często wykorzystuje się w zadaniach.



Drogę przebytą przez ciało obliczamy jak pole powierzchni prostokąta pod wykresem $v(t)$; długości boków tego prostokąta są wyrażone w takich jednostkach, jak v i t na osiach układu współrzędnych.

Jeśli przekształcimy wzór (4.2) do postaci:

$$t = \frac{s}{v}$$

możemy obliczyć czas, w którym ciało ruchem jednostajnym przebywa drogę s . Żadne poruszające się ciało nie może osiągnąć szybkości równej lub większej od szybkości światła w próżni. Wartość ta oznaczana jest literą c od łacińskiego słowa *celeritas* oznaczającego szybkość i rącość. Szybkość ta wynosi w przybliżeniu 300 000 km/s.

Tabela 4.1. Przykłady szybkości spotykanych w przyrodzie

Ciało	Szybkość v (w przybliżeniu)	
	m/s	km/h
piechur	1,5	5,4
pszczoła	5	18
sprinter	10	36
galopujący koń	15	54
antylopa	26	94
dźwięk w powietrzu	340	1224
samolot odrzutowy	610	2196
światło w próżni	300 000 000	1 080 000 000



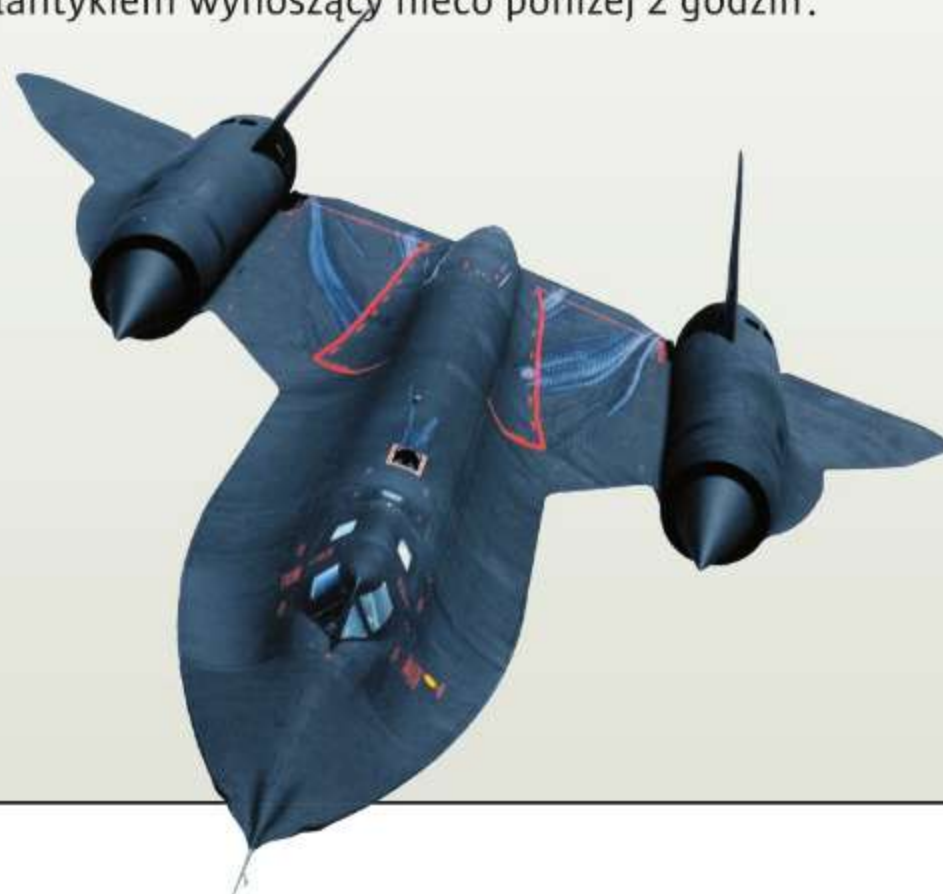
Sprinter

Rekord świata w biegu na 100 m wynosi 9,58 s. Został ustanowiony przez Usainę Boltę 16 sierpnia 2009 r. w Berlinie. Po rozpędzeniu się sprinter każde 10 m przebiegał w czasie krótszym niż sekunda.

Lockheed SR-71 Blackbird

(czytaj: lokhid blakberd)

Był to samolot używany przez siły amerykańskie do zwiadu strategicznego. Wartość jego maksymalnej prędkości wynosiła 3530 km/h. Do tego samolotu należy rekord przelotu nad Atlantykiem wynoszący nieco poniżej 2 godzin.



Podsumowanie

1. W ruchu jednostajnym wartość prędkości informuje nas o tym, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu.

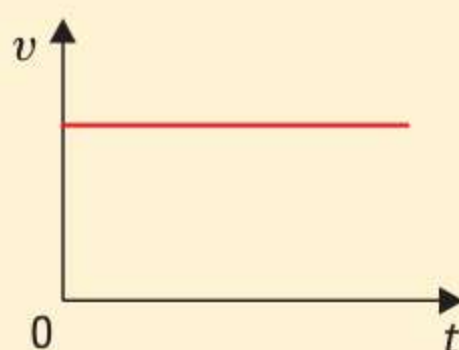
W przypadku prostoliniowego ruchu ciała zgodnie ze zwrotem osi x :

$$v = \frac{\Delta x}{t} = \frac{s}{t}$$

2. Jednostką wartości prędkości jest 1 m/s.
3. Drogę w ruchu jednostajnym obliczamy ze wzoru:

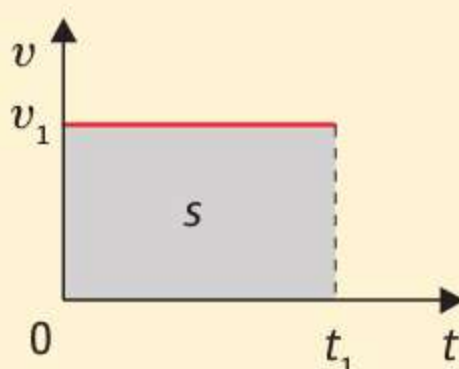
$$s = v \cdot t, \text{ a czas: } t = \frac{s}{v}.$$

4. W ruchu jednostajnym wykresem zależności wartości prędkości od czasu $v(t)$ jest półprosta równoległa do osi czasu.



5. Drogę przebytą przez ciało w danym czasie obliczamy jak pole pod wykresem $v(t)$.

$$s = v_1 \cdot t_1$$



Zadania i doświadczenia

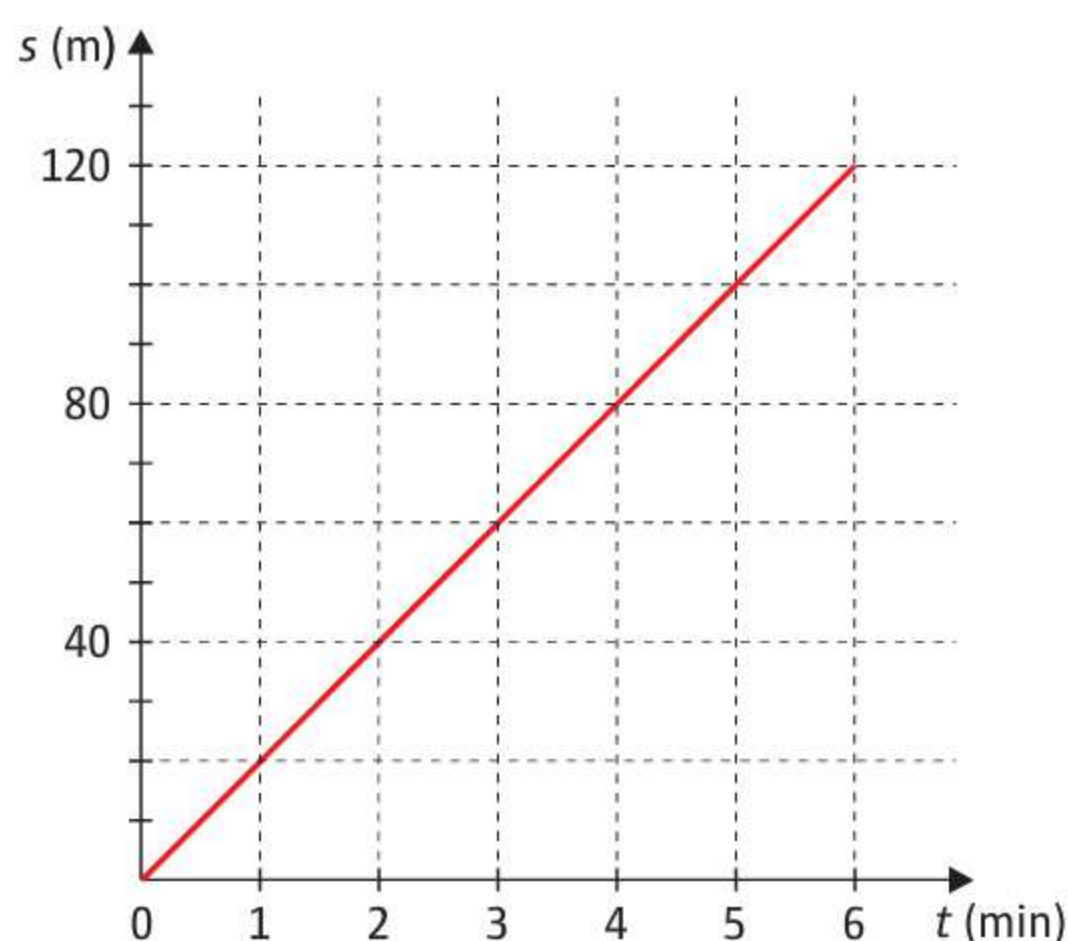
1. Wiadomo, że traktor jedzie z szybkością $v = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Przerysuj tabelę do zeszytu. Uzupełnij ją.

Droga s przebyta przez traktor (km)	Czas t ruchu traktora (h)
	1
	2
	3

2. Dźwięk w powietrzu rozchodzi się z prędkością o wartości $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Przerysuj tabelę do zeszytu. Uzupełnij ją.

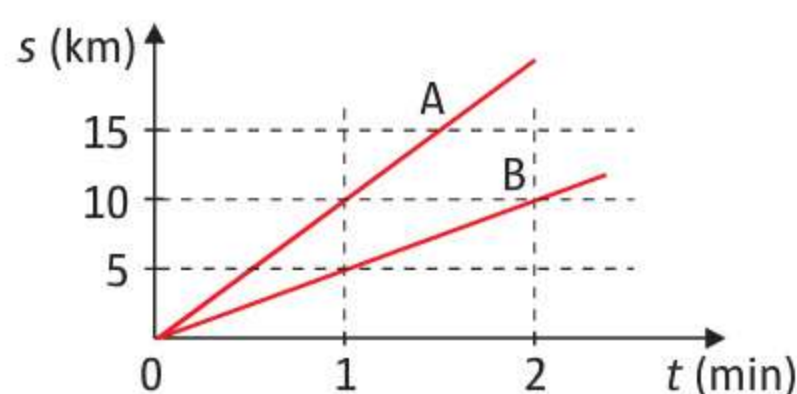
Droga s przebyta przez dźwięk (m)	Czas t (s), w którym dźwięk przebywa drogę s
	1
	2
	0,5

3. Wyjaśnij, co to znaczy, że wartość prędkości ciała w ruchu jednostajnym wynosi 2 m/s . Podaj, jaką drogę przebędzie to ciało w drugiej sekundzie, a jaką w ciągu dwóch sekund. Narysuj wykresy $v(t)$ i $s(t)$ w tym ruchu.
4. Skorzystaj z tabeli 4.1 oraz informacji, że odległość Słońca od Ziemi wynosi około $150\,000\,000 \text{ km}$ i oblicz, ile czasu potrzeba, aby światło słoneczne dotarło na Ziemię.
5. Wykres przedstawia zależność $s(t)$ dla kostki masła umieszczonej na taśmie transportera przenoszącego produkty z hali produkcyjnej do paczkowni.

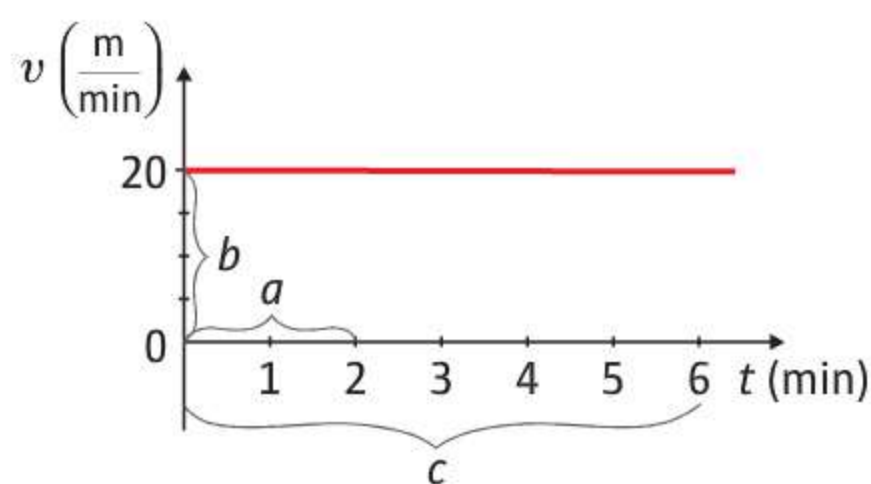


- a) Odczytaj drogę przebytą przez masło:
- w ciągu pierwszej minuty,
 - w ciągu dwóch pierwszych minut,
 - w piątej minucie,
 - w ciągu sześciu minut.
- b) Ustal, jaką drogę kostka przebyła w każdej minucie.
- c) Oblicz wartość prędkości, z jaką poruszała się kostka.
- d) Podaj nazwę ruchu, którym poruszała się kostka.

6. Od ujrzenia błyskawicy do usłyszenia grzmotu upłynęło 5 sekund. Jak daleko od obserwatora uderzył piorun? Szybkość dźwięku w powietrzu jest równa 340 m/s.
Wskazówka: Ze względu na bardzo dużą szybkość światła można pominąć w obliczeniach czas, jakiego potrzebowało ono na dotarcie do obserwatora.
7. Posłuż się tabelą 4.1 i oblicz, jak daleko może dotrzeć:
- pszczoła w ciągu pół godziny,
 - antylopa w ciągu piętnastu minut,
 - samolot odrzutowy w ciągu dwóch godzin.
8. Posłuż się tabelą 4.1 i oblicz, ile czasu potrzebuje:
- koń na przebycie 9 kilometrów,
 - sprinter na przebycie 300 metrów.
9. Na podstawie wykresu $s(t)$ dla dwóch różnych ciał A i B, poruszających się ruchem jednostajnym, oblicz ich szybkości. Wyraż je w metrach na sekundę i kilometrach na godzinę.



10. Wykres przedstawia zależność szybkości kostki masła z zadania 5. od czasu ruchu na taśmie transportera.



- Oblicz pole prostokąta o bokach a i b (z uwzględnieniem jednostek) ze wzoru $P = a \cdot b$. Porównaj uzyskaną wartość z drogą przebytą przez masło w ciągu dwóch minut w zadaniu 5.
- Na wykresie zakreśl prostokąt o bokach b i c . Oblicz pole tego prostokąta. Porównaj uzyskaną wartość z odczytaną z wykresu w zadaniu 5. drogą przebytą przez masło w ciągu sześciu minut.
- Zapisz słowami wniosek z przeprowadzonych obliczeń i porównań.

*4.5 Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Znajomość początkowego położenia ciała i wartości prędkości nie wystarczają do określenia końcowego położenia ciała po pewnym czasie trwania ruchu. Rozpatrzmy sytuację przedstawioną na rysunku.

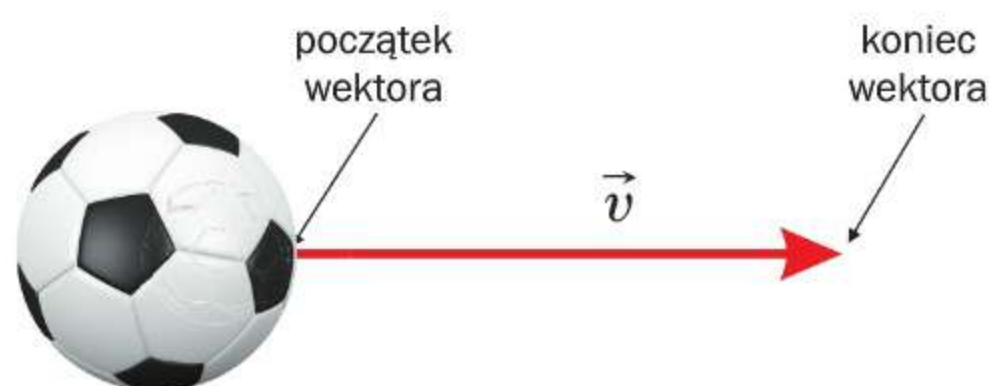


W chwili początkowej statek znajduje się w punkcie A. Stąd wyrusza i płynie z szybkością 15 km/h ruchem jednostajnym prostoliniowym przez 5 godzin. Jeśli nie wiemy, w którą stronę płynie, nie potrafimy wskazać jego położenia po tym czasie. Statek może się poruszać na północ, południe, wschód lub w każdym innym kierunku. Po 5 godzinach ruchu może znajdować się więc w każdym punkcie okręgu o środku w punkcie A i promieniu s równym przebytej drodze. Aby podać położenie statku, musimy wiedzieć, **wzdłuż jakiej prostej się poruszał i w którą stronę.**

Jak wiesz, wielkość, która oprócz wartości ma jeszcze kierunek, zwrot i punkt przyłożenia, to wielkość wektorowa. Zapewne pamiętasz, że taką wielkością jest siła. Do pełnego opisu ruchu ciała konieczne jest wprowadzenie wielkości wektorowej zwanej **prędkością**⁶. Wektor obrazujący prędkość przykładamy do ciała, którego ruch opisujemy.

⁶ W anglojęzycznych podręcznikach fizyki szybkość to *speed* (czytaj spid), zaś prędkość to *velocity* (czytaj welositi).

Długość wektora wyraża **wartość** prędkości. Prosta, na której leży wektor, to jego **kierunek**. Grot wyznacza **zwrot** wektora, czyli pokazuje, w którą stronę porusza się ciało.



Jeśli statek płynął do Palermo, jego prędkość obrazuje wektor $\vec{v}_p$ o kierunku wyznaczonym przez prostą przechodzącą przez punkt A i przez punkt obrazujący położenie miasta. Jeśli przyjmiemy, że prędkości o wartości 5 km/h odpowiada wektor o długości 0,5 cm, to prędkości o wartości 15 km/h będzie odpowiadał wektor o długości 3 razy większej.



Przykład 4.11

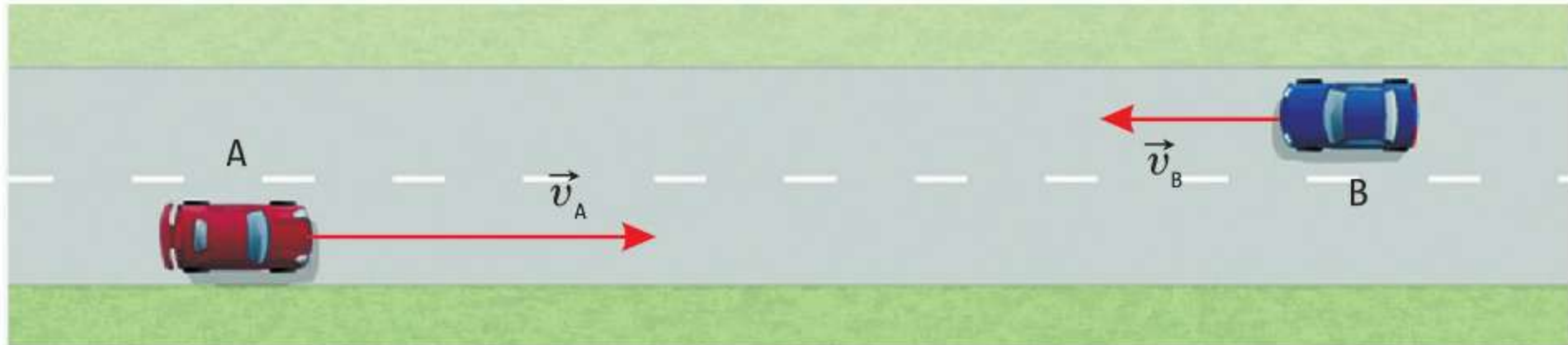
Samolot leci na wschód z szybkością 800 km/h. Narysujmy wektor obrazujący prędkość samolotu. Umawiamy się, że strzałka o długości 1 cm oznacza 400 km/h.

Wektor prędkości na rysunku będzie miał długość 2 cm, kierunek wschód–zachód i zwrot – na wschód.



Przykład 4.12

Prostym odcinkiem szosy jadą dwa samochody A i B. Wartość prędkości samochodu A jest większa od wartości prędkości samochodu B. Kierunek ruchu obu samochodów jest taki sam. Prędkość samochodu A jest zwrócona w prawo, a samochodu B – w lewo.



Podsumujmy informacje o wektorach.

Cechy wektora	Opis
wartość	długość wektora zgodnie z przyjętą jednostką
kierunek	prosta, na której leży wektor
zwrot	wskazanie, w którą stronę zwrócony jest wektor
punkt przyłożenia	w przypadku prędkości – ciało, które porusza się z tą prędkością; w przypadku ciężaru – ciało o tym ciężarze

W ruchu jednostajnym prostoliniowym odbywającym się stale w tę samą stronę wartość prędkości, jej kierunek i zwrot są stałe, możemy więc stwierdzić, że prędkość w tym ruchu jest stała.

Podsumowanie

1. Prędkość jest wielkością wektorową.
2. W ruchu jednostajnym prostoliniowym odbywającym się stale w tę samą stronę prędkość jest stała, tzn. ma stałe: wartość, kierunek i zwrot.

4.6 Ruch zmienny

W życiu codziennym często mamy do czynienia z ruchami niejednostajnymi, czyli zmiennymi. Są to albo ruchy prostoliniowe, w których wartość prędkości się zmienia, albo ruchy krzywoliniowe.

Przykład 4.13

Skuter śnieżny wolniej jedzie pod górę, szybciej z góry. Zwalnia aż do zatrzymania się i zwiększa swoją szybkość, gdy rusza. Wartość prędkości jest w każdej chwili wskazywana przez prędkościomierz zamontowany na tablicy rozdzielczej skutera. W rezultacie jednakowe, jednokilometrowe odcinki drogi pojazd przebywa w różnym czasie.



Jeśli trasę o długości 30 km skuter przebył w czasie pół godziny, to po podzieleniu całej drogi przez czas ruchu otrzymujemy:

$$\frac{30 \text{ km}}{0,5 \text{ h}} = \frac{30 \text{ km}}{0,5 \text{ h}} \cdot \frac{10}{10} = \frac{300 \text{ km}}{5 \text{ h}} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Jest to **średnia wartość prędkości** lub krócej – **średnia szybkość** ruchu (v_{sr}).

Gdyby skuter jechał przez pół godziny ruchem jednostajnym z szybkością 60 km/h, to przejechałby w tym czasie 30 km.

Bez względu na rodzaj ruchu średnią szybkość w ruchu zmiennym obliczamy ze wzoru:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$$

Znajomość średniej szybkości pozwoli nam m.in. zaplanować czas podróży.

Przykład 4.14

Magda, mieszkająca w Krakowie, zamierza spędzić wakacje w Zakopanem. Wraz z rodzicami pojedzie samochodem, którym na tej trasie zazwyczaj można poruszać się ze średnią szybkością 60 km/h.

Drogę, jaką ma przebyć samochód, można odczytać z mapy samochodowej. O której godzinie powinna rozpocząć się podróż, jeżeli Magda ma dojechać do Zakopanego o godzinie 14.00?

Rozwiązanie:

Z mapy odczytujemy drogę, jaką ma do przebycia samochód – wynosi ona 102 km. Czas potrzebny na przebycie tej drogi przez samochód obliczymy za pomocą wzoru:

$$t = \frac{s}{v_{\text{sr}}}$$

$$t = \frac{102 \text{ km}}{60 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 102 \text{ km} \cdot \frac{\text{h}}{60 \text{ km}} = 1,7 \text{ h} = 1 \text{ h i } 42 \text{ min}$$

Odpowiedź: Podróż Magdy powinna się rozpocząć o godzinie 12.18.

**Doświadczenie 4.2****Wyznaczanie średniej wartości prędkości przez pomiar odległości i czasu.**

- Wspólnie z kolegami i koleżankami zorganizuj zawody sportowe. W sali gimnastycznej, na boisku lub w basenie odmierz określony, prostoliniowy dystans do przebycia przez uczestników zawodów. Czas przebycia tego dystansu przez każdego zawodnika powinny mierzyć przynajmniej trzy osoby.
- Dla każdego zawodnika oblicz średnią arytmetyczną wyników pomiaru czasu w sekundach, zaokrągloną do pierwszego miejsca po przecinku.
- Oblicz średnią wartość prędkości każdego zawodnika.

Do opisu ruchu zmiennego używa się także wielkości wektorowej – prędkości. Jeśli ruch jest krzywoliniowy, kierunek wektora prędkości zmienia się z upływem czasu. Jeśli ciało porusza się raz szybciej, a raz wolniej, zmienia się długość wektora opisującego prędkość ciała w danej chwili, czyli tzw. **prędkość chwilowa**.

Podsumowanie

1. W ruchach zmiennych prostoliniowych i krzywoliniowych posługujemy się pojęciem średniej wartości prędkości. Obliczamy ją poprzez podzielenie całkowitej drogi przebytej przez ciało przez czas trwania ruchu:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$$

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz szybkość średnią:
 - a) sprintera w biegu na 100 m mężczyzn, który ten dystans przebył w czasie 10 s;
 - b) maratończyka, który drogę 42,195 km przebył w czasie 3 h. Czy wiesz, od jakiego wydarzenia pochodzi nazwa tego biegu?
2. Pociąg jedzie z Krakowa do Tarnowa według poniższego rozkładu jazdy. Oblicz średnie szybkości pociągu na poszczególnych odcinkach trasy Kraków–Tarnów oraz średnią szybkość pociągu na całej trasie.

Droga (km)	Stacja	Godzina
0	Kraków	10.00
40	Bochnia	10.50
55	Brzesko	11.05
80	Tarnów	11.45

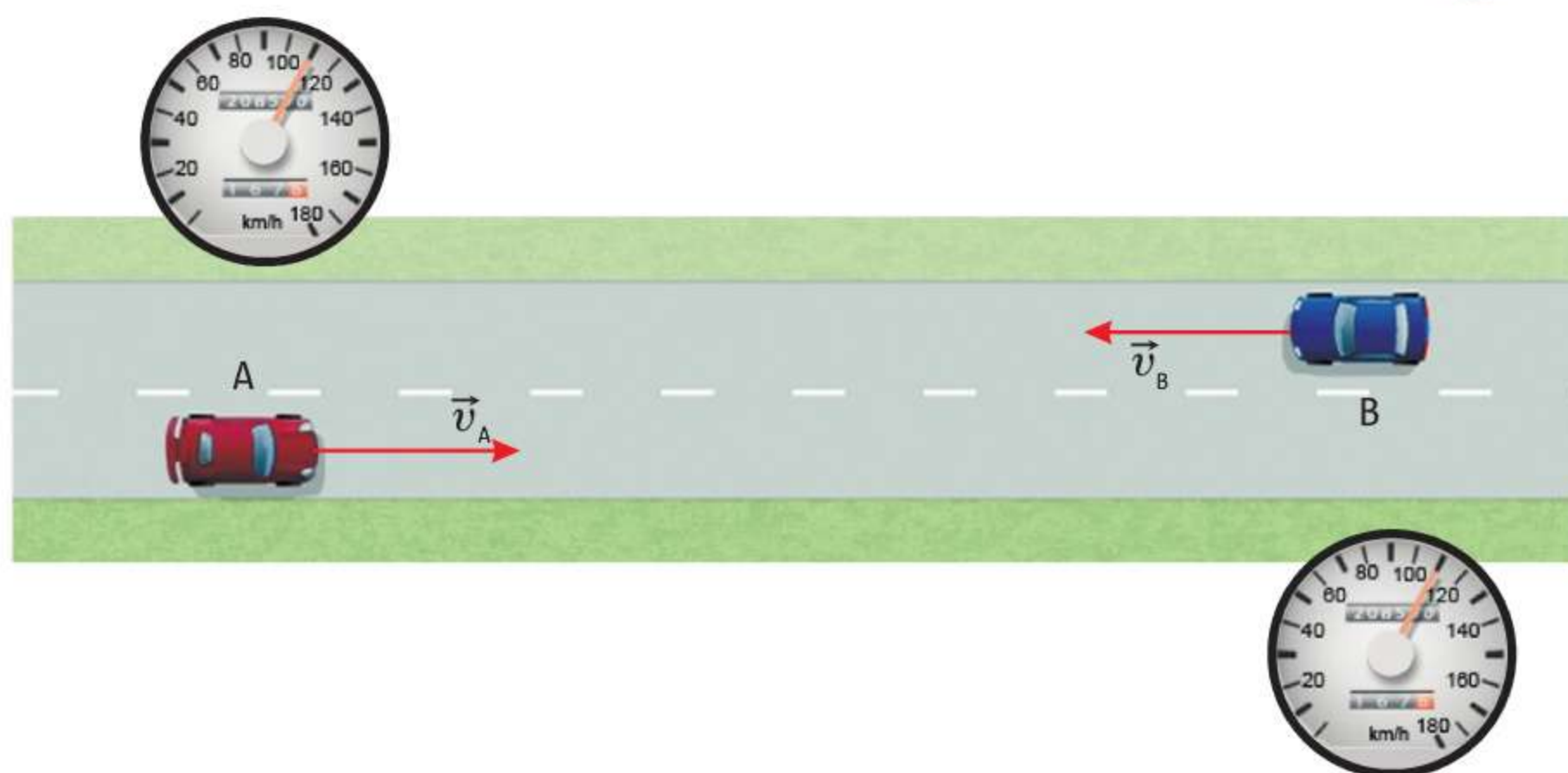
3. Kierowca zauważył znak drogowy. Wyjaśnij, czy 70 oznacza zakaz przekroczenia wskazywanej przez prędkościomierz szybkości chwilowej 70 km/h, czy średniej szybkości 70 km/h.
4. Wyjaśnij sens poniższego dowcipu.
Początkującego kierowcę zatrzymał policjant i mówi: „Panie kierowco, tu jest ograniczenie szybkości, a pan jechał 80 km na godzinę”. Na to kierowca: „Ależ proszę pana, ja jadę dopiero 10 minut”.



5. Objaśnij, czy fotoradar mierzy szybkość średnią czy chwilową.



6. Po prostoliniowym odcinku szosy jadą dwa samochody A i B (rys.). Przy każdym narysowano wskazanie jego prędkościomierza w pewnej chwili.



- Czy prędkościomierze samochodów A i B wskazują szybkości średnie czy szybkości chwilowe?
 - Czy wartości prędkości samochodów w chwili przedstawionej na rysunku są jednakowe czy różne?
 - Czy prędkości samochodów w chwili przedstawionej na rysunku są jednakowe czy różne?
- *7. Rowerzysta jechał przez 20 minut po płaskim terenie z szybkością 24 km/h, a następnie przez 10 minut wspinał się pod górę z szybkością 12 km/h.
- Oblicz średnią szybkość rowerzysty w ciągu 30 minut jazdy.
 - Narysuj wykres zależności drogi przebytej przez rowerzystę od czasu. Na wykresie zaznacz drogi przebyte z różnymi szybkościami.

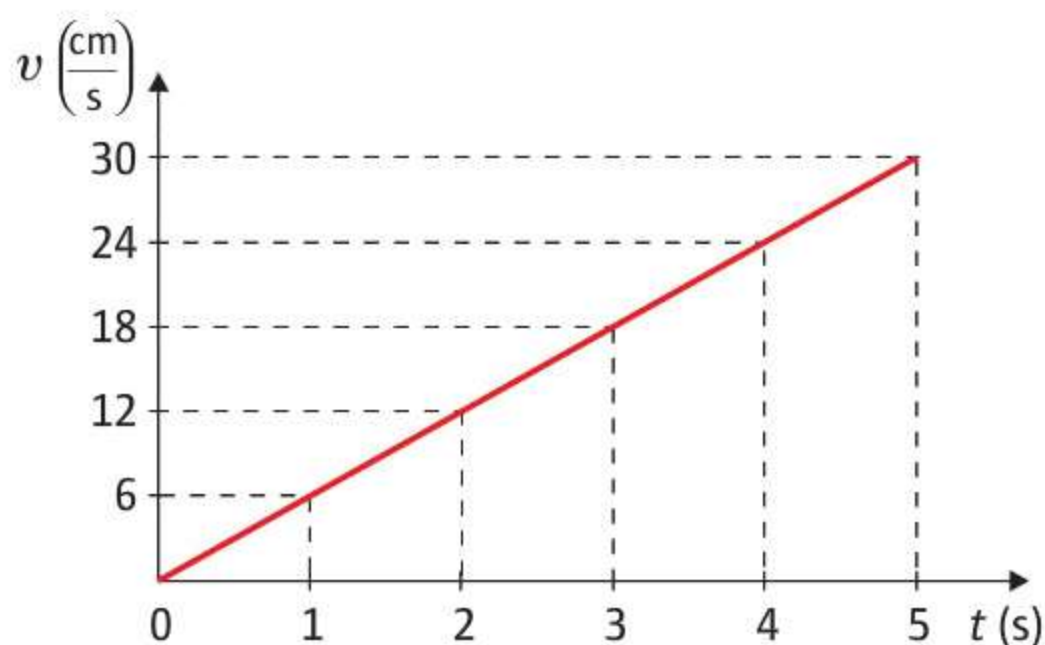
4.7 Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony



Na spadzistych odcinkach trasy szybkość pontonu wzrasta.

Zajmiemy się teraz badaniem ruchów prostoliniowych, w których wartość prędkości ulega zmianie. Ruch, w którym szybkość wzrasta, nazywamy **ruchem przyspieszonym**, a ruch, w którym szybkość maleje, nazywamy **ruchem opóźnionym**.

Ruchem przyspieszonym startują samochody i samoloty. Takim ruchem rozpoczynają zjazd po nachylonym stoku narciarze i saneczkarze. Szczególny ruch przyspieszony, jakim jest ruch po gładkiej powierzchni nachylonej do poziomu, można badać z użyciem stalowej kulki poruszającej się w długiej rynnie (fot.), mierząc drogi przebyte przez kulkę w kolejnych równych odstępach czasu.



W wyniku przeprowadzonego doświadczenia otrzymujemy wykres zależności $v(t)$, tzn. wartości prędkości chwilowej od czasu dla takiego ruchu, w postaci półprostej wychodzącej z początku układu współrzędnych, nachylonej pod kątem ostrym do osi czasu. Odczytajmy z wykresu, o ile wzrastała wartość prędkości ciała w kolejnych sekundach ruchu.

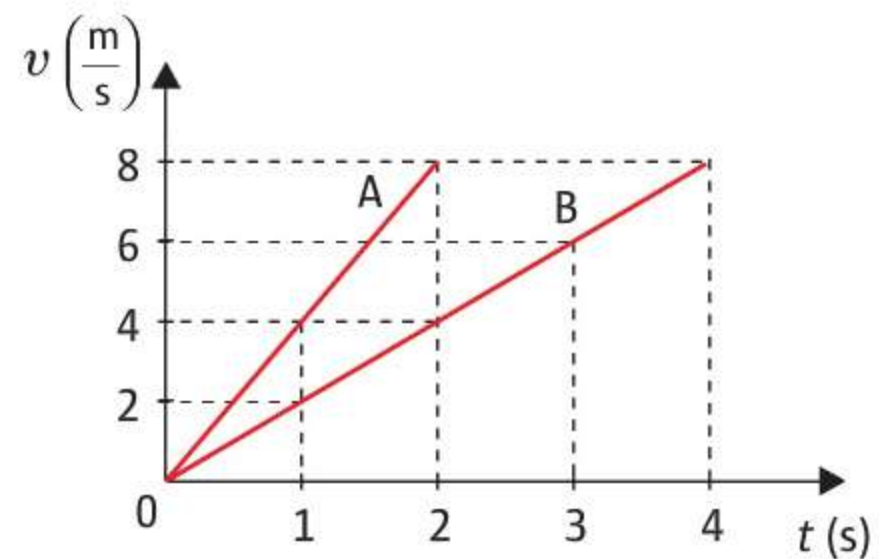
W pierwszej sekundzie szybkość wzrosła od 0 do $6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. W drugiej sekundzie szybkość wzrosła od $6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ do $12 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, w trzeciej – od $12 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ do $18 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, w czwartej – od $18 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ do $24 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, czyli ciało poruszające się po nachylonym torze w każdej sekundzie zwiększało swoją szybkość o $\Delta v = 6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$.

Ruch, w którym w każdej sekundzie wartość prędkości wzrasta o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Przykład 4.15

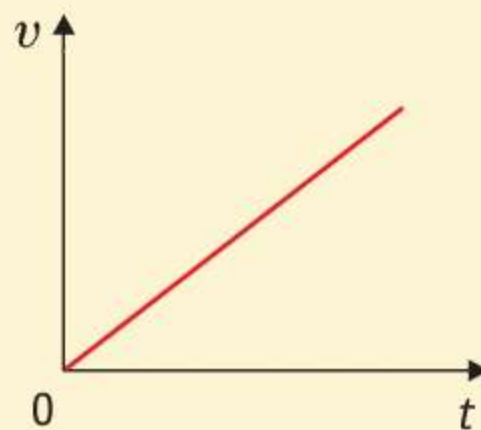
Na wykresach A i B przedstawiono zależność szybkości od czasu dla dwóch pojazdów.

Obydwa pojazdy poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Szybkość pojazdu A wzrasta w każdej sekundzie o 4 m/s , a pojazdu B – o 2 m/s .



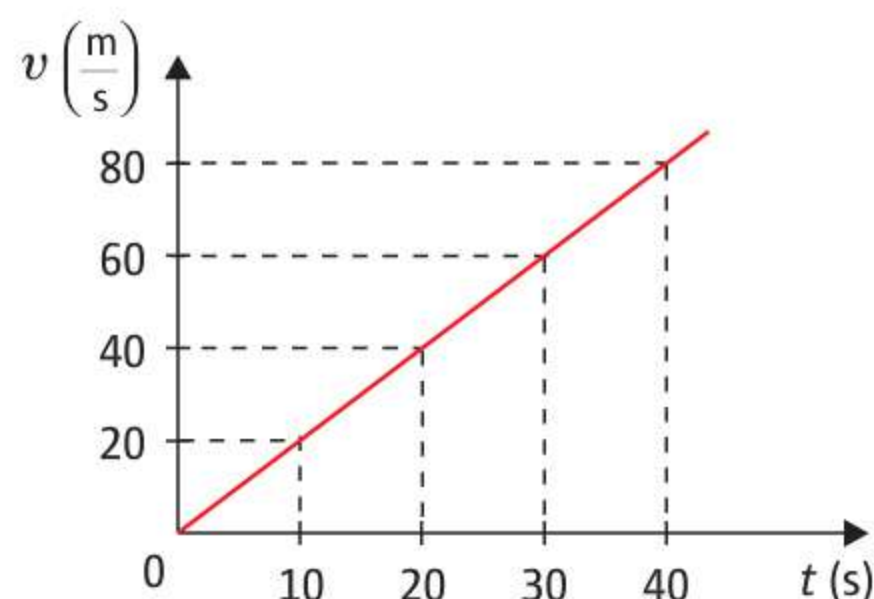
Podsumowanie

1. Ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym nazywamy taki ruch, w którym w jednakowych odstępach czasu szybkość ciała wzrasta o tę samą wartość, a tor ruchu jest odcinkiem prostej.
2. Wykresem zależności wartości prędkości od czasu w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



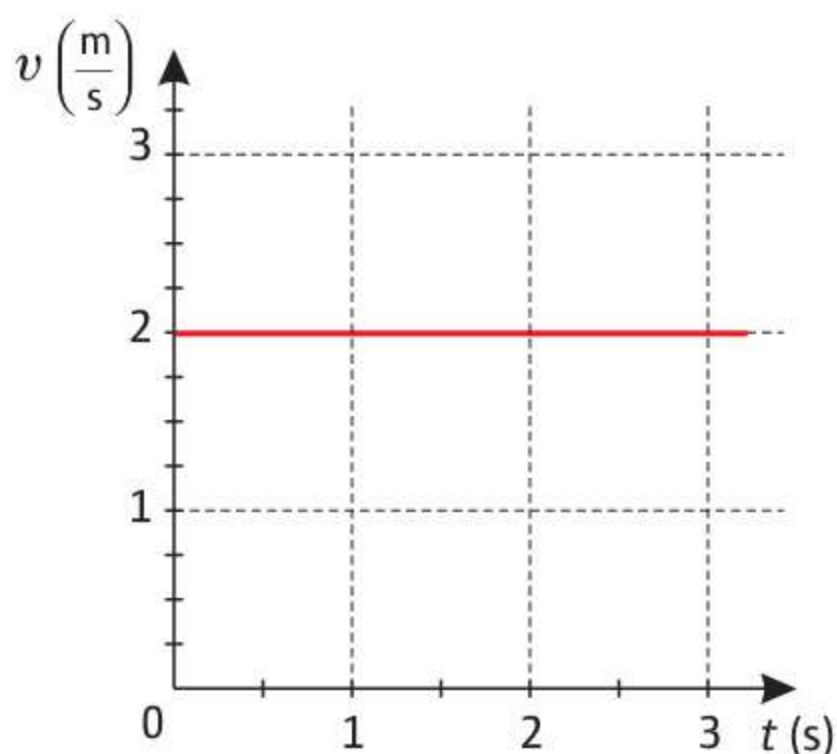
Zadania i doświadczenia

- F** 1. Wykres przedstawia zależność $v(t)$ w pewnym ruchu.

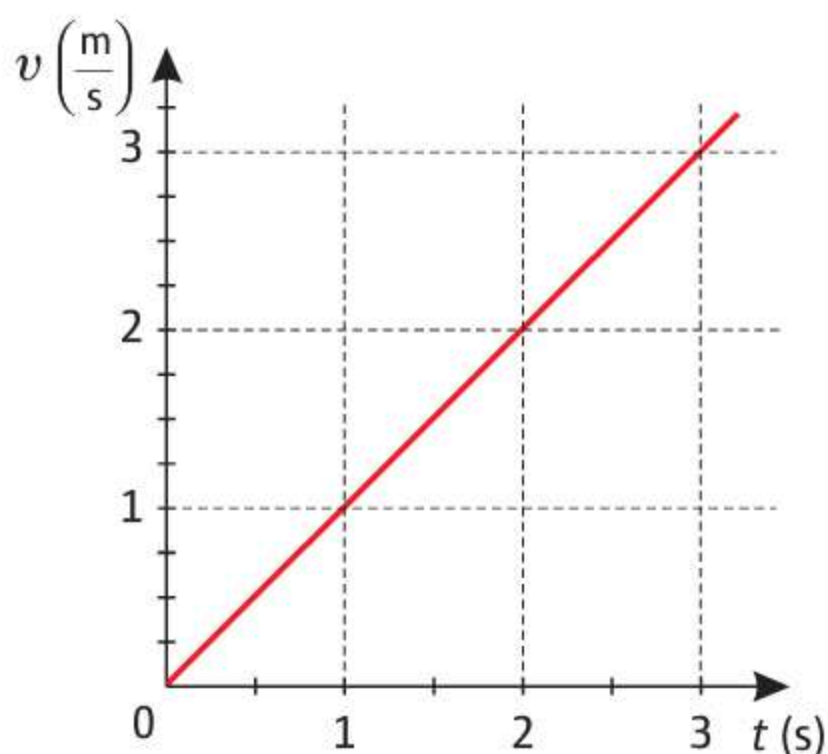


- Ustal, czy był to ruch jednostajnie przyspieszony. Uzasadnij odpowiedź.
 - Odczytaj z wykresu, o ile wzrastała szybkość ciała w dziesięciu sekundach ruchu.
 - Jeśli znasz przyrost szybkości w dziesięciu sekundach, oblicz, o ile wzrastała szybkość w ciągu jednej sekundy.
2. Na wykresach przedstawiono zależność $v(t)$ dla ruchu dwojga rowerzystów.

A.



B.



- Określ przyrosty szybkości w kolejnych sekundach dla obu rodzajów ruchu. Podaj nazwy tych ruchów.
- Odczytaj z wykresu B przyrost szybkości w czasie $\Delta t = 2,5 \text{ s}$. Wyraż ten przyrost szybkości w km/h .

F

4.8 Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

W poprzednim rozdziale badaliśmy ruch, który nazwaliśmy ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. W takim ruchu szybkość wzrasta w każdej sekundzie o tę samą wartość.

Popatrzmy teraz na wykres przedstawiony na s. 118 i obliczmy przyrost wartości prędkości w czasie trzech sekund od końca drugiej sekundy do końca piątej sekundy, czyli od 12 cm/s do 30 cm/s, i podzielmy przez 3 sekundy:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30 \frac{\text{cm}}{\text{s}} - 12 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{5 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{18 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = \frac{6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{1 \text{ s}}$$

Otrzymaliśmy przyrost szybkości Δv w jednej sekundzie równy 6 cm/s.

Informacja o tym, o ile wzrasta szybkość np. pojazdu w jednostce czasu, czyli jak przyspiesza pojazd, jest bardzo ważna. Duże przyspieszenia mają samochody wyścigowe, które w ciągu kilku sekund osiągają szybkość 100 km/h. Także zwykły samochód osobowy łatwiej wyprzedza inny pojazd, jeśli ma dobre przyspieszenie.

W fizyce przyrost wartości prędkości w ruchu prostoliniowym podzielony przez czas Δt , w którym ten przyrost nastąpił, nazywamy **wartością przyspieszenia**⁷. Tę wartość oznaczamy literą a .

$$\text{wartość przyspieszenia} = \frac{\text{przyrost wartości prędkości}}{\text{czas, w którym ten przyrost nastąpił}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\text{lub} \quad a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Jeśli czas mierzymy stoperem i włączamy go w chwili, gdy ciało ma szybkość v_0 , to $t_0 = 0$ i $\Delta t = t - 0 = t$.

⁷ Jak się domyślasz, skoro mówimy o wartości przyspieszenia, to znaczy, że ma ono jeszcze kierunek i zwrot, czyli jest wielkością wektorową. O pozostałych cechach tego wektora będziesz się uczyć w szkole ponadpodstawowej.

Wtedy:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (4.4)$$

Wielkość ta informuje nas o tym, jaki przyrost szybkości nastąpił w jednostce czasu.

Wartość przyspieszenia ciała poruszającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym jest stała ($a = \text{const}$).

Wstawmy do wzoru (4.4) znane nam już jednostki szybkości i czasu. Otrzymamy wówczas:

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} \cdot \frac{1}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Jednostkę tę czytaj: metr na sekundę do kwadratu.

Wartość przyspieszenia możemy także podać w innych jednostkach, np. $1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$.

Przykład 4.16

Narciarz rusza ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem o wartości $a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oznacza to, że w każdej sekundzie szybkość tego narciarza wzrasta o $\Delta v = 3 \text{ m/s}$.

Czyli:

- w drugiej sekundzie szybkość wzrasta o 3 m/s , w ciągu dwóch sekund szybkość wzrasta o 6 m/s ,
- w piątej sekundzie szybkość wzrasta o 3 m/s , w ciągu pięciu sekund szybkość wzrasta o 15 m/s itd.

Przykład 4.17

Oblicz wartość przyspieszenia samochodu osobowego, który w ciągu trzech sekund zwiększa swoją szybkość od $v_0 = 18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}$ do $v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$, a jego ruch jest jednostajnie przyspieszony.

Dane: $t = 3 \text{ s}$, $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane: a

Rozwiązanie:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$a = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{3 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Wartość przyspieszenia tego samochodu wynosi $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oznacza to, że w czasie 1 sekundy samochód zwiększa szybkość o $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Przykład 4.18

Motocyklista rozpoczynający jazdę ruchem jednostajnie przyspieszonym po upływie czasu $t = 10$ s uzyskał szybkość $v = 72$ km/h. Jaka jest wartość przyspieszenia tego motocyklisty?

Dane: $t = 10$ s, $v_0 = 0$, $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Szukane: a

Rozwiązanie:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$a = \frac{72 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{10 \text{ s}} = \frac{72 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}}{10 \text{ s}} = \frac{72 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s} \cdot 10 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Wartość przyspieszenia motocyklisty wynosi $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Powyższy przykład pokazuje, że jeśli ciało w chwili początkowej spoczywa ($v_0 = 0$), wówczas:

$$a = \frac{v - 0}{t} \quad \text{czyli} \quad a = \frac{v}{t}$$

skąd:

$$v = a \cdot t \quad (4.5)$$

Jest to wzór pozwalający obliczyć wartość prędkości końcowej osiągniętej po czasie t przez ciało, które poruszało się ruchem jednostajnie przyspieszonym, jeśli w chwili początkowej pozostawało ono w spoczynku.

Przykład 4.19

Rakieta kosmiczna startuje z przyspieszeniem o wartości $40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jest to przyrost szybkości rakiety przypadający na jedną sekundę ruchu.

- Po upływie 30 sekund:

szybkość rakiety = przyrost szybkości w jednej sekundzie $\cdot 30$ s =

$$= 40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30 \text{ s} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \cancel{\text{s}}} \cdot 30 \cancel{\text{s}} = 1200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Po upływie minuty:

szybkość rakiety = przyrost szybkości w jednej sekundzie $\cdot 60$ s =

$$= 40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 60 \text{ s} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \cancel{\text{s}}} \cdot 60 \cancel{\text{s}} = 2400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przykład 4.20

Oblicz szybkość, jaką osiągnie przedstawiony na zdjęciu ptak w czasie $t = 5$ s, jeżeli porusza się on ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, a $v_0 = 0$. Sporządź wykres zależności $v(t)$ dla tego ptaka.



Dane: $t = 5$ s, $v_0 = 0$, $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: v

Rozwiązanie:

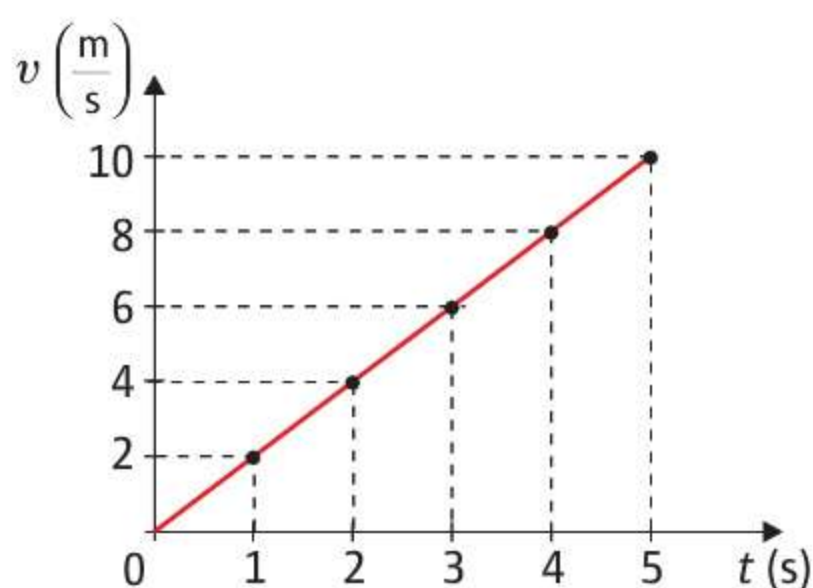
$$v = a \cdot t$$

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ s} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} \cdot 5 \text{ s} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Ptak osiągnie szybkość 10 m/s.

Aby sporządzić wykres zależności $v(t)$ dla ptaka, przygotujmy tabelę i wpiszmy do niej szybkości, jakie osiągnął ptak po upływie jednej, dwóch, trzech itd. sekund ruchu.

t (s)	1	2	3	4	5
v (m/s)	2	4	6	8	10



Ruchem jednostajnie przyspieszonym poruszają się ciała spadające na Ziemię z niewielkiej, w stosunku do rozmiarów Ziemi, wysokości. Taki ruch, zwany **spadaniem swobodnym**, zachodzi wtedy, gdy można pominąć opór powietrza. Stałe przyspieszenie w tym ruchu nazywamy **przyspieszeniem ziemskim**. Przyspieszenie ziemskie oznaczamy $\vec{g}$ (od greckiego słowa *geo* oznaczającego Ziemię). W Polsce $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Do obliczeń przyjmuje się zwykle przybliżoną wartość przyspieszenia równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Podsumowanie

1. W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia obliczamy poprzez podzielenie przyrostu wartości prędkości przez czas, w którym ten przyrost nastąpił:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v - v_0}{t}$$

Wielkość ta informuje nas, o ile wzrasta szybkość ciała w jednostce czasu.

2. Jednostką wartości przyspieszenia jest $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
3. Jeśli ciało poruszające się ruchem jednostajnie przyspieszonym w chwili początkowej pozostawało w spoczynku ($v_0 = 0$), to po czasie t wartość prędkości tego ciała jest równa:

$$v = a \cdot t$$

4. W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia jest stała: $a = \text{const}$.
5. Ciała spadające swobodnie poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości:

$$g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Przyspieszenie to nosi nazwę przyspieszenia ziemskiego.

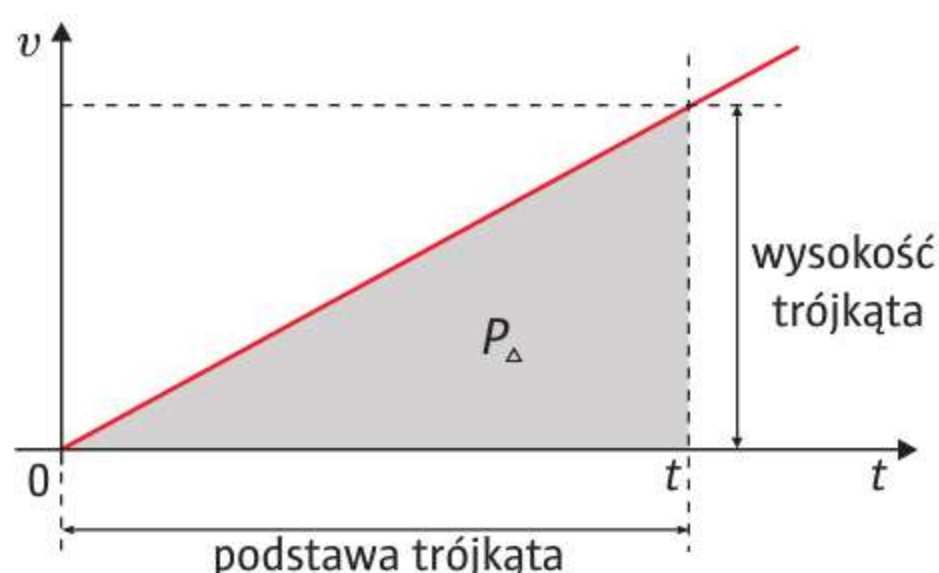
Zadania i doświadczenia

1. Stalowa śrubka zsunęła się z balkonu wieżowca i spada z przyspieszeniem o wartości $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - a) Podaj szybkość śrubki (bez korzystania ze wzoru):
 - po pierwszej sekundzie ruchu,
 - po dwóch sekundach ruchu,
 - po trzech sekundach ruchu,
 - w chwili uderzenia o ziemię, jeśli spадanie trwało 4 s.
 - b) Oblicz szybkość śrubki w chwili uderzenia w ziemię. Skorzystaj ze wzoru $v = a \cdot t$.
2. Oblicz wartość przyspieszenia samochodu, który porusza się po linii prostej ruchem jednostajnie przyspieszonym i rozpędza się od szybkości równej zero do szybkości $v = 108 \text{ km/h}$ w czasie $t = 10 \text{ s}$. Sporządź wykres $v(t)$ dla tego ruchu.
3. Narciarz zjeżdża ze stoku z przyspieszeniem o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz szybkość narciarza po 12 s jazdy. Sporządź wykres $v(t)$ dla tego ruchu.
4. Kulka staczająca się w pochyłej rynnie porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym. W pierwszej sekundzie szybkość kulki wzrosła o $0,3 \text{ m/s}$. Podaj przyrost szybkości kulki w trzeciej sekundzie ruchu.
5. Opisz, co to znaczy, że wartość przyspieszenia piłki spadającej ruchem jednostajnie przyspieszonym wynosi $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Podaj, o ile wzrośnie szybkość tej piłki w drugiej sekundzie. Oblicz szybkość piłki w końcu drugiej sekundy ruchu.

*4.9 Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Drogę przebytą ruchem jednostajnym obliczaliśmy jak pole figury pod wykresem $v(t)$ (s. 106). Także we wszystkich innych ruchach drogę przebytą przez ciało można obliczyć tym sposobem.

Narysujmy więc wykres $v(t)$ dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, gdy szybkość początkowa jest równa zero. Jak wiesz, będzie to półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych (v, t) , nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



Wiemy, że:

$$P_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot \text{podstawa} \cdot \text{wysokość}$$

W naszym przypadku:

- podstawa trójkąta odpowiada przedziałowi czasu, w którym obserwujemy ruch,
- wysokość odpowiada szybkości chwilowej, jaką ciało uzyskało po tym czasie.

Czyli:

$$s = \frac{1}{2} t \cdot v$$

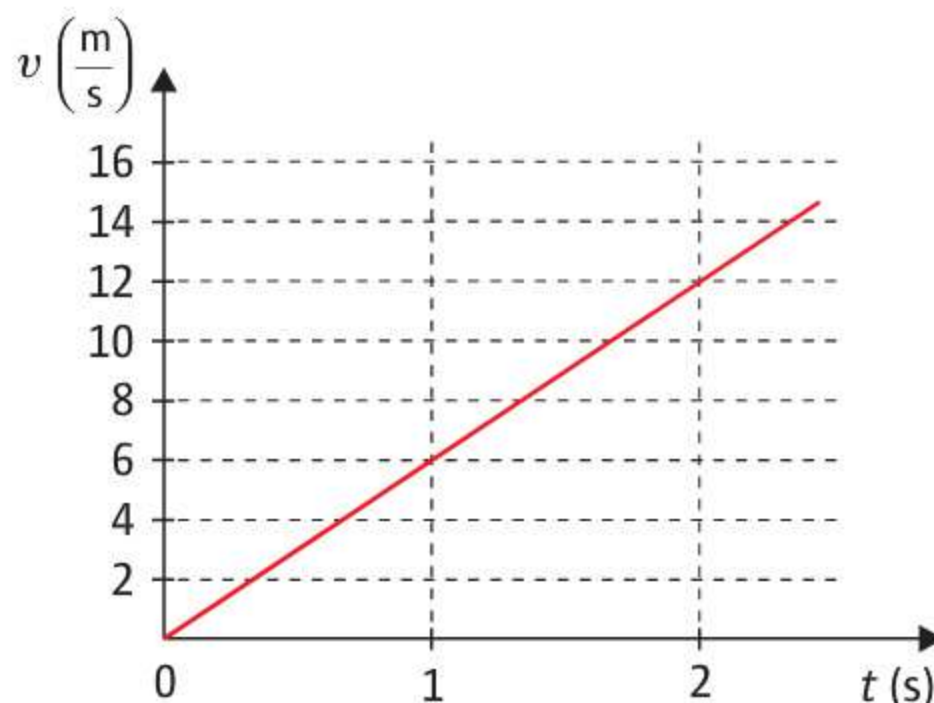
Gdy podstawimy za szybkość uzyskaną po czasie t : $v = a \cdot t$, otrzymamy:

$$s = \frac{1}{2} t \cdot a \cdot t = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (4.6)$$

Powyższy wzór pozwala obliczyć drogę, którą ciało przebywa w czasie t w ruchu jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości a , gdy $v_0 = 0$.

Zadania i doświadczenia

1. Wykres przedstawia zależność prędkości od czasu dla pewnego ciała.



- Skorzystaj z wykresu $v(t)$ i oblicz wartość przyspieszenia ciała.
 - Oblicz drogę, jaką przebywa to ciało w czasie 2 sekund ruchu.
 - Oblicz szybkość, jaką osiągnie to ciało po 5 sekundach ruchu, jeśli będzie się stale poruszało z takim samym przyspieszeniem. Oblicz drogę przebytą w tym czasie.
- Oblicz, po jakim czasie samolot startujący ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym ($v_0 = 0$) z przyspieszeniem o wartości $a = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ osiągnie prędkość o wartości $v = 100 \text{ m/s}$. Oblicz drogę, jaką przebędzie w tym czasie.
 - Łódź motorowa ruszająca z linii startu rozpędziła się do szybkości $v = 108 \text{ km/h}$ w czasie $t = 1 \text{ min}$. Oblicz wartość jej przyspieszenia i drogę, którą przebyła w tym czasie, jeżeli poruszała się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

4.10 Ruch jednostajnie opóźniony

Równie często jak ruch przyspieszony samochodu lub innego pojazdu obserwujemy ich ruch opóźniony, np. podczas hamowania. W ruchu opóźnionym szybkość ciała maleje.

Ruch, w którym szybkość ciała w jednakowych odstępach czasu maleje o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie opóźnionym.



Przykład 4.21

Rozpatrzmy przypadek, w którym szybkość początkowa pojazdu wynosi 2 m/s i w każdej sekundzie maleje o 0,5 m/s.

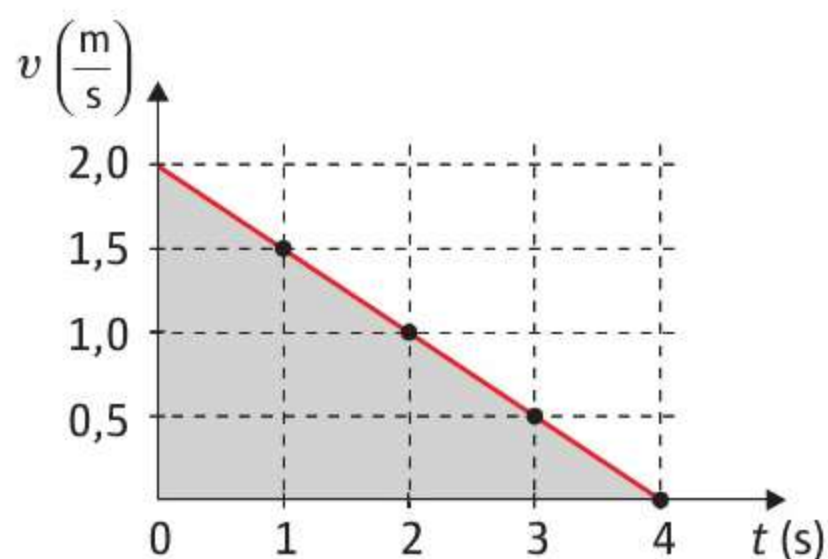
- pojazd w końcu pierwszej sekundy ma szybkość: $2 \text{ m/s} - 0,5 \text{ m/s} = 1,5 \text{ m/s}$,
- w końcu drugiej sekundy ma szybkość: $1,5 \text{ m/s} - 0,5 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$,
- w końcu trzeciej sekundy ma szybkość: $1 \text{ m/s} - 0,5 \text{ m/s} = 0,5 \text{ m/s}$,
- a w końcu czwartej sekundy ma szybkość: $0,5 \text{ m/s} - 0,5 \text{ m/s} = 0 \text{ m/s}$, czyli się zatrzymuje.

Wartości prędkości po kolejnych sekundach ruchu zamieszczono w tabeli.

$t \text{ (s)}$	0	1	2	3	4
$v \text{ (m/s)}$	2	1,5	1	0,5	0

W układzie współrzędnych zaznaczamy punkty odpowiadające szybkości pojazdu po upływie pierwszej, drugiej, trzeciej i czwartej sekundy, a następnie łączymy te punkty prostą, czyli rysujemy wykres zależności szybkości pojazdu od czasu trwania ruchu. Z tabeli i wykresu wynika, że pojazd zatrzymał się w końcu czwartej sekundy.

*Drogę, jaką przebył w tym czasie, obliczymy jako pole powierzchni trójkąta zakreślonego na wykresie $v(t)$.



$$s = \frac{1}{2} v_0 \cdot t, \quad s = \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4 \text{ s} = 4 \text{ m}$$

Z obliczeń wynika, że samochód do momentu zatrzymania przebył drogę 4 m.

Już w rozdziale 4.8 zasygnalizowaliśmy, że przyspieszenie jest wielkością wektorową. Rachunki na wielkościach wektorowych przeprowadza się inaczej niż na wielkościami, które nie są wektorami (np. masa, czas, temperatura). Z definicji przyspieszenia i praw rachunku wektorowego wynika, że wartość przyspieszenia – zarówno w ruchu przyspieszonym, jak i opóźnionym – jest dodatnia. W ruchu opóźnionym obliczamy ją ze wzoru:

$$a = \frac{v_0 - v}{t} \quad (4.7)$$

Wielkość ta informuje nas, o ile maleje szybkość ciała w jednostce czasu.

Wartość przyspieszenia pojazdu z przykładu 4.21 jest stała i wynosi $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przykład 4.22

Pomnóżmy obie strony wzoru 4.7 przez czas t :

$$a \cdot t = v_0 - v$$

i wyznaczmy wartość prędkości po czasie t trwania ruchu:

$$v = v_0 - a \cdot t$$

Obliczmy wartość prędkości pojazdu z przykładu 4.21 po trzech sekundach ruchu:

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ s} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Porównajmy uzyskany wynik z wartością odczytaną z wykresu z przykładu 4.21.

Podsumowanie

1. Ruchem jednostajnie opóźnionym nazywamy ruch, w którym szybkość ciała w jednakowych odstępach czasu maleje o tę samą wartość.
2. Wartość przyspieszenia w tym ruchu obliczamy ze wzoru:

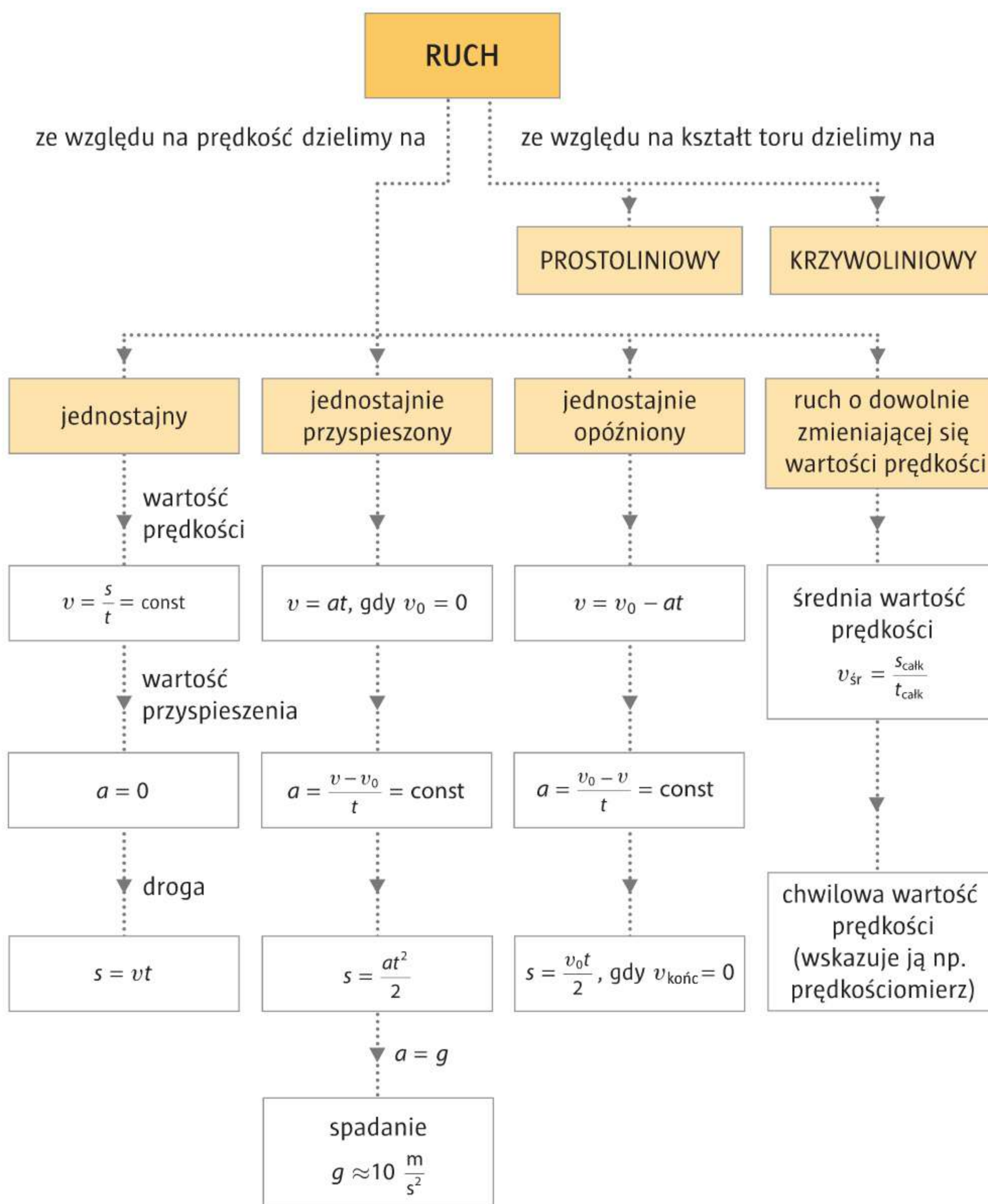
$$a = \frac{v_0 - v}{t}$$

Zadania i doświadczenia

1. Podaj przykłady ciał poruszających się z przyspieszeniem o małej i dużej wartości.
2. W chwili rozpoczęcia hamowania samochód jechał z szybkością 72 km/h. Oblicz czas hamowania, jeśli przyspieszenie samochodu miało wartość $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
3. Piłkę rzucono w górę z szybkością początkową $v_0 = 40 \text{ m/s}$. Wiadomo, że w każdej sekundzie szybkość piłki zmniejsza się o 10 m/s (bo $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). Oblicz czas, po którym wartość prędkości piłki zmaleje do zera.
- *4. Wystrzelona przez żołnierza kula podczas hamowania w przeszkodzie porusza się ruchem jednostajnie opóźnionym i zatrzymuje się po 0,01 s, przy czym całkowita droga hamowania wynosi 0,5 m. Oblicz szybkość kuli w chwili rozpoczęcia hamowania. Narysuj wykres $v(t)$ dla kuli.

Podsumowanie

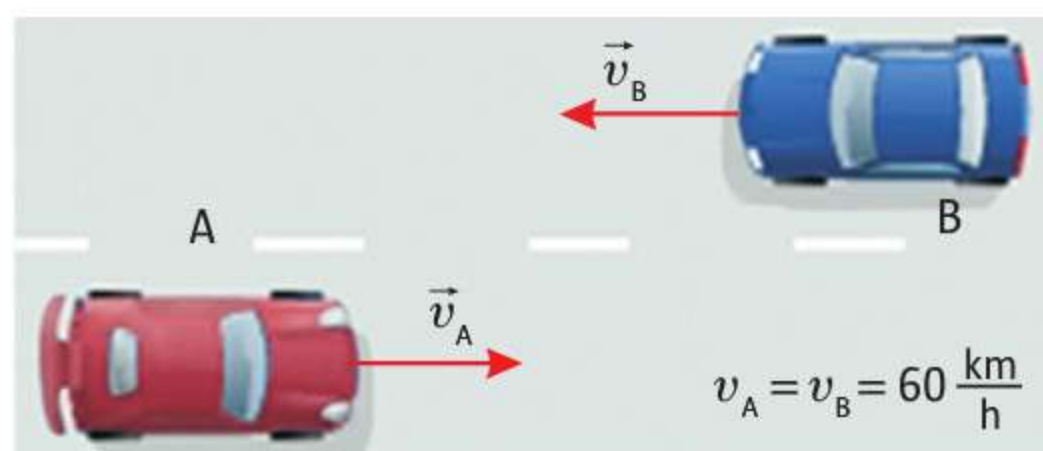
■ Poniższy schemat pozwoli ci uporządkować wiedzę o ruchu.



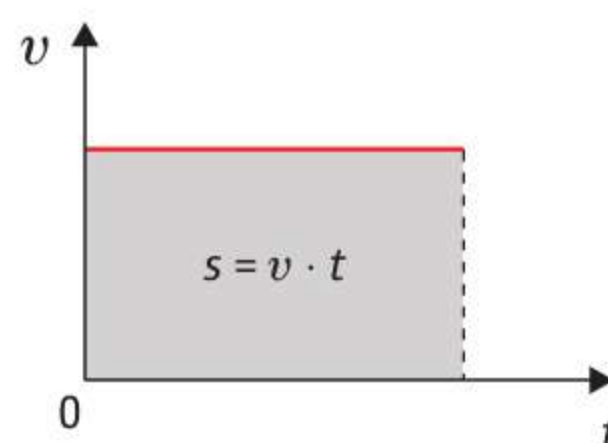
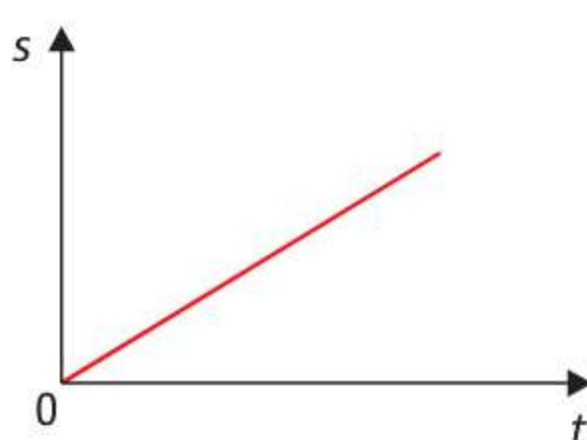
- Prędkość (ang. *velocity*), podobnie jak siła, jest wielkością wektorową.

Cechy wektora	Opis
wartość	długość wektora zgodnie z przyjętą jednostką
kierunek	prosta, na której leży wektor
zwrot	informuje nas, w którą stronę zwrócony jest wektor
punkt przyłożenia	ciało, które porusza się z tą prędkością

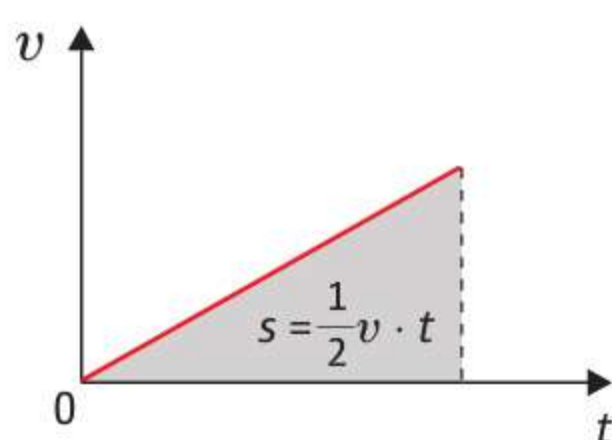
- Szybkość (ang. *speed*) to wartość prędkości. Samochody przedstawione na rysunku mają jednakowe szybkości, ale różne prędkości.



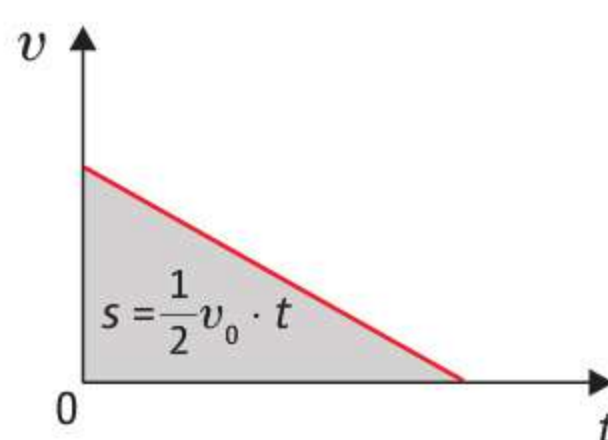
- Gdy opisujemy ruch, wykonujemy wykresy zależności drogi i wartości prędkości od czasu. W ruchu jednostajnym:



W ruchu jednostajnie przyspieszonym
dla $v_0 = 0$:



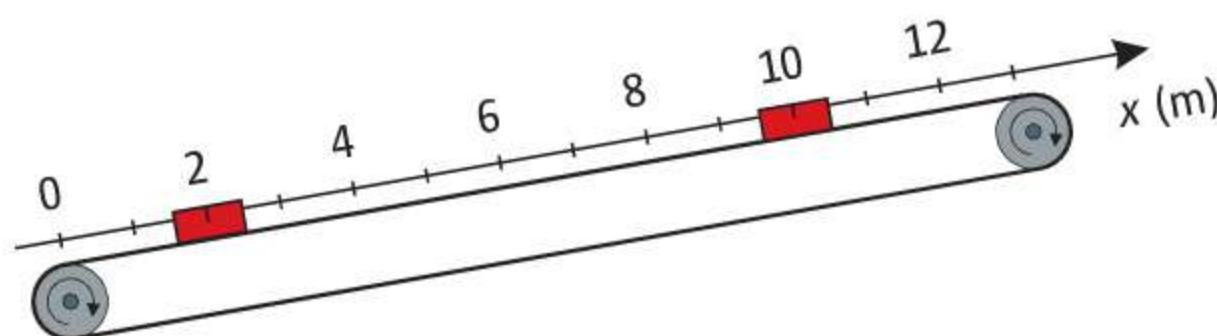
W ruchu jednostajnie opóźnionym:



Sprawdź się

1. Cegła przesuwana się razem z taśmą transportera. W chwili t_1 , tj. o godz. 13.25, znajdowała się w położeniu $x_1 = 2$ m, a w chwili t_2 , tj. o godz. 13.26, była w położeniu $x_2 = 10$ m. Przepisz do zeszytu poniższe zdanie. Uzupełnij je.

W czasie $\Delta t = t_2 - t_1 =$ [] cegła przebyła drogę $s =$ [].



2. Turysta szedł ruchem jednostajnym. W ciągu pierwszych 10 minut przebył 0,8 km. Przepisz do zeszytu poniższe zdanie. Uzupełnij je.

W czasie następnych 10 minut turysta przebył drogę [],

w ciągu pół godziny przebył drogę [],

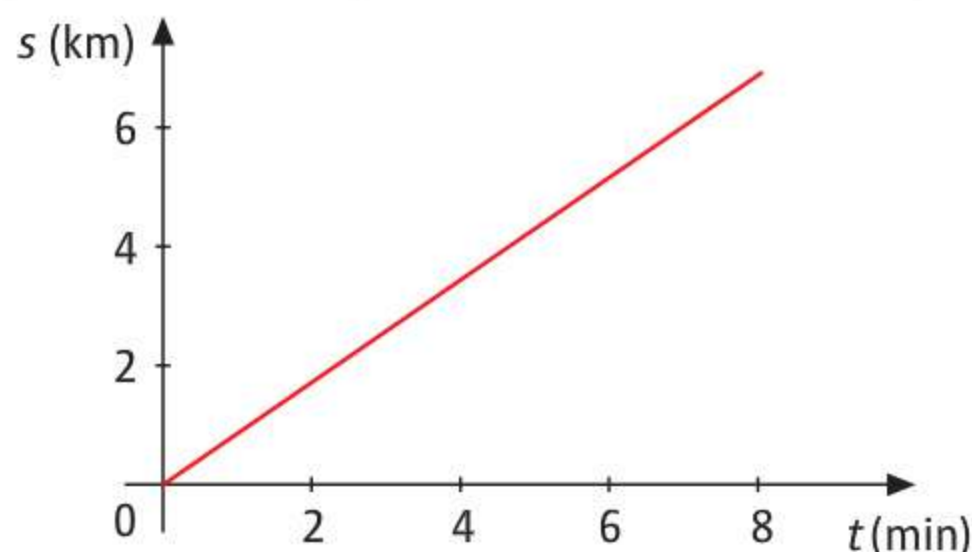
a w ciągu godziny przebył drogę [].

3. Kropla deszczu spadała ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Przepisz do zeszytu poniższe zdanie. Uzupełnij je.

W czwartej sekundzie ruchu szybkość kropli wzrosła o [],

w ciągu całych czterech sekund szybkość wzrosła o [].

4. Wykres pokazuje zależność drogi od czasu dla samochodu jadącego po szosie.



Z wykresu wynika, że

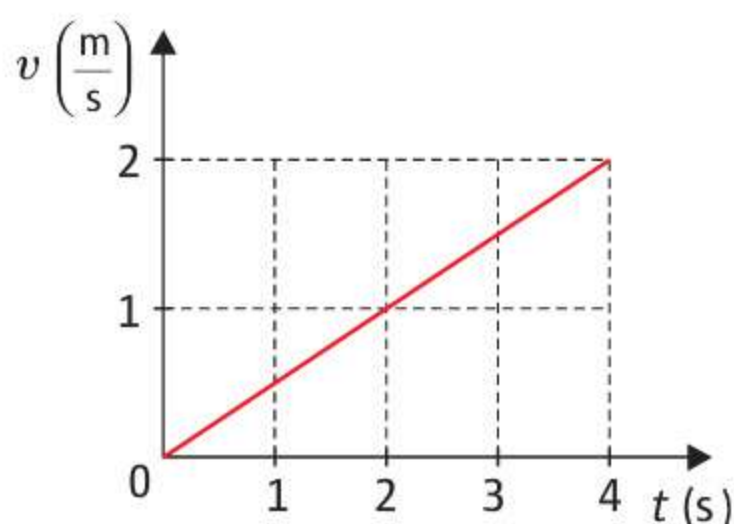
- A. na szosie nie było zakrętów.
- B. samochód nie zwalniał ani nie przyspieszał.
- C. szosa biegła poziomo.
- D. szosa wznosiła się jednostajnie.

5. Tabela zawiera dane dotyczące ruchu pewnego pojazdu.

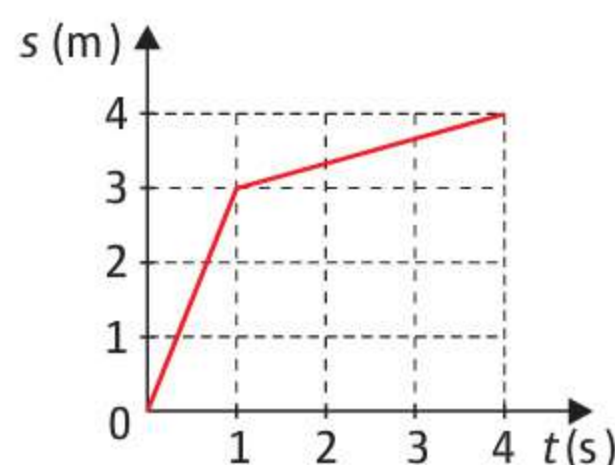
Czas (s)	0	1	2	3	4	5
Szybkość (m/s)	0	2	4	6	8	10

Dane liczbowe wskazują, że ruch pojazdu był ruchem

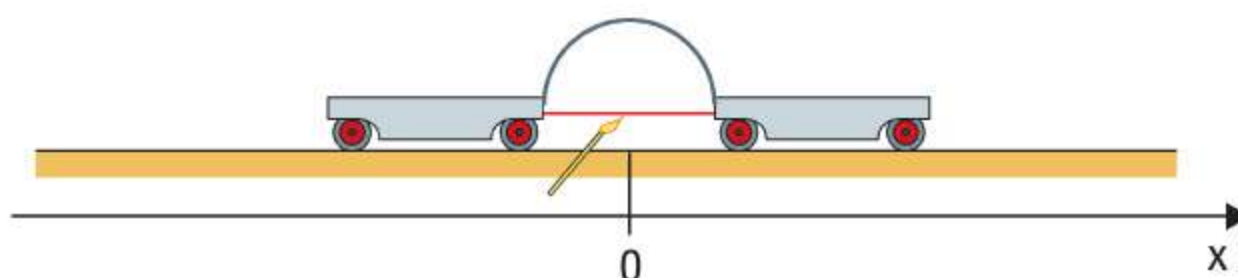
- A. jednostajnym. B. jednostajnie przyspieszonym.
C. niejednostajnie przyspieszonym. D. niejednostajnie zmiennym.
6. Wykres przedstawia zależność wartości prędkości od czasu w ruchu prostoliniowym pewnego ciała. Ile wynosiła wartość jego przyspieszenia?



7. Z wykresu zależności drogi (s) od czasu (t) w ruchu pewnego ciała wynika, że średnia wartość prędkości tego ciała wynosiła
- A. 1 m/s B. 2 m/s
C. 3 m/s D. 16 m/s



8. Między dwa jednakowe wózki związane nitką włożono wygiętą, sprężystą blaszkę.



Po przepaleniu nitki wózki rozjechały się i przebyły w jednakowym czasie jednakowe drogi. Przepisz do zeszytu poniższe zdanie. Uzupełnij je.

Wektory obrazujące prędkości wózków mają:

- [] wartości,
- [] kierunki,
- [] zwroty.

9. Ustal, która z wymienionych szybkości jest największa.

- A. $v_1 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ B. $v_2 = 400 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ C. $v_3 = 0,4 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ D. $v_4 = 400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Zadania problemowe

Zadanie 1.

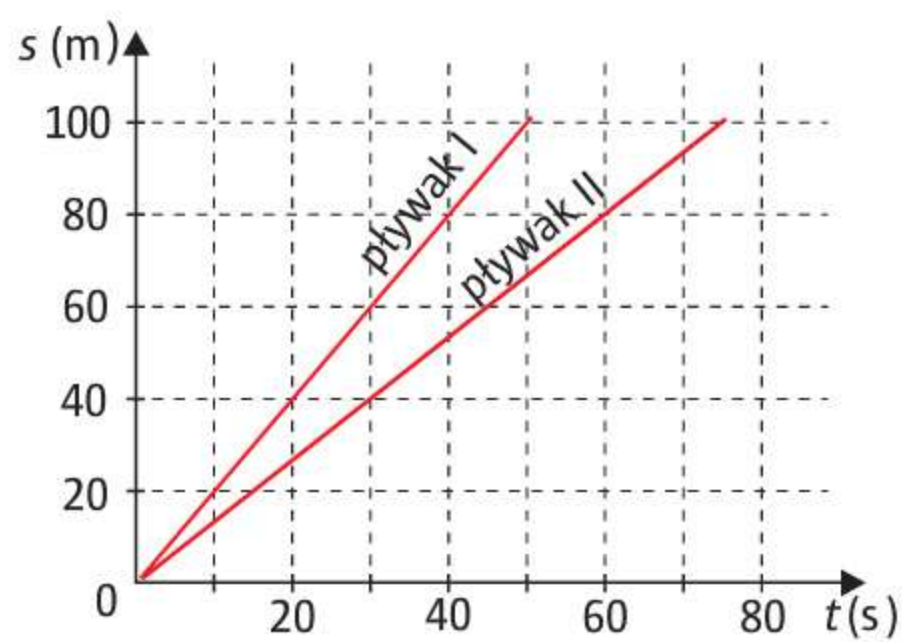
Samochód pierwsze 2 km przebył z prędkością o wartości 36 km/h, a następne 4 km z prędkością o wartości 54 km/h.

- Sformułuj pięć pytań (lub poleceń), na które można odpowiedzieć na podstawie tych informacji.
- Sporządź wykresy $s(t)$ i $v(t)$ dla ruchu tego samochodu.

Zadanie 2.

Wykres przedstawia zależność przebytej drogi od czasu trwania ruchu dla dwóch pływaków biorących udział w zawodach.

- Podaj dystans, na którym ścigali się pływacy.
- Odczytaj czas, w którym każdy z pływaków przebył ten dystans.
- Ustal, jakim ruchem płynęli zawodnicy.
- Oblicz szybkość każdego z zawodników.
- Odczytaj z wykresu, w jakiej odległości od mety był wolniejszy pływak w chwili, gdy zwycięzca przekraczał linię mety.

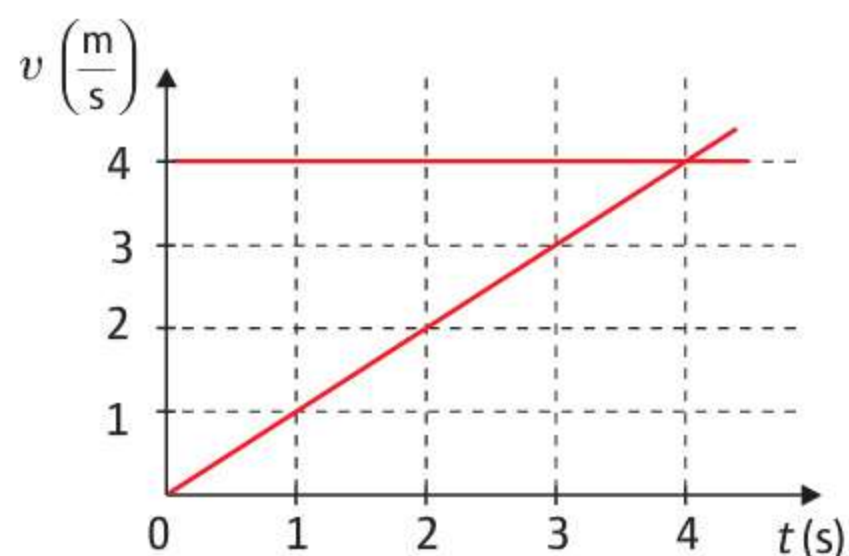


F

Zadanie 3.

Wykres przedstawia zależność wartości prędkości od czasu dla dwóch rowerzystów poruszających się po torze prostoliniowym. W chwili, gdy jeden z rowerzystów wystartował z pewnego miejsca, z szybkością 4 m/s przejechał obok niego drugi rowerzysta i dalej jechali po tym samym torze.

- Ustal, czy rowerzyści po czterech sekundach ruchu dotarli do tego samego punktu.
- Odpowiedź na polecenie a) uzasadnij słownie lub wykonaj odpowiednie obliczenia dla każdego rowerzysty.
- Podaj wartość przyspieszenia każdego rowerzysty.



5

Siły w przyrodzie



Siła działająca na żagiel ciągnie jacht do przodu, ale też go przechyla.



Załoga przez balastowanie swoim ciężarem przeciwdziała sile przechylającej jacht.



Siła oporu wzdłużnego działa przeciwnie do ruchu jachtu.

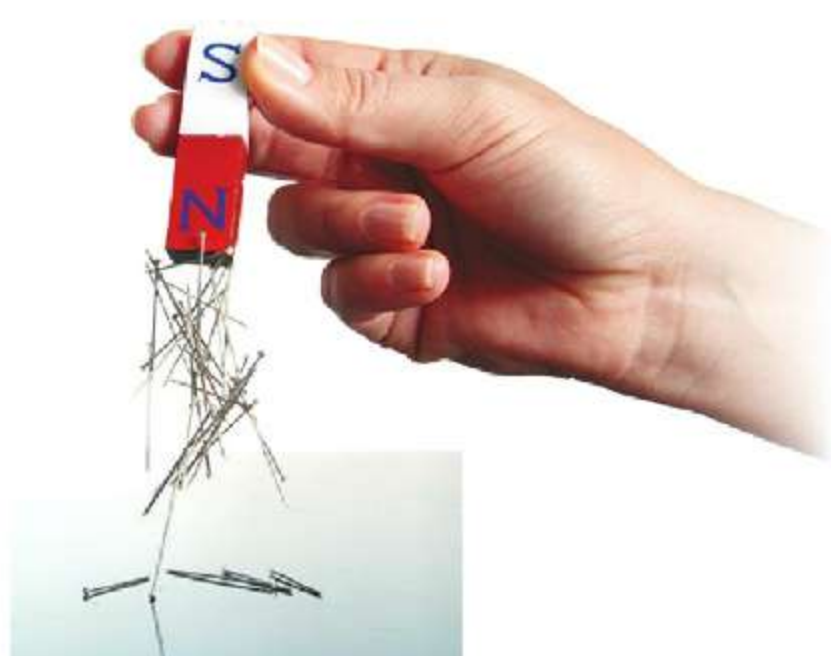


Siła wyporu równoważy siłę ciężkości jachtu.

Siła boczno oporu działająca na miecz lub kil zapobiega dryfowaniu jachtu.

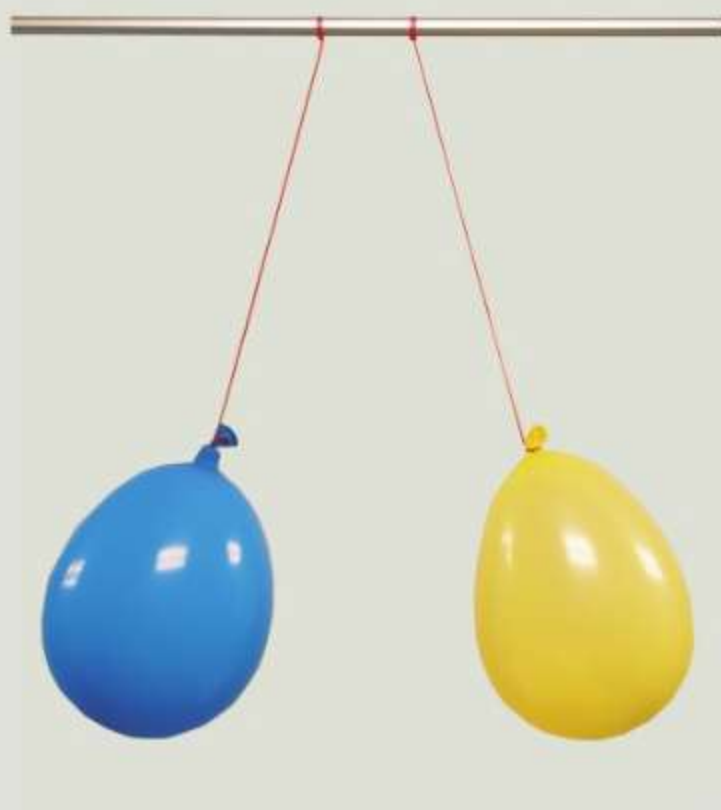
5.1 Rodzaje i skutki oddziaływań

Uderzona rakietą tenisową piłka porusza się w określonym kierunku. Rozsypane na podłodze szpilki stalowe najłatwiej zebrać za pomocą magnesu. Upuszczony ołówek spada na podłogę. Potarta o wełniany sweter plastikowa linijka przyciąga skrawki papieru. Są to przykłady różnych oddziaływań, z którymi stykamy się na co dzień. Przyjrzyjmy się im dokładniej.



Doświadczenie 5.1

Obserwujemy umieszczone blisko siebie naelektryzowane baloniki, magnesy oraz magnesy i stalowe gwoździe.



Potrzebne przedmioty: 2 napompowane baloniki na nitkach, zmięty papier gazetowy, 2 magnesy, kilka gwoździ, 2 kawałki styropianu, duże naczynie z wodą.

Kolejne czynności:

- Baloniki wieszamy obok siebie. Następnie nieco oddalamy je od siebie, a miejsca, w których wcześniej się stykały, mocno pocieramy papierem gazetowym. Obserwujemy zachowanie baloników.
- Każdy z magnesów układamy na kawałku styropianu i ustawiamy na wodzie w niewielkiej odległości od siebie. Obserwujemy zachowanie kawałków styropianu z magnesami.

- Magnes z jednego styropianu zastępujemy gwoździem. Ponownie obserwujemy zachowanie kawałków styropianu.

Wyniki obserwacji:

- Baloniki naelektryzowane przez pocieranie gazetą (o elektryzowaniu dowiesz się więcej w drugiej części podręcznika) odpychają się wzajemnie. Pierwszy balonik odpycha drugi, a drugi odpycha pierwszy.
- Magnesy odpychają się lub przyciągają w zależności od ułożenia biegunów magnetycznych.
- Magnes i stalowe gwoździe przyciągają się wzajemnie.

Wniosek: Obserwowane ciała oddziałują na siebie wzajemnie.



Występujące w przyrodzie wzajemne oddziaływania ciał możemy podzielić na dwa rodzaje:

- bezpośrednie – oddziałujące ciała muszą się stykać,
- na odległość – nie jest konieczny bezpośredni kontakt ciał.

Doświadczenie 5.2

Obserwujemy oddziaływania bezpośrednie i na odległość.

Potrzebne przedmioty: wyprofilowana listwa drewniana lub metalowa rynna, tzw. ceownik, o długości około 80 cm, 6 kulek stalowych lub szklanych.

Kolejne czynności:

- Ustawiamy kulki na poziomej listwie co 5 cm.



- Popychamy pierwszą kulkę w stronę pozostałych kulek, nadając jej dużą prędkość. Obserwujemy, co jest przyczyną rozpoczęcia ruchu kolejnych kulek.
- Ponownie ustawiamy kulki w tych samych miejscach i unosimy w górę jeden koniec listwy. Obserwujemy, czy kulki zaczynają poruszać się kolejno, czy wszystkie w jednej chwili.

**Wyniki obserwacji:**

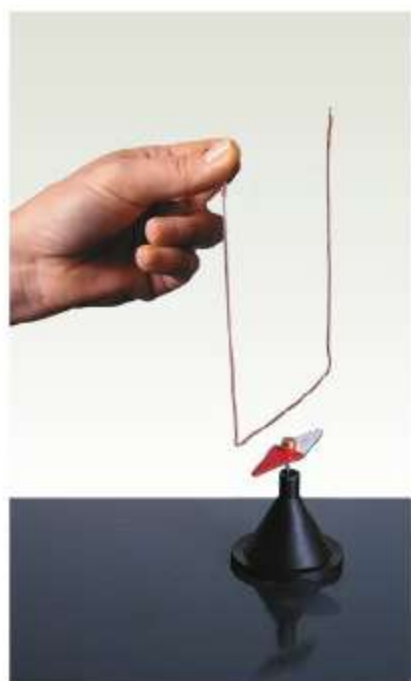
- W pierwszym przypadku kolejna kulka była wprowadzana w ruch w chwili uderzenia poprzednią kulką.
- W drugim przypadku wszystkie kulki zaczęły się poruszać równocześnie w chwili uniesienia końca listwy.

Wniosek: Wprawienie w ruch każdej kulki na poziomej listwie wymagało bezpośredniego kontaktu z drugą kulką, która już się poruszała. W drugim przypadku wszystkie kulki ruszyły w tej samej chwili na skutek przyciągania ziemskiego, czyli działania na odległość Ziemi na kulki.

Oddziaływania na odległość mogą być:

- grawitacyjne (oddziaływanie Ziemi z każdym obiektem, nawet bardzo od niej oddalonym, np. Księżycem),
- elektrostatyczne (np. oddziaływanie baloników z doświadczenia 5.1),
- magnetyczne (np. oddziaływanie magnesu i stalowych przedmiotów czy oddziaływania dwóch magnesów, jak w doświadczeniu 5.1),
- elektromagnetyczne (np. oddziaływanie przewodnika, przez który płynie prąd, z igłą magnetyczną).

Oto przykłady oddziaływań elektromagnetycznych. Zbliź zawieszoną na nitce ramkę z drutu miedzianego równoległe do igły magnetycznej. Zauważysz, że drut nie oddziałuje z igłą. Jeśli jednak nad igłą magnetyczną umieścisz ramkę zawieszoną na elektrodach baterii płaskiej 4,5 V, to przez ramkę popłynie prąd, a ustawiona początkowo równoległe do drutu igła magnetyczna się obróci. Drut, w którym płynie prąd elektryczny, oddziałuje na magnes.



Jeśli natomiast do ramki z drutu miedzianego zawieszanej na elektrodach baterii zbliżysz od dołu silny magnes, np. w postaci pastylki (fot.), zauważysz, że ramka odchyła się od położenia pionowego. Magnes oddziałuje na przewodnik, przez który płynie prąd elektryczny.

Uwaga: w obu doświadczeniach drut miedziany podłączamy do baterii tylko na chwilę, ponieważ bateria szybko się rozładowuje.

Oddziaływania elektromagnetyczne także są oddziaływaniami wzajemnymi: przewodnik z prądem działa na magnes, a magnes na przewodnik z prądem.

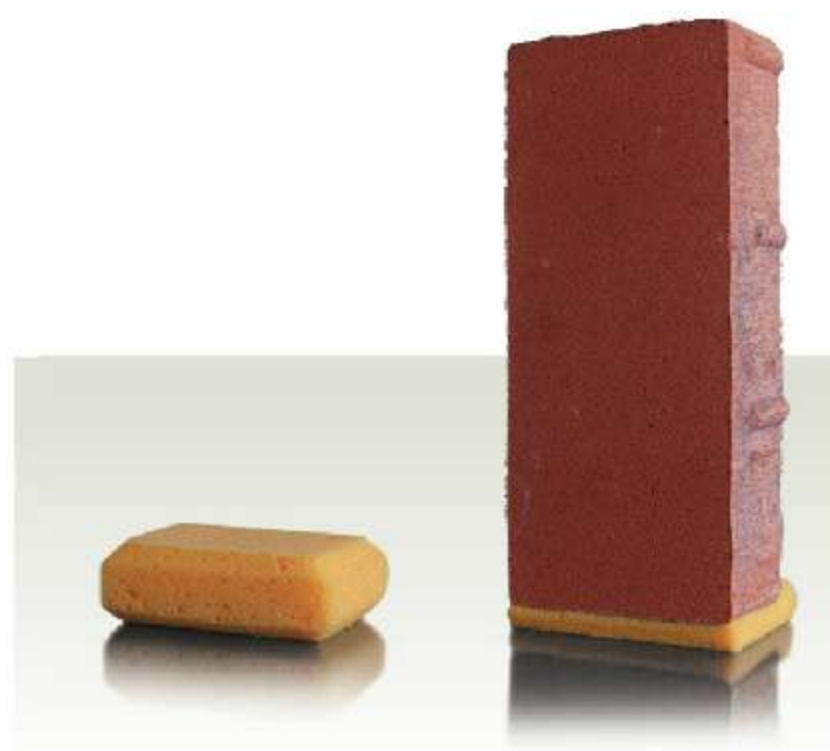
Wzajemne oddziaływanie ciał wywołuje określone skutki. Mogą to być:

- odkształcenia ciała, np. ugięcia, rozciągnięcia, zgniecenia – nazywamy je skutkami statycznymi;
- zmiany prędkości, np. zmiany jej wartości, kierunku lub zwrotu – nazywamy je skutkami dynamicznymi. Kopnięta piłka ulega chwilowemu odkształceniu (skutek statyczny), a następnie zostaje wprowadzona w ruch (skutek dynamiczny).



Przykład 5.1

Na gąbce postawiono cegłę. Na podstawie obserwacji można stwierdzić, że cegła działa na gąbkę, gdyż powoduje jej ściśnięcie, a gąbka działa na cegłę, gdyż utrzymuje ją nad powierzchnią stołu. Są to oddziaływania bezpośrednie. Skutki tego oddziaływania są statyczne. Świadczy o tym fakt, że cegła i gąbka pozostają w spoczynku.



Przykład 5.2

Siedzący na desce windsurfingowej Mikołaj rzuca kamień. Chłopiec działa na kamień, a kamień działa na niego. Są to oddziaływania bezpośrednie. Skutki tych oddziaływań są dynamiczne. Kamień został rzucony w prawo, a deska i Mikołaj poruszają się w lewo.



Gąbka i cegła to **układ ciał** wzajemnie oddziałujących. Układ ciał wzajemnie oddziałujących to także but i piłka oraz Mikołaj na desce i kamień. Siły, którymi ciała tworzące układ oddziałują wzajemnie, nazywamy **siłami wewnętrznymi** w tym układzie. Inne siły, pochodzące od ciał, które nie wchodzą w skład wybranego przez nas układu, to **siły zewnętrzne**. W wymienionych przykładach układów ciał siłą zewnętrzną jest np. siła przyciągania ziemskiego, działająca na każde ciało.

Podsumowanie

1. Wszystkie oddziaływania są wzajemne. Oznacza to, że jeżeli jedno ciało działa na drugie, to drugie ciało działa na pierwsze.
2. Występujące w przyrodzie wzajemne oddziaływania ciał możemy podzielić na:
 - bezpośrednio (mechaniczne),
 - na odległość (grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne i elektromagnetyczne).
3. Skutki wzajemnego oddziaływania ciał mogą być:
 - statyczne (odkształcenie ciała),
 - dynamiczne (zmiana prędkości – jej wartości, kierunku lub zwrotu).

Zadania i doświadczenia

1. Czy sztanga oddziałuje z zawodnikiem bezpośrednio czy na odległość? A sztanga z Ziemią?
2. Wskaż ciała, których wzajemne oddziaływania powodują zmianę prędkości wioślarzy i strzały wypuszczonej z łuku.



Doświadczenie 1.

Badamy dynamiczne skutki działania siły przyciągania ziemskiego.

Potrzebne przedmioty: wanna, wąż prysznicowy wraz ze słuchawką.

Kolejne czynności:

- Nad wanną puszcza mocnym strumieniem wodę ze słuchawki prysznica. Słuchawkę ustawiamy kolejno: poziomo, pod różnymi kątami i pionowo.
- Opisz w każdym przypadku, jak siła przyciągania ziemskiego (siła wewnętrzna w układzie Ziemia–strumień wody) zmienia kierunek lub zwrot prędkości wody wypływającej z węża. Sporządź schematyczne rysunki.

5.2 Siła wypadkowa. Siły równoważące się

Zazwyczaj na jedno ciało działa więcej niż jedna siła. Wykonajmy serię doświadczeń, w których siły działają na ciała sztywne.

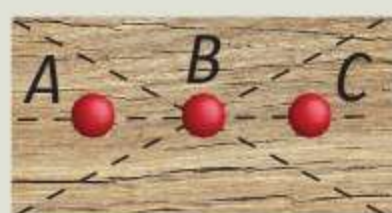
Doświadczenie 5.3

Wykazujemy, że zmiana punktu przyłożenia siły wzdłuż prostej, na której leży siła, w przypadku ciał sztywnych nie zmienia skutku działania siły.

Potrzebne przedmioty: drewniany klocek, 3 pinezki, siłomierz, nitka.

Kolejne czynności:

- Na górnej powierzchni klocka rysujemy przekątne i w miejscu ich przecięcia zaznaczamy środek powierzchni.
- Przez środek kreślimy prostą równoległą do dłuższej krawędzi klocka.



W punktach A , B i C wbijamy pinezki.

- Przyczepiamy nitkę kolejno do pinezek A , B , C i za każdym razem ciągniemy klocek w taki sposób, aby kierunek nitki pokrywał się z kierunkiem prostej wyznaczonej przez punkty A , B i C .
- Obserwujemy ruch klocka.

Wynik obserwacji: Klocek porusza się zawsze wzdłuż tej samej prostej.

Wniosek: Siłę przyłożoną w dowolnym punkcie ciała możemy przesuwać wzdłuż kierunku jej działania. Nie powoduje to zmiany w skutkach działania siły.

Zapamiętaj ten wniosek! Będziemy się na niego powoływać wielokrotnie w dalszej nauce fizyki.

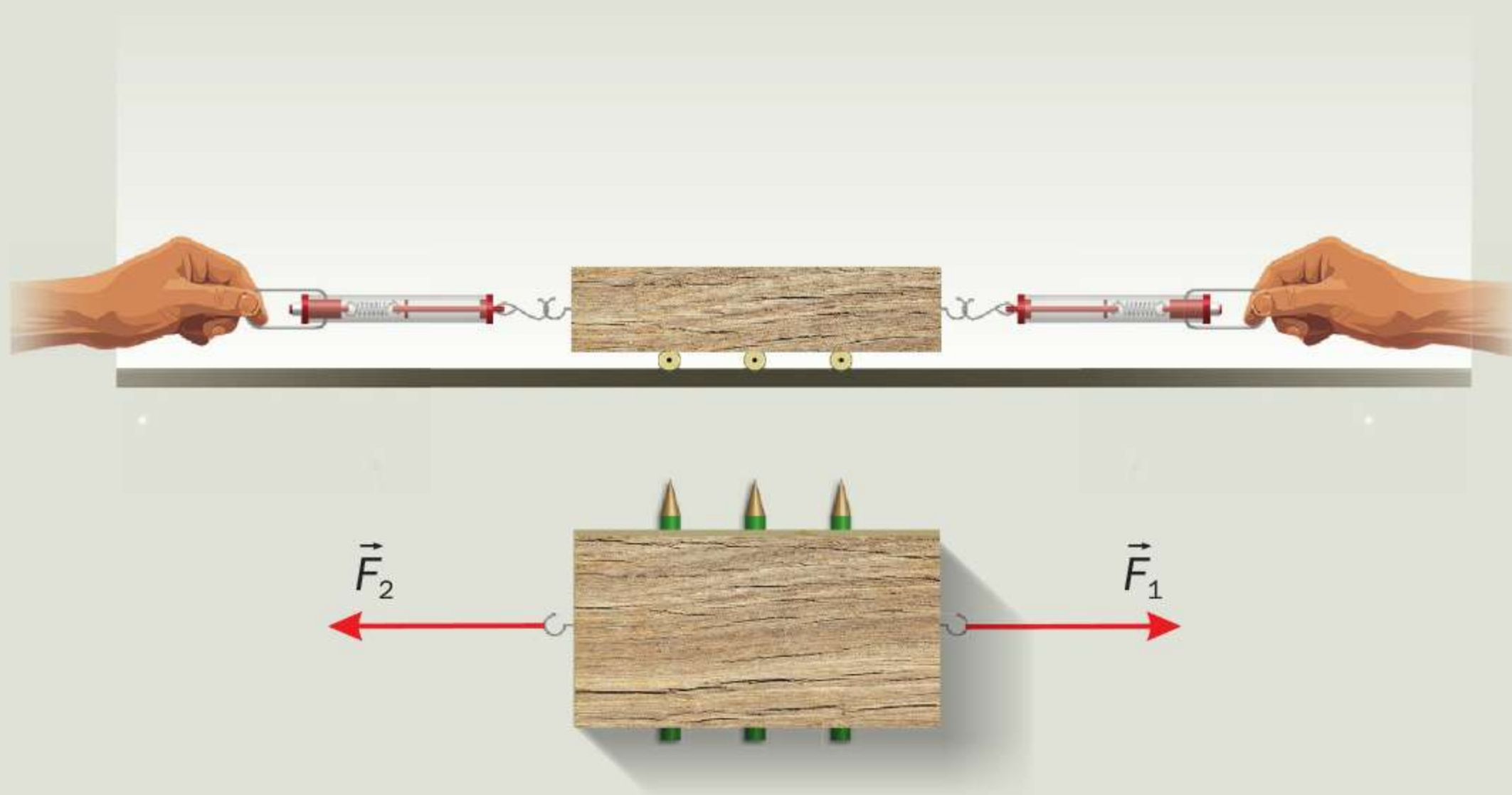
Doświadczenie 5.4

Wykazujemy, że gdy na to samo ciało działają dwie siły o tym samym kierunku, tych samych wartościach i przeciwnych zwrotach, ciało pozostaje w spoczynku.

Potrzebne przedmioty: drewniany klocek z haczykami, 2 siłomierze, kilka okrągłych ołówków (niekoniecznie).

Kolejne czynności:

- Klocek kładziemy na gładkiej powierzchni lub na ołówkach.
- Do haczyków przyczepiamy siłomierze i ciągniemy je w przeciwne strony tak, aby klocek pozostawał nieruchomy.
- Odczytujemy wskazania siłomierzy.



Wynik obserwacji: Siłomierze wskazują takie same wartości sił. Obie siły działają wzdłuż tej samej prostej, czyli mają taki sam kierunek i przeciwne zwroty.

Wniosek: Jeżeli dwie siły działające na to samo ciało wzdłuż tej samej prostej mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty, to nie zauważamy żadnego skutku ich działania – ciało pozostaje w spoczynku.

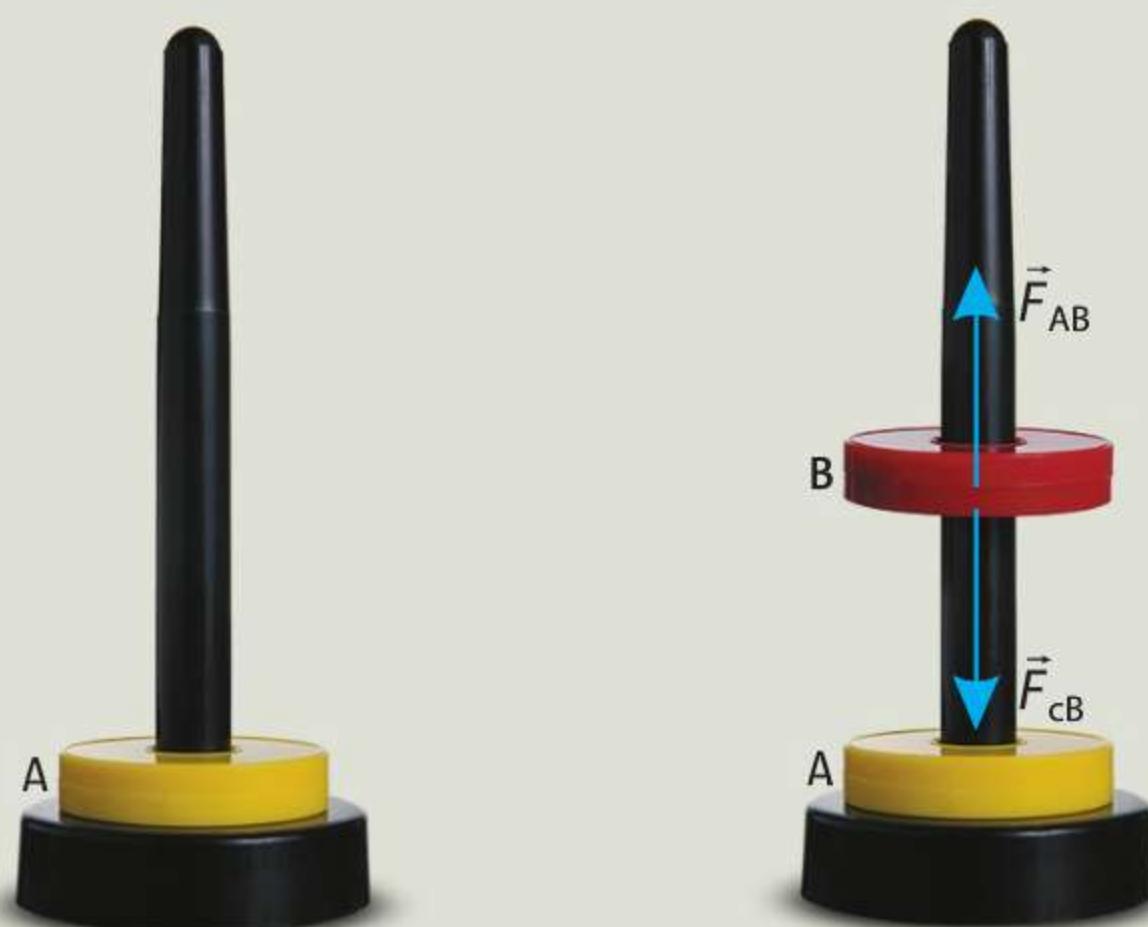
O takich siłach mówimy, że wzajemnie **się równoważą**. Jeżeli działają one na ciało sztywne, nie powodują żadnego skutku. O ciele, na które działają siły równoważące się, mówimy, że jest w **stanie równowagi**.

Poniższe doświadczenie pokazuje przykład ciał w stanie równowagi.

Doświadczenie 5.5

Badamy położenie równowagi magnesu.

Potrzebne przedmioty: podstawka z pionowym prętem i magnesami nakładanymi na pręt.



Kolejne czynności:

- Na podstawkę nakładamy magnes A w postaci krążka z otworem.
- Następnie nakładamy drugi magnes B tak, by był odpychany od dolnego magnesu i lewitował nad nim.
- Górny magnes zbliżamy do dolnego i oddalamy od niego. Za każdym razem obserwujemy, w jakiej odległości od dolnego magnesu przyjmuje on położenie równowagi.

Wynik obserwacji: Górny magnes przyjmuje położenie równowagi zawsze w tej samej odległości od dolnego magnesu.

Wniosek: Górny magnes B wisi nad dolnym A w takiej odległości, w której jego ciężar $\vec{F}_{CB}$ jest zrównoważony przez magnetyczną siłę odpychania go od dolnego magnesu $\vec{F}_{AB}$. Wartości sił (długości wektorów) są jednakowe:

$$F_{CB} = F_{AB}$$

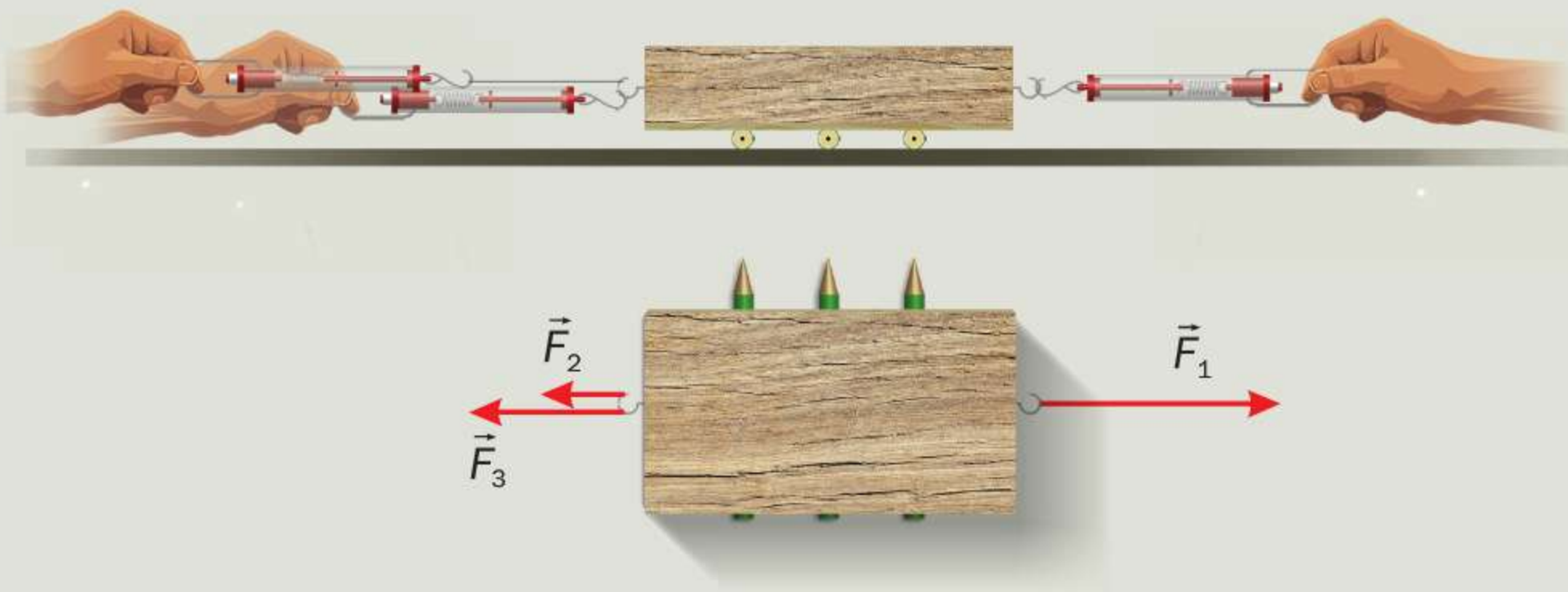
Doświadczenie 5.6

Wprowadzamy pojęcie siły wypadkowej.

Potrzebne przedmioty: drewniany klocek z haczykami, 3 siłomierze, kawałek nitki, kilka okrągłych ołówków (niekoniecznie).

Kolejne czynności:

- Kłócek kładziemy na gładkiej powierzchni lub na ołówkach.
- Do każdego z haczyków przyczepiamy siłomierz.
- Do jednego z haczyków przyczepiamy trzeci siłomierz na nitce.



- Ciągamy za uchwyty siłomierzy, a wartości sił $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ dobieramy w taki sposób, aby kłócek pozostawał w stanie równowagi.
- Doświadczenie wykonujemy kilkakrotnie, za każdym razem z innymi wartościami sił. Wyniki pomiarów wpisujemy do tabeli. W tabeli poniżej wpisano przykładowe wyniki doświadczenia.

Wynik doświadczenia:

F_1 (N)	F_2 (N)	F_3 (N)	$F = F_2 + F_3$
1,0	0,6	0,4	1,0
2,0	1,2	0,8	2,0
2,8	1,0	1,8	2,8
2,6	1,4	1,2	2,6

Wszystkie siły działające na kłócek mają ten sam kierunek, siły $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ mają zwroty zgodne, a siła $\vec{F}_1$ ma zwrot przeciwny do nich.

Wniosek: W każdym przypadku wartość siły $\vec{F}_1$ działającej w prawo równa jest (w granicach niepewności pomiaru) sumie wartości sił $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ działających w lewo. Działanie siły $\vec{F}_1$ równoważy działanie sił $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$.

Siły $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ można zastąpić jedną siłą $\vec{F}$.

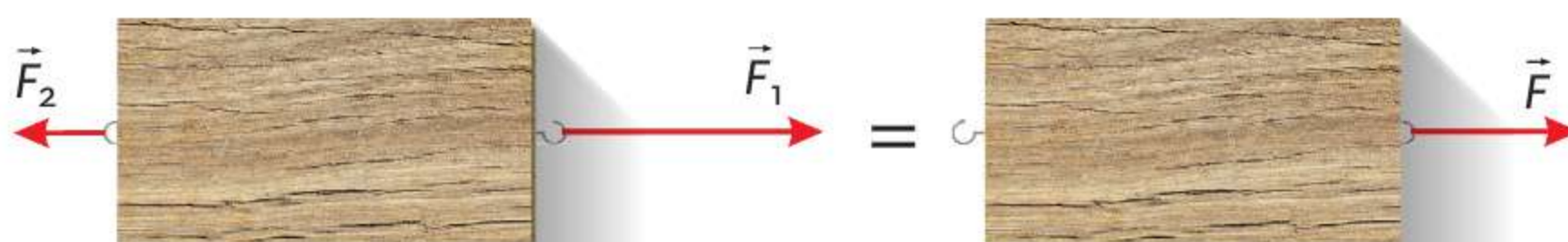
Siłę, która podczas działania na ciało powoduje taki sam skutek jak kilka sił przyłożonych do tego ciała, nazywamy **siłą wypadkową** lub wypadkową tych sił. Siły, które zastępuje siła wypadkowa, nazywamy **siłami składowymi**.

Powrócimy teraz do wyników pomiarów umieszczonych w tabeli na s. 145. Jeśli weźmiemy pod uwagę kierunki i zwroty sił $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$, możemy wywnioskować, że wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej i mających zgodne zwroty ma wartość równą **sumie wartości sił składowych**: $F = F_2 + F_3$, kierunek zgodny z kierunkiem sił składowych, a zwrot zgodny ze zwrotem tych sił. Na rysunku siła $\vec{F}$ zastępuje działanie sił $\vec{F}_3$ i $\vec{F}_2$ – sił składowych o zwrotach zgodnych.



Jeżeli dwie siły mają ten sam kierunek, a przeciwne zwroty, to wypadkowa tych sił ma wartość równą **różnicy wartości sił składowych**: $F = F_1 - F_2$, kierunek zgodny z kierunkiem sił składowych i zwrot zgodny ze zwrotem siły o większej wartości.

Na rysunku siła $\vec{F}$ zastępuje działanie sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ – sił składowych o zwrotach przeciwnych.



Czynność polegającą na znajdowaniu siły wypadkowej, gdy znamy siły składowe, nazywamy **sumowaniem** lub **składaniem sił**.

Analiza wyników pomiarów zamieszczonych w tabeli na s. 145 pozwala stwierdzić, że każda z sił $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ jest siłą równoważącą dwie pozostałe siły, bo klocek pozostaje w równowadze.

W przyrodzie występują różne siły. O niektórych z nich, np. o sile sprężystości, sile tarcia czy sile wyporu, wkrótce dowiesz się więcej.

Gdy rysujesz wektor siły:

- pamiętaj, by przyczepiać go do ciała, na które działa ta siła;
- zawsze zastanów się, jakie inne ciało jest źródłem siły, którą przedstawiasz graficznie, tzn. od jakiego ciała ta siła pochodzi.

Przykład 5.3

Jak uwzględnić niepewności pomiarowe w przypadku obliczania sumy lub różnicy mierzonych wielkości?

Założmy, że do mierzenia wartości sił w doświadczeniu 5.6 używaliśmy siłomierzy, których najmniejsza działka na skali (ΔF) wynosiła 0,1 N. Rzeczywista wartość mierzonej siły mieści się w takim przypadku w granicach:

$$F = F_p \pm \Delta F$$

gdzie F_p to zmierzona wartość siły. Na przykład:

$$F_2 = 1,2 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}$$

Jeśli dodajemy lub odejmujemy wartości dwu sił mierzonych z taką dokładnością, to **niepewności zawsze sumujemy**.

Na przykład, jeśli skorzystamy z danych w tabeli na s. 145, otrzymamy:

$$1. F_2 + F_3 = (1,2 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}) + (0,8 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}) = 2,0 \text{ N} \pm 0,2 \text{ N}$$

$$2. F_1 - F_3 = (2,0 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}) - (0,8 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}) = 1,2 \text{ N} \pm 0,2 \text{ N}$$

Oto uzasadnienie.

Rozważmy najmniej korzystne przypadki odczytywania wyników pomiarów. W przykładzie 1. wystąpią one wtedy, gdy przy obu pomiarach odczytamy za dużo o 0,1 N lub za mało o 0,1 N. Może się tak zdarzyć, gdy spojrzymy na skalę siłomierza nie prostopadle, tylko pod pewnym kątem. Wówczas:

$$F_2 + F_3 = 1,3 \text{ N} + 0,9 \text{ N} = 2,2 \text{ N}$$

lub:

$$F_2 + F_3 = 1,1 \text{ N} + 0,7 \text{ N} = 1,8 \text{ N}$$

W przykładzie 2. najmniej korzystne przypadki wystąpią wtedy, gdy przy pierwszym pomiarze odczytamy za dużo o 0,1 N, a przy drugim za mało o 0,1 N:

$$F_1 - F_2 = 2,1 \text{ N} - 0,7 \text{ N} = 1,4 \text{ N}$$

lub przy pierwszym pomiarze odczytamy za mało o 0,1 N, a przy drugim za dużo o 0,1 N. Wtedy:

$$F_1 - F_2 = 1,9 \text{ N} - 0,9 \text{ N} = 1,0 \text{ N}$$

Zastrześliśmy, że są to najmniej korzystne przypadki. Ale uwzględnianie niepewności pomiarowych w podawaniu wyników polega właśnie na tym, że uwzględniamy wszystkie możliwe przypadki, nawet te najmniej korzystne, choć zdarzają się one rzadko.

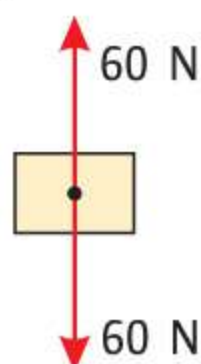
Podsumowanie

1. Siłę przyłożoną w dowolnym punkcie ciała sztywnego możemy przesuwać wzdłuż kierunku jej działania. Nie powoduje to zmian w skutkach działania siły.
2. Jeżeli dwie działające na ciało siły leżą na jednej prostej, mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty, to równoważą się wzajemnie.
3. Siłę, która działa na ciało i powoduje taki sam skutek jak kilka sił przyłożonych do tego ciała, nazywamy siłą wypadkową lub wypadkową tych sił. Siły, które zastępuje siła wypadkowa, nazywamy siłami składowymi.
4. Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej i mających zgodne zwroty ma wartość równą sumie wartości sił składowych, kierunek zgodny z kierunkiem tych sił, a zwrot zgodny ze zwrotem sił składowych.
5. Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej i mających przeciwne zwroty ma wartość równą różnicy wartości sił składowych (od wartości większej odejmujemy mniejszą), kierunek zgodny z kierunkiem tych sił, a zwrot zgodny ze zwrotem siły o większej wartości.

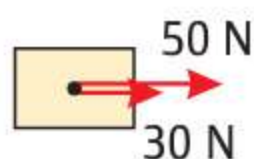
Zadania i doświadczenia

1. W każdym z trzech przypadków przedstawionych na rysunkach oblicz wartość wypadkowej sił. Przerysuj wektory sił do zeszytu, a następnie dorysuj wektory sił równoważących.

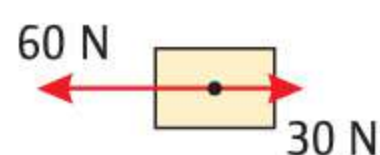
a)



b)



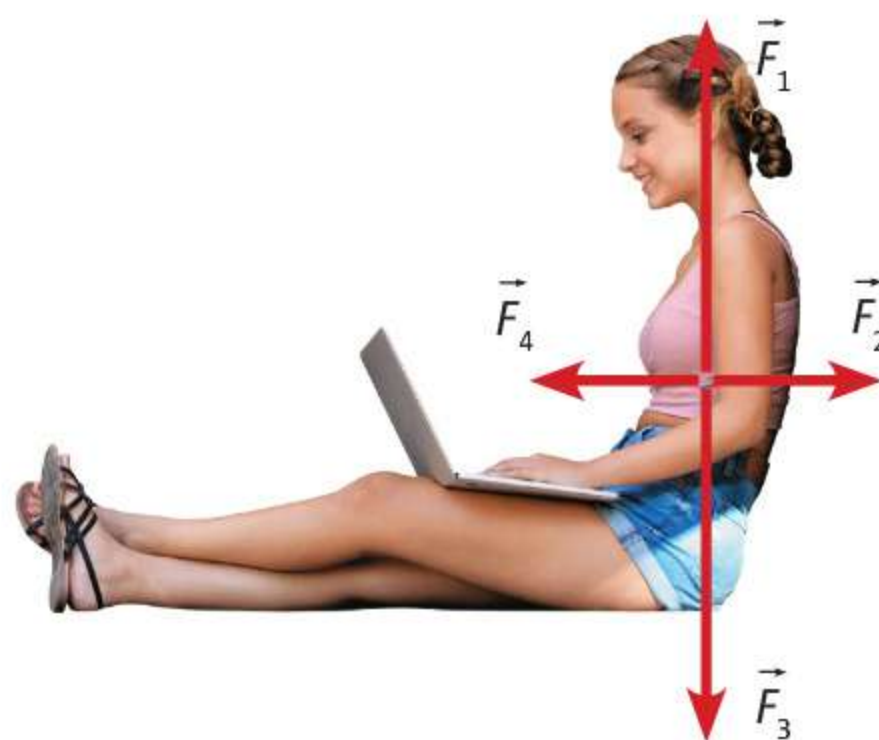
c)



- *2. W chwili uderzenia młotem na kamień działają trzy siły. Mimo to kamień pozostaje w stanie równowagi. Narysuj wektory tych sił. Wykorzystaj wniosek z doświadczenia 5.3 i przyłóż je w środku kamienia.



3. Przedstawiona na zdjęciu dziewczyna siedzi oparta o ścianę. Która z zaznaczonych na rysunku sił równoważy siłę przyciągania ziemskiego?



4. Dziewczyna trzyma nad podłogą nieruchomą walizkę o masie 10 kg. Oblicz wartość siły, którą dziewczyna działa na walizkę. Podaj jej kierunek i zwrot. Podaj wartość siły wypadkowej działającej na walizkę.
5. Jeśli dodamy do siebie dwie masy, każda po 50 kg, zawsze otrzymamy 100 kg. Czy jeśli dodamy do siebie (czyli złożymy) dwie siły o jednakowych wartościach, zawsze uzyskamy taki sam wynik? Odpowiedź uzasadnij na przykładzie.

5.3 Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Wiemy już, że jeśli na spoczywające ciało działają siły, które się równoważą, to ciało nadal pozostaje w spoczynku.

Teraz rozpatrzmy przypadki, gdy ciało w chwili rozpoczęcia obserwacji porusza się z pewną prędkością.

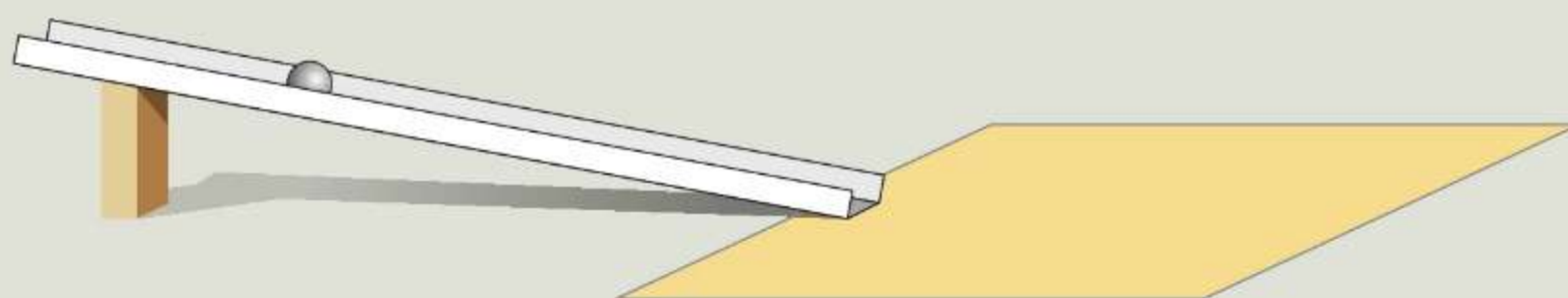
Doświadczenie 5.7

Obserwujemy zmiany prędkości ciała w zależności od rodzaju podłoża, po którym ciało się porusza.

Potrzebne przedmioty: wyprofilowana listwa lub ceownik, którego używaliśmy do wykonania doświadczenia 5.2, metalowa kulka, piasek, kawałek grubej tkaniny, gładka powierzchnia stołu.

Kolejne czynności:

- Ceownik podpieramy na jednym końcu.
- Drugi koniec ustawiamy tak, by kulka staczała się kolejno na: warstwę piasku, tkaninę, powierzchnię stołu.
- Obserwujemy ruch kulki po każdym podłożu.



Wynik obserwacji: W kolejnych przypadkach prędkość kulki ma taki sam kierunek i zwrot. Im gładziej jest podłoże, tym wolniej maleje wartość prędkości.

Wniosek: Gdyby podłoże było idealnie gładkie, kulka poruszałaby się ruchem jednostajnym prostoliniowym, czyli ze stałą prędkością.



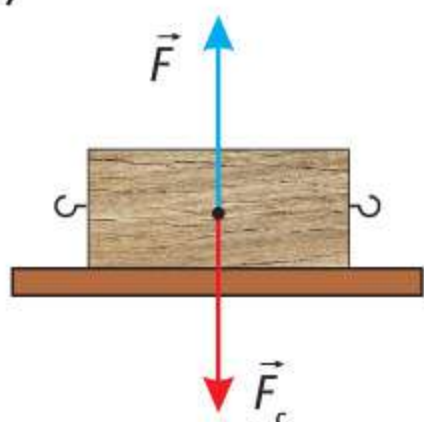
Uderzony kijem hokejowym krążek porusza się ruchem zbliżonym do jednostajnego tym dłużej, im gładziej jest lód. Dopiero działanie siły pochodzącej od chropowatego podłoża powoduje jego stopniowe zwalnianie. Gdyby lód był idealnie gładki, krążek poruszałby się ze stałą prędkością, taką jaka została mu nadana.

Również kierunek ruchu cząsteczek gazu wewnątrz zamkniętego zbiornika zmienia się w wyniku ich zderzania z innymi cząsteczkami lub ściankami zbiornika. Między kolejnymi zderzeniami każda cząsteczka porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Podobnie sonda kosmiczna (fot.) w wielkiej odległości od jakichkolwiek ciał niebieskich, których przyciąganie jest pomijalnie małe, porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

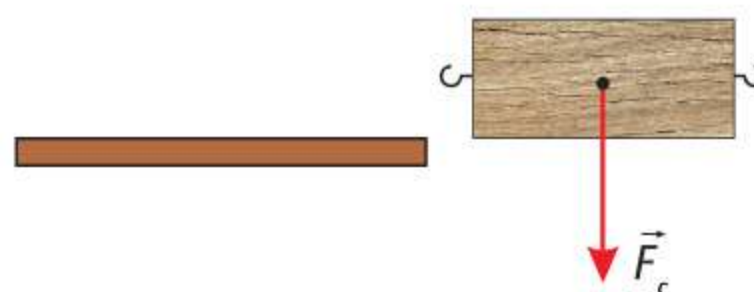


Wróćmy do doświadczenia 5.4. Na klocek, oprócz sił o kierunku poziomym, działają także dwie siły o kierunku pionowym. W dół działa siła przyciągania ziemskiego $\vec{F}_c$, a w górę siła $\vec{F}$ – jej źródłem jest stół, na którym leży klocek (rys. a). Siła ta działa na dolną powierzchnię klocka, ale – zgodnie z wynikiem doświadczenia 5.3 – przesunęliśmy obrazujący ją wektor do punktu przyłożenia siły $\vec{F}_c$. Skoro klocek pozostaje w stanie równowagi, to znaczy, że te dwie siły także się równoważą. Gdy przesuniemy klocek poza stół, będzie on pod działaniem niezrównoważonej siły $\vec{F}_c$ – zacznie spadać (rys. b).

a)



b)



Podobnie na krążek hokejowy poruszający się po poziomej powierzchni lodu ruchem jednostajnym działają w kierunku pionowym dwie równoważące się siły: w dół działa siła przyciągania ziemskiego, a w górę siła, której źródłem jest lód.

Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa, jeżeli nie działają na nie żadne siły lub gdy działają siły wzajemnie się równoważące.

Stwierdzenie to jest jednym z podstawowych praw mechaniki. Jeśli prędkość ciała nie ulega zmianie, mówimy, że jest ona zachowana. Zjawisko zachowania prędkości ciała, gdy nie działają na nie żadne siły lub działają siły, które się równoważą – nazywa się **bezwładnością** (inercją). Dlatego też pierwszą zasadę dynamiki nazywa się także zasadą bezwładności.

Z bezwładnością ciał spotykamy się często w życiu codziennym.

Przykład 5.4

Gdy autobus rusza z przystanku, a więc zwiększa prędkość, stopy pasażerki także przyspieszają. Reszta jej ciała, na którą nie działa siła zwrócona do przodu, pozostaje w spoczynku, tzn. względem autobusu porusza się w stronę przeciwną do jego ruchu.



Natomiast przy ostrym hamowaniu autobusu stopy pasażerki zmniejszają swoją szybkość (tak jak podłoga autobusu), a pozostałe części jej ciała zachowują swój stan ruchu. Dlatego tułów pasażerki przesuną się do przodu względem podłogi autobusu.



W obu omawianych przypadkach ruch tułowia pasażerki to przykład bezwładności. **Im ciało ma większą masę, tym większą wykazuje bezwładność: trudniej je wprowadzić w ruch i trudniej zatrzymać.**

Przykład 5.5

Spróbujmy poprawnie połączyć zdarzenia 1. i 2. ze skutkami A i B.

Zdarzenie		Skutek	
1.	Samochód zderzył się czołowo z innym pojazdem.	A.	Nieprzypięty pasami kierowca wyleciał przez przednią szybę.
2.	Samochód został uderzony od tyłu przez inny pojazd.	B.	Z powodu braku zagłówka kierowca doznał obrażeń kręgosłupa.

Poprawne są jedynie odpowiedzi 1A i 2B.

1A – Gdy samochód zatrzymuje się nagle, nieprzypięty pasami kierowca nadal porusza się do przodu z prędkością, którą miał samochód w chwili zderzenia.

2B – Gdy samochód nagle przyspiesza, głowa, która nie opiera się na zagłówku, „pozostaje w tyle”.

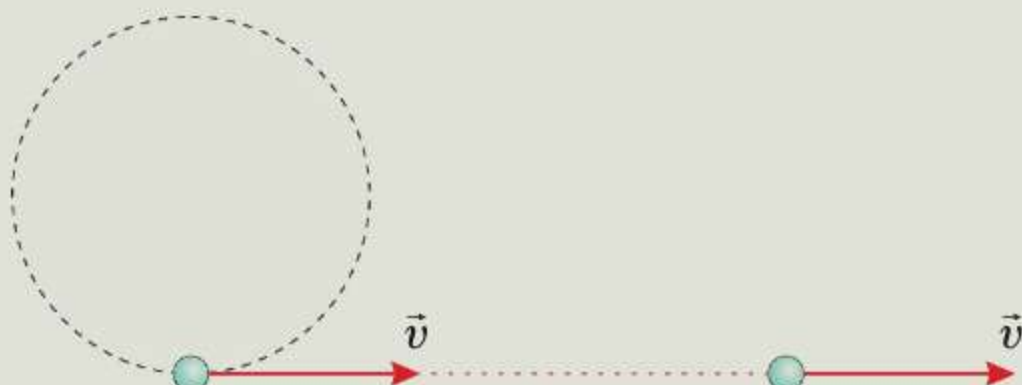
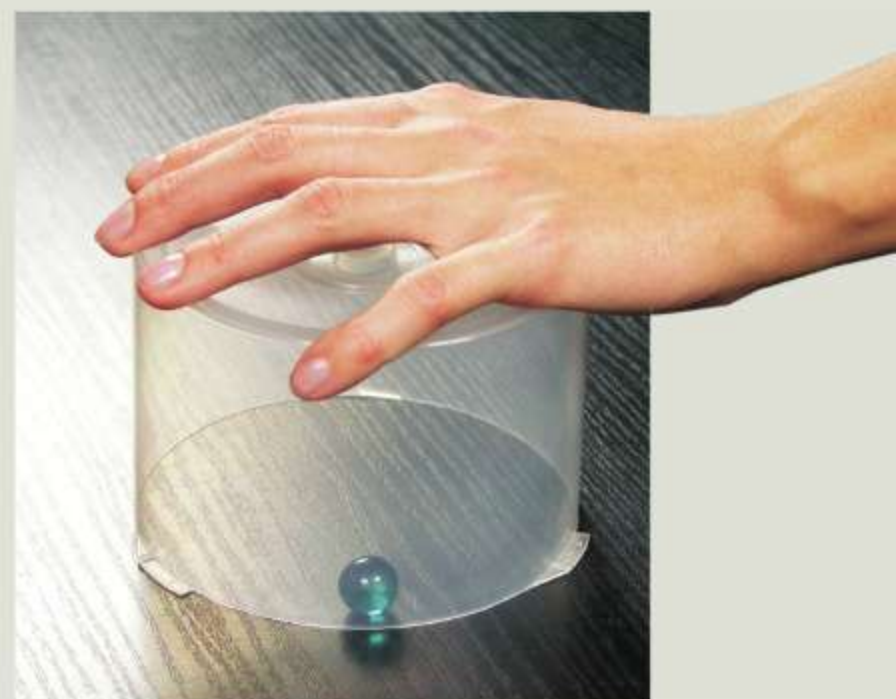
Doświadczenie 5.8**Obserwujemy zachowanie prędkości kulki.**

Potrzebne przedmioty: okrągła przezroczysta miska lub plastikowe pudełko na płyty kompaktowe, koralik lub kulka.

Kolejne czynności:

- Miskę odwróć do góry dnem i włóż pod nią kulkę.
- Wpraw miskę w taki ruch, by kulka toczyła się po okręgu wzdłuż obwodu miski.
- Podnieś szybko miskę do góry i zaobserwuj ruch kulki.

Wynik obserwacji: Gdy miska przestała działać na kulkę siłą zakrzywiającą jej tor ruchu, kierunek prędkości kulki przestał się zmieniać.



Wniosek: Prędkość kulki przestaje się zmieniać, czyli zostaje zachowana, gdy nie działa na nią żadna siła lub działające siły się równoważą. W przypadku kulki równoważą się jej ciężar i siła pochodząca od podłoża.

Podsumowanie

1. Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub gdy działające siły wzajemnie się równoważą, to ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub pozostaje w spoczynku.

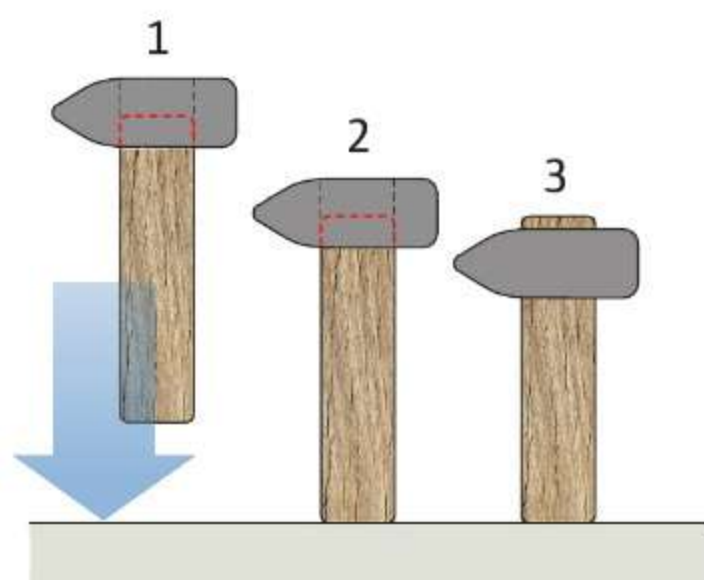
2. Jeśli na ciało działają siły o kierunku poziomym i pionowym, ich równoważenie się rozpatrujemy oddzielnie.

3. Bezwładnością (lub inercją) nazywamy zjawisko zachowania przez ciało prędkości, gdy nie działają na nie żadne siły lub gdy działające siły wzajemnie się równoważą.

4. Prędkość ciała – jej wartość, kierunek i zwrot – może ulec zmianie tylko na skutek działania innego ciała lub ściślej: na skutek działania siły pochodzącej od innego ciała.

Zadania i doświadczenia

1. Na rysunku pokazano sposób nasadzania obucha młotka na trzonek. Wyjaśnij go na podstawie zjawiska bezwładności.



2. Wyjaśnij, dlaczego po nagłym uderzeniu roweru w przeszkodę (fot.), która pojawiła się na drodze, rowerzysta zostaje wyrzucony z siodełka do przodu.



3. Wyjaśnij, na czym polega – z punktu widzenia fizyki – strzepywanie wody z parasola i czyszczenie dywanu poprzez trzepanie.

4. Uzasadnij konieczność używania samochodowych pasów bezpieczeństwa.
5. Czy w przedziale kolejowym bezpieczniej jest umieścić ciężki bagaż na półce od strony lokomotywy czy po przeciwnej stronie? Odpowiedź uzasadnij.
6. Montowanie w samochodach poduszek, które napełniają się powietrzem w chwili zderzenia auta z innym obiektem, znacznie zwiększa koszt jego produkcji. Przyjrzyj się zdjęciom i odpowiedz, dlaczego mimo to poduszki powietrzne stają się w samochodach coraz powszechniejsze.



Doświadczenie 1.

Obserwujemy bezwładność ciał (I).

Potrzebne przedmioty: szklanka, karta do gry lub tekturka, moneta.

Kolejne czynności:

- Na pustej szklance kładziemy kartę.
- Na środku karty kładziemy monetę.
- Przesuwamy gwałtownie kartę w poziomie, np. poprzez pstryknięcie jej palcami.
- Obserwujemy zachowanie monety.
- Zapisz wynik obserwacji. Wyjaśnij zachowanie się monety.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy bezwładność ciał (II).

Potrzebne przedmioty: 5–10 pudełek z zapalnikami, linijka.

Kolejne czynności:

- Pudełka z zapalnikami ustawiamy poziomo na stole jedno na drugim.
- Przesuwamy linijkę po stole szybkim ruchem i wysuwamy w ten sposób najniżej położone pudełko tak, by stos się nie zawalił.
- W taki sam sposób wysuwamy kolejne pudełka.
- Zapisz wniosek z doświadczenia.

5.4 Trzecia zasada dynamiki Newtona

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

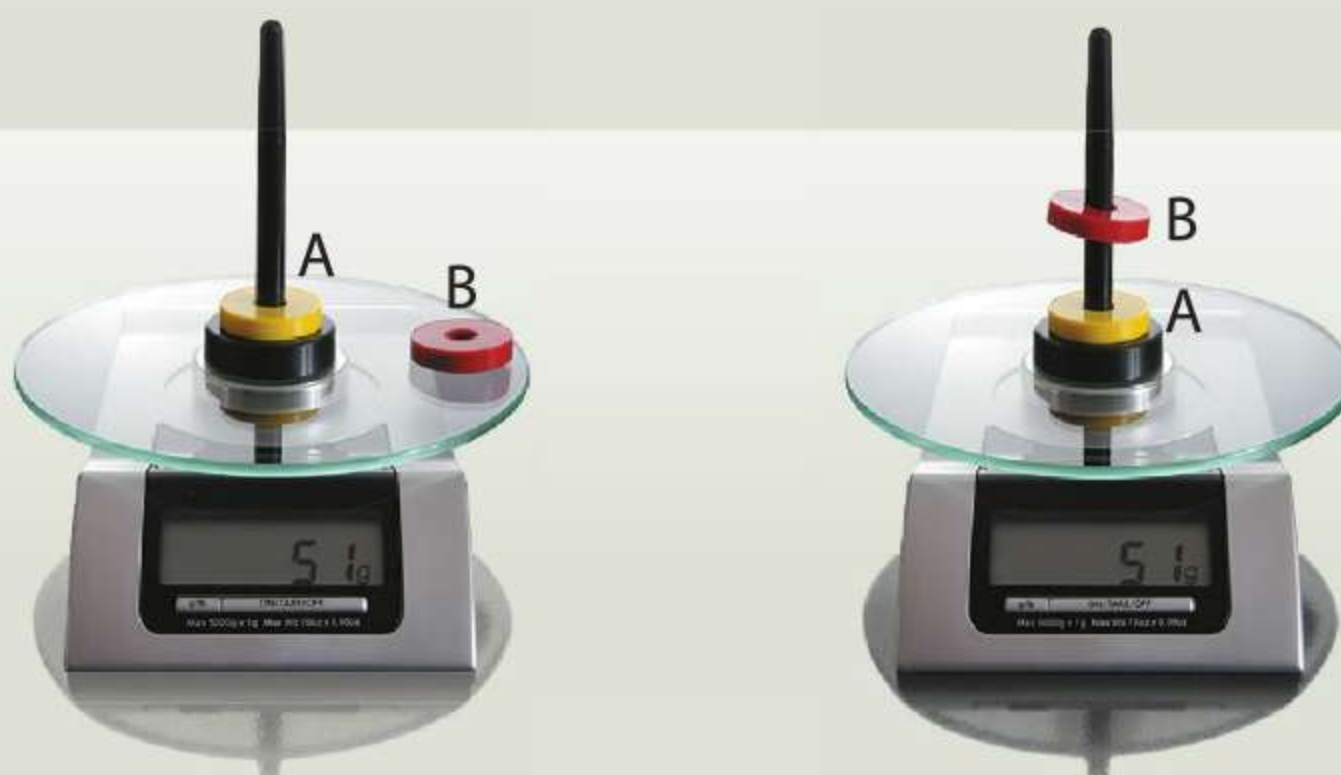
Doświadczenie 5.9

Badamy, jakie wartości mają siły wzajemnego oddziaływania ciał.

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

Kolejne czynności i pomiary:

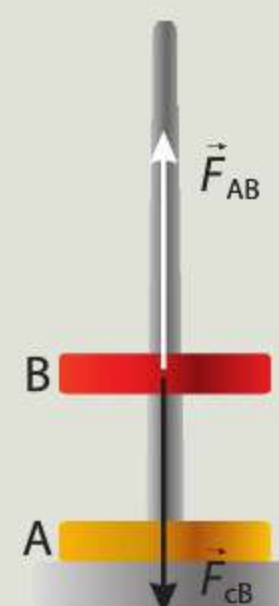
- Na szalkę wagi kładziemy podstawkę z prętem i magnesem A, a obok – drugi magnes B. Ważymy ten układ ciał. Wynik jest sumą wartości ciężaru $\vec{F}_c$ podstawki z prętem i magnesem A oraz ciężaru $\vec{F}_{cB}$ magnesu B.
- Leżący na szalce magnes B nakładamy na pręt tak, by zawisł nad magnesem A.



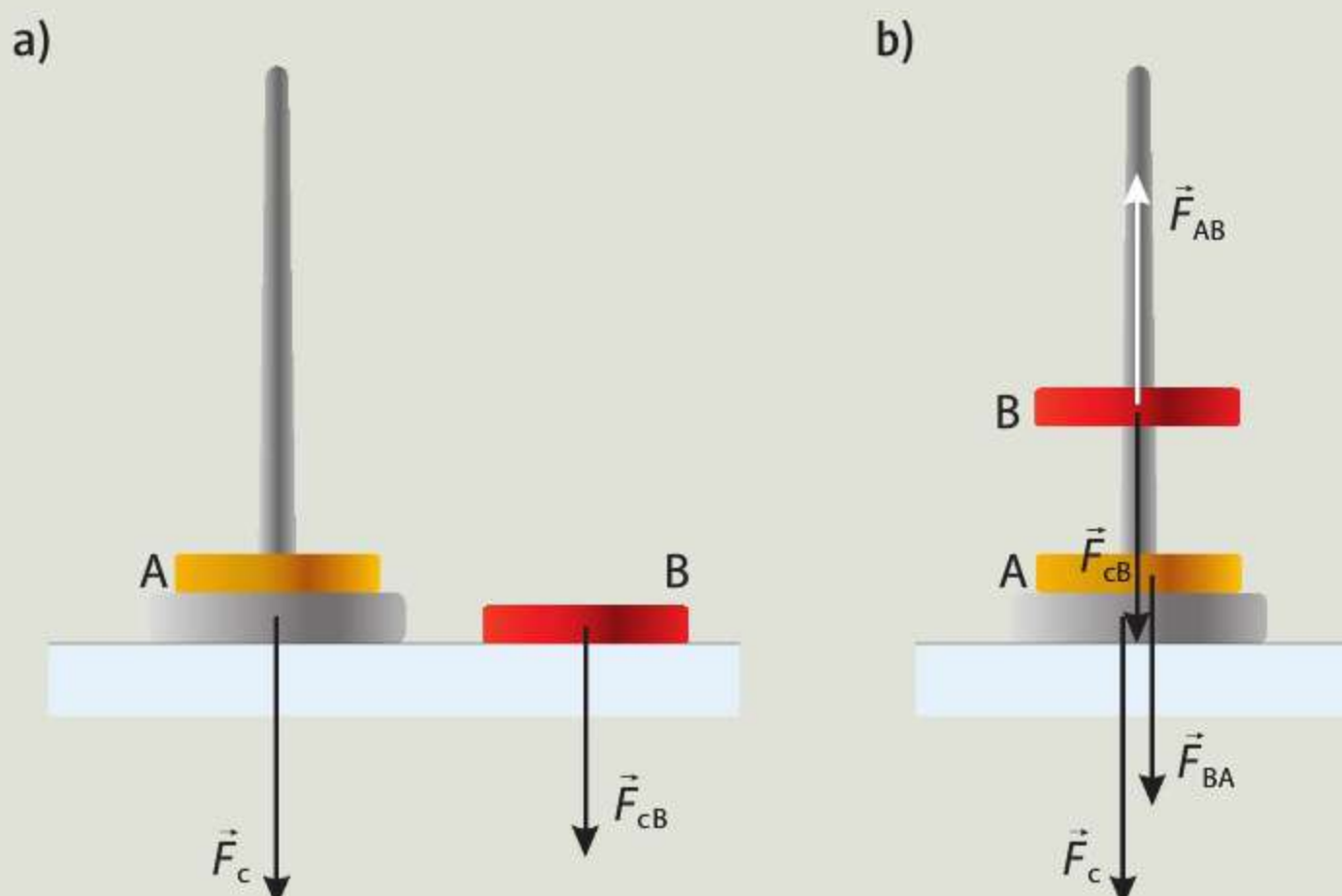
Wynik doświadczenia: Niezależnie od tego, czy magnes B leży na szalce, czy unosi się i nie dotyka prawie niczego, waga wskazuje tę samą wartość.

Wyjaśnijmy ten zaskakujący wynik. Z doświadczenia 5.5 wiesz, że górny magnes B przyjmuje zawsze takie położenie, w którym wypadkowa sił działających na niego jest równa zero. Ciężar $\vec{F}_{cB}$ magnesu B 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. b).



$\vec{F}_c$ – ciężar podstawki z prętem i magnesem A.

W obu przypadkach przedstawionych na rysunkach a i b waga wskazuje tę samą wartość, co oznacza, że wartość ciężaru magnesu B (F_{cB}) leżącego na szalce jest równa wartości siły magnetycznej, którą unoszący się magnes B odpycha magnes A (F_{BA}):

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

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: Siły wzajemnego oddziaływania magnesów mają jednakowe wartości.

Trzecia zasada dynamiki Newtona

Siły wzajemnego oddziaływania dwóch ciał mają takie same wartości, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i są przyłożone do dwóch różnych ciał.

Przykład 5.6

Piłka o ciężarze $\vec{F}_c$ naciska na dłoń, czyli działa na nią siłą nacisku $\vec{F}_N$. 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 przesuwając wzdłuż prostej ich działania. Siłę $\vec{F}_N$ zaczepimy więc 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, przesuwamy w górę i zaczepiamy w punkcie, w którym zaczepiony jest ciężar piłki.

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

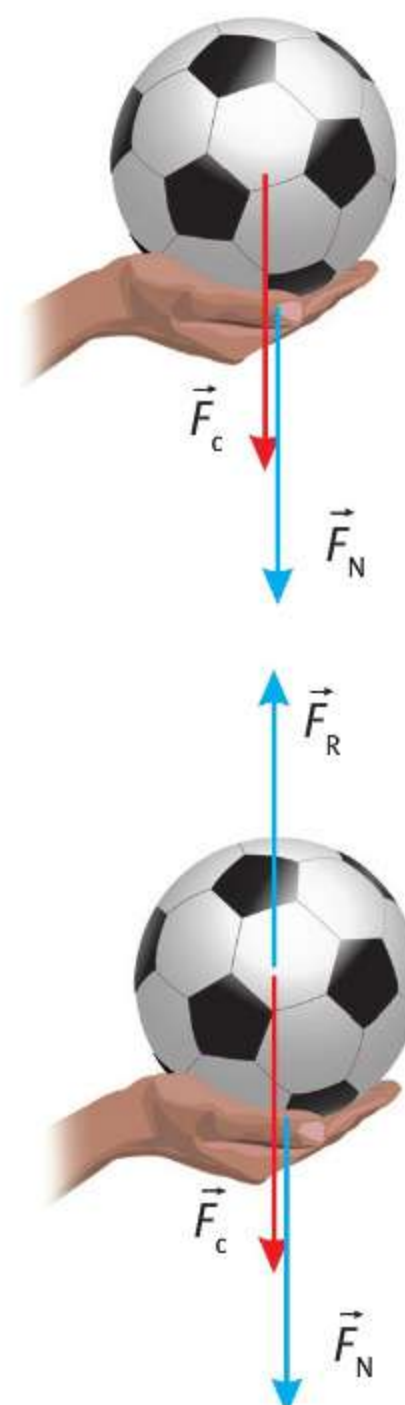
$$F_R = F_c$$

Jednak 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, gdy trzymamy w ręce jakiś przedmiot, możemy oszacować jego ciężar.

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

**Podsumowanie****1. Trzecia zasada dynamiki Newtona**

Jeśli pierwsze 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, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia.

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

Znak „-” oznacza, że siły mają przeciwne zwroty.

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

Zadania i doświadczenia

1. Czy siły akcji i reakcji, o których mówi trzecia zasada dynamiki, równoważą się wzajemnie? Odpowiedz pisemnie i uzasadnij odpowiedź.
2. Mikołaj biegnie do przodu po desce windsurfingowej. Opisz i wyjaśnij zachowanie się deski względem wody.
3. Siedzący na łódce chłopiec ciągnie na sznurku w swoją stronę deskę windsurfingową, na której siedzi jego kolega trzymający drugi koniec sznurka. Opisz i wyjaśnij zachowanie się obu obiektów.
4. Wyjaśnij, jaką rolę w ruchu motorówki spełnia śruba napędowa.



5. Odszukaj w internecie informacje o kałamarnicach lub meduzach. Przygotuj prezentację wyjaśniającą sposób ich poruszania się. Użyj pojęcia **odrzut**.

Doświadczenie 1.

Buujemy model rakiety.

Uwaga, to doświadczenie należy wykonać pod opieką osoby dorosłej.

Potrzebne przedmioty: duża plastikowa butelka, odrobina denaturatu, uchwyt na butelkę, zapalniczka.

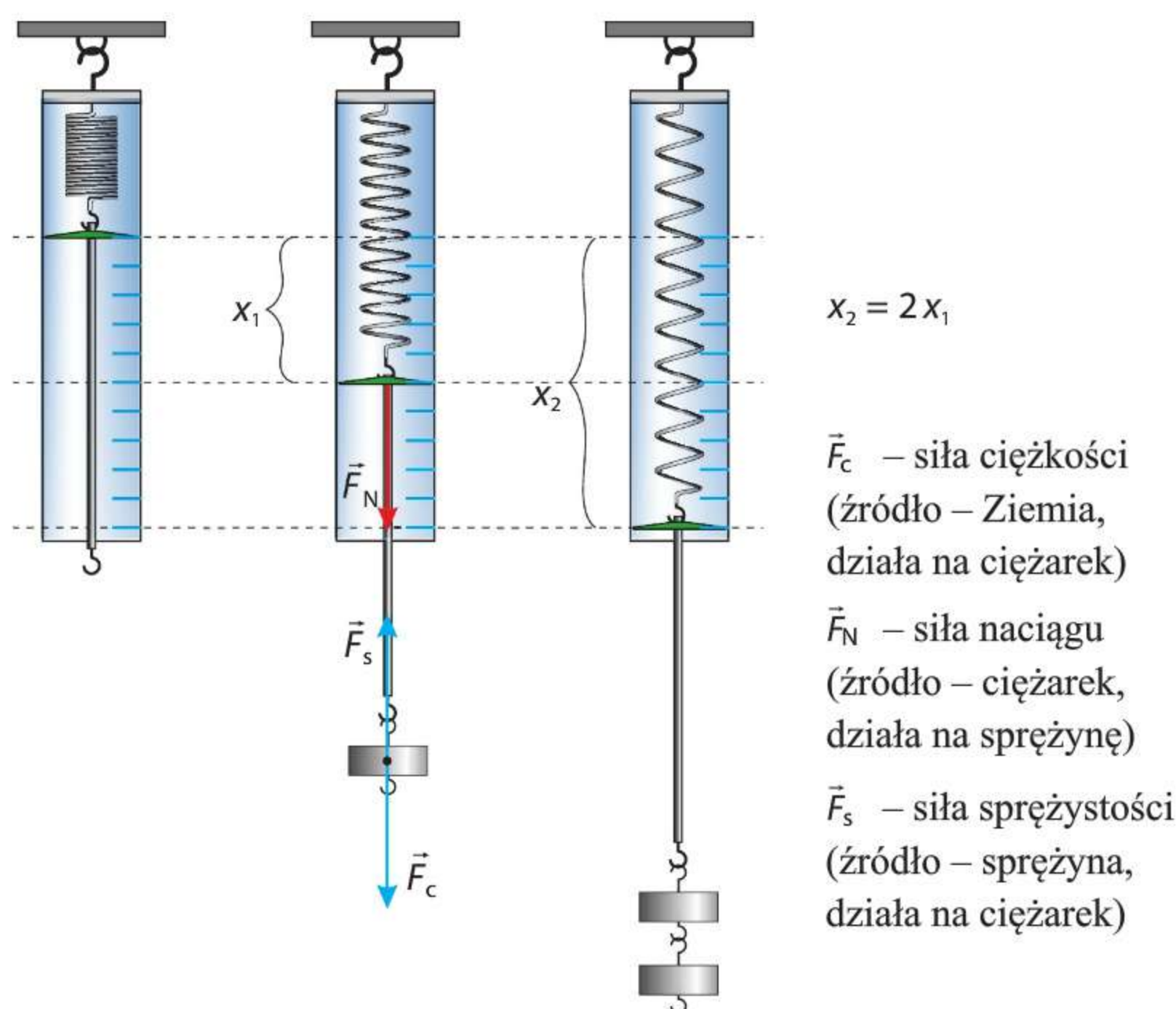
Kolejne czynności:

- W zakrętce od butelki wywierć otwór o średnicy około pół centymetra.
- Wlej denaturat do butelki, potrząśnij nią mocno i wylej resztę denaturatu.
- Zakręć zakrętkę, odwróć butelkę do góry dnem, ustaw w uchwycie.
- Podłóż zapaloną zapalniczkę pod otwór w zakrętce. Uwaga, zachowaj ostrożność! To rakietka!
- Opisz i wyjaśnij wynik doświadczenia.

5.5 Siła sprężystości

Gdy używamy siłomierza, korzystamy z właściwości powszechnie występującej w przyrodzie **siły sprężystości**. Co to za siła i od czego zależy jej wartość?

W rozdziale 1.2 wykonaliśmy doświadczenie, w którym wieszaliśmy na haczyku siłomierza kolejne ciężarki o jednakowych masach i stwierdziliśmy, że odpowiadające im przyrosty długości sprężyny są jednakowe. Oznacza to, że wydłużenie sprężyny jest wprost proporcjonalne do wartości siły rozciągającej sprężynę.



Wielkość wydłużenia odczytujemy w chwili, gdy ciężarek jest w równowadze. Zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki działająca na ciężarek w dół siła ciężkości $\vec{F}_c$ jest równoważona przez siłę sprężystości $\vec{F}_s$, której źródłem jest sprężyna:

$$F_s = F_c$$

a zatem wartości obu sił są takie same, a ich zwroty przeciwne.

Skoro wydłużenie $x \sim F_c$, a wartość $F_s = F_c$, to im większe wydłużenie sprężyny, tym większa wartość siły sprężystości F_s .

Ostatecznie stwierdzamy więc, że **wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na zawieszone na niej ciało, jest proporcjonalna do wydłużenia**, co można zapisać następująco:

$$F_s \sim x$$

Im bardziej sprężyna jest rozciągana, tym większa jest wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na rozciągające ją ciało.

Przykład 5.7

Jeśli pod działaniem siły o wartości 5 N sprężyna wydłużyła się o $x_1 = 2$ cm, to gdy zadziałamy na nią siłą o wartości 10 N, wydłuży się o $x_2 = 4$ cm, a gdy zadziałamy siłą o wartości 15 N, wydłuży się o $x_3 = 6$ cm.

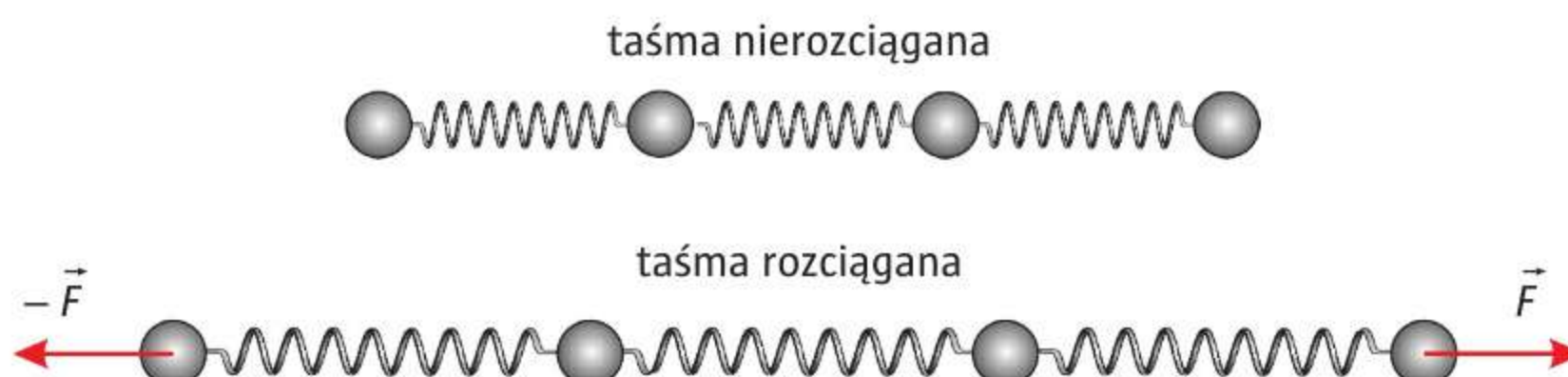
Oddziaływanie grawitacyjne z Ziemią powoduje, że wszystkie ciała niepodparte spadają na jej powierzchnię. Jeśli jednak ciało na czymś leży, działające na to ciało siły równoważą się wzajemnie.

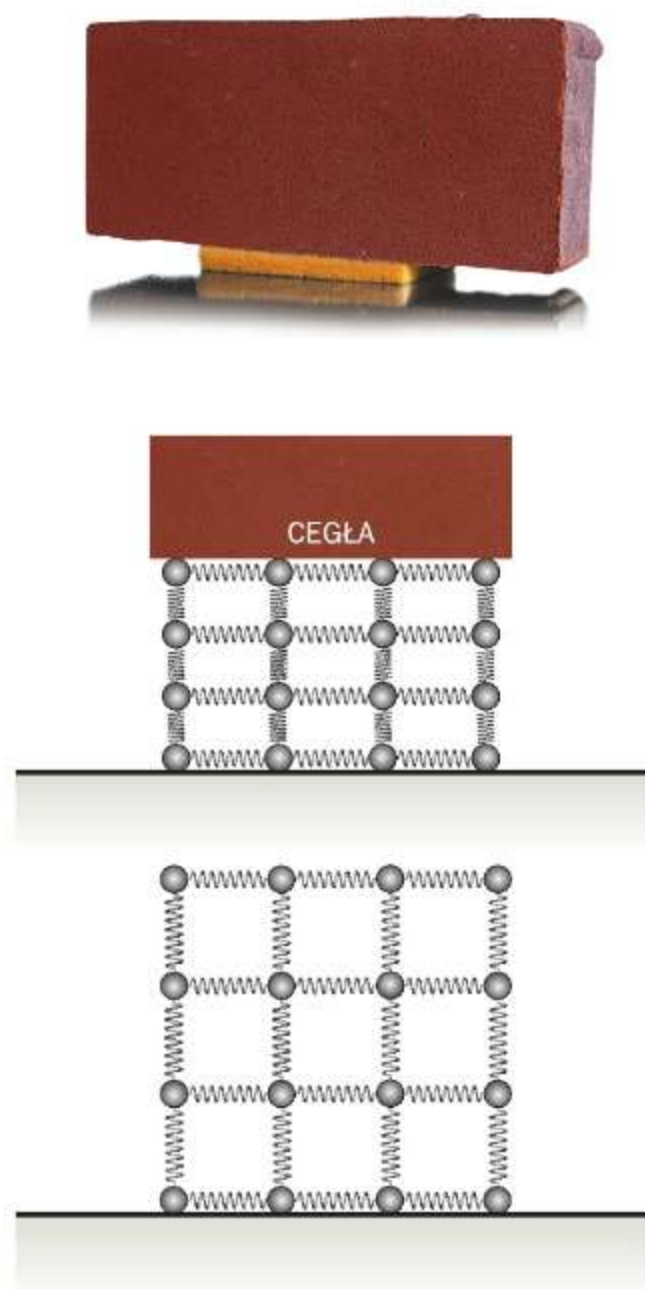
Przeczytaj ponownie opis obserwacji w przykładzie 5.1. Siła sprężystości w tym przypadku to zwrócona w górę siła, którą gąbka działa na cegłę.

Co jest przyczyną powstawania siły sprężystości? Wykorzystajmy nasze wiadomości dotyczące budowy materii.



Gdy przedstawiona na fotografii dziewczyna przestanie działać siłą na gumową taśmę, taśma wróci do swojej początkowej długości. Aby wyjaśnić to zjawisko, przypomnij sobie, że wszystkie ciała składają się z cząsteczek. Ciała stałe i ciecze nie rozpadają się na pojedyncze cząsteczki, ponieważ cząsteczki przyciągają się wzajemnie. Można to przedstawić za pomocą modelu.





Tak naprawdę w gumowej taśmie nie ma żadnych sprężynek, ale gdy przestajemy ją rozciągać, cząsteczki zbliżają się do siebie tak, jakby te sprężynki istniały.

Na fotografii widać cegłę leżącą na gąbce. Pod wpływem przyciągania ziemskiego cegła przez pewien czas poruszała się w dół, a następnie się zatrzymała. Jeśli posłużymy się naszym modelem, możemy to, co się stało z gąbką, przedstawić tak jak na rysunkach. Gdy usuniemy cegłę, pionowe sprężynki rozprężą się i gąbka wróci do poprzedniego kształtu.

Zmiany kształtu podłoża nie zawsze są widoczne. Gdy idziesz, nie dostrzegasz uginania się podłogi, ale ono na pewno następuje.

Przy rozciąganiu ciała oraz jego ściskaniu pojawiają się w nim siły dążące do przywrócenia jego początkowych rozmiarów i kształtów. Skutkiem tego rozciągane lub ściskane ciało działa siłą sprężystości na ciało, które je rozciąga lub ściska.

Podsumowanie

1. Siły sprężystości są to siły, którymi ciała rozciągane lub ściskane działają na ciała rozciągające je lub ściskające.
2. Wartość siły sprężystości, którą rozciągana lub ściskana sprężyna działa na rozciągające lub ściskające je ciało, jest proporcjonalna do jej wydłużenia lub skrócenia x .

Zadania i doświadczenia

1. Sprężyna wydłuża się o 4 cm, jeżeli działa na nią siła o wartości 2 N. Jeżeli działa na nią siła o wartości 4 N, to sprężyna wydłuża się o 8 cm. O ile wydłuży się sprężyna, jeżeli działa na nią siła o wartości 3 N?

Wskazówka: narysuj wykres zależności wydłużenia sprężyny od wartości działającej na nią siły i odczytaj z niego szukane wydłużenie sprężyny lub zastosuj proporcje.

2. Zapis $F_s \sim x$ oznacza, że wartość siły sprężystości $\vec{F}$ jest wprost proporcjonalna do wydłużenia x sprężyny; ile razy wzrasta x , tyle razy wzrasta F_s , a iloraz $\frac{F_s}{x} = \text{const}$, tzn. jest stały. Taki iloraz jest stały dla danej sprężyny, gumy lub pręta i nazywamy go współczynnikiem sprężystości. Oznaczamy go zwykle literą k . Oblicz współczynnik sprężystości dla sprężyny z zadania 1. i podaj jego jednostkę.

5.6 Siła oporu powietrza i siła tarcia

Gdy jedziesz samochodem lub pociągiem, czasem wystawiasz dłoń za okno. Odczuwasz wówczas wyraźnie nacisk powietrza na dłoń. Kiedy idziesz, nie odczuwasz działania siły oporu powietrza, ale gdy jedziesz na rowerze, czujesz ją wyraźnie. Z naszych codziennych obserwacji wynika więc, że wartość siły oporu powietrza rośnie wraz ze wzrostem szybkości ciała.

Doświadczenie 5.10

Badamy siłę oporu powietrza.

Potrzebne przedmioty: książka w twardej okładce, kilka kartek papieru o wymiarach równych wymiarom książki.

Kolejne czynności:

- Kartkę papieru trzymaną poziomo na wysokości ramion w jednej ręce i książkę trzymaną poziomo w drugiej upuść jednocześnie i obserwuj sposób i czas spadania.
- Powtórz doświadczenie, ale tym razem połóż na książce drugą kartkę. Porównaj czas spadania obu kartek.
- Jedną kartkę zgnieć w kulkę. Z tej samej wysokości co poprzednio upuść jednocześnie kartkę zgniecioną i kartkę niezgniecioną. Porównaj czas spadania obu ciał.



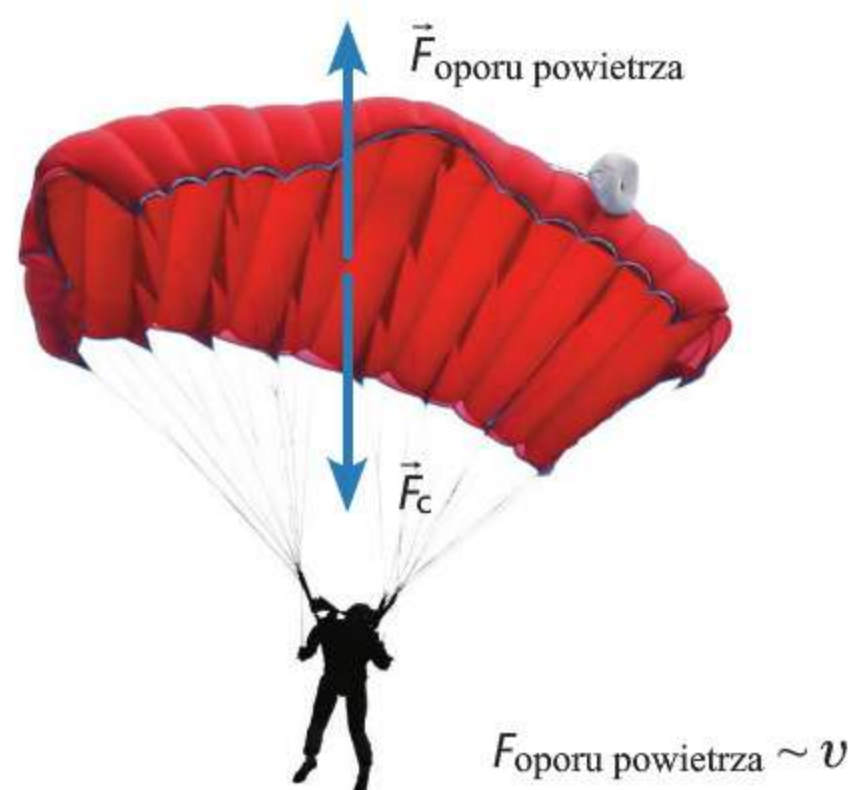
Wynik doświadczenia: Wynik obserwacji w pierwszej części doświadczenia może sugerować błędny wniosek, że książka spada w krótszym czasie, bo jest cięższa od kartki. W drugiej części doświadczenia obserwujemy jednak, że lekka kartka spada w tym samym czasie co książka. Trzecia część doświadczenia wskazuje na rolę oporu powietrza.

Wniosek: Czas spadania ciał z jednakowej wysokości zależy od tego, jak duża jest działająca na nie siła oporu powietrza w porównaniu z ciężarem, czyli od wartości siły wypadkowej działającej na ciało. W drugiej części doświadczenia działająca w górę siła oporu powietrza działa na książkę i nie hamuje kartki – kartka spada więc w tym samym czasie co książka. Trzecia część doświadczenia pokazuje, że wartość siły oporu powietrza zależy od kształtu ciała poruszającego się w powietrzu i wielkości powierzchni tego ciała.

O tej właściwości siły oporu powietrza trzeba pamiętać zarówno wtedy, gdy zależy nam na zmniejszeniu szybkości ciała (np. przy opadaniu spadochroniarza), jak i wtedy, gdy chcemy ją zwiększyć (np. podczas wyścigu samochodowego Formuły 1).

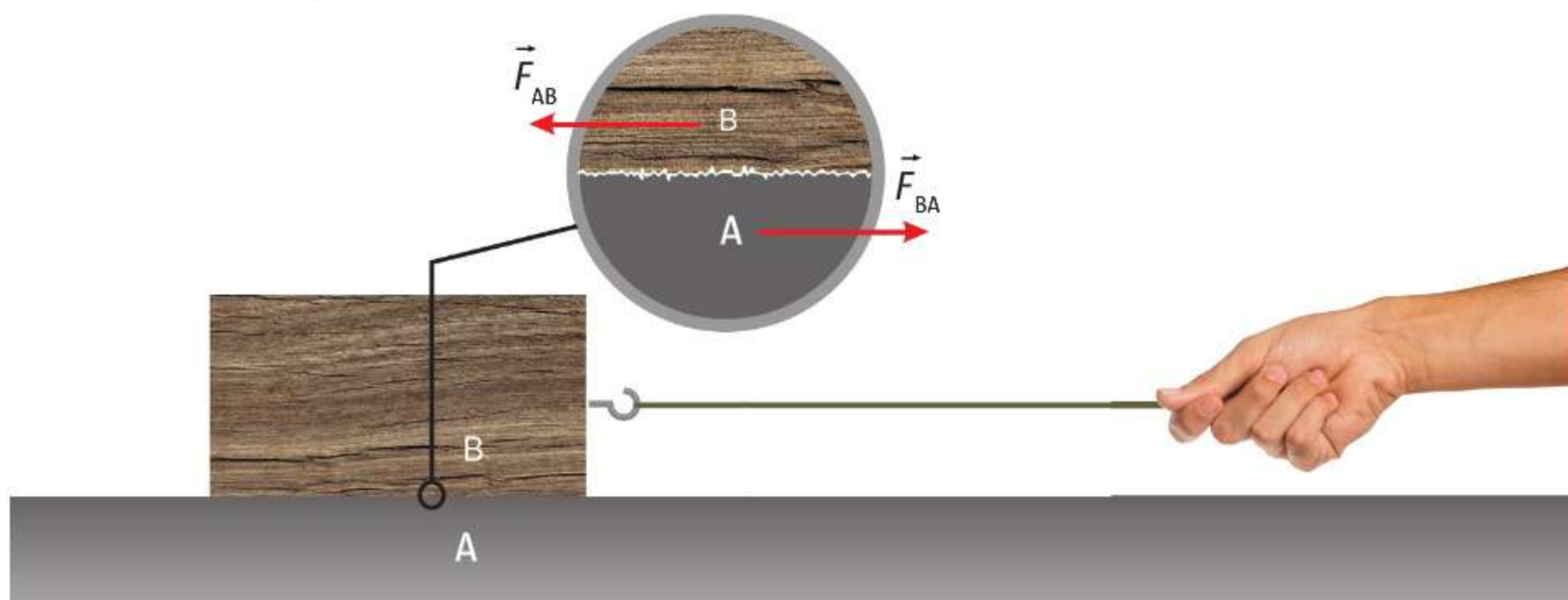
Przykład 5.8

Skoczek z otwartym spadochronem spada ruchem jednostajnym (jeśli nie liczyć kilku sekund po otwarciu spadochronu), bo przyciąganie ze strony Ziemi jest równoważone przez opór powietrza.



Obok sił ciężkości, sprężystości i oporu powietrza w życiu codziennym najczęściej stykasz się z siłą tarcia. Jedną z przyczyn powstawania tarcia jest nierówność powierzchni styku poruszających się ciał. Niezależnie od tego, jak gładkie wydają się te powierzchnie, w rzeczywistości zawsze są chropowate. Gdy próbujemy przemieścić jedno ciało względem drugiego, nierówności zaczepiają o siebie.

Ciało B (klocek) ciągnięte po powierzchni podłoża A działa na nie siłą $\vec{F}_{BA}$ skierowaną do przodu. Podobnie jak do wszystkich rodzajów oddziaływań, również do siły tarcia odnosi się trzecia zasada dynamiki. Zgodnie z nią podłoże A działa na ciało B siłą $\vec{F}_{AB}$ skierowaną do tyłu.



Siła tarcia działająca, gdy jedno ciało porusza się względem drugiego, to tzw. **siła tarcia kinetycznego**. Gdy stykające się ciała pozostają w spoczynku i dopiero zamierzamy jedno z nich wprowadzić w ruch, to w chwili zadziaływania na nie siłą równoległą do powierzchni stykających się ciał oddziałują one wzajemnie **siłami tarcia statycznego**. Siła tarcia statycznego, którą trzeba zrównoważyć, by rozpocząć wprowadzanie ciała w ruch, jest większa od siły tarcia kinetycznego.

Doświadczenie 5.11

Badamy, czy wartości sił tarcia statycznego i kinetycznego między danymi dwiema powierzchniami są jednakowe.

Potrzebne przedmioty: pęk kluczy na uchwycie, okrągły ołówek lub długopis.

Kolejne czynności:

- Wieszamy pęk kluczy na ołówku, którego jeden koniec opiera się o stół.
- Pochylamy ołówek tak, by klucze nie zsuwały się z niego.
- Obracamy ołówek wokół jego podłużnej osi.

Wynik doświadczenia: Przy tym samym nachyleniu ołówka klucze początkowo nieruchome względem niego podczas obrotu ołówka się zsuwały.

Wniosek: Siła tarcia statycznego jest większa od siły tarcia kinetycznego.

Można się o tym przekonać przez wykonanie prostego doświadczenia.

W przyrodzie występują różne rodzaje tarcia kinetycznego, w zależności od tego, w jaki sposób jedno ciało przemieszcza się po drugim. Gdy jedno ciało ślizga się po drugim, mówimy o **tarciu poślizgowym**. Takie tarcie występuje np. podczas ruchu nart po śniegu. Gdy jedno ciało toczy się po drugim, tarcie towarzyszące temu ruchowi nazywamy **tarciem tocznym**. Występuje ono np. podczas toczenia się kół samochodu po jezdni. Sprawdźmy doświadczalnie, czy w obu przypadkach wartości sił tarcia są jednakowe.

Doświadczenie 5.12

Sprawdzamy, czy wartości sił tarcia poślizgowego i tocznego są jednakowe.

Potrzebne przedmioty: klocek z haczykiem, siłomierz, kilka okrągłych ołówków.

Kolejne czynności:

- Ustawiamy klocek na stole i za pomocą siłomierza mierzymy wartość siły, którą trzeba działać, aby przesunąć go po stole ruchem jednostajnym (w takim przypadku wartość mierzonej siły, czyli wskazanie siłomierza, jest równa wartości siły tarcia).
- Układamy na stole blisko siebie ołówki, na nich kładziemy ten sam klocek i mierzymy wartość siły, którą trzeba działać, aby toczyć klocek po ołówkach.

Wynik doświadczenia: W drugim przypadku siłomierz wskazuje mniejszą wartość.

Wniosek: Po porównaniu wskazań siłomierza w obu przypadkach stwierdzamy, że wartość siły tarcia tocznego jest mniejsza od wartości siły tarcia poślizgowego. Dlatego w doświadczeniach 5.4 i 5.6 proponowaliśmy podłożenie ołówków pod klocek.

Aby odpowiedzieć na pytanie, od czego zależy wartość siły tarcia podczas ruchu ciała, wykonajmy doświadczenie opisane na następnej stronie.

Doświadczenie 5.13

Badamy, od czego zależy wartość siły tarcia podczas ruchu ciała, czyli tarcia kinetycznego.

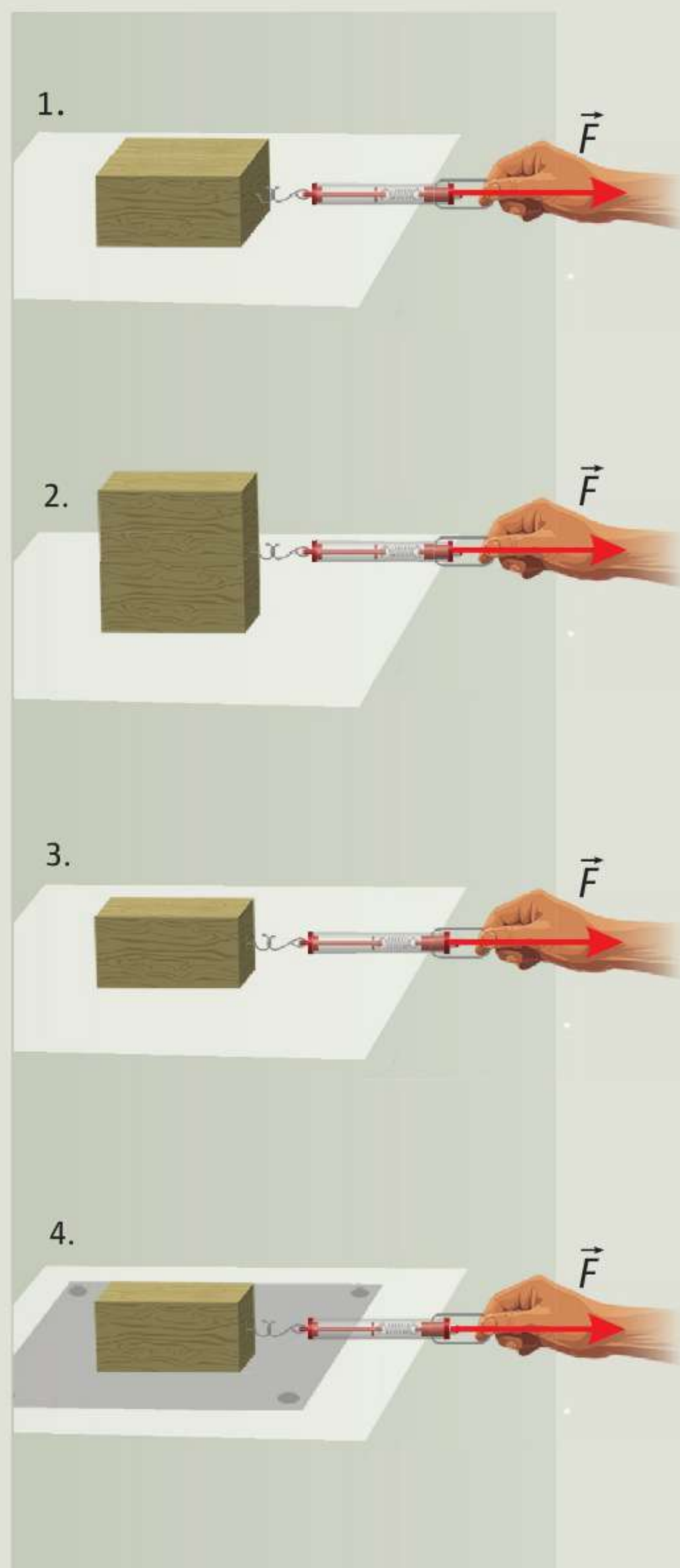
Potrzebne przedmioty: 2 prostopadłościennych klocki z haczykami – jeden cięższy, drugi znacznie lżejszy, siłomierz, arkusz papieru ściernego.

Kolejne czynności:

- Cięższy klocek ustawiamy na stole tak, by stykał się z nim bokiem o największej powierzchni. Ciągniemy klocek po stole za pomocą siłomierza ruchem jednostajnym i odczytujemy wskazanie siłomierza (1).
- Powtarzamy czynności dla tego samego klocka, ale położonego na stole na boku o najmniejszej powierzchni (2).
- Lżejszy klocek przesuwamy ruchem jednostajnym najpierw po powierzchni stołu (3), a później po papierze ściernym przymocowanym do stołu (4). Za każdym razem odczytujemy wskazanie siłomierza.
- Przerysowujemy do zeszytu tabelę ze s. 167 i wpisujemy do niej wyniki pomiarów.
- Odczytujemy dokładność (najmniejszą działkę) używanego siłomierza ΔF .

Wnioski:

- Wartość siły tarcia kinetycznego nie zależy od pola powierzchni styku ciał przesuwających się względem siebie – wartości sił tarcia w przypadkach 1. i 2. są takie same.
- Wartość siły tarcia kinetycznego zależy od wartości siły przyciskającej ciało do podłoża – wartość siły tarcia w przypadku 2. jest większa od wartości siły tarcia w przypadku 3.
- Wartość siły tarcia kinetycznego zależy od rodzaju (stopnia chropowatości lub wygładzenia) powierzchni trących o siebie ciał – wartość siły tarcia jest większa, gdy klocek przemieszcza się po chropowatej powierzchni papieru ściernego.



Lp.	Przypadek	Wskazanie siłomierza (N)	Rzeczywista wartość siły $F_{rz} = F \pm \Delta F$ (N)
1.	cięższy klocek, największa powierzchnia zetknięcia		
2.	cięższy klocek, najmniejsza powierzchnia zetknięcia		
3.	lżejszy klocek przesuwany po stole		
4.	lżejszy klocek przesuwany po papierze ściernym		

Siły tarcia odgrywają ogromną rolę w przyrodzie i technice. Tarcie może być pożyteczne – wtedy staramy się je zwiększyć – lub szkodliwe – wtedy staramy się je zmniejszyć. Bez tarcia nikt – ani ludzie, ani zwierzęta – nie mógłby poruszać się po żadnym podłożu. Gdy tarcie między podeszwą buta a podłożem jest małe, np. na oblodzonym chodniku, staramy się je zwiększyć przez posypanie chodnika piaskiem lub przez zastosowanie podeszwy o dużej chropowatości. Siła tarcia wykorzystywana jest również w hamulcach samochodowych.

Istnieją jednak przypadki, w których tarcie jest szkodliwe, np. tarcie współpracujących ze sobą części maszyn. W celu jego zmniejszenia wygładza się powierzchnie tych części oraz – aby oddzielić je od siebie – stosuje się smary i oleje. Obracające się względem pewnych osi wirujące części maszyny łączy się z pozostałymi nieruchomymi częściami za pomocą łożysk tocznych.

Tarcie jest przyczyną zużywania się trących części maszyn oraz np. naszego obuwia, ubrania, opon samochodowych itd.

Podsumowanie

1. Wartość siły oporu powietrza wzrasta wraz ze wzrostem szybkości ciała. Zależy także od kształtu ciała i wielkości jego powierzchni.
2. Tarcie występujące podczas przesuwania jednego ciała po drugim nazywamy tarcie kinetycznym.
3. Ze względu na to, w jaki sposób jedno ciało przemieszcza się po drugim, rozróżniamy tarcie poślizgowe i toczne. Wartość siły tarcia poślizgowego jest większa od wartości siły tarcia tocznego.
4. Wartość siły tarcia kinetycznego nie zależy od pola powierzchni styku ciał przesuwających się względem siebie. Wartość tej siły zależy od:
 - wartości siły dociskającej te ciała do siebie,
 - rodzaju powierzchni ciał trących o siebie.

Zadania i doświadczenia

1. Zinterpretuj wynik doświadczenia 5.7 z wykorzystaniem pojęcia siły tarcia.
2. Człowiek stojący na Ziemi upuścił równocześnie ptasie pióro i kamień. Doświadczenie powtórzono na Księżycu. Czy wynik doświadczenia będzie taki sam? Odpowiedź uzasadnij pisemnie.
3. Wyjaśnij, dlaczego mokre przedmioty trudniej utrzymać w rękach niż suche.
4. Odszukaj informacje i przygotuj prezentację o rodzajach tarcia, jego użyteczności i negatywnych skutkach, o sposobach jego zwiększania i zmniejszania.
5. Wyjaśnij, czy wielka masa zawodników sumo wpływa na tarcie ich stóp o podłoże.



Doświadczenie 1.

Badamy zasadę działania poduszkowca.

Potrzebne przedmioty: CD-ROM, kartka z zeszytu.

Kolejne czynności:

- CD-ROM umieść na gładkim podłożu (np. laminowanej powierzchni stołu lub biurka) i spróbuj delikatnie go przesunąć, popychając palcem.
- Z kartki papieru wykonaj rurkę o średnicy podobnej do średnicy otworu w CD-ROM-ie.
- Trzymaj rurkę pionowo tak, by dolny koniec znajdował się tuż nad powierzchnią otworu w płycie i mocno dmuchnij, kierując strumień powietrza przez rurkę w stronę otworu.
- Zaobserwuj różnicę w oporach ruchu przy przesuwaniu płyty po podłożu i w przypadku wdmuchiwanie pod nią powietrza.
- Podaj praktyczne przykłady zaobserwowanego zjawiska.

5.7 Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne

W rozdziale 3.4 badaliśmy, od czego zależy ciśnienie gazu w zamkniętym zbiorniku. Wnioski były następujące:



Wszystkie te zależności wyjaśniliśmy za pomocą teorii cząsteczkowej budowy materii. Na tej podstawie możemy także wnioskować, że w każdym miejscu wewnątrz zbiornika ciśnienie powinno być jednakowe. W praktyce oznacza to, że podczas pompowania powietrza do piłki, gumowego materaca, dętki itp. przez jeden wentyl powietrze to równomiernie wypełnia każdy z tych „pojemników”.

Gdy omawialiśmy w rozdziale 2.1 właściwości ciał, wykazaliśmy, że gazy są ściśliwe, a ciecze – nieściśliwe. Poprzez działanie siłą na tłok strzykawki, której wylot zatkano palcem, spowodowaliśmy zmniejszenie objętości powietrza i wzrost ciśnienia w strzykawce. Działanie siłą na tłok strzykawki napełnionej cieczą nie powoduje zmniejszenia jej objętości, ale powoduje wzrost ciśnienia w strzykawce. Ilustruje to poniższe doświadczenie.

Doświadczenie 5.14

Sprawdzamy prawo Pascala.

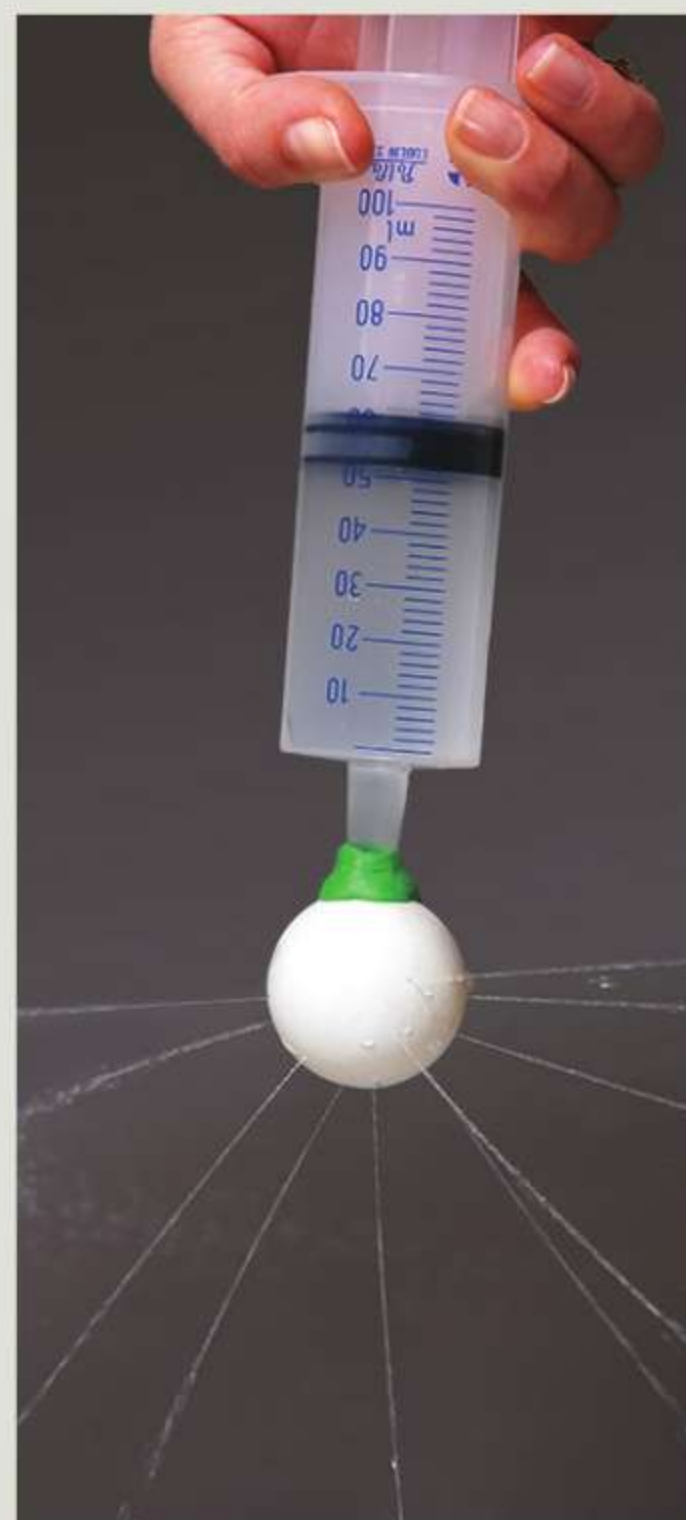
Potrzebne przedmioty: piłeczka pingpongowa, strzykawka lekarska, plastelina lub guma do żucia.

Kolejne czynności:

- W piłeczce pingpongowej wykonujemy kilkanaście równomiernie rozmieszczonych niewielkich otworów oraz jeden większy, o średnicy wylotu strzykawki lekarskiej.
- Podziurawioną piłeczkę nakładamy na wylot strzykawki i uszczelniamy połączenie plasteliną lub gumą do żucia.
- Wyjmujemy tłok ze strzykawki i napełniamy ją wodą.
- Z powrotem nakładamy tłok i wsuwamy go do strzykawki.
- Obserwujemy wodę wytryskującą przez otwory w piłeczce.

Wynik doświadczenia: Woda wytryskuje przez wszystkie otwory, prostopadle do powierzchni piłeczki, jednakowymi strumieniami, tym silniejszymi, im większa jest siła, którą działamy na ciecz za pomocą tłoka.

Wniosek: Parcie na wodę wywierane przez tłok przenosi się we wszystkich kierunkach, a na każdą jednostkową powierzchnię, np. 1 cm^2 , prostopadle do powierzchni ścianki naczynia działa siła o takiej samej wartości.



Problemem ciśnienia wytwarzanego na skutek działania zewnętrznej siły w gazach i cieczach zajmował się francuski uczonec Blaise Pascal (czytaj: blez paskal, 1623–1662). Sformułował on prawo nazywane od jego nazwiska prawem Pascala i skonstruował urządzenie – prasę hydrauliczną – wykorzystujące zjawisko fizyczne opisane przez to prawo.

Prawo Pascala

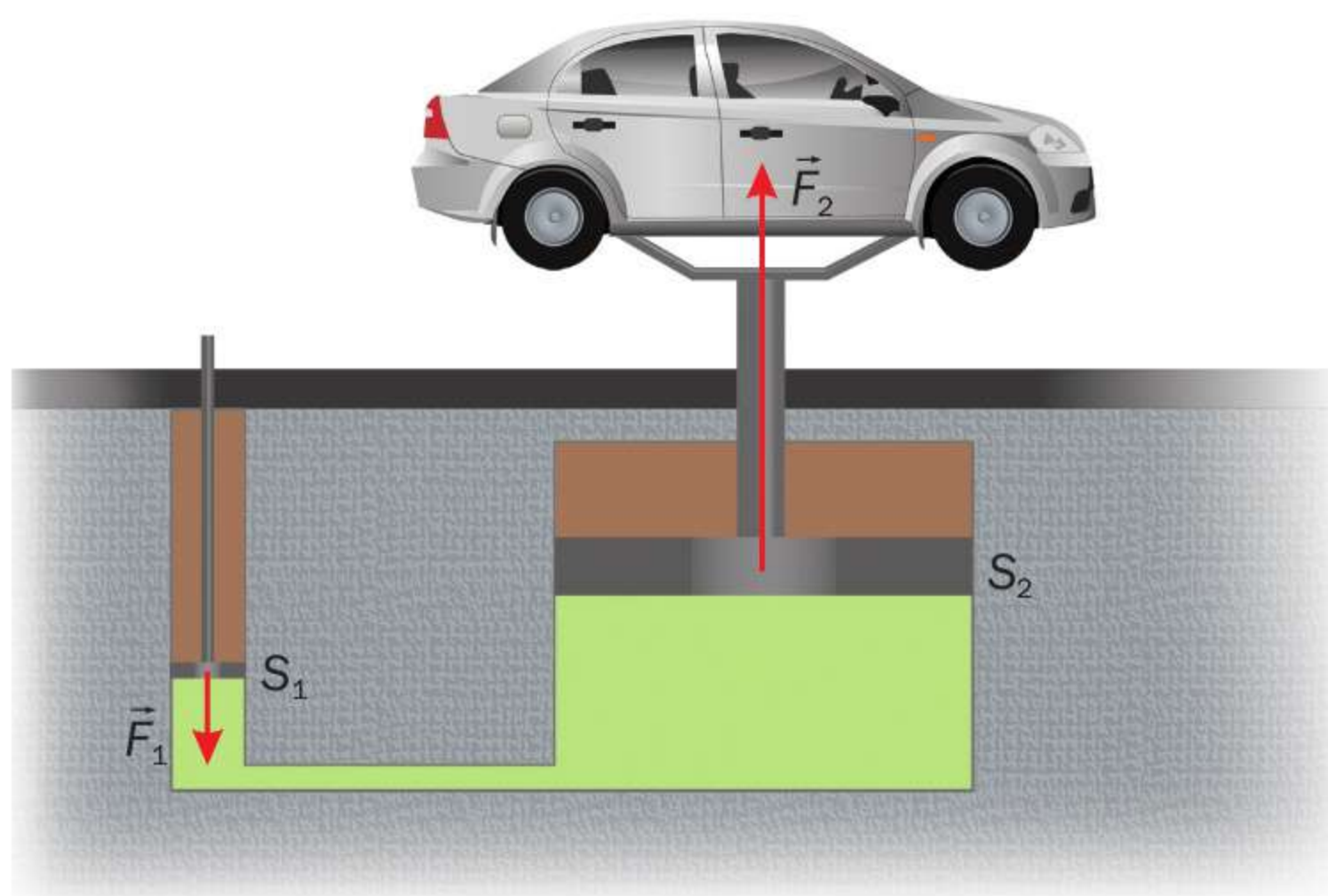
Jeśli na zamkniętą w zbiorniku ciecz lub zamknięty w nim gaz działamy siłą, to wytworzone w ten sposób dodatkowe ciśnienie jest jednakowe w całej objętości tej cieczy lub tego gazu.

Jak pamiętasz, ciśnienie wyrażamy jako iloraz $\frac{F}{S}$. Jeśli w zbiorniku panuje ciśnienie p , to wartość siły parcia (nacisku) na płaską ściankę o powierzchni S wyraża się wzorem:

$$F = p \cdot S$$

Siła ta działa prostopadle do powierzchni ścianki.

Prawo Pascala stanowi podstawę budowy i działania maszyn hydraulicznych (*hydraulikos* w języku greckim oznacza wodny) i pneumatycznych (w których ma zastosowanie sprężone powietrze). Podstawowymi elementami tych maszyn są cylindryczne naczynia o różnych przekrojach, połączone ze sobą rurą. Naczynia te zamknięte są szczelnie dopasowanymi tłokami i wypełnione olejem (w maszynach hydraulicznych) lub sprężonym powietrzem (w maszynach pneumatycznych). Taką maszyną jest np. podnośnik hydrauliczny (rys.).



Gdy działamy siłą $\vec{F}_1$ o niewielkiej wartości na powierzchnię S_1 , wytwarzamy w zbiorniku cieczy ciśnienie $p = \frac{F_1}{S_1}$, jednakowe w całym układzie. Na znacznie większą powierzchnię S_2 woda, olej lub inna ciecz działa siłą o dużej wartości:

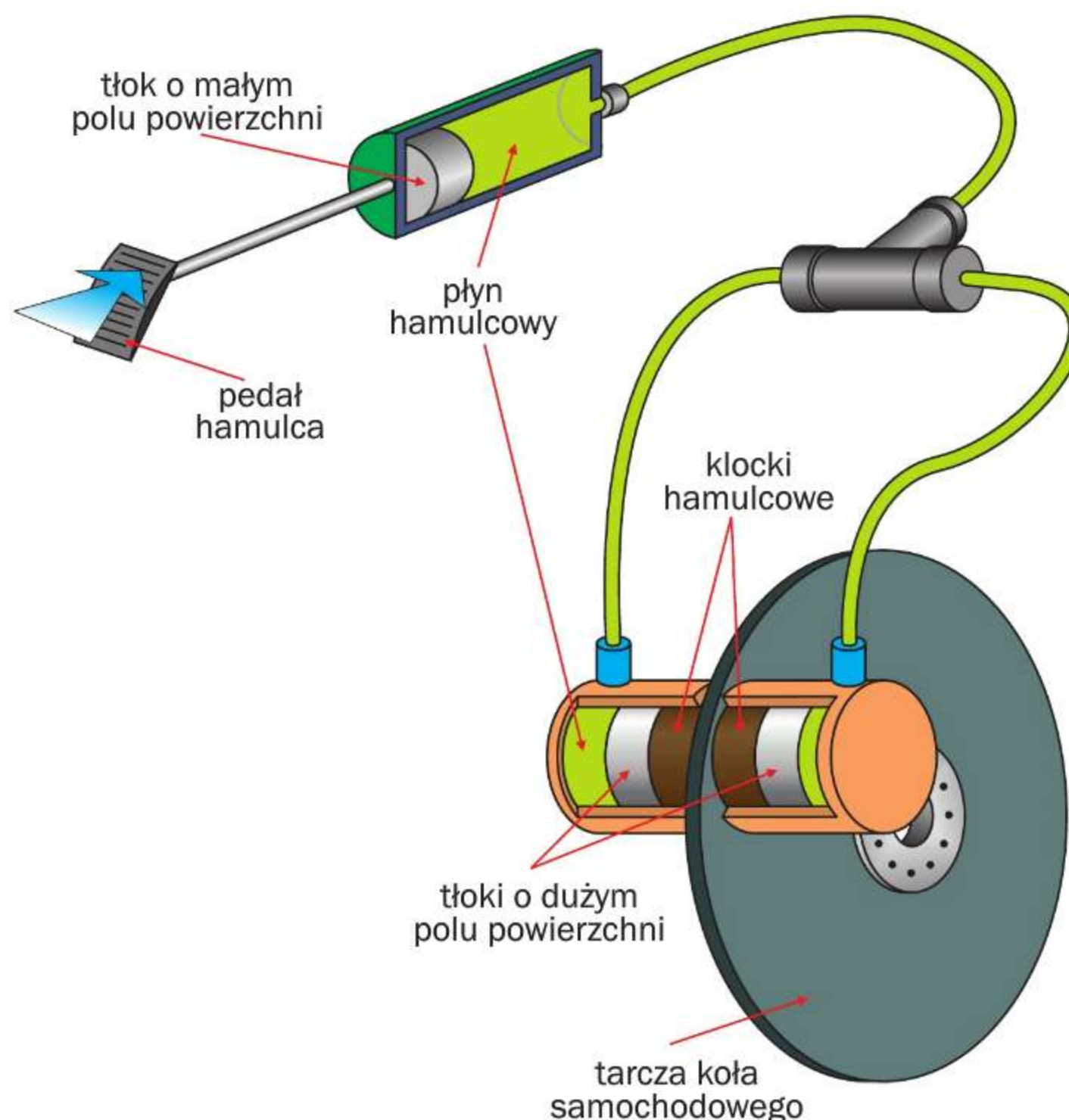
$$F_2 = p \cdot S_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

bo wzrost ciśnienia jest wszędzie jednakowy.

Na tej zasadzie działa również prasa hydrauliczna, stosowana np. do tłoczenia z blachy karoserii samochodu, i hydrauliczny układ hamulcowy w samochodzie (rys.).

W każdym z tych urządzeń działamy na tłok o małej powierzchni siłą o małej wartości i powodujemy, że na drugi tłok, o większej powierzchni, działa siła o dużej wartości.

Urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne wykorzystujące prawo Pascala działają tak samo na Ziemi, na Księżycu czy w kabinie statku kosmicznego w stanie nieważkości.



W dotychczasowych rozważaniach nie uwzględnialiśmy działania siły ciężkości na cieczy i gazy. Gdyby siła ciężkości nie działała na powietrze otaczające Ziemię, to w ciągu krótkiego czasu atmosfera ziemską rozproszyłaby się w przestrzeni kosmicznej i zginęlibyśmy z powodu braku tlenu. Tak się nie dzieje, ponieważ siła przyciągania ziemskiego utrzymuje atmosferę w pobliżu powierzchni Ziemi. Kolejne warstwy powietrza pod wpływem siły ciężkości naciskają na warstwy znajdujące się pod nimi i na przedmioty znajdujące się w atmosferze oraz na powierzchnię Ziemi. To dlatego istnieje ciśnienie atmosferyczne, które zmniejsza się wraz ze wzrostem wysokości nad powierzchnią Ziemi.

Podobne rozumowanie możemy przeprowadzić w odniesieniu do cieczy w otwartym naczyniu w pobliżu powierzchni Ziemi. Na powierzchni cieczy ciśnienie jest równe ciśnieniu atmosferycznemu, które zgodnie z prawem Pascala rozchodzi się równomiernie w całej objętości cieczy. Ale kolejne warstwy cieczy pod działaniem siły ciężkości dodatkowo naciskają na warstwy położone niżej, więc im głębiej, tym ciśnienie jest większe. **Na danej głębokości równe jest ono sumie ciśnienia pochodzącego od cieczy znajdującej się powyżej (ciśnienia hydrostatycznego) oraz ciśnienia atmosferycznego:**

$$p = p_h + p_{\text{atm}}$$

Zaobserwuj siłę parcia, którą ciecz w cylindrycznym naczyniu działa na jego dno wykonane z gumy. Wartość tej siły jest równa $F_c = m \cdot g$.

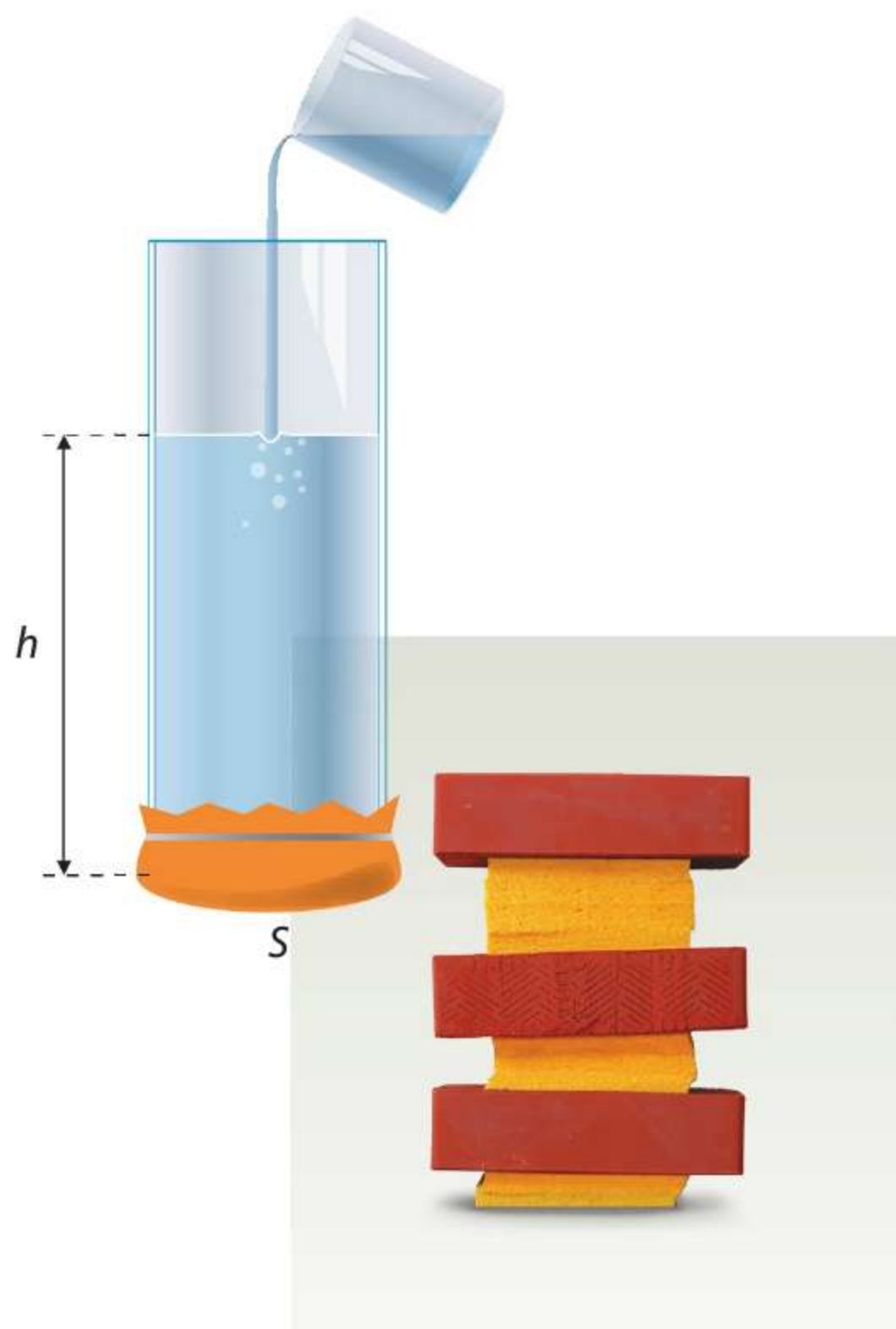
$$p_h = \frac{F_c}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{d_c \cdot V \cdot g}{S} =$$

$$= \frac{d_c \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = d_c \cdot h \cdot g$$

gdzie h to wysokość słupa cieczy nad poziomem, na którym mierzymy ciśnienie, a d_c to gęstość cieczy.

Otrzymany wzór pokazuje, że ciśnienie hydrostatyczne zależy także od gęstości cieczy. Im większa gęstość cieczy, tym większe ciśnienie hydrostatyczne na danej głębokości.

Model obrazujący wzrost ciśnienia wraz ze wzrostem głębokości cieczy można wykonać przez ułożenie na przemian sprężystych przedmiotów jednakowej wielkości i sztywnych, ciężkich książek lub cegieł.



Podsumowanie

1. Prawo Pascala

Jeśli na zamkniętą w zbiorniku ciecz lub zamknięty w nim gaz działamy siłą, to wytworzone w ten sposób dodatkowe ciśnienie jest jednakowe w całej objętości tej cieczy lub tego gazu.

2. Wartość siły parcia na płaską ściankę zbiornika o powierzchni S wyraża się wzorem:

$$F = p \cdot S$$

gdzie p jest ciśnieniem panującym w zbiorniku.

3. W urządzeniach hydraulicznych i pneumatycznych na małą powierzchnię S_1 działamy niewielką siłą o wartości F_1 i powodujemy, że na dużą powierzchnię S_2 ciecz działa siłą o dużej wartości F_2 , równej:

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

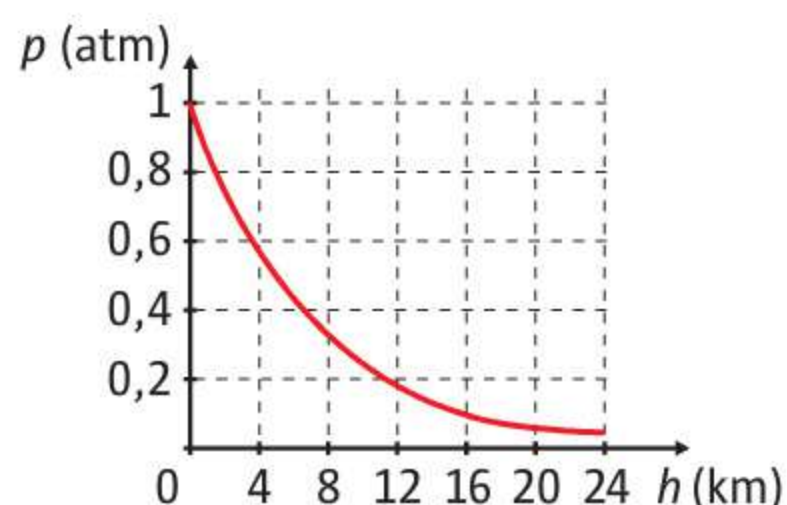
4. Ciśnienie w cieczy na głębokości h , spowodowane działaniem siły ciężkości, zwane ciśnieniem hydrostatycznym, wyraża się wzorem:

$$p_h = d_c \cdot g \cdot h$$

5. Przyczyną występowania ciśnienia atmosferycznego i hydrostatycznego jest naciśkanie warstw powietrza i cieczy na warstwy znajdujące się niżej.

Zadania i doświadczenia

1. Na podstawie cząsteczkowej budowy ciał wyjaśnij schemat ze s. 169. Podaj przykłady.
2. Omów zasadę działania dowolnego urządzenia hydraulicznego lub pneumatycznego.
3. Wyjaśnij, dlaczego w przypadku rozszczelnienia wnętrza samolotu lecącego na dużej wysokości pasażerowie muszą używać masek tlenowych.
4. Przypomnij sobie i opisz doświadczenie z przyssawkami z rozdziału 1.4, stanowiące ilustrację słynnego doświadczenia, które potwierdziło istnienie ciśnienia atmosferycznego.
5. Wykres przedstawia zależność ciśnienia atmosferycznego p od wysokości h nad poziomem morza. Wartości ciśnienia podano w jednostkach zwanych atmosferami: $1 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa} = 101\,300 \text{ Pa}$, co odpowiada średniemu ciśnieniu atmosferycznemu na poziomie morza. Oblicz wartości sił nacisku na płaskie ekrany telewizorów LCD o wymiarach 30 cm na 40 cm, znajdujące się w schroniskach: nad morzem i na szczycie Kasprowego Wierchu (załóż, że jego wysokość to 2000 m n.p.m.). Ciśnienie atmosferyczne odczytaj z wykresu.
6. Aby pozbyć się przykrych zapachów z rur kanalizacyjnych, pod umywalkami montuje się zakrzywione rury, tzw. syfony (rys.). Posłuż się wzorem na ciśnienie hydrostatyczne i ustal, czy woda w obu ramionach syfonu sięga tej samej wysokości.
7. W jaki sposób można wykreślać poziome linie za pomocą przedstawionej na fotografii rurki z wodą? Skorzystaj z wyniku zadania 6.
8. W piwnicach wysokich budynków znajdują się urządzenia zwane hydroforami, których zadaniem jest doprowadzenie wody do górnych kondygnacji. Oblicz, jakie minimalne ciśnienie musi wytwarzać pompa hydroforu znajdująca się na podłodze w piwnicy piętnastokondygnacyjnego budynku. Przyjmij, że wysokość jednej kondygnacji wynosi 3 m, a kranie znajdują się 1 m nad podłogą.
9. Telewizory mają ekrany w kształcie prostokąta. Wielkość ekranów określa się przez podanie długości przekątnej tego prostokąta w calach: $1 \text{ cal} = 2,54 \text{ cm}$. I tak na przykład ekran telewizora 40-calowego, czyli o przekątnej ekranu 40 cali, ma kształt prostokąta o bokach 50 cm i 89 cm. Oszacuj wartość siły parcia, jaką na ekran takiego telewizora wywiera powietrze. Porównaj ją z ciężarem przeciętnego samochodu osobowego.



5.8 Siła wyporu

Być może podczas pływania łodzią, statkiem czy kajakiem zastanawialiście się nad tym, dlaczego kawałek metalu, taki jak np. metalowa moneta, włożony do szklanki z wodą opada na jej dno, a zbudowany głównie z metalu ciężki statek pływa. W tym rozdziale odpowiemy na to pytanie.

Doświadczenie 5.15

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

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

Kolejne czynności:

- Woreczek 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 się podniósł, 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 jest bardzo mały w porównaniu z ciężarem wody wewnątrz, więc możemy go pominąć):

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

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

$$F_w = F_c \text{ wypartej wody}$$

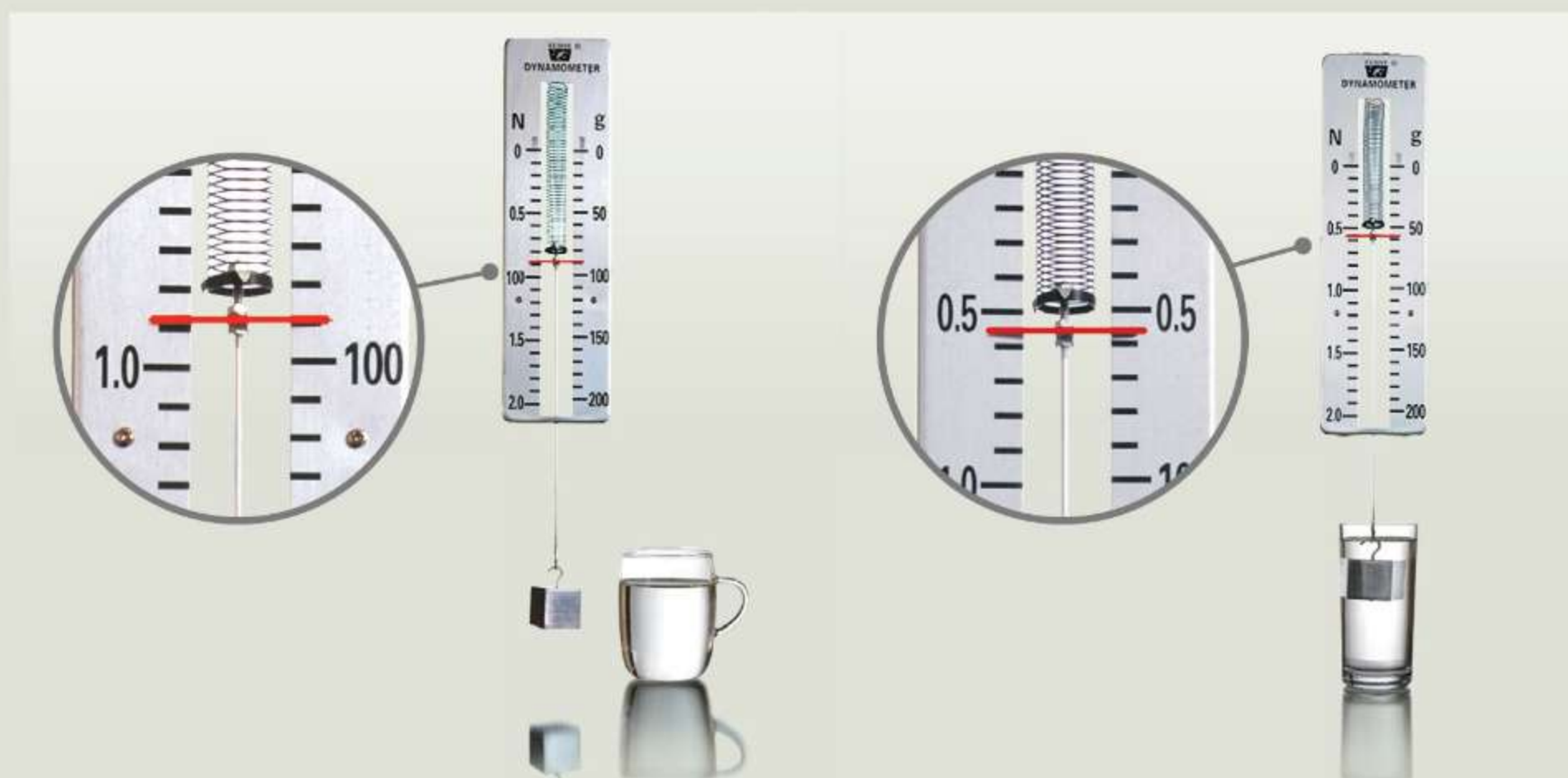
Na ciało zanurzone w wodzie woda ta działa zwróconą w górę siłą wyporu, której wartość jest równa wartości ciężaru wody wypartej przez to ciało.

Powtórzmy doświadczenie 5.15, ale tym razem zawieśmy na siłomierzu sześcienny metalowy klocek o znanej objętości.

Doświadczenie 5.16

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

Potrzebne przedmioty: aluminiowy klocek sześcienny z haczykiem o znanej objętości (np. 30 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 zanurzeniem 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 wypartej wody wody wypartej przez zanurzone w niej ciało:

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

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

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

Pozostaje nam jeszcze rozważenie przypadku, gdy na siłomierzu zawiesimy drewniany klocek. 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 drewnianego klocka.

Wyniki doświadczeń nie zmieniają się, jeśli zamiast wody użyjemy innej cieczy.

Prawo Archimedesesa

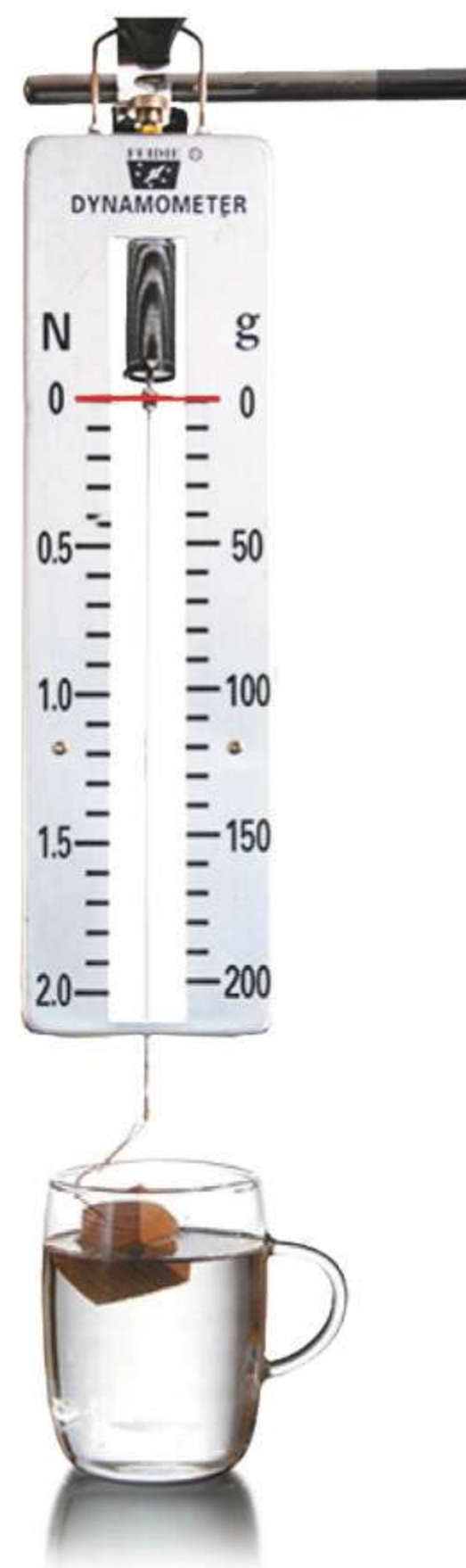
Na każde ciało zanurzone w cieczy działa zwrócona do góry siła wyporu $\vec{F}_w$ o wartości równej wartości ciężaru cieczy wypartej przez to ciało:

$$F_w = F_c = d_c \cdot g \cdot V$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy,

V – objętość ciała lub jego zanurzonej części.



Prawo to zostało odkryte w starożytności przez greckiego uczonego Archimedesesa. Dotyczy ono również ciał zanurzonych w gazach.

Za pomocą prawa Archimedesesa można wyznaczyć nieznaną gęstość ciała tonącego w cieczy o znanej gęstości. W doświadczeniu 5.16 stwierdziliśmy, że wartość siły wyporu jest równa różnicy wskazań siłomierza przed zanurzeniem i po zanurzeniu ciała w cieczy:

$$F_w = F_c - F$$

Wystarczy więc zmierzyć F_c i F , a za F_w podstawić wzór na wartość siły wyporu i z podanej równości obliczyć objętość ciała. Masa ciała jest równa $m = \frac{F_c}{g}$. Pozostaje tylko podzielić masę przez objętość, by otrzymać szukaną gęstość ciała.

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

a) Jeśli $d > d_c$, 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, czyli tonie. Tam siła wypadkowa o wartości $F_c - F_w$ będzie równoważona przez siłę sprężystości dna i kulka spocznie na dnie.

b) Jeśli $d = d_c$, to:

$$F_c = F_w$$

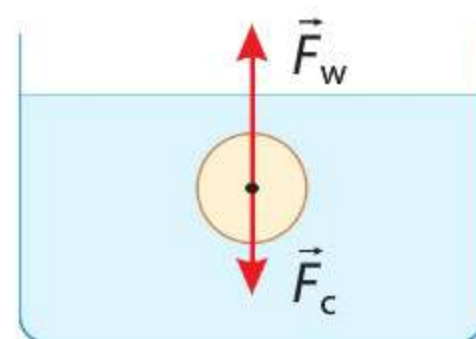
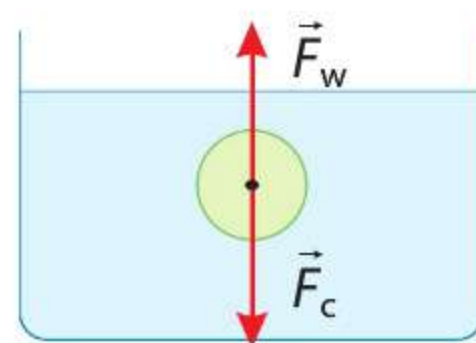
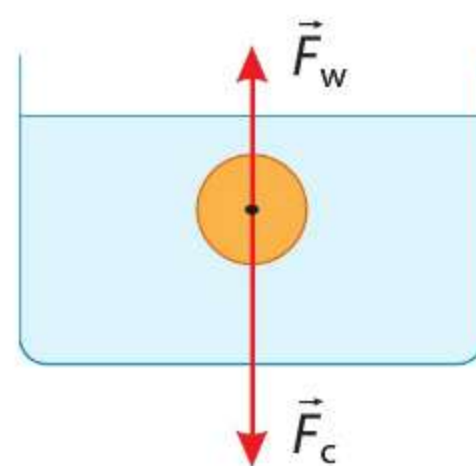
a więc wypadkowa sił działających na kulkę jest równa zero i kulka pozostaje w miejscu, w którym została umieszczona, czyli pływa całkowicie zanurzona. Ponieważ siła wyporu nie zależy od głębokości zanurzenia, miejsce to może być dowolne.

c) Jeśli $d < d_c$, to:

$$F_c < F_w$$

więc wypadkowa sił działających na kulkę jest zwrócona w górę i kulka porusza się w stronę powierzchni cieczy. W chwili dotarcia do tej powierzchni kulka zaczyna się wynurzać. Wówczas objętość jej zanurzonej części zmniejsza się (maleje także objętość wypartej cieczy), a zatem siła wyporu:

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



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

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

Przykład 5.9

Drewniana tratwa pływa zanurzona do $\frac{3}{5}$ swojej objętości V . Wiadomo, że gęstość wody wynosi $d_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Obliczymy gęstość drewna, z którego wykonano tratwę.

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

Szukane: d_d

Rozwiązanie:

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

$$F_c = F_w$$

$$d_d \cdot g \cdot V = d_w \cdot g \cdot \frac{3}{5}V$$

stąd:

$$d_d = \frac{3}{5}d_w$$

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

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

Gęstość materiału, z którego wykonuje się statki, jest większa niż gęstość wody, zatem statek powinien utonąć, tak jak tonie metalowa moneta włożona do szklanki z wodą. Jednak **siła wyporu zależy od objętości zanurzonej w wodzie części ciała**. Tajemnica leży w tym, że wnętrze kadłuba jest puste, a dokładniej – wypełnione powietrzem. Średnia gęstość kadłuba wraz z wypełniającym go powietrzem jest mniejsza od gęstości wody. Jeśli do wnętrza kadłuba będziemy ładować towary, statek będzie się coraz bardziej zanurzał. Często słyszymy, że w stoczni zwodowano statek o ładowności na przykład 10 tysięcy ton. Oznacza to, że możemy załadować do kadłuba statku towary o masie 10 tysięcy ton bez przekraczania 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 i statek zatoni. Tak się stało w przypadku Titanica, którego kadłub uległ przebiciu w zderzeniu z górą lodową. Aby w sytuacji przebicia zapobiec wypełnieniu całego kadłuba wodą i zatonięciu statku, współczesne jednostki mają kadłub podzielony poprzecznymi, wodoszczelnymi ścianami, tzw. grodziami wodoszczelnymi.



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

Aby okręt podwodny mógł zmieniać głębokość swojego zanurzenia, powinna być możliwa zmiana wartości jego ciężaru. W praktyce osiąga się to poprzez wypełnianie wodą lub opróżnianie znajdujących się na statku zbiorników balastowych. Napełnienie wodą zbiorników zwiększa całkowity ciężar okrętu. Okręt „tonie” – zanurza się pod wodę. Ilość wody trzeba dobrać tak, by całkowity ciężar był równoważony przez siłę wyporu działającą na zanurzony okręt. Gdy część wody wypchniemy ze zbiorników balastowych sprężonym powietrzem, okręt wynurzy się częściowo i będzie pływał na powierzchni.

Prawo Archimedesesa stosuje się także do ciał zanurzonych w gazie. Balon uniesie się do góry, jeśli jego całkowity ciężar (wraz z zawartym w nim powietrzem) będzie mniejszy niż ciężar wypartego powietrza. Przed startem balonu zawarte w nim powietrze jest ogrzewane za pomocą palników gazowych do temperatury ponad 100°C . Gęstość gorącego powietrza wewnątrz balonu maleje, 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

1. 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 wypartej (lub gazu wypartego) przez to ciało.

2. Wartość siły wyporu wyraża się wzorem:

$$F_w = d_c \cdot g \cdot V_{\text{zan}}$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy,

V_{zan} – objętość zanurzonego ciała lub jego zanurzonej części.

3. Zachowanie się ciała zanurzonego w cieczy zależy od jego gęstości d w porównaniu z gęstością d_c tej cieczy.

$d > d_c$	$F_c > F_w$	ciało tonie
$d = d_c$	$F_c = F_w$	ciało pływa całkowicie zanurzone
$d < d_c$	$F_c < F_w$ po ustaleniu równowagi: $F_c = F_w$	ciało pływa częściowo zanurzone

Zadania i doświadczenia

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? Przyjmij, że gęstość wody wynosi $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, i oblicz objętość zanurzonej części statku.
3. Wskaż, jakie wielkości należy znać, aby przewidzieć, czy dane ciało będzie pływać, czy też tonąć w danej cieczy.
4. Spróbuj przewidzieć, czy ołowiany przedmiot będzie pływał w rtęci. Uzasadnij swój pogląd.
5. Odszukaj w internecie informacje o Archimedesie i przygotuj prezentację na jego temat.
6. Oblicz wartość siły wyporu działającej na aluminiowy sześcián o boku 3 cm, całkowicie zanurzony w wodzie. Potrzebne dane odszukaj w tablicach stałych fizycznych.
7. 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.
- *8. 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 $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a gęstość lodu $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Wyjaśnij, dlaczego góry lodowe są dla statków tak niebezpieczne.

Doświadczenie 1.**Obserwujemy skutki zmiany gęstości cieczy.**

Potrzebne przedmioty: średniej wielkości słoik, szklanka, jajko, woda, sól, łyżeczka do herbaty.

Kolejne czynności:

- Do słoika nalej wody do $\frac{2}{3}$ jego wysokości, a następnie delikatnie na łyżeczce włóż tam surowe jajko.
- Zaobserwuj, gdzie znajduje się jajko.
- Do szklanki wsyp 10 łyżeczek soli i rozpuść ją w niewielkiej ilości gorącej wody.
- Do słoika z jajkiem wlewaj po łyżeczce roztworu soli i uważnie obserwuj położenie jajka.
- Wyjaśnij, dlaczego w miarę dolewania roztworu jajko zmienia swoje położenie.

Doświadczenie 2.**Sprawdzamy słuszność prawa Archimedesesa dla gazów.**

Potrzebne 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. Posłuż się wiadomościami o cząsteczkowej budowie ciał i prawem Archimedesesa.

Doświadczenie 3.**Badamy warunki pływania ciał.**

Potrzebne przedmioty: 2 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 wniosek dotyczący wartości siły wyporu działającej na każdą z zakrętek. Porównaj w każdym przypadku wartość siły wyporu z wartością ciężaru zakrętki.

Doświadczenie 4.**Modelujemy zanurzenie okrętu podwodnego.**

Potrzebne 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 przedstawiające 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 przedstawiające zachowanie się słoiczka.
- Należy doprowadzić nasz okręt (słoiczek) do całkowitego zanurzenia i udokumentować ten fakt.

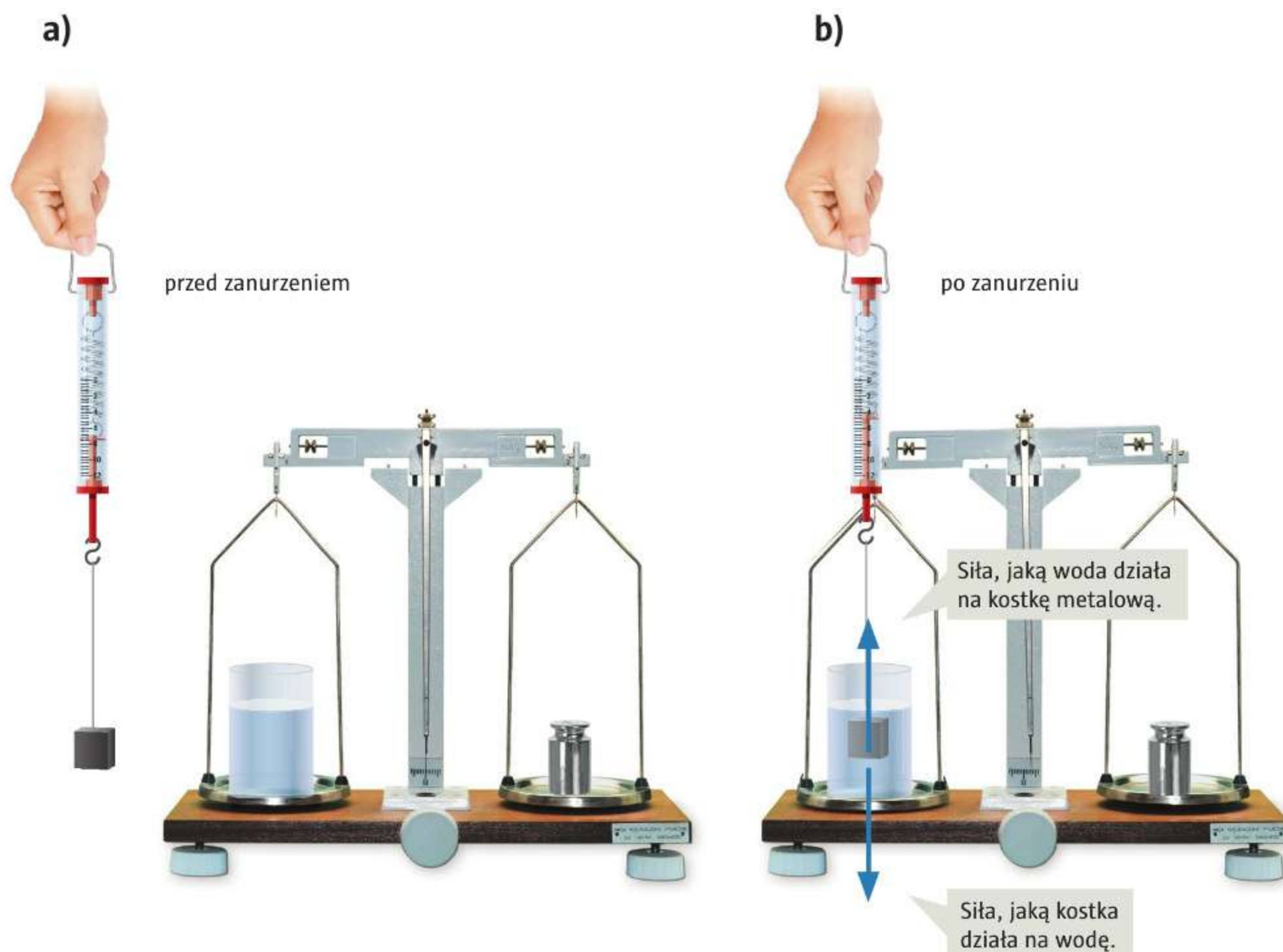
Doświadczenie 5.

Sprawdzamy słuszność trzeciej zasady dynamiki.

Potrzebne przyrządy: waga laboratoryjna, siłomierz, naczynie z wodą, klocek lub inny metalowy przedmiot mieszczący się w naczyniu.

Kolejne czynności:

- Na szalce wagi umieszczamy naczynie z wodą i równoważymy wagę za pomocą odważników (rys. a).
- Na siłomierzu zawieszamy metalowy przedmiot i odczytujemy wartość jego ciężaru F_c .
- Wkładamy metalowy przedmiot do naczynia z wodą tak, by nie dotykał wagi, ścian i dna naczynia (rys. b).
- Obserwujemy zachowanie wagi i odczytujemy wskazanie F siłomierza.
- Na szalkę z odważnikami dokładamy odważniki aż do zrównoważenia wagi.
- Zapisz wynik obserwacji i wniosek z doświadczenia.



5.9 Druga zasada dynamiki Newtona

Wiesz już, że jeśli na ciało działają siły równoważące się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. A jeśli siły działające na ciało się nie równoważą? Na spadochroniarza przed otwarciem spadochronu działa siła przyciągania ziemskiego o wartości większej od działającej równocześnie siły oporu powietrza. Na drewniany przedmiot wypuszczony z ręki przez nurka działa siła wyporu o wartości większej od ciężaru tego przedmiotu. W takich przypadkach ruch ciała jest skutkiem działania siły wypadkowej.

Z naszych codziennych obserwacji wiemy, że jeśli kierowca samochodu jadącego ruchem jednostajnym (siła pochodząca od silnika jest równoważona przez opory ruchu) chce zwiększyć szybkość, naciska pedał gazu. Zwiększa tym sposobem siłę pochodzącą od silnika samochodu (pojawia się siła wypadkowa), a wskazówka prędkościomierza przesuwa się w prawo. Szczególnie mocno kierowca naciska pedał gazu, gdy chce wyprzedzić jadący przed nim pojazd. Wtedy przyrost szybkości w krótkim czasie jest duży. Duże jest więc przyspieszenie samochodu.

Jeśli siły działające na ciało nie równoważą się, to pod działaniem siły wypadkowej prędkość ciała ulega zmianie, czyli ciało porusza się z przyspieszeniem.

Dokładne badania ruchu ciała pod wpływem siły wypadkowej pozwalają na sformułowanie kilku wniosków.

1. Wartość przyspieszenia ciała o pewnej określonej masie jest wprost proporcjonalna do wartości wypadkowej siły działającej na to ciało:

$$a \sim F_{\text{wypadkowa}}$$

Oznacza to, że iloraz tych wielkości jest stały:

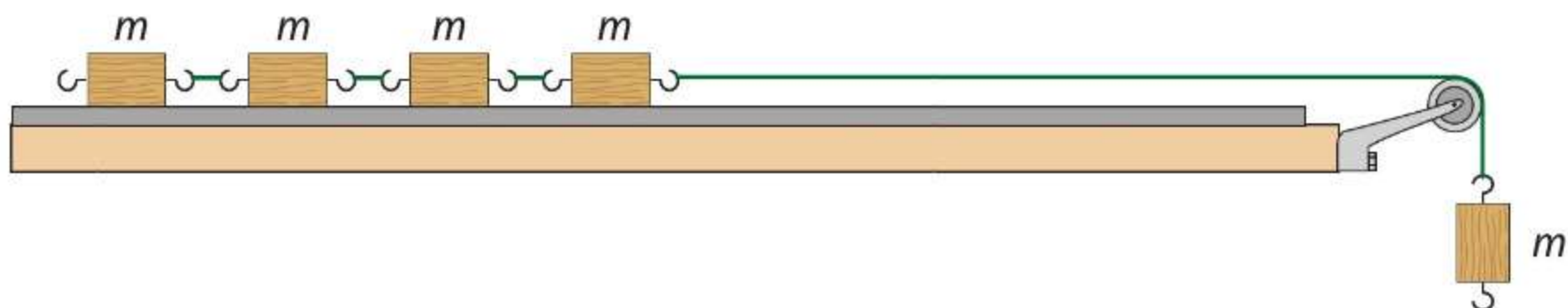
$$\frac{F_{\text{wypadkowa}}}{a} = \text{const}$$

Jeśli wartość siły wypadkowej (licznik ułamka) wzrośnie dwukrotnie, to wartość przyspieszenia ciała (mianownik) także wzrośnie dwukrotnie. Jeśli siła wypadkowa wzrasta trzykrotnie, to przyspieszenie także wzrasta trzykrotnie itd.

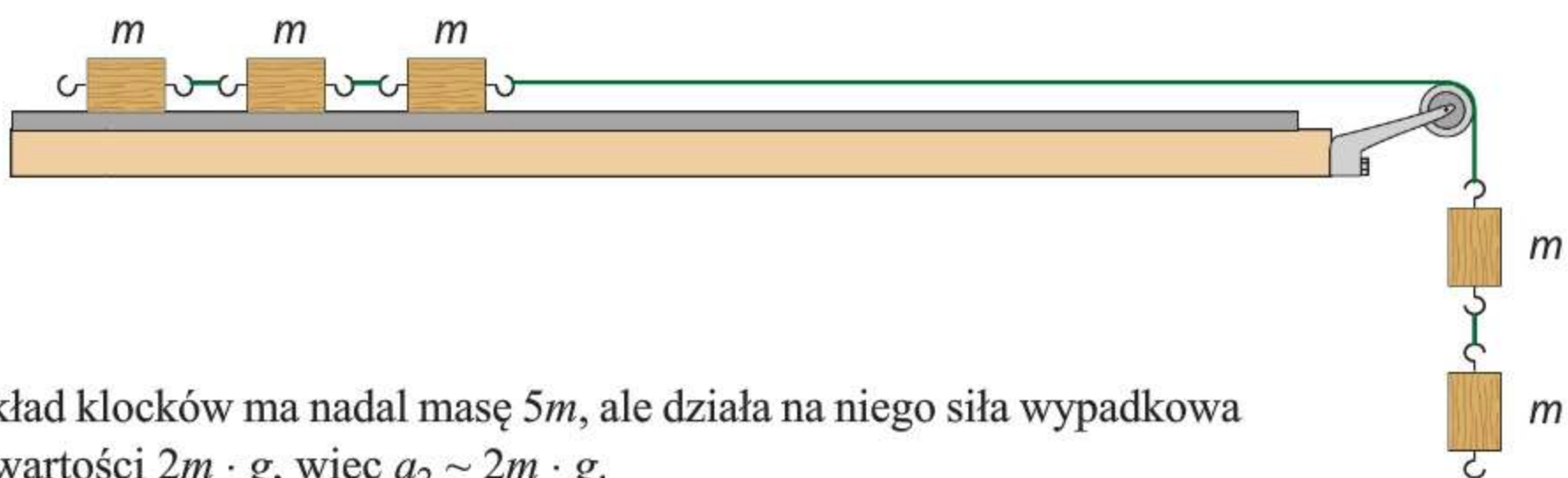
Przykład 5.10

Na bardzo śliskiej powierzchni leżą cztery połączone klocki, każdy o masie m . Piąty taki sam klocek wisi na nici. Układ klocków ma masę $5m$. Jeśli nie przytrzymujemy klocków, pod działaniem siły przyciągania ziemskiego o wartości $m \cdot g$ działającej na wiszący klocek poruszają się one z przyspieszeniem o wartości a_1 .

Skoro $a_1 \sim m \cdot g$, to $\frac{m \cdot g}{a_1} = \text{const.}$



Jeden z leżących dotąd klocków zawieszamy na nici.



Układ klocków ma nadal masę $5m$, ale działa na niego siła wypadkowa o wartości $2m \cdot g$, więc $a_2 \sim 2m \cdot g$.

$$\frac{2m \cdot g}{a_2} = \text{const} \quad \frac{2m \cdot g}{a_2} = \frac{m \cdot g}{a_1} \quad a_2 = 2a_1$$

Dwukrotny wzrost wartości siły wypadkowej działającej na układ pięciu klocków spowodował dwukrotny wzrost wartości przyspieszenia układu.

Na nici zawieszamy kolejny z leżących dotąd klocków; wartość siły wzrasta do $3m \cdot g$, a wówczas $a_3 \sim 3m \cdot g$.

$$\frac{3m \cdot g}{a_3} = \frac{m \cdot g}{a_1} \quad a_3 = 3a_1$$

Trzykrotny wzrost wartości siły wypadkowej działającej na układ pięciu klocków spowodował trzykrotny wzrost wartości przyspieszenia układu.

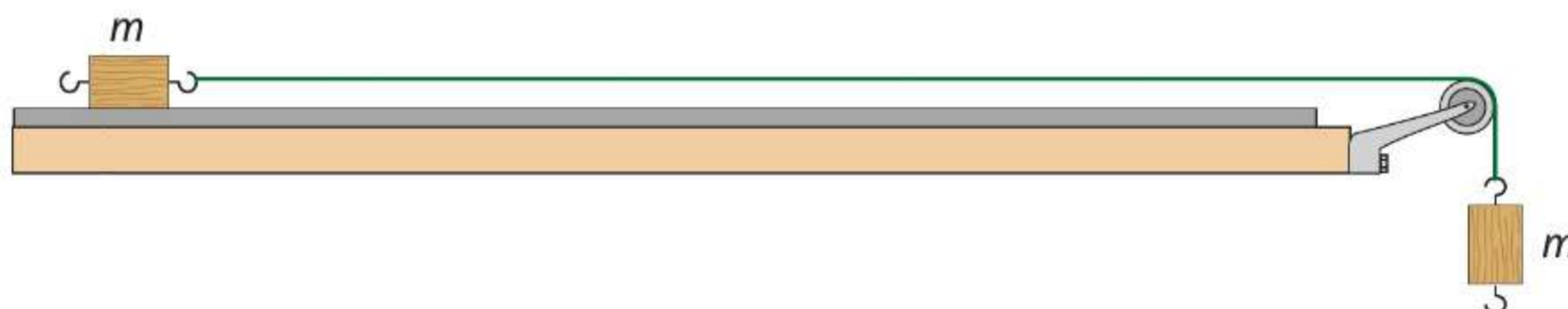
2. Jeśli siła wypadkowa o takiej samej wartości działa na ciała o różnych masach, to wartość uzyskanego przez ciało przyspieszenia jest odwrotnie proporcjonalna do masy ciała lub układu ciał, na które ta siła działa⁸.

$$a \sim \frac{1}{m} \quad (F_{\text{wypadkowa}} = \text{const})$$

⁸ Patrz *Poradnik matematyczny* s. 230.

Przykład 5.11

Na bardzo śliskiej powierzchni leży klocek o masie m . Drugi klocek o takiej samej masie wisi na nici.



Jeśli pozwolimy temu układowi klocków o masie $2m$ swobodnie się poruszać, to wartość przyspieszenia układu będzie odwrotnie proporcjonalna do jego masy:

$$a_1 \sim \frac{1}{2m}$$

Teraz zwiększamy dwukrotnie masę układu przez położenie na powierzchni dwóch dodatkowych klocków.



Na układ nadal działa siła wypadkowa o wartości $m \cdot g$, a wówczas:

$$a_2 \sim \frac{1}{4m} \qquad a_2 = \frac{a_1}{2}$$

Dwukrotny wzrost masy układu ciał, na który działa stale ta sama siła, spowodował dwukrotne zmniejszenie przyspieszenia układu.

Druga zasada dynamiki Newtona

Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na to ciało. Jeśli na ciała o różnych masach działają siły o takiej samej wartości, to ich przyspieszenia mają wartości odwrotnie proporcjonalne do ich mas.

$$a = \frac{F_{\text{wypadkowa}}}{m}$$

Jeśli przekształcimy tę zależność, otrzymamy:

$$F_{\text{wypadkowa}} = m \cdot a \qquad (5.6)$$

Gdy wstawimy do wzoru (5.6) jednostkę masy (1 kg) i jednostkę przyspieszenia $\left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$, możemy odczytać sens fizyczny jednostki siły:

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

1 niuton (1 N) jest wartością siły, która ciało o masie 1 kg nadaje przyspieszenie o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Nazwa jednostki *niuton* pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka Isaaca Newtona, który pod koniec XVII wieku sformułował zasady dynamiki.

Przykład 5.12

Szybkość motorówki o masie $m = 500 \text{ kg}$ wzrasta w ciągu 10 sekund od $v_0 = 0$ do $v = 72 \text{ km/h}$. Oblicz wartość siły wypadkowej nadającej motorówce przyspieszenie.

Dane: $m = 500 \text{ kg}$, $t = 10 \text{ s}$, $v_0 = 0$, $v = 72 \text{ km/h}$

Szukane: F

Rozwiązanie:

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad a = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 500 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \text{ N}$$

Odpowiedź: Wartość siły wypadkowej wynosi 1000 N.

Przyjrzyjmy się teraz znanemu nam od dawna wzorowi na wartość siły ciężkości $F_c = m \cdot g$. Zgodnie z drugą zasadą dynamiki iloraz $\frac{F_c}{m}$ to wartość przyspieszenia, jakie uzyskuje ciało o masie m , jeśli jedyną siłą działającą na to ciało jest siła ciężkości $\vec{F}_c$ (pomijamy opór powietrza). Jeśli w pobliżu Ziemi upuścimy ciało o masie m , działa na nie siła ciężkości i nadaje mu przyspieszenie o wartości:

$$a = g$$

Współczynnik proporcjonalności g to wartość przyspieszenia, z jakim spadają ciała upuszczone w pobliżu Ziemi. Przyspieszenie to nazywa się **przyspieszeniem ziemskim**. W czasach starożytnych i w średniowieczu sądzono, że ciała o większej masie spadają z większym przyspieszeniem, tymczasem z naszych rozważań wynika, że:

$$a = \frac{F_c}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g$$

Jak widać, przyspieszenie, z jakim ciała spadają na Ziemię pod działaniem siły ciężkości (pomijamy opór powietrza), nie zależy od ich masy i jest w danym miejscu na Ziemi jednakowe dla wszystkich ciał.

Na terenie Polski $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. W przybliżeniu przyjmujemy, że $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Ciało spada ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, gdy siła przyciągania ziemskiego jest jedyną siłą działającą na to ciało. Taki ruch nazywa się **spadaniem swobodnym**. Jest on możliwy tylko w próżni. Jeśli ciało porusza się w jakimś ośrodku, np. w powietrzu, to oddziałuje z tym ośrodkiem i jest hamowane. Często jednak oddziaływanie ośrodka na ciało jest małe i możemy je pominąć.

W rozdziale 4.8 obliczyliśmy wartość prędkości ciała poruszającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym po czasie t trwania ruchu ($v = a \cdot t$), przy założeniu, że początkowa prędkość ciała ma wartość równą zero ($v_0 = 0$). Jeśli zastąpimy w tym wzorze wartość przyspieszenia a wartością przyspieszenia ziemskiego g , otrzymujemy wzór pozwalający obliczyć szybkość osiągniętą po czasie t przez ciało spadające swobodnie:

$$v = g \cdot t$$

Podsumowanie

1. Druga zasada dynamiki Newtona

Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej $\vec{F}$ działającej na to ciało:

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

Jeśli na ciała o różnych masach działają siły o takich samych wartościach, to wartości przyspieszeń tych ciał są odwrotnie proporcjonalne do ich mas.

2. Jednostką siły jest niuton. 1 N jest to wartość siły, która ciało o masie 1 kg nadaje przyspieszenie o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

3. Swobodne spadanie ciał jest ruchem jednostajnie przyspieszonym, zachodzącym pod wpływem siły ciężkości.

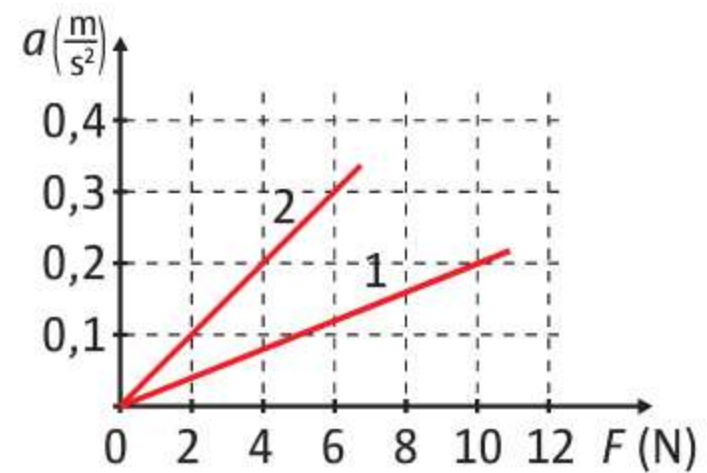
4. Przyspieszenie, z jakim porusza się ciało swobodnie spadające (tzn. w próżni), nazywamy przyspieszeniem ziemskim. Oznaczamy je symbolem g . W Polsce $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zwykle przyjmujemy wartość przybliżoną $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

5. Jeśli możliwe jest pominięcie oporu powietrza, czyli w swobodnym spadaniu ciał, i gdy $v_0 = 0$, obliczamy wartość prędkości po czasie t trwania ruchu za pomocą wzoru:

$$v = g \cdot t$$

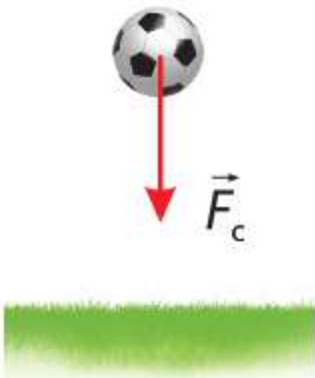
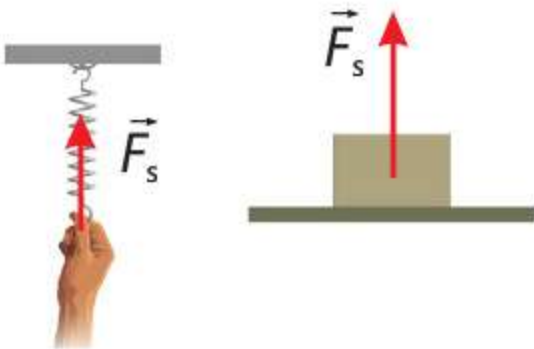
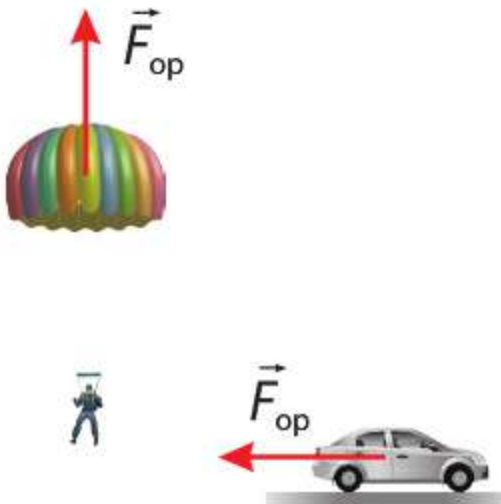
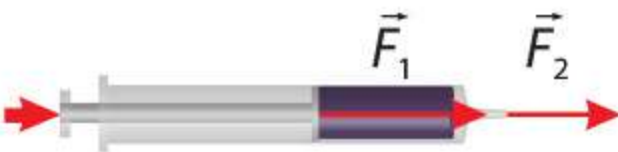
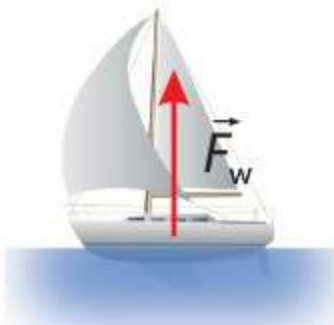
Zadania i doświadczenia

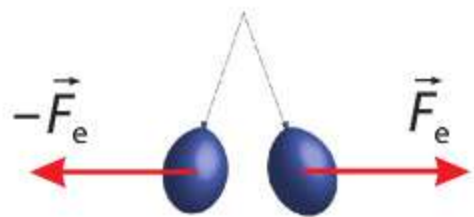
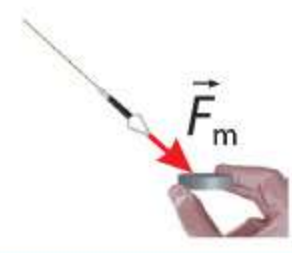
1. Jak wiesz, wartość przyspieszenia ciała jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na to ciało. Wykres przedstawia zależność wartości przyspieszenia od wartości siły dla dwóch ciał o masach m_1 i m_2 . Oblicz te masy. Podaj, która masa jest większa i ile razy.
2. Samochód wyścigowy o masie 1200 kg w pewnej chwili miał szybkość $v_1 = 140$ km/h, a po dwóch sekundach $v_2 = 212$ km/h. Oblicz wartość przyspieszenia tego samochodu. Wynik podaj w $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na samochód w tym przedziale czasu.
3. Trzej siłacze ciągną ciężki pojazd, działając siłami o wartościach $F_1 = 1000$ N, $F_2 = 1400$ N i $F_3 = 1500$ N, o jednakowych kierunkach i zwrotach. Oblicz:
 - a) wartość siły wypadkowej, którą siłacze działają na pojazd,
 - b) wartość przyspieszenia pojazdu, jeśli jego masa wynosi 1300 kg.
 Pomiń siły oporu.
4. W pewnej chwili na spadochroniarzkę działają: siła ciężkości o wartości 1300 N i siła oporu powietrza o wartości 900 N. Oblicz:
 - a) wartość siły wypadkowej,
 - b) wartość przyspieszenia, z którym spada spadochroniarka w tej chwili.
5. Udowodnij, że $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ to to samo, co $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Podsumowanie

■ Podsumowujemy wiadomości o niektórych siłach występujących w przyrodzie.

Nazwa siły	Od czego zależy jej wartość	Przykład
ciężar, siła ciężkości, siła przyciągania ziemskiego, siła grawitacji	od masy ciała: $F_c = m \cdot g$	
sprężystości	od wielkości odkształcenia ciała	
oporu powietrza	od szybkości ciała poruszającego się w powietrzu, jego kształtu i wielkości powierzchni	
tarcia	od wartości siły nacisku i od chropowatości powierzchni	
parcia na płaską powierzchnię	przy ciśnieniu p od wielkości powierzchni S : $F = p \cdot S$	
wyporu	od gęstości cieczy i objętości zanurzonego ciała lub jego części: $F_w = d_c \cdot g \cdot V_{zan}$	

Nazwa siły	Od czego zależy jej wartość	Przykład
elektryczna	O tym będziesz się uczyć w klasie 8.	
magnetyczna	O tym będziesz się uczyć w klasie 8.	
elektromagnetyczna	O tym będziesz się uczyć w klasie 8.	

■ Klasyfikacja wzajemnych oddziaływań

Bezpośrednie	oddziaływania stykających się ciał
Na odległość	grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne, elektromagnetyczne

■ Skutki oddziaływań

Statyczne	ugięcie, rozciągnięcie, zgniecenie
Dynamiczne	zmiana prędkości – jej wartości, kierunku lub zwrotu

- Wybrane do obserwacji, oddziałujące wzajemnie ciała tworzą układ ciał. Siły, którymi te ciała oddziałują wzajemnie, nazywamy siłami wewnętrznymi. Na ciała tworzące układ mogą działać siły pochodzące spoza układu. To siły zewnętrzne.

- Jeśli na dane ciało sztywne działa więcej niż jedna siła, znajdujemy wypadkową tych sił. Skutek działania siły wypadkowej jest taki sam jak skutek działania równocześnie wszystkich sił składowych.

■ Pierwsza zasada dynamiki

Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub gdy działają siły wzajemnie się równoważące, to ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub pozostaje w spoczynku.

Ta zasada tłumaczy występowanie zjawiska bezwładności.

■ Druga zasada dynamiki

Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na to ciało. Jeśli na ciała o różnych masach działa taka sama siła, to ich przyspieszenia mają wartości odwrotnie proporcjonalne do ich mas.

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

■ Trzecia zasada dynamiki

Jeśli jedno ciało działa siłą na drugie ciało, to drugie ciało działa siłą na pierwsze:

$$F_{12} = F_{21}$$

Siły wzajemnego oddziaływania mają takie same wartości, ten sam kierunek, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (działają na różne ciała).

■ Prawo Pascala

Jeśli na zamknięte w zbiorniku ciecz lub gaz działamy siłą, to wytworzone w ten sposób dodatkowe ciśnienie jest jednakowe w całej objętości tej cieczy lub gazu.

Prawo to stanowi podstawę działania urządzeń hydraulicznych i pneumatycznych.

■ Ciśnienie w cieczy wynikające z działania na tę ciecz siły przyciągania ziemskiego nazywamy ciśnieniem hydrostatycznym. Wzrasta ono wraz z głębokością.

W otwartych naczyniach z cieczą na danej głębokości całkowite ciśnienie jest równe sumie ciśnienia pochodzącego od cieczy znajdującej się powyżej (ciśnienia hydrostatycznego) oraz ciśnienia atmosferycznego:

$$p = d_c \cdot g \cdot h + p_{\text{atm}}$$

■ Prawo Archimedesesa

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:

$$F_w = F_c = d_c \cdot g \cdot V_{\text{zan}}$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy,

V_{zan} – objętość ciała lub jego zanurzonej części.

■ Warunki pływania ciał

Zachowanie się ciała zanurzonego w cieczy zależy od jego gęstości d w porównaniu z gęstością d_c tej cieczy.

$d > d_c$	$F_c > F_w$	Ciało tonie.
$d = d_c$	$F_c = F_w$	Ciało pływa całkowicie zanurzone.
$d < d_c$	$F_c < F_w$ po ustaleniu równowagi: $F_c = F_w$	Ciało pływa częściowo zanurzone.

W ostatnim przypadku stan równowagi wystąpi przy takim zanurzeniu, przy którym siła wyporu (tym mniejsza, im mniejsza część ciała jest zanurzona) równoważy ciężar ciała.

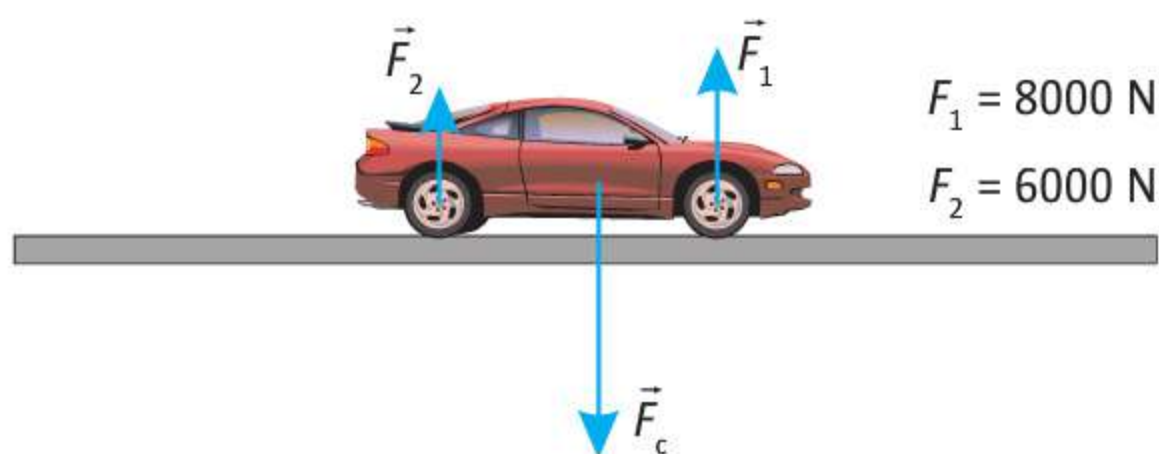
Sprawdź się

- Kasia trzyma na głowie piłkę plażową. Wybierz stwierdzenie **nieprawdziwe**.
 - Piłka z Ziemią oddziałuje na odległość.
 - Kasia z piłką oddziałuje na odległość.
 - Kasia z piłką oddziałuje bezpośrednio.
 - Kasia z Ziemią oddziałuje bezpośrednio.
- W czasie zabawy z piłką Kasia wykonała następujące czynności:
 - 1) zatrzymała toczącą się piłkę;
 - 2) zmieniła kierunek toczenia się piłki;
 - 3) usiadła na piłce;
 - 4) rzuciła piłkę w górę.
 Statyczny skutek działania siły wystąpił w
 - A. czynności 1.
 - B. czynności 3.
 - C. czynności 2.
 - D. czynnościach 2 i 4.
- Na wózek działają trzy siły, jak pokazano na rysunku.



Skutek działania tych sił jest taki jak skutek działań jednej siły o wartości

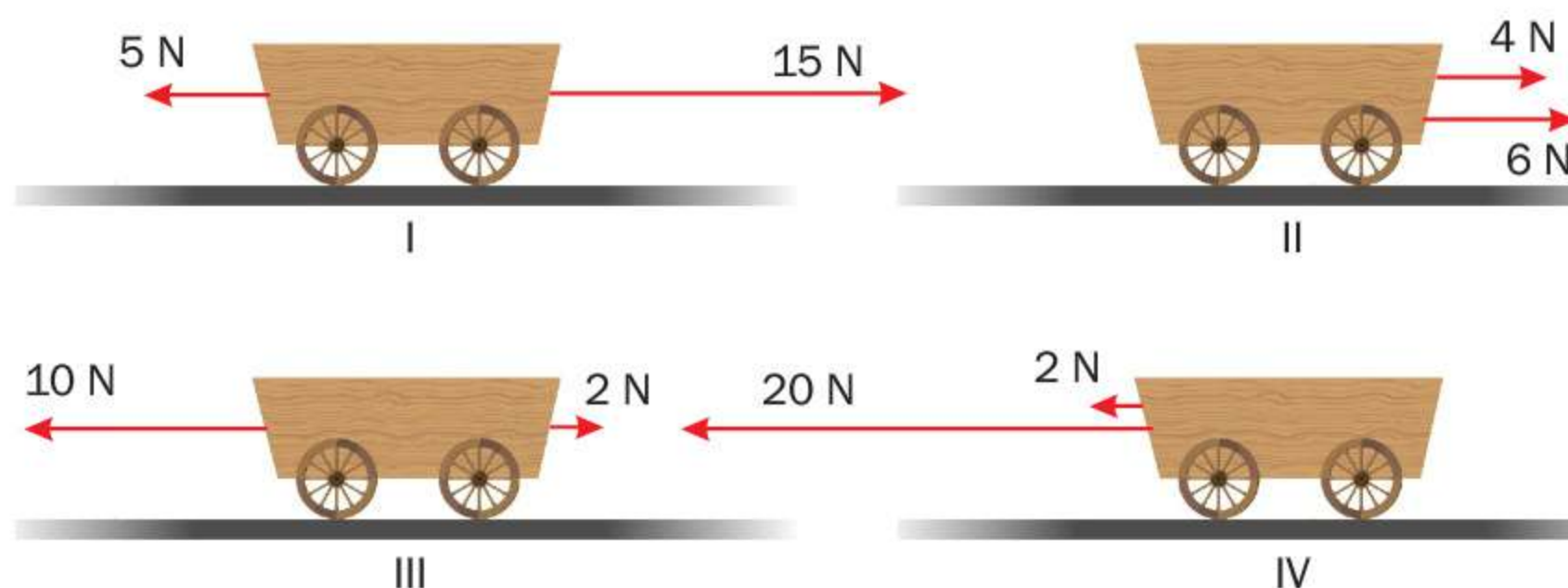
- A. 1 N
 - B. 2 N
 - C. 3 N
 - D. 4 N
4. Na stojący na parkingu samochód działają trzy siły, jak pokazano na rysunku.



Masa tego samochodu jest równa

- A. 1200 kg
- B. 1400 kg
- C. 1600 kg
- D. 1800 kg

5. Na identyczne wózki o masach 4 kg każdy działają siły – tak, jak pokazano na rysunku.



Z przyspieszeniem o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ porusza się wózek

- A. I B. II C. III D. IV

Tekst do zadań 6. i 7.

Dwa wózki połączono gumą i oddalono je od siebie tak, by guma była naprężona. Gdy je swobodnie puszczono, zderzyły się w punkcie 0.



Wybierz twierdzenie prawdziwe.

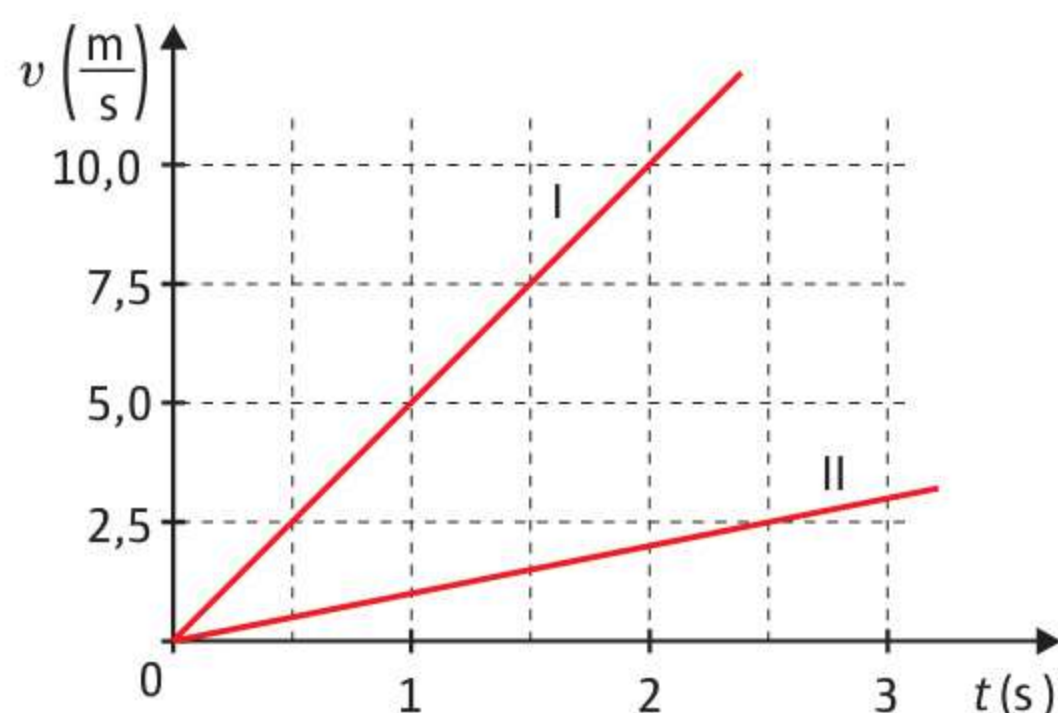
6.

- A. Guma działała na wózek I siłą o większej wartości niż na wózek II.
 B. Guma działała na wózek I siłą o mniejszej wartości niż na wózek II.
 C. Na podstawie znajomości punktu zderzenia wózków nie można określić, na który wózek guma działała siłą o większej wartości.
 D. Guma działała na oba wózki siłą o takiej samej wartości.

7.

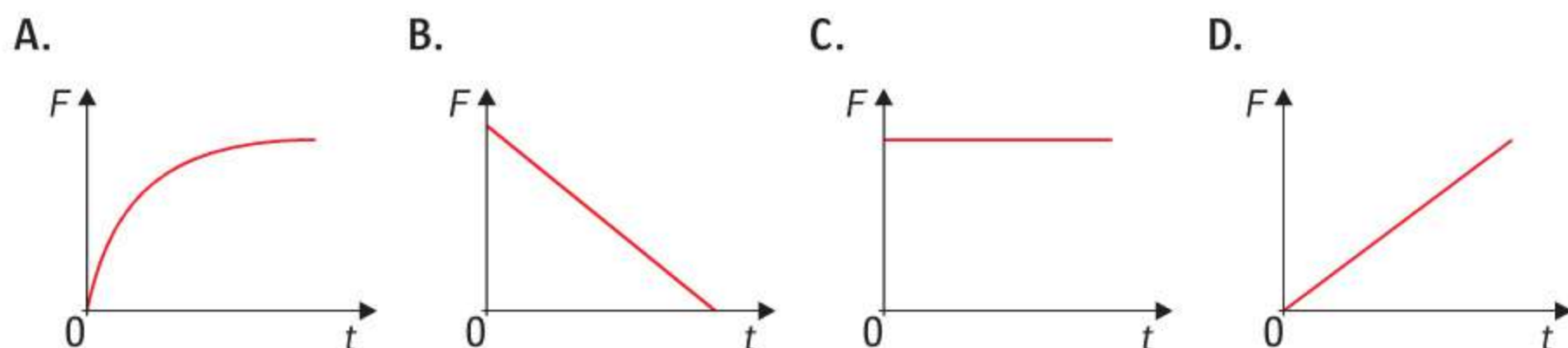
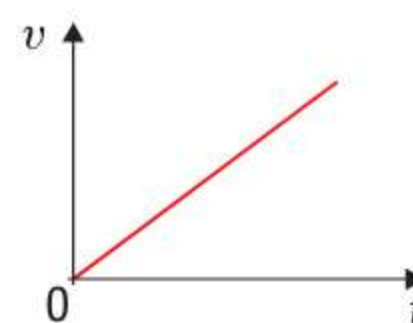
- A. Masa wózka I była większa od masy wózka II.
 B. Masa wózka I była mniejsza od masy wózka II.
 C. Masy obu wózków były jednakowe.
 D. Na podstawie znajomości położenia punktu zderzenia nie można określić, który wózek miał większą masę, a który mniejszą.

8. Dwa wózki I i II o różnych masach m_I i m_{II} ruszyły pod działaniem siły o wartości 20 N.



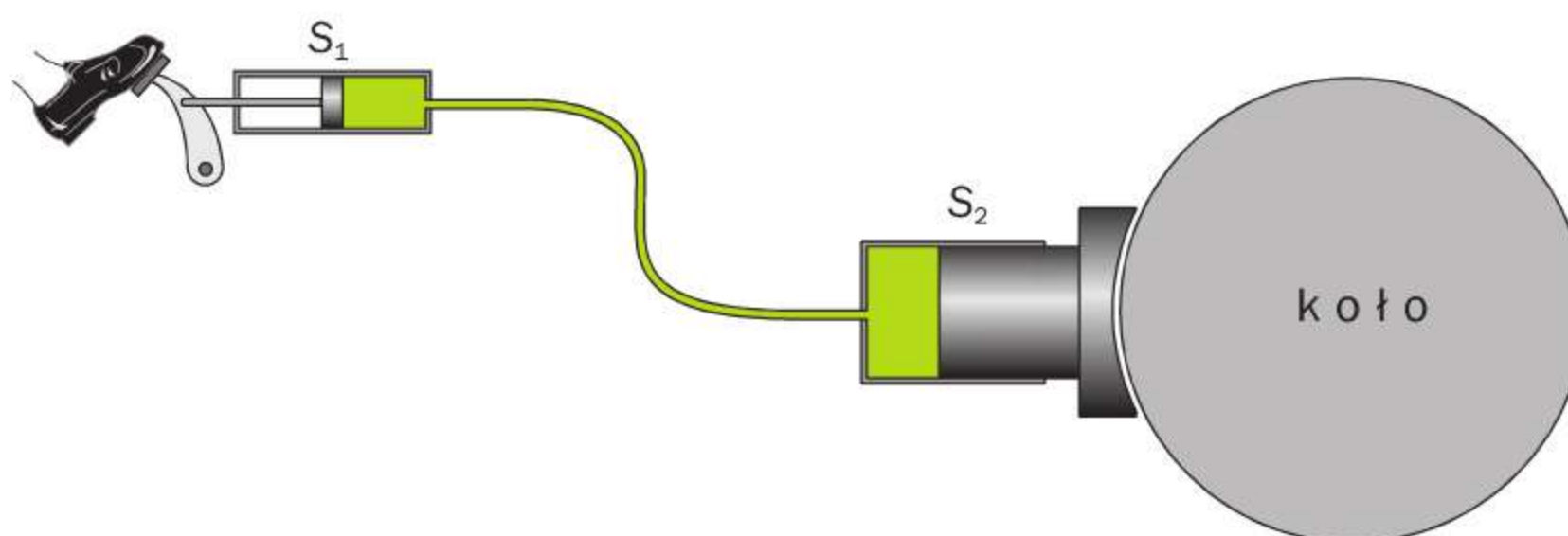
Na podstawie wykresu i obliczeń stwierdzamy, że masy wózków były równe:

- A. $m_I = 4$ kg, $m_{II} = 20$ kg.
 B. $m_I = 5$ kg, $m_{II} = 25$ kg.
 C. $m_I = 20$ kg, $m_{II} = 4$ kg.
 D. $m_I = 25$ kg, $m_{II} = 5$ kg.
9. Na wykresie obok przedstawiono zależność wartości prędkości samochodu ruszającego na ulicy po zmianie świateł od czasu. Który z poniższych wykresów przedstawia zależność wartości wypadkowej siły powodującej ruch samochodu od czasu?

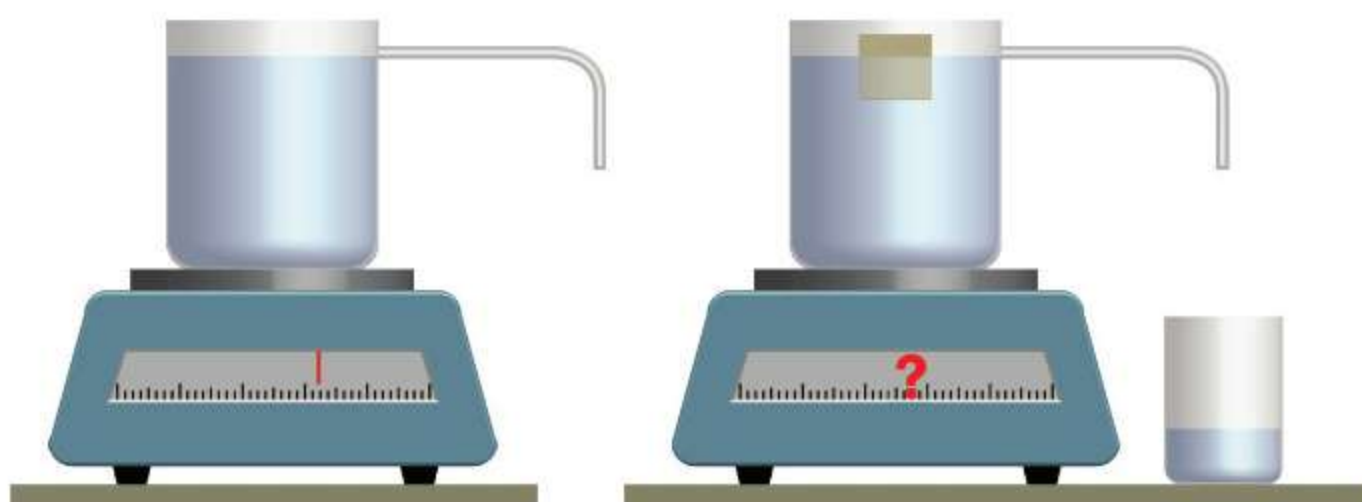


10. Spośród wymienionych sytuacji wybierz tę, w której działamy w celu zmniejszenia tarcia.
- A. Posypywanie oblodzonej powierzchni piaskiem.
 B. Zakładanie łańcuchów na koła samochodów.
 C. Montowanie kolców na podeszwach butów biegaczy.
 D. Wlewanie oliwy między stykające się ruchome części maszyny.
11. Chłopiec przesuwając po podłodze komodę o ciężarze 800 N ruchem jednostajnym, działając siłą o wartości 300 N. Siła tarcia komody o podłogę ma wartość
- A. 800 N B. 300 N C. 1100 N D. 500 N

12. Kierowca naciska na pedał hamulca i działa na tłok o powierzchni $S_1 = 0,0006 \text{ m}^2$ siłą o wartości $F_1 = 120 \text{ N}$.



- Tłok o powierzchni $S_2 = 0,004 \text{ m}^2$ działa na tarczę koła samochodowego siłą o wartości
- A. 240 N B. 480 N C. 600 N D. 800 N
13. Ryba o masie 4 kg pływa w jeziorze na głębokości 2 m. Na rybę działa siła wyporu o wartości
- A. 4 N B. 8 N C. 20 N D. 40 N
14. Do zważonego naczynia z wodą, sięgającą aż do rurki odpływowej, włożono drewniany klocek. Wskutek tego część wody wylała się do mniejszego naczynia.



Wybierz twierdzenie prawdziwe.

- A. Wskazanie wagi nie zmieniło się.
 B. Waga wskazuje większą wartość.
 C. Waga wskazuje mniejszą wartość.

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Chcesz wyznaczyć wartość siły tarcia komody o podłogę podczas przesuwania tego mebla. Do dyspozycji masz długi kawałek mocnego sznura i siłomierz o dużym zakresie. Zaproponuj sposób rozwiązania tego problemu (wymień kolejne czynności). Sporządź schematyczny rysunek i zaznacz na nim siły działające na komodę.

Zadanie 2.

Na samochód osobowy, który jedzie po poziomej szosie, działa siła ciągu silnika o wartości 2000 N, nadająca mu przyspieszenie o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Opory ruchu pomijamy.

- Podaj wartość przyspieszenia tego samochodu, gdy kierowca nacisnął pedał gazu i siła ciągu wzrosła do wartości 6000 N.
- Oblicz wartość przyspieszenia samochodu ciężarowego o dwukrotnie większej masie, jeśli na ten samochód działa siła ciągu o wartości 2000 N.

Zadanie 3.

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki siła wypadkowa powoduje ruch przyspieszony ciała. Dlaczego więc, gdy naciskamy w sposób ciągły pedał gazu samochodu Formuły 1, nie możemy go przyspieszyć do dowolnie dużej szybkości?

Zadanie 4.

Do wanny napełnionej wodą włożono piłeczkę pingpongową tak, aby dotknęła dna, i puszczo ją swobodnie. Rozważamy ruch piłeczki tylko do chwili, gdy zacznie się wynurzać z wody.

- Wymień siły działające na piłeczkę podczas ruchu w górę.
- Podaj nazwę ruchu piłeczki.
- Uzasadnij, dlaczego piłeczka porusza się takim ruchem.
- Naszkicuj wykres zależności od czasu: szybkości $v(t)$ piłeczki i wypadkowej siły $F_{\text{wypadkowa}}(t)$ działającej na piłeczkę.

Pomiń siłę oporu wody.

Zadanie 5.

Wymyśl i opisz sposób wyznaczenia wartości przyspieszenia układu klocków (patrz przykłady 5.10 i 5.11). Wykorzystaj wzór na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym $s = \frac{at^2}{2}$.

6

Praca, moc, energia mechaniczna

Wyskok – energia kinetyczna tyczkarza oraz energia potencjalna sprężystości tyczki zamieniają się w energię potencjalną grawitacji.



Wyginanie tyczki – energia kinetyczna tyczkarza zamienia się częściowo w energię potencjalną sprężystości tyczki.

6.1 Praca mechaniczna

Na co dzień pracą nazywamy każdy użyteczny wysiłek wykonany przez człowieka i w takim znaczeniu pracę wykonują: murarz, nauczycielka, kasjer, lekarka itd.

W fizyce pojęcie pracy ma inne znaczenie. W tym rozdziale zajmiemy się tzw. pracą mechaniczną. Kilka przykładów pozwoli ci zrozumieć istotę tego pojęcia.

Przykład 6.1

Działający siłą holownik przesuwa barki z piaskiem po jeziorze. Podczas przesuwania holownik wykonuje pracę.



Przykład 6.2

Woda spada sztolniami z wyższego poziomu na niższy – pracę polegającą na przemieszczaniu wody wykonuje siła ciężkości.



Przykład 6.3

Rozpędzony zawodnik przebywa pewną drogę, nim się zatrzyma na skutek działania siły tarcia – pracę wykonuje tu siła tarcia.



Praca mechaniczna jest wykonywana, gdy na ciało działa siła i gdy to ciało ulega przemieszczeniu lub odkształceniu.

Jeśli ciało się nie przesuwa, praca nie jest wykonywana. Z takim przypadkiem mamy do czynienia np. wtedy, gdy pchamy szafę, aby ją przesunąć, a ona pozostaje w spoczynku. Zastanówmy się teraz, od czego zależy wykonana praca, gdy ciało jest przesuwane **po linii prostej**.

Rozważmy pracę wykonaną przy podnoszeniu paczki o masie 1 kg na wysokość 1 m i pracę wykonaną przy podnoszeniu na tę samą wysokość paczki o masie 5 kg. Jest dla nas oczywiste, że w drugim przypadku została wykonana większa praca.

Gdy podnosimy paczkę o masie 1 kg na wysokość 1 m, wykonujemy większą pracę niż w przypadku, gdy tę samą paczkę podnosimy na wysokość 0,5 m. Wynika stąd, że wykonana praca zależy od wartości siły, która tę pracę wykonuje, i od przebytej drogi. Pracę oznaczamy literą W , od pierwszej litery angielskiego słowa *work*, czyli praca.

Gdy siła $\vec{F}$ wykonująca pracę jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza (jak w przykładach z podnoszoną paczką), to wykonaną pracę obliczamy jako iloczyn wartości siły (F) i przebytej drogi (s).

$$\text{praca} = \text{wartość siły} \cdot \text{przebyta droga} \\ W = F \cdot s \quad (6.1)$$

Wzór ten można stosować, gdy:

- wartość siły działającej na ciało jest stała,
- ciało przesuwa się po linii prostej i siła jest zwrócona w tę samą stronę, w którą ciało się porusza.

Sporządźmy dla tego szczególnego przypadku wykres $F(s)$ ilustrujący fakt, że w czasie ruchu wartość siły jest stała. Zauważymy, że pracę obliczamy tak samo, jak pole prostokąta pod wykresem.

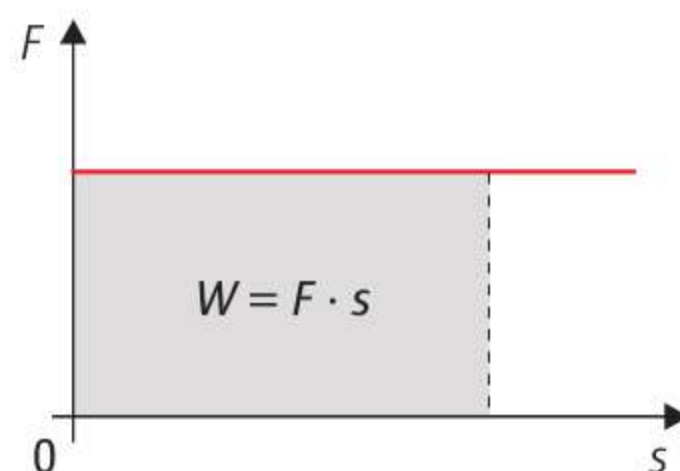
Jednostkę pracy możemy określić przez wstawienie do wzoru (6.1) jednostki siły i jednostki drogi.

$$[W] = [F] \cdot [s] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Jednostkę tę nazywamy **dżulem** i oznaczamy literą J, od pierwszej litery nazwiska angielskiego fizyka Jamesa Joule'a (czytaj: dżejmsa dżula).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

1 J jest to praca, jaką wykonuje siła o wartości 1 N działająca na ciało, które przesuwa się o 1 m zgodnie ze zwrotem siły.



Przykład 6.4

Pracę 1 J wykonujemy, gdy podnosimy ruchem jednostajnym tabliczkę czekolady o masie 100 g na wysokość 1 m. Działamy wówczas siłą równoważącą ciężar ciała; jej wartość wynosi:

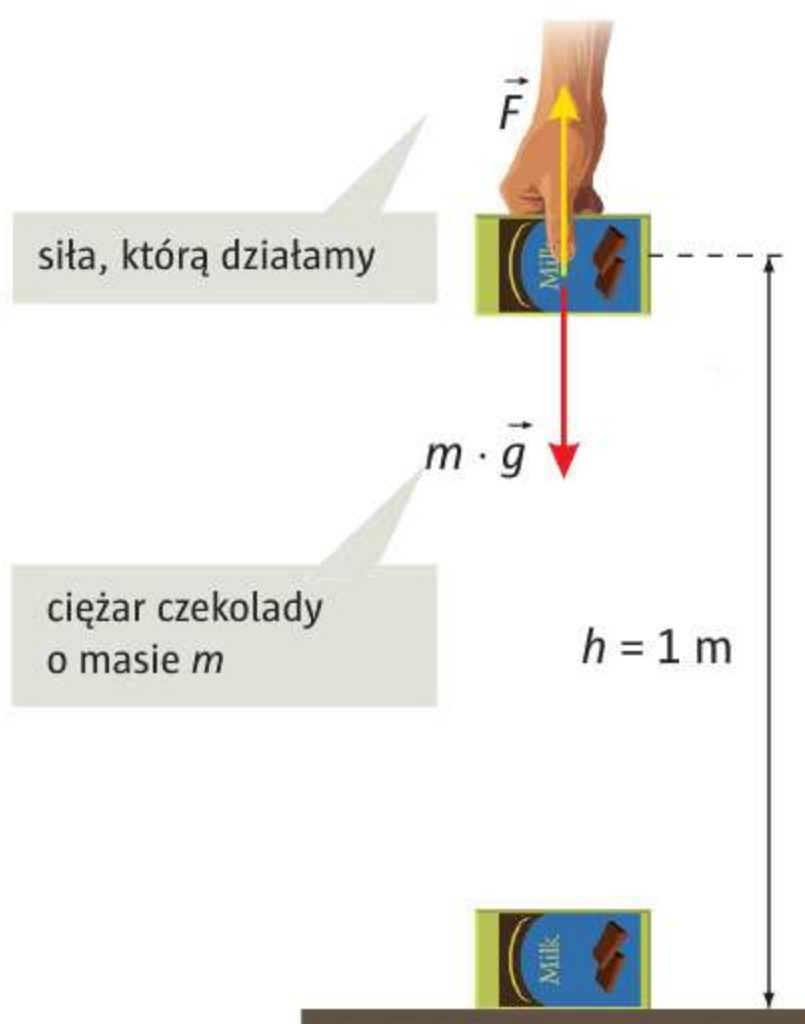
$$F = m \cdot g$$

$$F = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Zatem:

$$W = F \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

$$W = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$



O sposobach obliczania pracy w przypadkach, gdy wartość siły ulega zmianie i gdy siła nie działa zgodnie z przemieszczeniem, dowiesz się w szkole ponadpodstawowej. Warto jednak zapamiętać, że **siła o kierunku prostopadłym do kierunku przemieszczania się ciała nie wykonuje pracy w sensie fizycznym**. Jeśli idziesz po poziomej ulicy, niesiesz torbę i działasz na nią siłą równoważącą ciężar (kierunek pionowy, zwrot w górę), to w sensie fizycznym nie wykonujesz pracy.

Przykład 6.5

Obliczmy pracę, jaką wykonuje dźwig budowlany, gdy ruchem jednostajnym podnosi cegły o masie 1000 kg na wysokość $h = 20 \text{ m}$, a następnie przesuwa je poziomo na odległość $s = 10 \text{ m}$. Przyjmij, że $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oba ruchy są jednostajne.

Dane: $m = 1000 \text{ kg}$, $h = 20 \text{ m}$, $s = 10 \text{ m}$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: W

Rozwiązanie:

Podczas podnoszenia cegieł siła, jaką dźwig je podnosi, równoważy ciężar cegieł:

$$F = m \cdot g$$

Praca wykonana przez dźwig podczas podnoszenia cegieł jest równa:

$$W = F \cdot h$$

$$W = 10\,000 \text{ N} \cdot 20 \text{ m} = 200\,000 \text{ J}$$

Podczas przesuwania cegieł poziomo dźwig nie wykonuje pracy, ponieważ kierunek przesunięcia jest prostopadły do kierunku siły, jaką dźwig działa na cegły.

Podsumowanie

1. Siła działająca na ciało wykonuje pracę, gdy:
 - podczas działania tej siły następuje przemieszczenie ciała lub jego odkształcenie,
 - kierunki siły i przemieszczenia ciała nie są do siebie prostopadłe.
2. Gdy ciało przemieszcza się po linii prostej, pracą nazywamy iloczyn wartości siły działającej na ciało i przebytej drogi:

$$W = F \cdot s$$

Wzór ten możemy stosować, gdy:

- wartość działającej na ciało siły nie ulega zmianie podczas jego przemieszczania,
 - ciało porusza się w tę stronę, w którą zwrócona jest siła.
3. Jednostką pracy jest dżul ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$). Pracę 1 dżula wykonuje siła 1 niutona na drodze 1 metra, jeśli ciało przesuwa się zgodnie ze zwrotem siły.

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz pracę, jaką wykona robotnik przesuwający po podłodze ruchem jednostajnym drewnianą skrzynię na odległość $s = 20 \text{ m}$. Siła tarcia, którą musi pokonać robotnik, ma wartość $F = 240 \text{ N}$.
2. Dźwig budowlany podniósł 100 cegieł o masie $2,5 \text{ kg}$ każda i wykonał przy tym pracę 5000 J . Oblicz wysokość, na jaką zostały podniesione cegły. Przyjmujemy, że $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
3. Jaką pracę wykonuje dziewczynka, która naciska na sztywną ścianę siłą o wartości 50 N w czasie 5 sekund? Odpowiedź uzasadnij.
4. Chłopiec wraz z ojcem przesuwa komodę do przeciwległej ściany pokoju, odległej o 4 m . Chłopiec działa siłą o wartości 60 N , a ojciec działa siłą o tym samym kierunku i zwrocie, ale o wartości 100 N . Oblicz pracę wykonaną przez chłopca, pracę wykonaną przez ojca oraz pracę wykonaną przez wypadkową sił działających na komodę.

Doświadczenie 1.

Wyznaczamy wykonaną pracę.

Potrzebne przedmioty: siłomierz o zakresie $0\text{--}3 \text{ N}$, książka lub zeszyt, 1 m mocnej nitki, kreda lub taśma samoprzylepna, centymetr krawiecki lub linijka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Na książce zawiąż pętlę z nitki tak, by po zaczepieniu poziomo siłomierza można było równo ciągnąć ją po stole.
- Wzdłuż krawędzi stołu zaznacz taśmą lub kredą odcinki o długości np. 25 cm .
- Podczas przesuwania ruchem jednostajnym prostoliniowym książki na wybranym odcinku odczytaj na siłomierzu wartość siły, jaką działasz na książkę.
- Skorzystaj ze wzoru 6.1 i oblicz wykonaną pracę.

6.2 Moc

Jedne urządzenia wykonują pracę szybko, inne wolniej.



Kosiarz w ciągu jednej godziny jest w stanie skosić o wiele mniejszą powierzchnię niż kombajn rolniczy. O szybkości wykonywania pracy (tzn. pracy wykonywanej w jednostce czasu) informuje nas wielkość fizyczna nazywana **mocą**. Oznaczamy ją literą P , od pierwszej litery angielskiego słowa *power*, czyli moc.

Aby dowiedzieć się, jaką pracę wykonuje dane urządzenie w jednostce czasu, musimy podzielić pracę W wykonaną w pewnym czasie t przez ten czas.

Mocą nazywamy iloraz pracy i czasu, w którym została ona wykonana. Zapisujemy to za pomocą wzoru:

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}}, \quad P = \frac{W}{t}$$

Gdy podstawimy do powyższego wzoru jednostkę pracy (J) i jednostkę czasu (s), określmy jednostkę mocy, którą jest **1 wat**: $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$. Nazwa jednostki mocy pochodzi od nazwiska angielskiego mechanika i konstruktora Jamesa Watta (czytaj: dżejmsa łota).

1 wat jest to moc takiego urządzenia, które w czasie 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula. Tysiąc razy większą jednostką jest kilowat: $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$. Moc 1 wata odpowiada w przybliżeniu mocy naszych mięśni, gdy podnosimy w czasie 1 sekundy tabliczkę czekolady o masie 100 g na wysokość 1 m.

Moc urządzenia informuje nas o tym, jaka praca została wykonana przez to urządzenie w jednostce czasu, np. w ciągu 1 s.

Przykład 6.6

Urządzenie o mocy 200 W wykonuje pracę 200 J w czasie jednej sekundy, pracę 400 J w czasie 2 sekund, a pracę 2000 J w czasie 10 sekund.

Podsumowanie

1. Mocą urządzenia nazywamy iloraz pracy i czasu, w którym została ona wykonana:

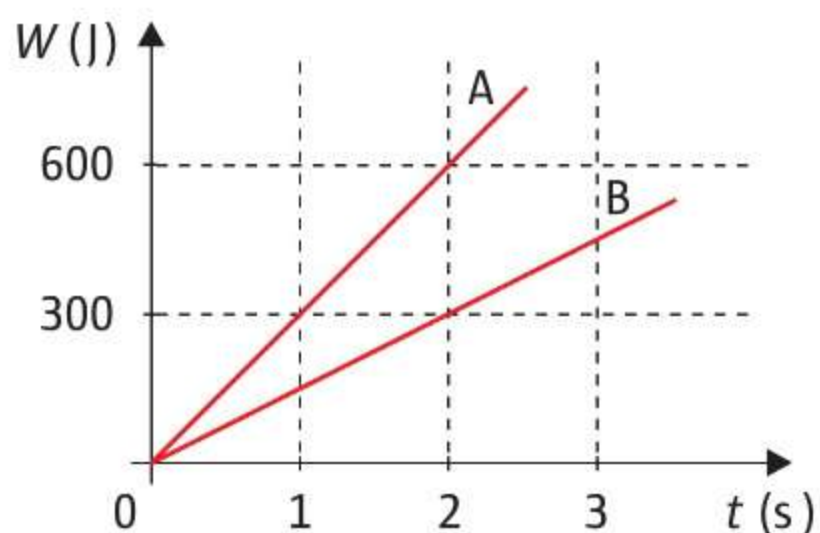
$$P = \frac{W}{t}$$

2. Moc danego urządzenia informuje nas o tym, jaką pracę wykonuje ono w czasie 1 sekundy.
3. Jednostką mocy jest wat (1 W). Moc jednego wata ma urządzenie, które w czasie 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz moc wioślarza, który w czasie 1 minuty wiosłowania wykonuje pracę 120 kJ.
2. Na wykresie przedstawiono zależność pracy od czasu dla dwóch różnych urządzeń A i B. Które z urządzeń pracuje z większą mocą? Uzasadnij odpowiedź.
3. Oblicz moc dźwigu, który działa na ładunek siłą o wartości 5 kN i unosi go ze stałą szybkością 0,5 m/s.



Wskazówka: Skorzystaj z definicji pracy i ze znanego ci wzoru na wartość prędkości w ruchu jednostajnym $v = \frac{s}{t}$.

4. Dawniej powszechnie, a obecnie ciągle jeszcze w odniesieniu do pojazdów samochodowych używamy jednostki mocy zwanej koniem mechanicznym (KM). Wprowadzono ją w okresie, gdy maszyny zaczęły zastępować pracę ludzi i zwierząt, w szczególności koni. Nowe urządzenia reklamowano, ogłaszając: „Moja maszyna zastępuje pracę pięciu koni, a więc ma moc 5 koni mechanicznych (5 KM)”.

1 KM to moc urządzenia, które podnosi ciało o masie 75 kg ruchem jednostajnym na wysokość 1 m w czasie 1 s.

Wykonaj obliczenie i podaj związek między jednostkami mocy: 1 watem i 1 koniem mechanicznym.

6.3 Energia mechaniczna

Po zapoznaniu się z pojęciem pracy możemy przystąpić do omawiania niezwykle ważnego i ściśle związanego z pracą pojęcia energii.

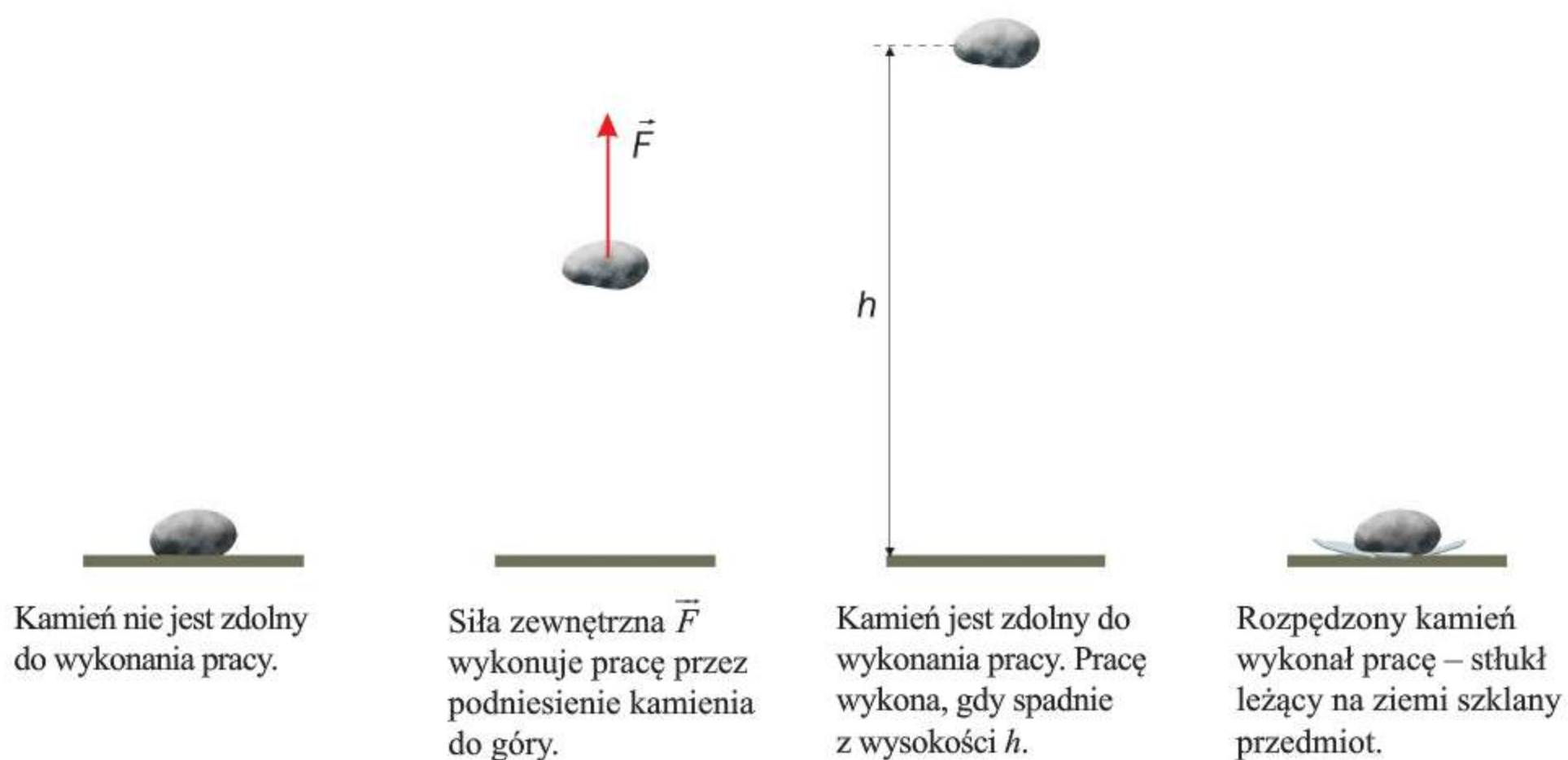
Maszyny w fabrykach mogą wykonać pracę, jeżeli są zasilane np. przez silniki elektryczne, które zużywają energię elektryczną. Silniki samochodów zużywają podczas pracy energię spalanej benzyny, a turbiny wodne – energię wody spadającej z pewnej wysokości. Również ludzie, aby żyć i pracować, muszą uzupełniać zapasy swojej energii. Ci, którzy ciężko pracują fizycznie, powinni jeść wysokoenergetyczne potrawy.

Jak widać, w różnych sytuacjach używamy słowa *energia*, ale nie zawsze jest ono zgodne z pojęciem *energia* używanym w fizyce. Poniższe przykłady ilustrują fizyczne znaczenie tego pojęcia. Będziemy zajmować się energią wybranych dwóch ciał wzajemnie oddziałujących siłami różnego rodzaju. Wiesz już, że taki zbiór ciał nazywamy układem ciał, zaś siły działające pomiędzy ciałami stanowiącymi układ – siłami wewnętrznymi układu.

Przykład 6.7

Ziemia i dowolne ciało w jej pobliżu stanowią układ ciał oddziałujących siłami grawitacji (siły wewnętrzne). Gdy ciało, np. kamień, leży na powierzchni Ziemi, układ nie jest zdolny do wykonania pracy.

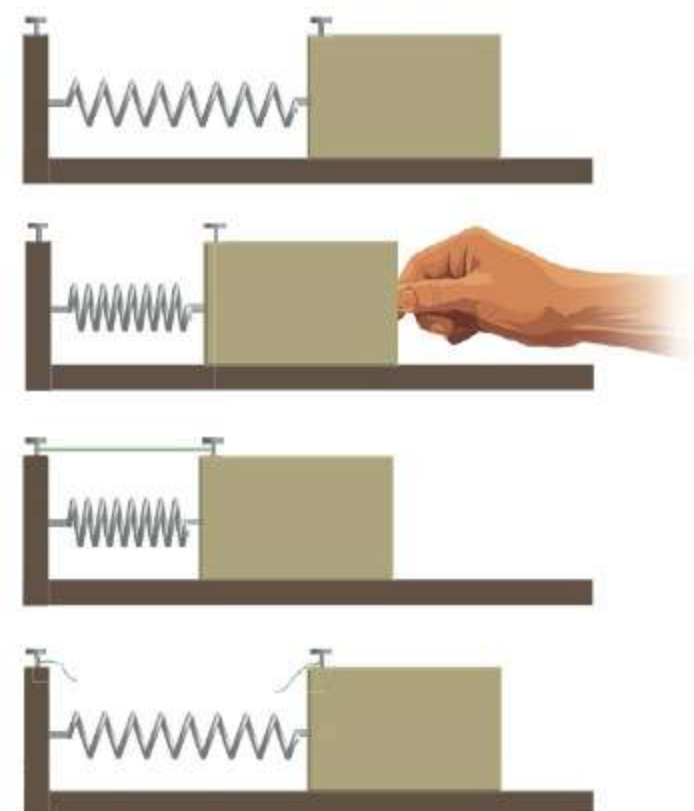
Jeśli zadziałamy siłą naszych mięśni, czyli siłą spoza układu, i podniesiemy kamień na pewną wysokość (siła zewnętrzna wykona pracę), układ stanie się zdolny do wykonania pracy. Może ją wykonać kamień – jedno z ciał należących do układu.



Przykład 6.8

Ściśnięta sprężyna i klocek stanowią układ ciał, które działają na siebie siłami sprężystości.

- Układ klocek–luźna sprężyna nie jest zdolny do wykonania pracy.
- Siła zewnętrzna wykonuje pracę przez ściśnięcie sprężyny i przesunięcie klocka.
- Układ jest zdolny do wykonania pracy.
- Oddziałująca z klockiem sprężyna wykonała pracę – przesunęła klocek do pierwotnego położenia.



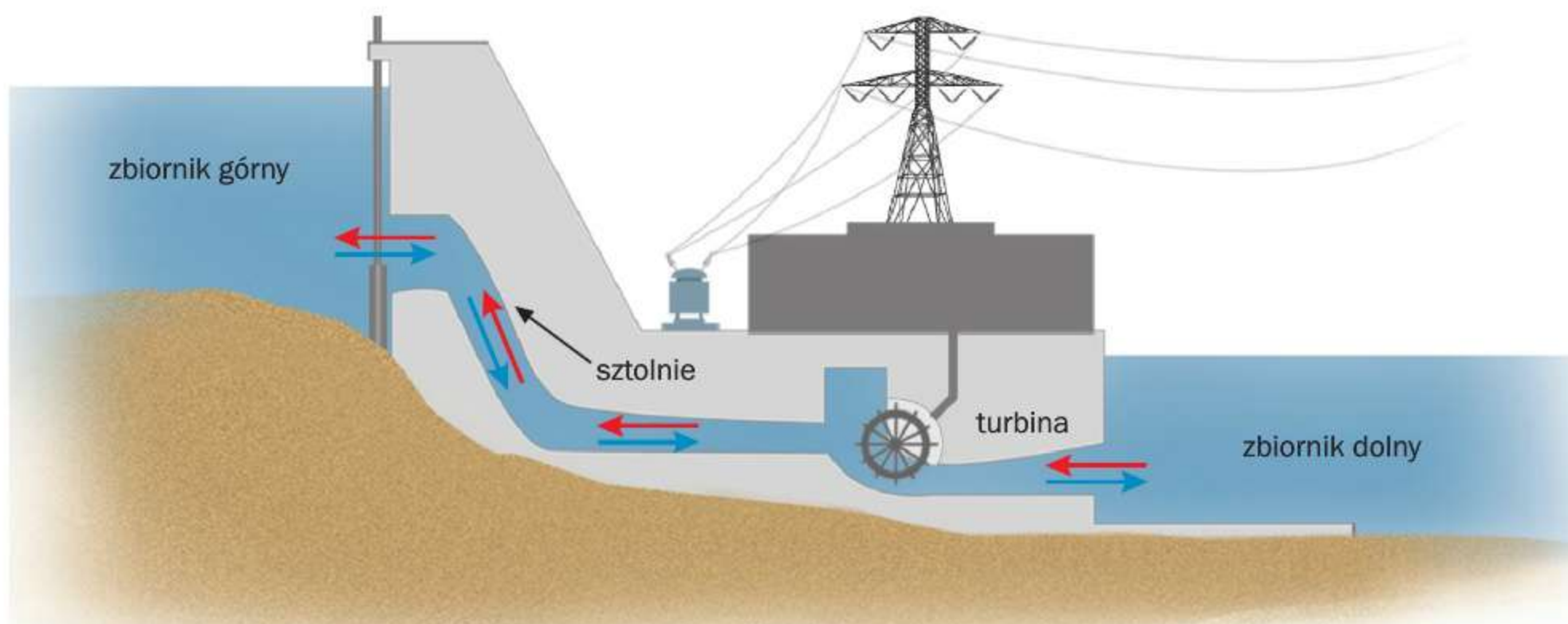
Przykład 6.9

Układem ciał są Ziemia i woda w zbiorniku na górze Żar, należącym do elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar.

Woda spływająca podziemnymi sztolniami wykonuje pracę, gdyż obraca turbiny produkujące prąd elektryczny. W okresie małego zapotrzebowania na energię elektryczną turbiny pracują jako pompy zasilane prądem – czyli siła zewnętrzna wykonuje pracę polegającą na pompowaniu z powrotem wody z dolnego zbiornika do zbiornika górnego. Przepompowana woda jest ponownie zdolna do wykonania pracy w okresie dużego zapotrzebowania na energię.



Sztuczny zbiornik wodny na górze Żar



Jeśli układ ciał jest zdolny do wykonania pracy, mówimy, że ma **energię mechaniczną**. Z powyższych przykładów wynika, że aby układ ciał był zdolny do wykonania pracy, należy wcześniej zadziałać siłą zewnętrzną i wykonać pracę przynajmniej nad jednym ciałem tego układu, czyli zgromadzić w nim pewien zapas energii.

W opisanych powyżej przypadkach nagromadzenie energii w układach następuje przez:

- podniesienie kamienia,
- ściśnięcie sprężyny siłą ludzkich mięśni,
- przepompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego za pomocą pompy elektrycznej.

W każdym z przedstawionych wyżej przykładów ciało, które ma energię, wykonuje pracę. W końcowym stanie układ znów nie jest zdolny do wykonywania pracy, czyli nie ma energii mechanicznej. Aby układ ciał ponownie był zdolny do wykonania pracy, należy jeszcze raz podnieść ciało na pewną wysokość czy też ścisnąć (lub rozciągnąć) sprężynę, czyli wykonać pracę przez zadziaływanie na jedno z ciał układu siłą zewnętrzną. Im większa praca zostanie wykonana przez siły zewnętrzne, tym większą energię będzie miał układ ciał i tym większą pracę będzie mógł wykonać podczas powrotu do poprzedniego stanu.

Przyrost energii mechanicznej układu ciał ΔE jest równy pracy sił zewnętrznych W_z wykonanej nad tym układem:

$$\Delta E = W_z$$

Układ wracający do poprzedniego stanu może, kosztem swojej energii, wykonać pracę o takiej samej wartości.

Energię wyrażamy w tych samych jednostkach co pracę, czyli w **dżulach**.

Przykład 6.10

Do wbijania w ziemię pali mocujących wielkie konstrukcje stosuje się kafar. Jego istotną częścią jest ciężki bijak, zwany babą, którego masa sięga nawet kilku ton. Bijak spadający na pal wykonuje pracę.

Bijak kafara podniesiono na pewną wysokość i wykonano przy tym pracę $W = 1\,500\,000\text{ J}$. O ile wzrosła energia bijaka? Jaką pracę może wykonać ten bijak podczas powrotu do stanu początkowego? Oblicz wartość siły, którą bijak działa na pal, jeśli wciska ten pal na głębokość 0,2 m.



Dane: $W = 1\,500\,000\text{ J}$, $s = 0,2\text{ m}$

Szukane: F

Rozwiązanie:

Energia bijaka wzrosła o wartość wykonanej pracy, czyli o $1\,500\,000\text{ J}$. Spadający bijak może wykonać pracę równą także $1\,500\,000\text{ J}$. Aby obliczyć wartość siły działającej na pal w czasie wbijania go w ziemię, skorzystamy z definicji pracy (zwrot siły jest tutaj zgodny ze zwrotem przesunięcia):

$$W = F \cdot s, \text{ czyli } F = \frac{W}{s}$$

$$F = \frac{1\,500\,000\text{ J}}{0,2\text{ m}} = 7\,500\,000 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}} = 7500\text{ kN} = 7,5\text{ MN}$$

Odpowiedź: Wartość siły, którą bijak działa na pal, jest równa $7,5\text{ MN}$ (meganiutonów).

Podsumowanie

1. Energię mechaniczną układu ciał można zwiększyć poprzez wykonanie nad nim pracy. Przyrost energii mechanicznej układu ciał równy jest pracy sił zewnętrznych wykonanej nad tym układem:

$$\Delta E = W_z$$

2. Jednostką energii jest dżul (J).
3. Zwykle pracę wykonujemy nad jednym ciałem układu i zamiast mówić, że układ zyskał energię mechaniczną, mówimy, że ciało (oddziałujące z innym ciałem, czyli tworzące z nim układ) zyskało energię mechaniczną.
4. O ciałach, które są zdolne do wykonania pracy, mówimy, że mają energię mechaniczną.

Zadania i doświadczenia

1. Zaproponuj sposób zwiększenia energii mechanicznej kolejnych układów ciał.
 - a) Układ tworzą walizka i Ziemia.



b) Układ tworzą kule połączone sprężyną.



c) Układ tworzą dwa magnesy zwrócone do siebie przeciwnymi biegunami.



d) Układ stanowią leżąca na boisku piłka i Ziemia.



2. Oblicz przyrost energii mechanicznej układu: kamień o masie 5 kg i Ziemia, jeśli kamień został podniesiony ruchem jednostajnym na wysokość 2 m.

6.4 Energia potencjalna i energia kinetyczna

Wyróżniamy dwa rodzaje energii mechanicznej: energię potencjalną i energię kinetyczną. Zmiana wzajemnego położenia ciał, które oddziałują na siebie siłami grawitacji lub sprężystości, prowadzi do zmiany ich **energii potencjalnej** (nazwa pochodzi od łacińskiego słowa *potentia* – możliwość). W przypadku oddziaływania grawitacyjnego jest to **zmiana odległości ciała od Ziemi**, a w przypadku oddziaływania sprężystego – **zmiana kształtu**, czyli odkształcenie, np. sprężyny.



Wędka uległa odkształceniu podczas wyciągania złowionej ryby – ma zatem energię potencjalną sprężystości.

Oddziałująca z klockiem ściśnięta sprężyna (przykład 6.8) ma energię **potencjalną sprężystości**. Kosztem tej energii może zostać wykonana praca. Energia potencjalna sprężystości jest wykorzystywana m.in. w zegarkach sprężynowych, zabawkach o napędzie sprężynowym, w mechanizmie spustowym pistoletów, w łuku, którego cięciwa jest napięta.

Energię potencjalną ma ciało podniesione na pewną wysokość nad powierzchnię Ziemi. Ten rodzaj energii potencjalnej nazywamy **energią potencjalną grawitacji**, ponieważ wynika on z oddziaływania ciała z Ziemią. Zazwyczaj przyjmujemy, że energia potencjalna ciała leżącego na powierzchni Ziemi jest równa zero – ciało to nie jest zdolne do wykonania pracy. Jednak poziomem zerowym nie musi być powierzchnia Ziemi. Możemy się umówić, że przyjmujemy za zerowy inny – dowolny – poziom, z którego podnosimy ciało w górę.

Zgodnie z obliczeniem przeprowadzonym w przykładzie 6.4 na wysokości h nad poziomem zerowym ciało o masie m ma energię potencjalną grawitacji równą:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (6.2)$$

bo podczas podnoszenia ciała na wysokość h wykonaliśmy taką pracę.

Przykład 6.11

Obliczmy energię potencjalną 1 m^3 wody o masie $m = 1000 \text{ kg}$ w zbiorniku górnym elektrowni Porąbka-Żar, który znajduje się 430 metrów powyżej zbiornika dolnego.

Dane: $m = 1000 \text{ kg}$, $h = 430 \text{ m}$

Szukane: E_p

Rozwiązanie:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 430 \text{ m} = 4\,300\,000 \text{ J} = 4,3 \text{ MJ}$$

Poziom zerowy można przyjąć umownie. Niekiedy wygodnie jest uznać za taki poziom np. podłogę mieszkania na dowolnym piętrze. Wówczas wszystkie ciała znajdujące się na podłodze tego mieszkania mają energię potencjalną równą zero, a ciało o masie m , leżące np. na stole, ma energię potencjalną równą:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

gdzie h jest wysokością stołu.

Przykład 6.12

Obliczmy energię potencjalną szklanki o masie $m = 0,1 \text{ kg}$, stojącej na półce na wysokości $h_2 = 0,5 \text{ m}$ nad stołem. Błat stołu znajduje się na wysokości $h_1 = 1 \text{ m}$ nad podłogą. Za poziom zerowy przyjmujemy kolejno: a) podłogę, b) stół, c) półkę.

Dane: $m = 0,1 \text{ kg}$, $h_1 = 1 \text{ m}$, $h_2 = 0,5 \text{ m}$, $h_3 = 0$

Szukane: E_p

Rozwiązanie:

Przypadek a)

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$E_{p1} = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5 \text{ m} = 1,5 \text{ J}$$

Przypadek b)

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2$$

$$E_{p2} = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,5 \text{ J}$$

Przypadek c)

$$E_{p3} = m \cdot g \cdot h_3$$

$$E_{p3} = m \cdot g \cdot 0 = 0$$

Gdy używamy do obliczeń wzoru $E_p = m \cdot g \cdot h$, powinniśmy wiedzieć, że:

- jest on słuszny niezależnie od tego, jaki kształt ma tor, po którym podnosimy ciało na wysokość h , i jaką wówczas przebywa ono drogę;
- można go stosować tylko w przypadkach, gdy odległość h od powierzchni Ziemi jest dużo mniejsza od promienia R Ziemi, czyli $h \ll R$. Tylko wtedy siła ciężkości ma stałą wartość równą $m \cdot g$. Tego wzoru nie można stosować np. dla satelity obiegającego Ziemię na bardzo dużej wysokości.

Z ruchem ciał związany jest drugi rodzaj energii mechanicznej – **energia kinetyczna** (od greckiego słowa *kinema* oznaczającego ruch). Ciała będące w ruchu mają energię kinetyczną. Oznacza to, że są one również zdolne do wykonania pracy. Taką energię mają np. płynąca w rzece woda (i dlatego może wprawić w ruch łopatki koła młyńskiego), poruszające się powietrze, czyli wiatr (może on wprawić w ruch żaglówkę lub łopatki wiatraka), lecący pocisk (który trafia np. w ścianę i żłobi w niej otwór), jadący samochód (po zderzeniu z przeszkodą odkształca ją i sam zostaje odkształcony) itd.

Z codziennych obserwacji można wywnioskować, że praca, którą może wykonać poruszające się ciało (a więc również jego energia kinetyczna), zależy od jego masy i szybkości. Łatwo sobie wyobrazić, że jadący z szybkością 15 km/h rowerzysta, który wpadnie na barierę ograniczającą pas ruchu, nie spowoduje jej uszkodzenia, natomiast jadący z taką samą szybkością walec drogowy poważnie ją odkształci. Podobnie powoli toczący się samochód spowoduje co najwyżej lekkie wgniecenie bariery; ten sam samochód pędzący z dużą szybkością mocno ją zniszczy. Ciało o masie m poruszające się w danym układzie odniesienia z szybkością v ma w tym układzie energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (6.3)$$



Poruszające się powietrze, czyli wiatr, jest zdolne do wykonania pracy: wprawia w ruch skrzydła wiatraka...

...i latawiec kitesurfera.



Ze wzoru 6.3 wynika, że energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy (m) ciała i kwadratu jego szybkości (v). Oznacza to, że np. przy dwukrotnym wzroście szybkości energia kinetyczna tego ciała wzrasta czterokrotnie. Warto, aby pamiętali o tym kierowcy samochodów. W razie wypadku drogowego praca, jaką podczas zderzenia wykonuje samochód o dwa razy większej szybkości, jest czterokrotnie większa, a więc i skutki wypadku są groźniejsze.

Zauważ, że energia kinetyczna nie zależy od tego, w którą stronę ciało się porusza, tzn. nie zależy od kierunku i zwrotu jego prędkości.

Przykład 6.13

Obliczmy energię kinetyczną samochodu o masie $m = 1000$ kg, jadącego z szybkością $v = 108$ km/h.

Dane: $m = 1000$ kg,

$$v = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 108 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane: E_k

Rozwiązanie:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 900\,000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 450\,000 \text{ J} = 0,45 \text{ MJ}$$

Podsumowanie

1. Energia potencjalna ciała zależy od jego położenia względem drugiego ciała, z którym pierwsze ciało oddziałuje. Gdy położenie to ulega zmianie, zmienia się również energia potencjalna ciała.
2. Energia potencjalna grawitacji wzrasta, gdy ciało oddala się od powierzchni Ziemi.
3. Zmiana energii potencjalnej sprężystości wiąże się zawsze z odkształceniem ciała.
4. Energię potencjalną grawitacji ciała o masie m umieszczonego na wysokości h nad tzw. poziomem zerowym obliczamy za pomocą wzoru:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

5. Energia kinetyczna jest związana z ruchem ciała. Każde ciało, które w danym układzie odniesienia jest w ruchu, ma w tym układzie energię kinetyczną.
6. Energię kinetyczną obliczamy za pomocą wzoru:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

gdzie m – masa ciała, v – jego szybkość.

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz pracę, jaką może wykonać kula o masie $m = 5$ kg, spadająca na Ziemię z wysokości $h = 3$ m.
2. Oblicz masę wody, która spada z wysokości $h = 10$ m, wprawia w ruch turbinę wodną i wykonuje przy tym pracę $W = 20\,000$ J.
3. Samochód może wjechać na szczyt góry po stromym, lecz prostym odcinku szosy lub po dłuższej drodze – serpentynami.
 - a) Co możesz powiedzieć o wysokości, na którą wjechał samochód w obu przypadkach?
 - b) W którym przypadku samochód na szczycie ma większą energię potencjalną?
4. Samochód o masie $m = 800$ kg, jadący z szybkością $v = 72$ km/h, uderzył w betonowy mur. Oblicz pracę wykonaną w czasie zderzenia samochodu z murem.
5. W chwilę po starcie szybkość sprinterki wzrosła od $0,5$ m/s do 2 m/s. Ile razy wzrosła jej energia kinetyczna?
6. Ciało A ma dwukrotnie większą masę niż ciało B. Ciało B ma dwukrotnie większą szybkość niż ciało A. Które z ciał ma większą energię kinetyczną? Ile razy? W celu uzasadnienia odpowiedzi wykonaj odpowiednie obliczenia.
7. Odszukaj w internecie informacje o polskich elektrowniach wiatrowych. Jaka jest typowa moc turbin stosowanych w tych elektrowniach?
8. Pocisk o masie $0,01$ kg, pędzący z szybkością 720 km/h, przebił drewniane drzwi i leci dalej z szybkością 180 km/h. Oblicz pracę, którą wykonał pocisk podczas przebijania drzwi.
9. Startujący samochód o masie 600 kg w ciągu 20 s uzyskał prędkość o wartości 108 km/h.
 - a) Oblicz energię kinetyczną samochodu po 20 s ruchu.
 - b) Oblicz, z jaką średnią mocą pracował silnik tego samochodu.
 - c) Jeśli samochód poruszał się w tym czasie ruchem jednostajnie przyspieszonym, to jaka była wartość jego przyspieszenia?
 - d) Ile razy mniejszą energię kinetyczną uzyskałby ten samochód, gdyby w ciągu 20 s ruchu jego szybkość wzrosła do 54 km/h?
- *10. Samolot o masie $100\,000$ kg leci z szybkością 720 km/h na wysokości 8 km nad Ziemią. Oblicz całkowitą energię mechaniczną samolotu.

Doświadczenie 1.

Porównujemy pracę wykonywaną przez ciała o różnej energii potencjalnej.

Potrzebne przedmioty: 2 kulki plasteliny o średnicy $1,5$ cm, 1 kulka plasteliny o średnicy $2,5$ cm, miseczka mąki, linijka o długości 30 cm.

Kolejne czynności:

- Potrząśnij miską, by dokładnie wyrównać powierzchnię mąki.
- Dużą kulkę oraz jedną z małych upuść swobodnie do mąki z wysokości 10 cm.
- Drugą małą kulkę upuść z wysokości 30 cm.
- Porównaj głębokości powstałych zagłębień.
- Na tej podstawie porównaj wykonaną przez kulki pracę i sformułuj wniosek dotyczący zależności wykonanej pracy od początkowej energii potencjalnej ciał.

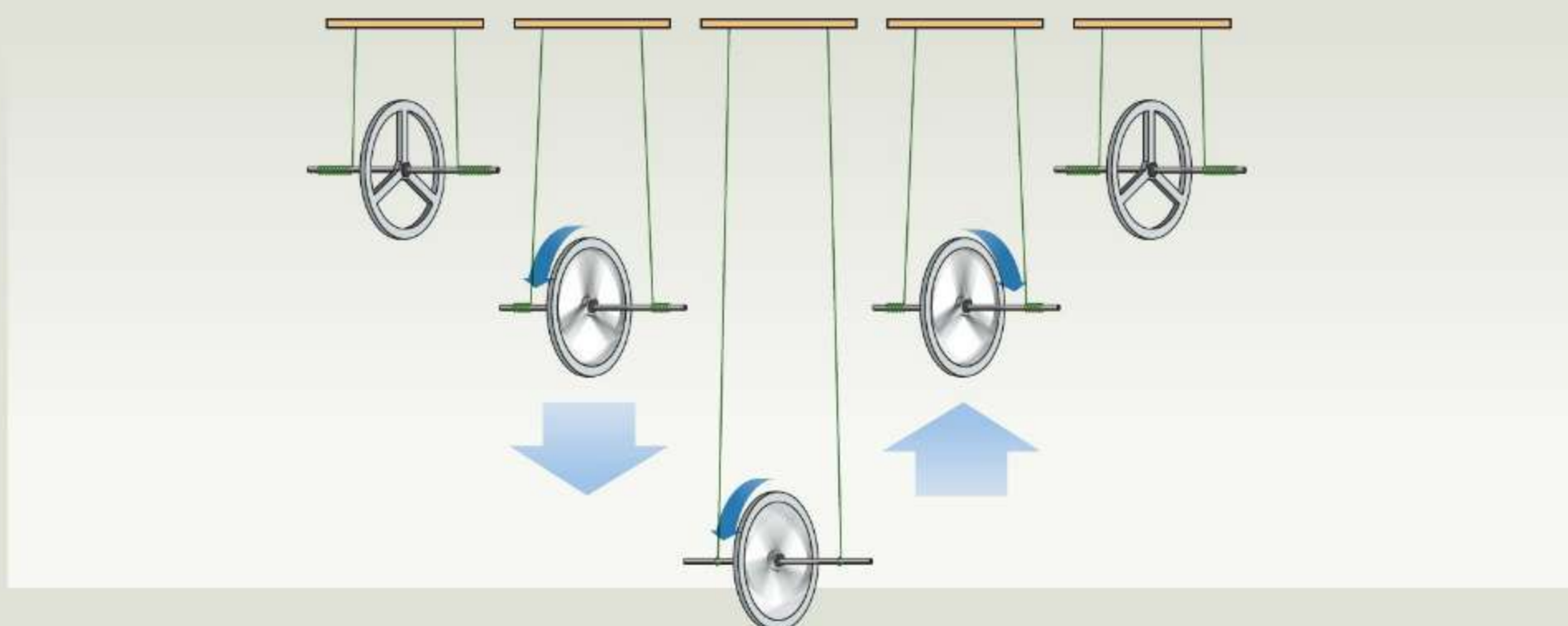
6.5 Zasada zachowania energii mechanicznej

Wokół nas stale zachodzą przemiany jednego rodzaju energii mechanicznej w drugi – kinetycznej w potencjalną lub odwrotnie – lub też przekazywanie energii pomiędzy różnymi ciałami. Gumowa piłeczka spadająca swobodnie na drewnianą podłogę odskakuje prawie na taką samą wysokość, z jakiej była puszczona. Ciężarek zawieszony na nitce i odchylony od pionu na niewielką wysokość dość długo wykonuje wahania, zanim powróci do początkowego położenia.

Doświadczenie 6.1

Obserwacja przemiany energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie.

Potrzebne przedmioty: koło Maxwella lub zabawka jo-jo, plastelina.



Kolejne czynności:

- Sznurki nawijamy równo na ośkę koła; przyklejamy kawałek plasteliny do obudowy na wysokości początkowego położenia osi.
- Uwalniamy koło i obserwujemy jego ruch, zwracając uwagę na szybkość wirowania.
- Obserwujemy uważnie zachowanie koła po dojściu do najniższego położenia.
- Z najniższego położenia koło zaczyna wracać w górę; nadal obserwujemy jego ruch, zwracając uwagę na szybkość wirowania.
- Zauważamy, jaka jest szybkość wirowania, gdy koło osiąga najwyższe położenie.
- Wykonujemy schematyczny rysunek doświadczenia (dwa położenia skrajne i dwa pośrednie), na którym w odpowiednich miejscach dopisujemy informację o szybkości wirowania: zerowa, mała, większa, największa.

Wynik: W chwili początkowej koło ma energię potencjalną grawitacji. W miarę jak opada, energia ta maleje, wzrasta za to energia kinetyczna. W najniższym położeniu koło obraca się najszybciej – energia potencjalna została całkowicie zamieniona na energię kinetyczną. W miarę „wspinania się” koła wzrasta jego energia potencjalna, natomiast koło wiruje coraz wolniej, czyli maleje jego energia kinetyczna. Gdy koło osiąga najwyższe położenie, zatrzymuje się i rozpoczyna drugi cykl ruchu, podobny do pierwszego.

Zamiana energii potencjalnej na kinetyczną ma miejsce również w przypadku swobodnego spadania ciał (rys.). Energia kinetyczna ciała tuż przed uderzeniem o podłoże (C) jest równa energii potencjalnej tego ciała w chwili początkowej, na wysokości h nad tym podłożem (A):

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

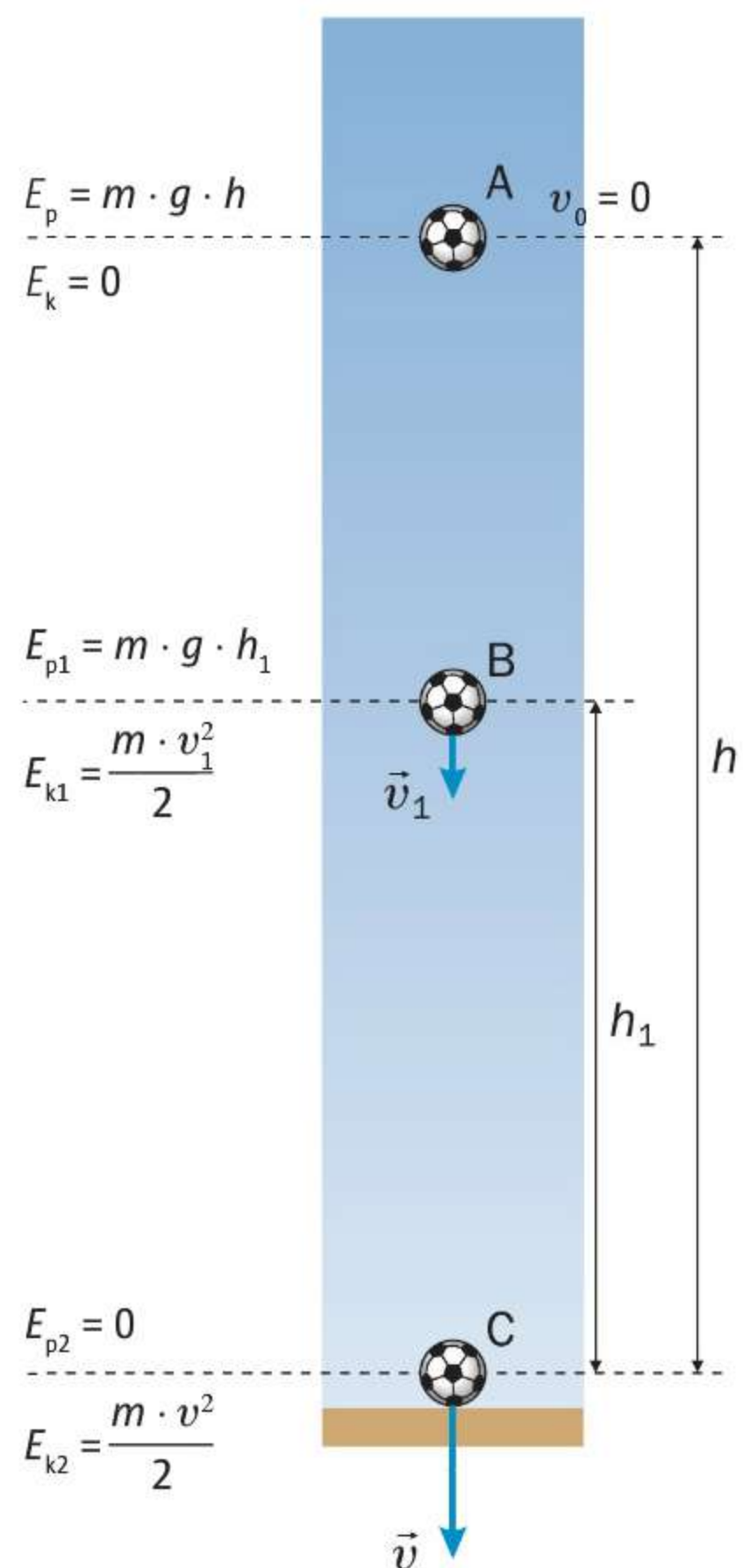
Podobne rozważania można byłoby przeprowadzić dla dowolnego położenia ciała w czasie jego swobodnego spadania. Przy obliczaniu dla tego położenia wartości energii kinetycznej i potencjalnej ciała można byłoby stwierdzić, że o tyle wzrosła energia kinetyczna ciała, o ile zmniejszyła się jego energia potencjalna. Jednak **suma obu tych energii dla dowolnego położenia jest taka sama**, jeśli pominiemy opór powietrza.

Stwierdzenie to wynika z **zasady zachowania energii mechanicznej**.

Dla spadającej piłki, w chwili gdy znajduje się ona na wysokości h_1 (B), zasada zachowania energii mechanicznej przyjmuje postać:

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2}m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m \cdot v^2$$

Gdy jednak spadającym ciałem jest np. kartka papieru, to siły oporu powietrza nie możemy pominąć. Energia kinetyczna kartki w chwili zetknięcia z Ziemią będzie mniejsza od jej energii potencjalnej w położeniu początkowym. Wobec tego gdy siła zewnętrzna wykonuje nad układem ciał pracę, zmienia się energia mechaniczna tego układu. Gdy mówimy o zasadzie zachowania energii, musimy ten fakt uwzględnić. Gdy ciało spada swobodnie (tzn. działa na nie tylko siła grawitacji, która jest siłą wewnętrzną w układzie Ziemia–ciało), to siły zewnętrzne są równe zero. Nie ma więc także pracy sił zewnętrznych, a więc nie następuje zmiana energii mechanicznej.





Napięty łuk ma energię potencjalną sprężystości, która po zwolnieniu cięciwy przez zawodniczkę przekształca się w energię kinetyczną strzały.

Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeśli pomiędzy ciałami układu działają siły grawitacyjne lub siły sprężystości, a siła zewnętrzna nie wykonuje pracy, to energia mechaniczna układu jest stała.

W takim przypadku mimo zmiany prędkości i wzajemnej odległości ciał tworzących układ jego energia mechaniczna (suma energii kinetycznej i potencjalnej) nie ulega zmianie.



Przykład 6.14

Po przejściu nad poprzeczką zawodniczka wykonująca skok wzwyż spada swobodnie. Oblicz wysokość (mierzoną od materaca), jaką osiągnęła sportsmenka, jeśli wylądowała na plecach i jej szybkość tuż przed dotknięciem materaca wynosiła $v = 6 \text{ m/s}$.

Dane: $v = 6 \text{ m/s}$

Szukane: h

Rozwiązanie:

W położeniu początkowym, czyli tuż nad poprzeczką, całkowita energia mechaniczna zawodniczki względem Ziemi, z którą tworzy układ ciał, jest równa jej energii potencjalnej:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Przed upadkiem na matę jej energia całkowita jest równa energii kinetycznej:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii zachodzi równość $E_p = E_k$, czyli:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Po podzieleniu obu stron równości przez m i przekształceniu otrzymujemy:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{36 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{20 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 1,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}} = 1,8 \text{ m}$$

Jak już wspomnieliśmy, między ciałami układu mogą działać – poza siłami grawitacji i sprężystości – także inne siły, np. opór powietrza i tarcie. Wówczas całkowita energia mechaniczna układu nie jest zachowana, a w przypadku występowania sił oporu energia ta maleje. Część energii mechanicznej ulega zamianie na inny rodzaj energii. Dlatego w odniesieniu do różnych urządzeń mechanicznych definiuje się tzw. **sprawność**. Sprawność określa w procentach iloraz wykonanej przez maszynę pracy (zwanej użyteczną) i dostarczonej do niej energii:

$$\text{sprawność maszyny} = \frac{\text{praca użyteczna wykonana przez maszynę}}{\text{energia dostarczona tej maszynie}} \cdot 100\%$$

Na przykład sprawność instalacji elektrowni Porąbka-Żar opisanej w rozdziale 6.3 wynosi 75%.

Przykład 6.15

Aby maszyna mogła wykonać pracę 800 J, należało jej dostarczyć energię równą 1000 J. Obliczmy sprawność tej maszyny.

Dane: $W = 800 \text{ J}$, $E = 1000 \text{ J}$

Szukane: sprawność maszyny

Rozwiązanie:

$$\text{sprawność} = \frac{800 \text{ J}}{1000 \text{ J}} \cdot 100\% = 0,8 \cdot 100\% = 80\%$$

Podsumowanie

1. Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeśli ciała układu oddziałują na siebie tylko siłami grawitacyjnymi lub sprężystości, a siła zewnętrzna nie wykonuje nad nimi pracy, to całkowita energia mechaniczna, czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej ciał tego układu, nie ulega zmianie.

2. Jeśli w układzie działają siły oporu ruchu, np. tarcie, opór powietrza, to energia mechaniczna układu maleje – nie jest zachowana.

Zadania i doświadczenia

1. Opisz przemiany energii mechanicznej:

- piłki rzuconej pionowo do góry (pomiń opór powietrza),
- huśtawki wykonującej ruch wahadłowy,
- układu proca–kamyk podczas wystrzelenia kamyka.



2. Olga rzuciła w górę piłkę z szybkością 10 m/s . Czy może ją złapać Zosia stojąca na balkonie na wysokości $4,5 \text{ m}$? Pomijamy opór powietrza.

3. Saneczkarz o masie 40 kg rusza ze stoku i jedzie z przyspieszeniem o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Sporządź wykresy zależności:

a) $v(t)$ dla ruchu tego saneczkarza,

b) $E_k(v)$ dla ruchu tego saneczkarza.

Przed wykonaniem wykresów sporządź w zeszycie pomocnicze tabele, takie jak poniżej. Wypełnij je.

$t \text{ (s)}$	0	1	2	3	4	5
$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	0	1	2			

$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	0	1	2	3	4	5
$E_k \text{ (J)}$	0	20	80			



c) Oblicz, z jakiej wysokości musiałaby spadać doniczka o masie 1 kg , by tuż przed uderzeniem w ziemię mieć taką samą energię kinetyczną jak saneczkarz po 2 s ruchu.

Podsumowanie

- Gdy wartość siły działającej na ciało jest stała i ciało porusza się w tę samą stronę, w którą zwrócona jest siła, to pracę obliczamy ze wzoru:

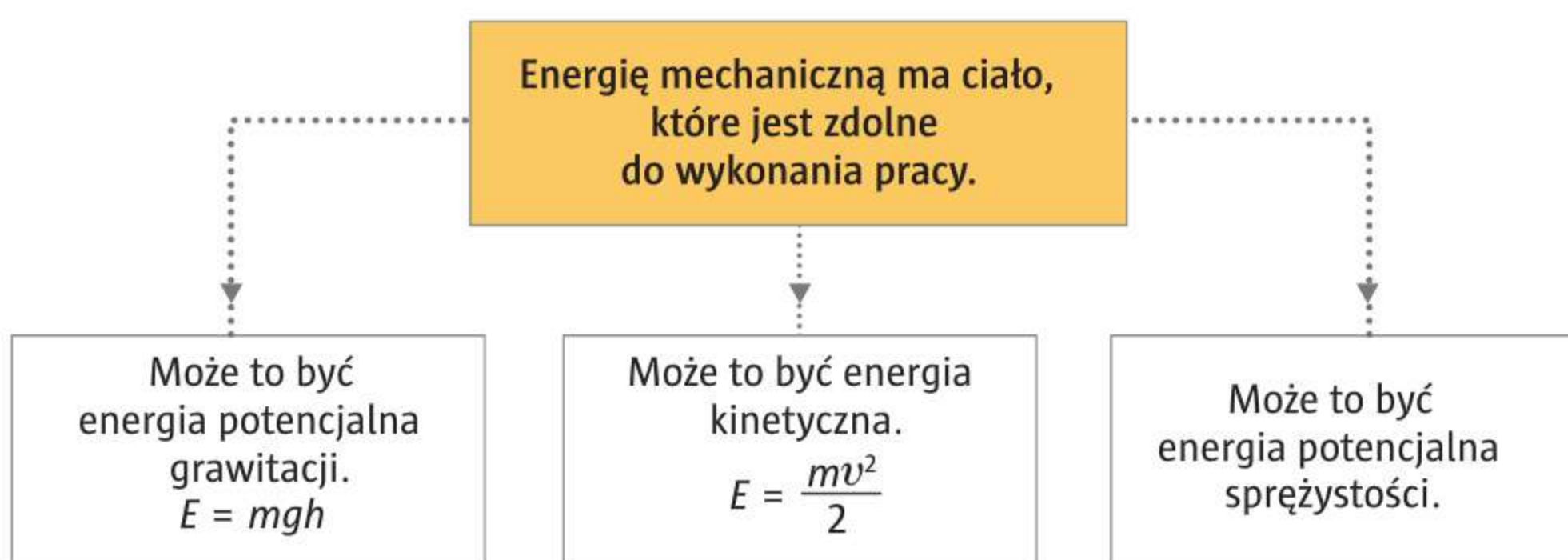
$$W = F \cdot s$$

Jednostką pracy jest džul: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$.

- Urządzenie, które w określonym czasie wykonuje pracę większą od pracy wykonywanej przez inne urządzenie, pracuje z większą mocą. Moc urządzenia obliczamy poprzez podzielenie pracy przez czas, w którym została wykonana:

$$P = \frac{W}{t}$$

Jednostką mocy jest wat: $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$.

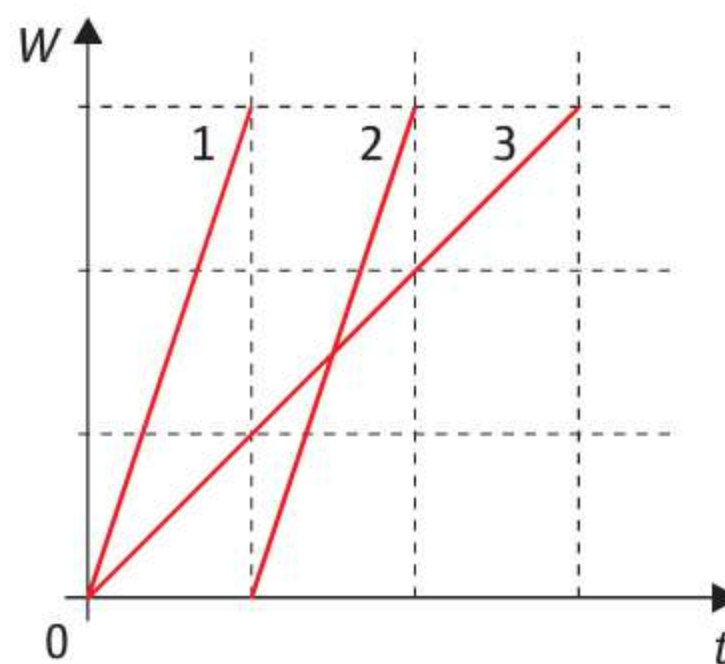


- **Zasada zachowania energii mechanicznej**

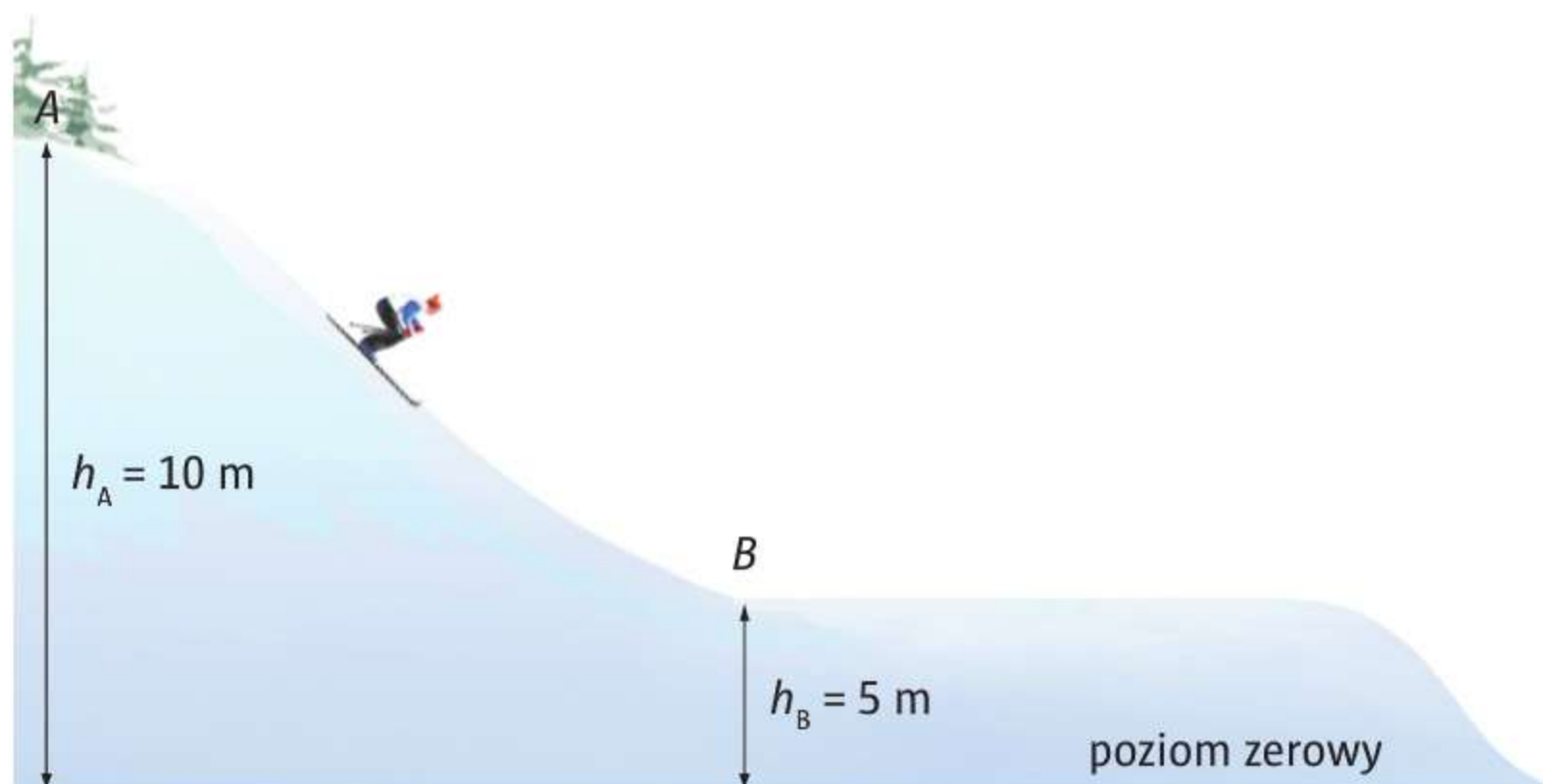
Jeśli ciała układu oddziałują na siebie tylko siłami grawitacyjnymi lub sprężystości, a siła zewnętrzna nie wykonuje nad nimi pracy, to całkowita energia mechaniczna, czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej ciał tego układu, nie ulega zmianie.

Sprawdź się

1. Ciężarowiec o wzroście 1,9 m podniósł z podłogi 120-kilogramową sztangę na wysokość 60 cm ponad swoją głowę i trzymał ją w tym położeniu przez 10 sekund. Ciężarowiec wykonał pracę równą
A. 300 J **B.** 3000 J **C.** 10,2 kJ **D.** 102 kJ
2. Zosia przeniosła plecak o masie 10 kg po poziomej ulicy na odcinku 100 m. Praca wykonana przez Zosię jest równa
A. 0 J **B.** 100 J **C.** 1000 J **D.** 10 000 J
3. Kacper ciągnął za kijek narciarski Zosię jadącą na nartach po poziomej ścieżce. W tym celu działał siłą o wartości 20 N na prostym odcinku o długości 50 m w czasie 25 s. Kacper wykonał pracę
A. 10 J **B.** 100 J **C.** 1000 J **D.** 10 000 J
4. Kacper podczas działania opisanego w zadaniu 3. pracował z mocą
A. 0,4 W **B.** 4 W **C.** 40 W **D.** 400 W
5. Dźwig unosi element budowlany o masie 100 kg na wysokość 20 m, pracując z mocą 1 kW w czasie
A. 10 s **B.** 20 s **C.** 30 s **D.** 40 s
6. Samochód ciągnie szybowiec na drodze 300 m, wskutek czego szybowiec zyskuje szybkość 36 km/h, co jednak nie wystarcza do wzbicia się w powietrze. Całkowita masa szybowca z pilotem wynosi 240 kg. Siła wypadkowa działająca na szybowiec ma wartość
A. 20 N **B.** 40 N **C.** 60 N **D.** 80 N
7. Wykres przedstawia zależność pracy od czasu jej wykonania dla trzech maszyn.
A. Praca wykonana przez wszystkie maszyny była taka sama i wszystkie maszyny pracowały z jednakową mocą.
B. Największą pracę wykonała maszyna 3. Ona pracowała z największą mocą.
C. Maszyny 1. i 2. pracowały z większą mocą niż maszyna 3., ale wykonały taką samą pracę jak maszyna 3.
D. Najmniejszą pracę wykonała maszyna 2., która pracowała z najmniejszą mocą.

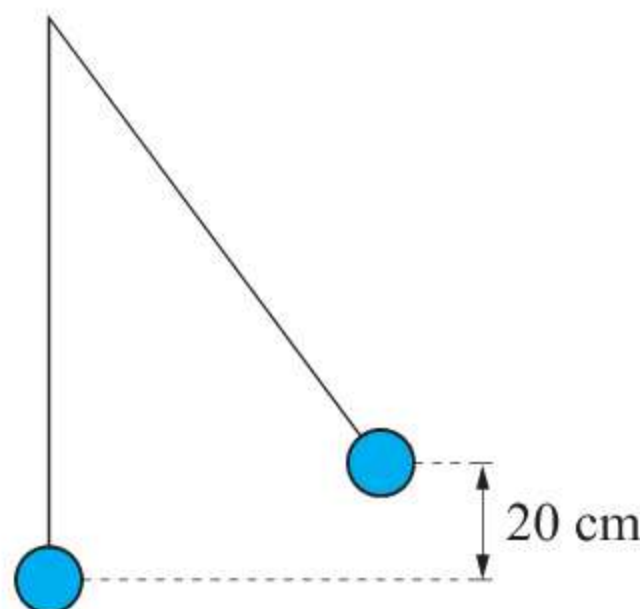


8. Jabłko spadło z wysokości 3,2 m. Tuż przy Ziemi osiągnęło szybkość
A. 6 m/s B. 8 m/s C. 10 m/s D. 12 m/s
9. Fragment stoku narciarskiego ma kształt pokazany na rysunku.



Narciarz wyruszył z punktu A i zjeżdża ze stoku. W punkcie B osiągnął szybkość (pomiń opory ruchu)

- A. 2 m/s B. 5 m/s C. 10 m/s D. 20 m/s
10. Energia potencjalna spadającego swobodnie kamienia
A. w każdej sekundzie ruchu zmienia się o tę samą wartość.
B. szybciej zmienia się na początku ruchu.
C. szybciej zmienia się przy końcu ruchu.
D. nie zmienia się wcale – przez cały czas pozostaje stała.
11. Samochód jedzie z prędkością o wartości 72 km/h. Z jakiej wysokości musiałoby spadać swobodnie ciało, aby tuż przed uderzeniem w ziemię uzyskać prędkość o takiej samej wartości?
A. 5 m B. 10 m C. 15 m D. 20 m
12. Nitkę z umocowaną na jej końcu kulą odchyłono tak, jak pokazuje rysunek, i puszczono. Szybkość kulki w jej najniższym położeniu jest równa
A. 2 m/s
B. 3 m/s
C. 4 m/s
D. 5 m/s



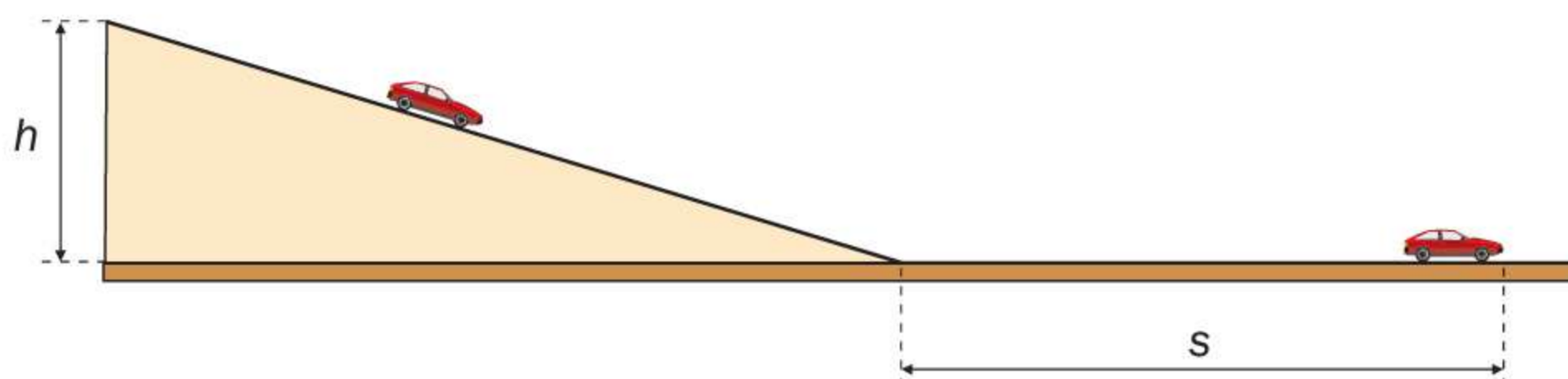
Zadania problemowe

Zadanie 1.

Na ciało o masie m pozostające początkowo w spoczynku działa stała siła o wartości F . Wyprowadź wzór na energię kinetyczną tego ciała po czasie t trwania ruchu.

Zadanie 2.

Samochód zabawka zjeżdża z uniesionego końca gładkiej deski. Chcesz sprawdzić, czy droga s przebyta przez samochodzik po poziomej powierzchni do zatrzymania się zależy od wysokości h , z której samochodzik zjeżdża po desce.



- Podaj przewidywany przez ciebie wynik doświadczenia (hipotezę) i uzasadnij go za pomocą odpowiedniego prawa fizycznego.
- Wymień przyrządy pomiarowe, których użyjesz w doświadczeniu.
- Wymień kolejne czynności, które wykonasz.
- Spośród wymienionych niżej stwierdzeń podkreśl prawdziwe. Uzasadnij swój wybór.

W czasie wykonywania doświadczenia nie należy zmieniać

- rodzaju nawierzchni, po której porusza się samochodzik.
- samochodzik na inny.
- kąta nachylenia deski do poziomu.



Zadanie 3.

Z powierzchni ziemi wyrzucono pionowo w górę ciało z prędkością o wartości 10 m/s. Na wysokości 3 m energia potencjalna tego ciała wynosiła 15 J. Oblicz energię kinetyczną ciała na tej wysokości.

Dodatek A. Siła nośna

Chęć latania towarzyszyła ludziom od najdawniejszych czasów. Świadczy o tym choćby grecki mit o Dedalu i Ikarze. Ostatecznie właśnie naśladowanie ptaków pozwoliło zrealizować to marzenie. Ludzie zbudowali samolot. Wiadomo, dlaczego lata balon i sterowiec (prawo Archimedes). Jednak dlaczego lata samolot? Znana ci siła wyporu jest za mała, żeby zrównoważyć ciężar samolotu. Przecież siła grawitacji powinna spowodować szybki upadek samolotu na Ziemię.

Spróbujmy wykonać proste doświadczenie.

Doświadczenie

Sprawdzamy prawo Bernoulliego⁹.

Potrzebne przedmioty: 2 kartki papieru formatu A4.

Kolejne czynności:

- Trzymaj 2 kartki papieru tak, by zwisały swobodnie pionowo obok siebie w odległości kilku centymetrów.
- Dmuchnij mocno od góry między kartki.



- Obserwuj zachowanie kartek.

Wynik: Ku swojemu zaskoczeniu zauważysz, że kartki zamiast oddalać się – przylegają do siebie.

Wniosek: Ciśnienie w obszarze szybko poruszającego się powietrza jest niższe od ciśnienia atmosferycznego. Siła parcia powietrza na kartkę jest więc mniejsza po stronie, po której powietrze się porusza, i kartki wyginają się w tę właśnie stronę.

⁹ Czytaj: bernuliego.

To zjawisko wyjaśnił w 1738 roku szwajcarski matematyk i lekarz Daniel Bernoulli.

Prawo Bernoulliego

W szybko poruszającym się strumieniu cieczy lub gazu (np. powietrza) panuje niższe ciśnienie niż w poruszającym się wolniej lub będącym w spoczynku.

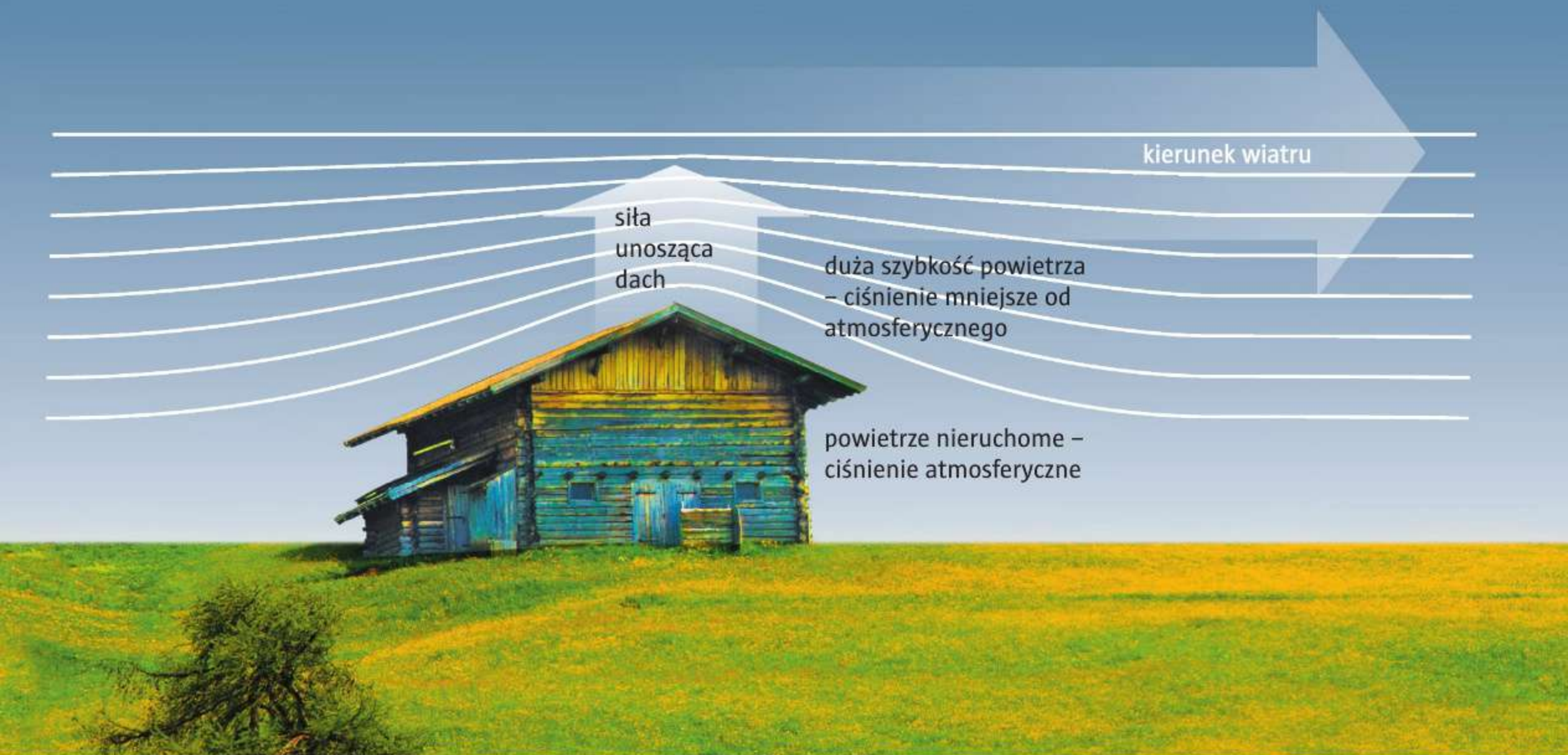
Takie zjawisko występuje np. w rurach o zmiennym przekroju poprzecznym. Płynąca w nich woda w zwężeniach ma większą szybkość i jej ciśnienie w tych obszarach jest mniejsze niż w obszarach o dużym przekroju poprzecznym.

Ale co wspólnego mają rury i wyginające się kartki papieru z samolotem? Otóż to samo zjawisko, które powoduje wyginanie kartek papieru, leży u podstaw zasady lotu zarówno ptaków, jak i samolotów. W przybliżeniu można to wytłumaczyć następująco. Kształt przekroju skrzydła jest taki, że nad jego górną powierzchnią powietrze napotyka rodzaj zwężenia, w którym porusza się względem samolotu szybciej niż powietrze pod skrzydłem. Dlatego ciśnienie nad powierzchnią górną jest mniejsze niż pod dolną, a więc siła parcia na powierzchnię dolną jest większa niż na górną. Siła wypadkowa jest więc zwrócona w górę. Jest to **siła nośna** utrzymująca samolot w powietrzu. Jest ona większa, gdy samolot porusza się z dużą szybkością.



Na lecący samolot działają więc siła grawitacji (ciężar samolotu) i siła nośna. To jednak jeszcze nie wszystkie siły. Działają także siła ciągu silników oraz siła oporu powietrza, która rośnie, gdy rośnie szybkość samolotu. Podczas startu samolot, jadący po pasie startowym, rozpędza się, w wyniku czego siła nośna rośnie. Gdy samolot rozpędzi się do odpowiedniej szybkości, jej wartość przekroczy ciężar maszyny. Samolot może wówczas oderwać się od pasa startowego. W czasie przelotu ze stałą szybkością na stałej wysokości siły te się równoważą. Siła nośna maleje, gdy maleje szybkość samolotu. Dlatego dla każdego samolotu istnieje pewna szybkość minimalna, poniżej której siła nośna nie może zrównoważyć jego ciężaru – wtedy samolot spada.

Podobnie działa siła powodująca zrywanie dachów podczas wichury. Pierwszym etapem zrywania jest unoszenie się dachu.



W przeciwieństwie do samolotu ptak nie ma silnika nadającego mu prędkość zwróconą do przodu. Ruch ku przodowi odbywa się głównie dzięki zjawisku podobnemu jak w szybowcu, czyli w samolocie bez napędu. Szybowiec w normalnym locie porusza się ukośnie: do przodu i w dół. Zachowuje się trochę jak wózek staczający się po pochyłości. Wskutek tego z wolna traci wysokość. Pilot szybowca szuka miejsc, w których powietrze unosi się do góry. Gdy krąży w takim tzw. kominie, odzyskuje wysokość, co pozwala mu dolecieć do następnego komina.

Ptaki, zwłaszcza duże, też wykorzystują kominy, ale nie są zdane wyłącznie na ich znalezienie. Dzięki ruchom skrzydeł mogą stopniowo się wznosić, co pozwala następnie na przelecenie długiego odcinka niemal poziomo. Podczas wznoszenia się (a zwłaszcza podczas startu, gdy szybkość jest zbyt mała, by zapewnić wystarczającą siłę nośną) machanie skrzydłami musi być szczególnie intensywne. Niektóre duże ptaki, np. albatrosy, aby wystartować, muszą zachowywać się podobnie jak samolot – nabierają rozpędu przez bieg po lądzie lub wodzie.



Dodatek B.

Poradnik matematyczny

Wielkości fizyczne tym różnią się od liczb, że ich wartości wyrażone są w jednostkach, czyli składają się z liczby i jednostki, np. 5 kg, 4 m, $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, 6 N.

Dodawanie i odejmowanie można tylko wielkości wyrażone w tych samych jednostkach.

Przykłady:

$$2 \text{ kg} + 7 \text{ kg} = 9 \text{ kg}, \quad 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad 20 \text{ m} - 15 \text{ m} = 5 \text{ m}.$$

We wszystkich obliczeniach działania na jednostkach – mnożenie i dzielenie – wykonuje się tak samo jak na liczbach.

Potęgowanie

$$1 \cdot 1 = 1^2 = 1$$

$$3 \cdot 3 = 3^2 = 9$$

$$1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = (1 \text{ m})^2 = 1 \text{ m}^2$$

$$2 \cdot 2 = 2^2 = 4$$

$$4 \cdot 4 = 4^2 = 16$$

$$4 \text{ s} \cdot 4 \text{ s} = (4 \text{ s})^2 = 16 \text{ s}^2$$

1^2 czytamy: jeden do kwadratu; 2^2 czytamy: dwa do kwadratu itd.

Działania na ułamkach

- Aby pomnożyć ułamek przez liczbę, należy pomnożyć jego licznik przez tę liczbę; mianownik pozostaje bez zmiany.

Przykłady:

$$\frac{2}{3} \cdot 4 = \frac{2 \cdot 4}{3} = \frac{8}{3}$$

$$4 \text{ N} \cdot \frac{1}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{4}{3} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \frac{4}{3} \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{4}{3} \text{ W}$$

- Aby pomnożyć ułamek przez ułamek, należy licznik jednego ułamka pomnożyć przez licznik drugiego ułamka i odpowiednio mianownik jednego ułamka pomnożyć przez mianownik drugiego.

Przykłady:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} = \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 3} = \frac{8}{9}$$

$$\frac{1}{3} \text{ kg} \cdot \frac{2}{5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{2}{15} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \frac{2}{15} \text{ N}$$

- Aby podzielić ułamek przez liczbę, należy pomnożyć go przez odwrotność tej liczby.

Przykłady:

$$\frac{2}{3} : 4 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6}$$

$$2 \frac{\text{m}}{\text{s}} : 3 \text{ s} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{3 \text{ s}} = \frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Aby podzielić ułamek przez ułamek, należy pierwszy ułamek pomnożyć przez odwrotność drugiego ułamka.

Przykłady:

$$\frac{2}{5} : \frac{3}{10} = \frac{2}{5} \cdot \frac{10}{3} = \frac{2 \cdot 10}{5 \cdot 3} = \frac{20}{15} = \frac{4}{3}$$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{1 \text{ km}}{1000} \cdot \frac{3600}{1 \text{ h}} = \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

- Aby podzielić liczbę przez ułamek, należy pomnożyć tę liczbę przez odwrotność ułamka.

Przykłady:

$$2 : \frac{4}{3} = 2 \cdot \frac{3}{4} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2}$$

$$\frac{120 \text{ km}}{60 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{120}{60} \frac{\text{km}}{\frac{\text{km}}{\text{h}}} = 2 \text{ km} \cdot \frac{\text{h}}{\text{km}} = 2 \text{ h}$$

Wielkości wprost i odwrotnie proporcjonalne

- Jeśli dwie wielkości (np. a i b) rosną równocześnie tyle samo razy, mówimy, że są to wielkości do siebie **wprost proporcjonalne**.

Przykład:

Wielkość	Obie wielkości wzrosły		
	2 razy	4 razy	5 razy
$a = 4 \text{ m}$	$4 \text{ m} \cdot 2 = 8 \text{ m}$	$4 \text{ m} \cdot 4 = 16 \text{ m}$	$4 \text{ m} \cdot 5 = 20 \text{ m}$
$b = 2 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 2 = 4 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 4 = 8 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 5 = 10 \text{ s}$

Podzielmy w każdym przypadku jedną wielkość przez drugą.

$$\frac{4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \frac{8 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \frac{16 \text{ m}}{8 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \frac{20 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Jak widać, **iloraz dwóch wielkości wprost proporcjonalnych jest zawsze taki sam**; mówimy, że jest **stały**.

$$\frac{a}{b} = \text{wartość stała}, \quad \frac{a}{b} = \text{const}$$

- Jeśli jedna wielkość maleje tyle samo razy, ile razy druga wzrasta, mówimy, że wielkości te są do siebie **odwrotnie proporcjonalne**.

Przykład:

Wielkość	Wielkość a zmalała, a wielkość b wzrosła		
	2 razy	4 razy	5 razy
$a = 100 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 2 = 50 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 4 = 25 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 5 = 20 \text{ m/s}$
$b = 2 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 2 = 4 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 4 = 8 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 5 = 10 \text{ s}$

Pomnóżmy w każdym przypadku jedną wielkość przez drugą.

$$100 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2 \text{ s} = 200 \text{ m},$$

$$50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4 \text{ s} = 200 \text{ m}$$

$$25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8 \text{ s} = 200 \text{ m},$$

$$20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} = 200 \text{ m}$$

Jak widać, **iloczyn dwóch wielkości odwrotnie proporcjonalnych jest zawsze taki sam**; mówimy, że jest **stały**.

$$a \cdot b = \text{wartość stała}, \quad a \cdot b = \text{const}$$

Przekształcanie wzorów

Podczas nauki fizyki poznasz kilka wzorów o takiej postaci, którą ogólnie można przedstawić jako:

$$c = \frac{a}{b}$$

Na przykład:

$$p = \frac{F}{S}, \quad d = \frac{m}{V}, \quad v = \frac{s}{t}, \quad a = \frac{F}{m}$$

Jeśli z któregoś z tych wzorów chcesz obliczyć wielkość, która jest w liczniku po prawej stronie równości (a), pomnóż obie strony równości przez tę wielkość, która jest w mianowniku (b):

$$c = \frac{a}{b} \quad | \cdot b, \quad c \cdot b = \frac{a \cdot \cancel{b}}{\cancel{b}} \Rightarrow a = c \cdot b$$

Jeśli chcesz teraz obliczyć b , podziel obie strony równości przez c :

$$a = c \cdot b \quad | : c, \quad \frac{a}{c} = \frac{\cancel{c} \cdot b}{\cancel{c}} \Rightarrow b = \frac{a}{c}$$

Odpowiedzi do zadań

1. Wykonujemy pomiary

1.1. Wielkości fizyczne, które mierzysz na co dzień

Strona	Zadanie	Odpowiedź
15	2	$8,25 \text{ m} = 82,5 \text{ dm} = 8250 \text{ mm} = 0,00825 \text{ km}$
15	3	$\Delta t = 12^\circ\text{C}$
16	6	$t = 17,23 \text{ s}$
16	8	$\frac{\text{liczba słów}}{\text{minuta}}$

1.2. Pomiar wartości siły ciężkości

Strona	Zadanie	Odpowiedź
23	1	Wartość, kierunek, zwrot, punkt przyłożenia.
23	2	Kierunek pionowy, zwrot w górę.
23	3	$F_c = 1 \text{ N}$
23	4	$F_c = 20 \text{ kN}$
23	7	Ziemia przyciąga powietrze stanowiące atmosferę.
23	8	Wektor o długości 2 cm, kierunek pionowy, zwrot w dół.

1.3. Wyznaczanie gęstości substancji

Strona	Zadanie	Odpowiedź
30	1	25 m^3 waży 25 razy więcej niż 1 m^3 ; 32,25 kg
30	3	$d = 17 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, nie
30	6	$d = 0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; Cieczą tą może być oliwa.

1.4. Pomiar ciśnienia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
37	2	Pod tłokiem powstaje prawie próżnia i ciśnienie atmosferyczne wypycha ciecz do strzykawki.
37	3	Jeśli powietrze nie może się dostać do pudełka, w miarę ubywania soku powietrze nad sokiem ma coraz mniejsze ciśnienie i słabiej wypycha sok do otworu, którym pijemy.
37	4	5 Pa, 100 Pa, 20 Pa, 10 Pa, 20 Pa, 100 000 Pa

1.5. Sporządzamy wykresy

Strona	Zadanie	Odpowiedź
41	1	Objętość wody w basenie po 2,5 h wynosi 20 m ³ .

Sprawdź się (s. 44)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	1.1	1	C
2	1.3	1	A
3	1.4	1	C
4	1.1	1	A
5	1.1	1	B
6	1.2	1	D
7	1.1	1	C
8	1.3	1	D
9	1.1	1	A
10	1.3	1	B
11	1.4	2	D
12	1.3	2	C

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
46	2	a) $F = 0,3 \text{ N}$

2. Niektóre właściwości fizyczne ciał

2.1. Trzy stany skupienia ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
51	3	Nie, gdyż ciecze nie są ściśliwe.

2.2. Zmiany stanów skupienia ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
56	2	Podczas liofilizacji zachodzi sublimacja.
56	6	Z cieczy podanych w tabeli 2.1 można zastosować tylko alkohol metylowy.

2.3. Rozszerzalność temperaturowa ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
61	2	Lepiej wykonać ze stali.
61	*4	$l = 1,003 \text{ m}$
61	*5	$1009,2 \text{ cm}^3$, $5007,15 \text{ cm}^3$, $2004,9 \text{ cm}^3$

Sprawdź się (s. 64)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	2.1	1	B
2	2.1	1	C
3	2.1	1	A
4	2.1	1	D
5	2.2	1	D
6	2.2	1	B
7	2.2	1	B
8	2.3	1	C
9	2.3	1	C
10	2.3	1	D
11	2.3	2	C
*12	2.3	2	D

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
66	1	a) Wzrośnie o tyle samo. b) Patrz doświadczenie 2.1.
66	2	a) $\Delta l = 6 \text{ mm}$; c) $l = 1,0015 \text{ m}$

3. Cząsteczkowa budowa ciał

3.1. Cząsteczkowa budowa ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
74	1	a) 309,6 K, b) 373 K, c) 273 K, d) 253 K, e) 117 K
74	2	a) -263°C , b) 0°C , c) 110°C , d) -20°C , e) -60°C
74	3	$\Delta T = 600 \text{ K}$, $\Delta t = 600^{\circ}\text{C}$

3.2. Siły międzycząsteczkowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
78	1	Siły spójności działające między cząsteczkami tłuszczu są większe od sił przylegania między cząsteczkami tłuszczu i wody.
79	dośw. 4	Wynik: Karta płynie, jakby miała napęd. Wniosek: W miejscu zetknięcia wody z mydłem cząsteczki oddalają się od siebie i te z nich, które poruszają się w stronę karty, popychają ją przed sobą.

3.3. Różnice w budowie ciał stałych, cieczy i gazów

Strona	Zadanie	Odpowiedź
82	2	Od mas cząsteczek i od ich „upakowania”.
82	4	Siły międzycząsteczkowe.

3.4. Gaz w zamkniętym zbiorniku

Strona	Zadanie	Odpowiedź
85	1	Rosną szybkości cząsteczek powietrza, które częściej i mocniej uderzają w ścianki dętki.
85	4	Należy podgrzewać puszkę otwartą lub przynajmniej nakłutą, gdyż wzrost temperatury powoduje w szczelnej puszcze wzrost ciśnienia.

Sprawdź się (s. 88)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	3.3	1	B
2	3.3	1	C
3	3.1	1	B
4	3.1	1	A
5	3.1	1	D
6	3.2	1	A
7	3.2	1	D
8	3.3	1	B
9	3.3	1	B
10	3.4	2	A

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
90	1	a) Zjawisko dyfuzji.

4. Jak opisujemy ruch?

4.1. Układ odniesienia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
94	3	1 C, 2 A, 3 B

4.2. Tor ruchu, droga

Strona	Zadanie	Odpowiedź
98	1	$\Delta x = x_2 - x_1 = 5 \text{ m}$
98	2	7 km

4.3. Ruch prostoliniowy jednostajny

Strona	Zadanie	Odpowiedź
103	2	a) W drugiej sekundzie 10 m, w ciągu 2 sekund 20 m. b) W piątej sekundzie 10 m, w ciągu 5 sekund 50 m. c) W dziesiątej sekundzie 10 m, w ciągu 10 sekund 100 m.
103	3	9 s
103	4	a) 0,5 s

4.4. Wartość prędkości w ruchu jednostajnym

Strona	Zadanie	Odpowiedź
109	3	W każdej sekundzie ciało przebywa drogę 2 m. W drugiej sekundzie przybędzie 2 m, a w ciągu dwóch sekund przebędzie 4 m.
109	4	8 minut 20 sekund
110	6	1700 m
110	9	$v_A = 600 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 167 \frac{\text{m}}{\text{s}}, v_B = 300 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
110	10	a) $P = ab = 2 \text{ min} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 40 \text{ m}$

4.6. Ruch zmienny

Strona	Zadanie	Odpowiedź
116	1	a) $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $14,065 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
116	2	Kraków–Bochnia: $48 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Bochnia–Brzesko: $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Brzesko–Tarnów: $37,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Kraków–Tarnów: ok. $45,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
117	6	a) chwilowe, b) jednakowe, c) różne
117	*7	a) $v_{\text{sr}} = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

4.7. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

Strona	Zadanie	Odpowiedź
120	2	a) W przypadku A szybkość nie wzrasta: $\Delta v = 0$. W przypadku B w każdej sekundzie przyrost $\Delta v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. b) $\Delta v = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

4.8. Przyspieszenie w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Strona	Zadanie	Odpowiedź
125	1	b) W chwili uderzenia o ziemię $v = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
125	2	$3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
125	3	$24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
125	4	$0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
125	5	To znaczy, że w każdej sekundzie szybkość wzrasta o $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

***4.9. Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym**

Strona	Zadanie	Odpowiedź
127	1	a) $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; b) Droga przebyta w czasie 2 sekund ruchu wynosi 12 m. c) Szybkość po 5 sekundach ruchu wynosi $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Droga przebyta w czasie 5 sekund ruchu wynosi 75 m.
127	2	20 s, 1 km
127	3	$0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, 900 m

4.10. Ruch jednostajnie opóźniony

Strona	Zadanie	Odpowiedź
129	2	4 s
129	3	4 s
129	*4	$100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Sprawdź się (s. 132)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	4.2	1	1 min, 8 m
2	4.3	1	0,8 km, 2,4 km, 4,8 km
3	4.7	1	10 m/s, 40 m/s
4	4.4	1	B
5	4.8	1	B
6	4.8	1	B
7	4.6	1	A
8	4.5	1	jednakowe, jednakowe, przeciwne
9	4.4	1	C

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
134	2	a) 100 m; b) $t_I = 50 \text{ s}$, $t_{II} = 75 \text{ s}$; c) jednostajnym; d) $v_I = 2 \text{ m/s}$, $v_{II} = 1,33 \text{ m/s}$; e) ok. 35 m
134	3	a) Nie spotkali się. c) $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

5. Siły w przyrodzie

5.1. Rodzaje i skutki oddziaływań

Strona	Zadanie	Odpowiedź
141	1	Sztanga z zawodnikiem – bezpośrednio; sztanga z Ziemią – na odległość.
141	2	Woda – wiosło, cięciwa – strzała.

5.2. Siła wypadkowa. Siły równoważące się

Strona	Zadanie	Odpowiedź
148	1	0 N, 80 N, 30 N
148	*2	W dół: ciężar i siła od młota; w górę: siła od podłoża.
149	3	Siła $\vec{F}_1$.
149	4	Dziewczyna działa na walizkę siłą równoważącą ciężar walizki: $F = 100$ N, kierunek pionowy, zwrot w górę. $F_{\text{wyp}} = 0$.

5.3. Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
154	1	Trzonek gwałtownie zatrzymuje się w chwili zetknięcia z podłożem, a obuch, wskutek bezwładności, porusza się dalej w tę samą stronę.
155	5	Bezpieczniej jest umieszczać bagaż na półce od strony lokomotywy. Rozważ sytuację, gdy pociąg gwałtownie hamuje.

5.4. Trzecia zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
159	3	W układzie odniesienia związanym z wodą oba obiekty są w ruchu – zbliżają się do siebie.
159	4	Przymocowana do motorówki śruba odpycha wodę do tyłu. Co więc dzieje się z motorówką?
159	dośw. 1	Wynik doświadczenia: W butelce wzrasta ciśnienie na skutek spalania par denaturatu. Gazy spalinowe wylatują w dół, a butelka porusza się w górę. Wniosek: Ścianki i dno butelki naciskają na gazy spalinowe siłami, których wypadkowa jest zwrócona w dół. Gazy spalinowe działają na butelkę siłami, których wypadkowa, zgodnie z trzecią zasadą dynamiki, jest zwrócona w górę.

5.5. Siła sprężystości

Strona	Zadanie	Odpowiedź
162	1	$x = 6 \text{ cm}$
162	2	$k = 0,5 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$

5.6. Siła oporu powietrza i siła tarcia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
168	2	Nie. Na Księżycu czas spadania obu ciał jest jednakowy.

5.7. Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne

Strona	Zadanie	Odpowiedź
174	5	Na poziomie morza – ok. 12,2 kN, na Kasprowym Wierchu – ok. 8,5 kN.
174	8	$p \geq 4600 \text{ hPa}$
174	9	Siła działająca na ekran ma wartość około 45 kN.

5.8. Siła wyporu

Strona	Zadanie	Odpowiedź
181	1	Zanurzenie zmniejszy się.
181	2	$F_{\text{wyp}} = 100\,000 \text{ kN}$, $V_{\text{zan}} = 10\,000 \text{ m}^3$
181	3	Należy znać gęstość ciała i cieczy.
181	6	$F_{\text{wyp}} = 0,27 \text{ N}$
181	7	Jeśli głębokość zanurzenia dolnej podstawy prostopadłościanu oznaczmy przez h , to do chwili całkowitego zanurzenia $F_{\text{wyp}} \sim h$. Potem wartość siły wyporu już nie wzrasta.
181	*8	$\frac{V_{\text{zan}}}{V} = 0,9$, więc $\frac{V_{\text{wyp}}}{V} = 0,1$

5.9. Druga zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
189	1	$m_1 = 50 \text{ kg}, m_2 = 20 \text{ kg}, \frac{m_1}{m_2} = 2,5$
189	2	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 12 \text{ kN}$
189	3	a) 3900 N ; b) $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
189	4	a) 400 N ; b) ok. $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Sprawdź się (s. 194)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	5.1	1	B
2	5.1	1	B
3	5.2	1	C
4	5.3	1	B
5	5.9	1	C
6	5.4	1	D
7	5.9	2	A
8	5.9	2	A
9	5.9	1	C
10	5.6	1	D
11	5.6	1	B
12	5.7	1	D
13	5.8	1	D
14	5.8	3	A

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
198	2	a) $6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; b) $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
198	3	Wraz ze wzrostem szybkości wzrasta wartość siły oporu powietrza i przy pewnej wartości v siła ciągu silnika i siła oporu się równoważą.
198	4	a) ciężar, siła wyporu; b) jednostajnie przyspieszony; c) $F_{\text{wyp}} = \text{const}$

6. Praca, moc, energia mechaniczna

6.1. Praca mechaniczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
203	1	4,8 kJ
203	2	2 m
203	3	zero
203	4	240 J, 400 J, 640 J

6.2. Moc

Strona	Zadanie	Odpowiedź
205	1	2000 W
205	2	Urządzenie A pracuje z większą mocą, bo w tym samym czasie wykonuje większą pracę niż urządzenie B.
205	3	$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v = 2,5 \text{ kW}$
205	4	1 KM = 750 W

6.3. Energia mechaniczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
210	2	$\Delta E = 100 \text{ J}$

6.4. Energia potencjalna i energia kinetyczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
215	1	150 J
215	2	200 kg
215	3	a) są jednakowe; b) są jednakowe.
215	4	160 kJ
215	5	$\frac{E_2}{E_1} = 16$
215	6	Ciało B – dwa razy.
215	8	187,5 J
215	9	a) 270 kJ; b) 13,5 kW; c) $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; d) 4 razy
215	*10	10 000 MJ

6.5. Zasada zachowania energii mechanicznej

Strona	Zadanie	Odpowiedź
220	2	Tak. Nadana piłce energia kinetyczna jest wystarczająca.
220	3	Z wysokości 8 m.

Sprawdź się (s. 222)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	6.1	1	B
2	6.1	1	A
3	6.1	1	C
4	6.2	1	C
5	6.2	1	B
6	6.4	2	B
7	6.2	1	C
8	6.5	1	B
9	6.5	2	C
10	6.5	1	C
11	6.5	1	D
12	6.5	1	A

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
224	1	$E_k = \frac{F^2 \cdot t^2}{2m}$
224	2	a) Wraz ze wzrostem h rośnie s . Korzystamy z zasady zachowania energii. d) A i B
224	3	$E_k = 10 \text{ J}$

Skorowidz

B

bezwładność 152

C

ciśnienie 32, 83, 170

ciśnienie atmosferyczne 34

ciśnienie hydrostatyczne 172

cząsteczkowa budowa ciał 81

cząsteczkowa budowa
materii 68

D

delta (Δ) 11

dokładność przyrządu 15

droga 96, 106, 126, 128

druga zasada dynamiki 186

dyfuzja 71

E

energia kinetyczna 213

energia mechaniczna 206

energia potencjalna 211

G

gęstość substancji 24

H

hipoteza 68

K

krzepnięcie 52, 53

M

masa 13

moc 204

N

napięcie powierzchniowe 76

niepewność pomiarowa 9, 42

O

oddziaływanie ciał 137

P

parowanie 52, 53

pierwsza zasada dynamiki 152

praca mechaniczna 201

prawo Archimedesesa 177

prawo Pascala 170

prędkość 111

proporcjonalność
odwrotna 185, 230

proporcjonalność prosta 22,
26, 100, 161, 184, 229

R

resublimacja 52, 55

rozszerzalność
temperaturowa 57

ruch opóźniony 118, 128

ruch prostoliniowy
jednostajny 99

ruch przyspieszony 118

S

siła ciężkości (ciężar) 19

siła oporu 163

siła parcia 32, 171

siła sprężystości 160

siła tarcia 164

siła wypadkowa 146

siła wyporu 175

siłomierz 20

siły międzycząsteczkowe 75

siły równoważące się 143

siły wewnętrzne
i zewnętrzne 140

skala Celsjusza 9

skala Fahrenheita 73

skala Kelvina 72

skraplanie 52

spadek swobodny 124, 188

sublimacja 52, 55

substancja 48

T

topnienie 52

tor ruchu 95

trzecia zasada dynamiki 156

U

układ odniesienia 92

W

wartość prędkości
(szybkość) 12, 104

wartość przyspieszenia 121, 129

wektor 19

wrzenie 54

względność ruchu 93

Z

zasada zachowania energii
mechanicznej 218

Źródła ilustracji i fotografii

Okładka: (piłka w koszu) bigstevemac/iStockphoto/Getty Images

Tekst główny: s. 7 (samochód sportowy) mevans/Getty Images; s. 8 (linijka) Grażyna Bryk i Małgorzata Kozioł/WSiP; s. 9 (termometr) ZamKor; s. 10 (termoskop w naczyniach z lodem i wodą) Stefan Drewiczewski, (termometr z galinstanem) m.bonotto/Shutterstock.com; s. 11 (klepsydra) Karramba Production/Shutterstock.com, (stoper) Fotografas Edgaras/Shutterstock.com, (zegar ścienny) monticello/Shutterstock.com; s. 12 (prędkościomierz do 240 km/h), (prędkościomierz do 180 km/h) ZamKor; s. 13 (waga z talerzykiem), (waga z dwoma talerzykami) ZamKor; s. 14 (waga laboratoryjna) Ryszard Piątkowski/WSiP, (komplet odważników) ZamKor; s. 16 (dzieci mierzące wysokość) ZamKor; s. 17 (ręce w miskach szklanych), (ręce w misce plastikowej) ZamKor; s. 18 (palec naciskający na środek gąbki), (palec naciskający na bok gąbki), (palec popychający gąbkę) ZamKor; s. 18–19 (magnes i stalowa strzałka 1–3) Stefan Drewiczewski; s. 19 (żółty samochód) Trimitrius/Shutterstock.com, (dom z cegły) Adam Vilimek/Shutterstock.com, (ilustr. samochód i dom) Stefan Drewiczewski; s. 20 (rozciąganie siłomierza) Stefan Drewiczewski; s. 21 (siłomierz z ciężarkami) ZamKor; s. 24 (waga ze szklanką cukru), (waga ze szklanką płatków śniadaniowych) ZamKor; s. 25 (klocki z różnych substancji) ZamKor; s. 32 (nogi w śniegu), (nogi w nartach na śniegu) ZamKor; s. 34 (ciśnieniomierz), (dwie przyssawki) ZamKor; s. 35 (ręka) Ninell/Shutterstock.com, (ilustr. siłomierz i ręka) Stefan Drewiczewski; s. 36 (nabieranie cieczy do pipety) ZamKor; s. 37 (nabieranie soku do strzykawki 1–2) ZamKor; s. 43 (cegła na piasku 1–2), (ślady cegły na piasku) ZamKor; s. 44 (menzurka), (skale termometru lekarskiego i okiennego) Stefan Drewiczewski; s. 47 (lód na wodzie) MrPhotoMania/Shutterstock.com, (góra lodowa) adike/Shutterstock.com; s. 48 (menzurki) Stefan Drewiczewski; s. 49 (rzeźbiarz wykuwający popiersie), (ciecz w naczyniach) ZamKor; s. 50 (ciecz w strzykawce), (powietrze w strzykawce), (sprężanie powietrza w strzykawce) ZamKor; s. 52 (jerzyk na niebie – para wodna) Vishnevskiy Vasily/Shutterstock.com, (woda) Warongdech/Shutterstock.com, (lód) Miss Aumada Yuenwong/Shutterstock.com, (sublimacja) Plus69/Shutterstock.com, (resublimacja) yanikap/Shutterstock.com, (schemat stanów skupienia) Stefan Drewiczewski; s. 53 (huta) Ju1978/Shutterstock.com; s. 54 (czajnik), (naczynie próżniowe) ZamKor, (przekrój naczynia) Stefan Drewiczewski; s. 55 (drzewa) kosik/Shutterstock.com; s. 57 (kulka na łańcuchu i pierścień 1–3), (ogrzewanie powietrza w butelce) ZamKor; s. 58 (diagram 1) Stefan Drewiczewski, (inwar) www.deangeliprodotti.com, (szkło) Cafe Racer/Shutterstock.com, (beton) Pollar SD/Shutterstock.com, (stal) MADDRAT/Shutterstock.com, (mosiądz) Premarnunt2536/Shutterstock.com, (aluminium) Khun Zaw Min Tun/Shutterstock.com, (ogrzewanie taśmy bimetalowej 1–2) ZamKor; s. 59 (wskaźnik wygięcia bimetalu) Stefan Drewiczewski, (przerwy dylatacyjne w konstrukcji mostu) ZamKor, (stalowe rolki w konstrukcji mostu) Grażyna Bryk/WSiP, (wygięte rury ciepłownicze) ZamKor; s. 60 (diagram 2) Stefan Drewiczewski; s. 67 (wrzątek na gazie) Roman Sigaev/Shutterstock.com, (budowa kryształu soli) eteimaging/Shutterstock.com, (łyżka z solą) Luiz Rocha/Shutterstock.com, (balon) ChrisGorgio/iStockphoto/Getty Images; s. 68 (Marian Smoluchowski) Narodowe Archiwum Cyfrowe; s. 69 (próbówki) Stefan Drewiczewski, (kasza i groch w menzurce), (kasza i groch w menzurce po wymieszaniu) ZamKor; s. 70 (fabryka z dymiącym kominem) Brina Blum/unsplash.com [licencja CC0 1.0], (samochody na ulicy) bibiphot/Shutterstock.com; s. 71 (szklanki z herbatą)) ZamKor; s. 75 (szkiełka) Stefan Drewiczewski; s. 76 (dziewczyna z mokrymi włosami), (dziewczyna z suchymi włosami) ZamKor, (nartnik) blickwinkel/Alamy/BE&W; s. 77 (napiecie powierzchniowe 1–2) ZamKor; s. 78 (talerz z rosołem) nada54/Shutterstock.com, (krople deszczu na szybie) Vstockphoto/Shutterstock.com, (dziewczynka puszczająca bańki) Patrick Foto/Shutterstock.com, (kropla wpadająca do wody) showcake/Shutterstock.com; s. 80 (modele cząsteczek) Stefan Drewiczewski; s. 83 (ciastko w otwartym naczyniu), (ciastko w naczyniu próżniowym) ZamKor; s. 84 (słoik z membraną), (słoik z membraną w gorącej wodzie) ZamKor; s. 85 (wazon z palącym się papierem), (wazon z jajkiem 1), (wazon z jajkiem 2) ZamKor; s. 88 (szklanka pod strumieniem wody) ZamKor; s. 91 (poklatkowe zdjęcie biegnącej dziewczyny) Mads Perch/Getty Images; s. 92 (sportowiec na wózku) John Kropewnicki/Shutterstock.com, (snowbordzista) Johannes Waibel/unsplash.com [licencja CC0 1.0]; s. 93 (kajak na rzece) ZamKor, (kula ziemiska) Egyptian Studio/Shutterstock.com, (ilustr. kula ziemiska) Stefan Drewiczewski; s. 94 (łódź płynąca we mgle) Alex Pix/Shutterstock.com, (pelikany na łodzi) GGRIGOROV/Shutterstock.com; s. 95 (droga wśród drzew) Linda Z/Shutterstock.com, (balony) Tatiana Popova/Shutterstock.com, (kręta droga) mec17/Shutterstock.com, (kolejka w lunaparku) Racheal Grazias/Shutterstock.com; s. 96 (piłka nożna) mtkang/Shutterstock.com, (ilustr. taśma i piłki) Stefan Drewiczewski; s. 99 (rurka z olejem i pęcherzykiem powietrza) ZamKor; s. 101 (żółw) Mr. SUTTIPON YAKHAM/Shutterstock.com;

s. 104 (gąsienica) neil hardwick/Shutterstock.com, (narciarz) Dudarev Mikhail/Shutterstock.com;
s. 107 (Usain Bolt sprinter) PCN Photography/Alamy/BE&W, (Lockheed SR-71 Blackbird samolot) U.S. Air Force;
s. 112 (piłka nożna) mtkang/Shutterstock.com, (samolot pasażerski) gmstockstudio/Shutterstock.com,
(ilustr. samolot) Stefan Drewiczewski; s. 114 (skuter śnieżny) Fotoillustrator/Shutterstock.com;
s. 116 (znak drogowy) Kaspri/Shutterstock.com; s. 117 (fotoradar) Golden Sikorka/Shutterstock.com,
(prędkościomierz) ZamKor; s. 118 (spływ pontonowy) Ammit Jack/Shutterstock.com, (równia pochyła)
ZamKor; s. 124 (startująca gęś) AndreAnita/Shutterstock.com; s. 128 (lądujący wahadłowiec) NASA/Jack Pfaller;
s. 135 (regaty jachtów) Meritzo/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 136 (magnes i szpilki), (linijka i papier),
(baloniki) Łukasz Opaliński; s. 137 (woda w basenie) Svetlana Turchenick/Shutterstock.com, (styropiany
z magnesami), (kulki na listwie 1) Łukasz Opaliński; s. 138 (kulki na listwie 2) Łukasz Opaliński;
s. 139 (drut i igła magnetyczna), (bateria z drutem i igła magnetyczna), (bateria z drutem), (bateria
z drutem i magnesem), (sekwencja z piłką) Łukasz Opaliński; s. 140 (cegła i gąbka), (sekwencja
z chłopcem na desce) Łukasz Opaliński; s. 141 (sztangista) Łukasz Opaliński, (wioślarze) Ververidis
Vasilis/Shutterstock.com, (łuczniczka) Iakobchuk Viacheslav/Shutterstock.com; s. 144 (magnesy na pręcie)
Łukasz Opaliński; s. 149 (dziewczyna siedząca) MJTH/Shutterstock.com, (autostopowiczka) Elnur/
Shutterstock.com; s. 151 (hokeista) Andrey Yurlov/Shutterstock.com, (sonda kosmiczna) Don Davis/NASA;
s. 153 (kulka pod pudełkiem) Łukasz Opaliński; s. 154 (młotki) Stefan Drewiczewski, (kolarz) ostill/
Shutterstock.com, (kamień) givaga/Shutterstock.com, (ilustr. kolarz i kamień) Stefan Drewiczewski;
s. 155 (sekwencja otwierania poduszki powietrznej) thieury/Shutterstock.com; s. 156 (magnesy na wadze)
Łukasz Opaliński; s. 157 (magnesy na pręcie) Stefan Drewiczewski; s. 159 (chłopiec na desce),
(przeciąganie deski na wodzie) Łukasz Opaliński; (motorówka) Hellen Nell/Shutterstock.com, (śruba)
donvictorio/Shutterstock.com; s. 161 (dziewczyna uprawiająca fitness) Samo Trebizan/Shutterstock.com;
s. 162 (cegła na gąbce) Łukasz Opaliński; s. 163 (chłopiec) Łukasz Opaliński; s. 164 (spadochroniarz)
Ensuper/Shutterstock.com, (ręka) Oliver toledo/Shutterstock.com; s. 168 (walka sumo) Thanapun/
Shutterstock.com; s. 170 (strzykawka i piłeczka) Łukasz Opaliński; s. 173 (naczynie z cieczą) Stefan
Drewiczewski; s. 174 (rurka z wodą) Łukasz Opaliński; s. 175–177 (naczynie z wodą i siłomierz)
Łukasz Opaliński; s. 180 (balon) Tharin Sinlapachai/Shutterstock.com; s. 183 (waga laboratoryjna) Ryszard
Piątkowski/WSiP, (ilustr. waga i siłomierz) Stefan Drewiczewski; s. 199 (sekwencja skoku o tyczce)
© Marie-Lan Nguyen/Wikimedia [licencja CC-BY 3.0]; s. 200 (holownik z barkami) romakoma/
Shutterstock.com, (zapora wodna) Ingram Publishing/ThETA, (bejsboliści) Aspen Photo/Shutterstock.com;
s. 204 (koszenie kosą) M. Cornelius/Shutterstock.com, (kombajn) Vasilyev Alexandr/Shutterstock.com;
s. 207 (sztuczny zbiornik na górze Żar) borzywoj/Shutterstock.com; s. 208 (kafar, budowa Stadionu
Narodowego w Warszawie) dzięki uprzejmości firmy AARSLEFF; s. 209 (walizka) donatas1205/
Shutterstock.com; s. 211 (wędkarz) Dudarev Mikhail/Shutterstock.com; s. 213 (wiatrak) Jason Blackeye/
unsplash.com [licencja CC0 1.0], (kitesurfer) Flash Bros/unsplash.com [licencja CC0 1.0]; s. 218 (łuczniczka)
Diego Barbieri/Shutterstock.com; s. 225 (chłopiec) Łukasz Opaliński; s. 226 (siła nośna skrzydła) Stefan
Drewiczewski; s. 227 (chata na hali) Simon Dannhauer/Shutterstock.com, (przepływ powietrza) Stefan
Drewiczewski, (startujący albatros) Andrew M. Allport/Shutterstock.com

Pozostałe ilustracje: Katarzyna Mentel

Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że podjęły starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępują zgodnie z art. 27¹ ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że są jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w wypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

FIZYKA

Świat fizyki

O podręczniku



Strony działowe wprowadzają do zagadnień omawianych w danym dziale.



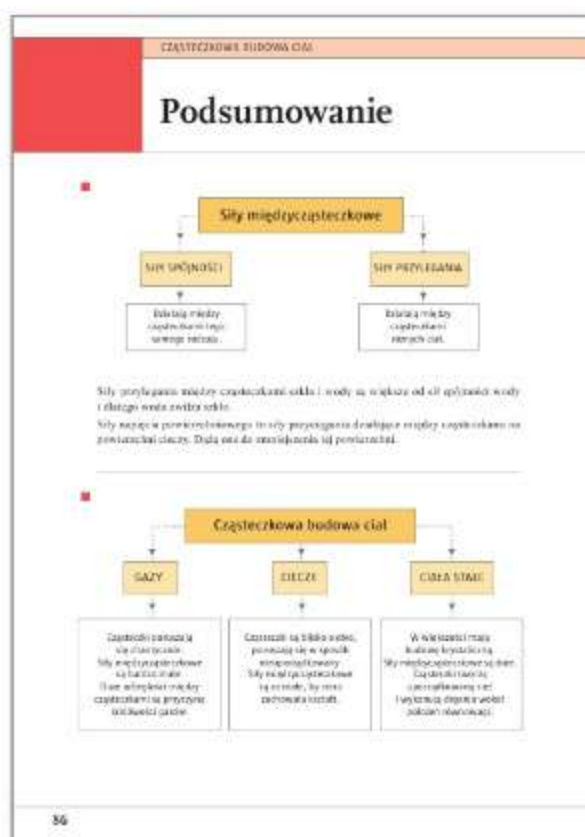
Doświadczenia pomagają wykształcić umiejętność stawiania hipotez i wyciągania wniosków.



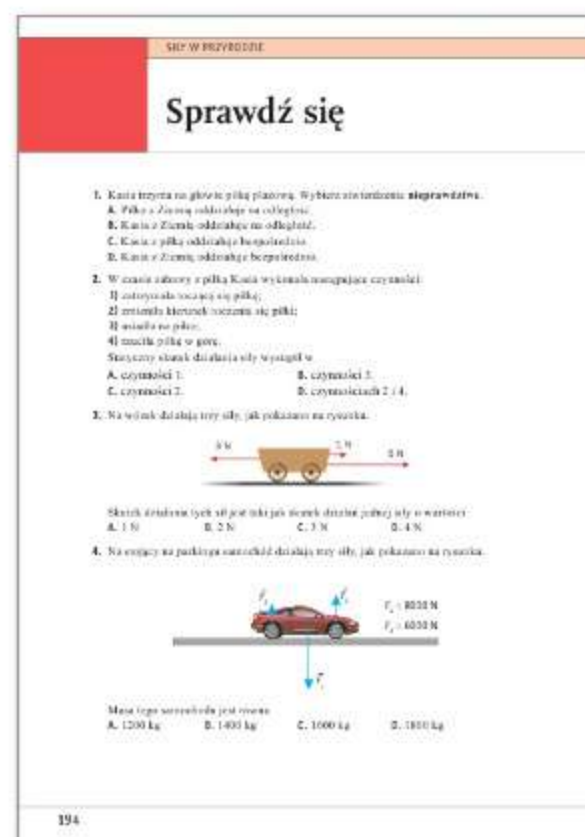
Przykłady rozwiązane w podręczniku ułatwiają pokonywanie trudności rachunkowych.



Zadania i doświadczenia pozwalają wyćwiczyć umiejętności określone w podstawie programowej.



Podsumowanie na końcu każdego działu pomaga w powtórzeniu najważniejszych treści.



Sprawdź się to zadania zamieszczone na końcu każdego działu – służą utrwaleniu materiału.



WYDAWNICTWA
SZKOLNE
I PEDAGOGICZNE

wsip.pl
sklep.wsip.pl
infolinia: 801 220 555