

NOWOŚĆ
2026

FIZYKA

Świat fizyki

podręcznik



7

 WSiP

szkoła podstawowa

Cyfrowe odzwierciedlenie podręcznika

 EDURANGA

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

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki, na podstawie opinii rzeczoznawców:

dr Marty Koplejewskiej, dr. hab. Władysława Błasiaka, dr. Jarosława Łachnika

Etap edukacyjny: II

Typ szkoły: szkoła podstawowa

Rok dopuszczenia: 2026

Numer ewidencyjny w wykazie:

Podręcznik wpisany do wykazu podręczników MEN dopuszczonych do użytku szkolnego, uwzględniających podstawę programową kształcenia ogólnego określoną w rozporządzeniu z dnia 14 lutego 2017 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 356, z 2018 r. poz. 1679, z 2021 r. poz. 1533, z 2022 r. poz. 609 i 1717, z 2023 r. poz. 312 i 1759, z 2024 r. poz. 996 oraz z 2025 r. poz. 378).

Niniejszy podręcznik podlega ochronie na podstawie prawa autorskiego. Zabrania się jakiegokolwiek wykorzystywania, w tym analizowania i kopiowania tego podręcznika, przy użyciu systemów sztucznej inteligencji.

© Copyright by Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne
Warszawa 2017

Wydanie VI zmienione, 1/2026

ISBN 978-83-02-23409-5 podręcznik w formie elektronicznej

ISBN 978-83-02-23328-9 podręcznik w formie papierowej

Opracowanie merytoryczne i redakcyjne: **Agnieszka Drzazgowska, Zuzanna Ludwiczak, Marta Buza**

Redakcja językowa: **zespół**

Redakcja techniczna: **Agnieszka Przysańska**

Projekt okładki, projekt graficzny: **Ewa Pawińska**

Opracowanie graficzne: **Stefan Drewiczewski, Marta Staniszevska**

Fotoedycja: **Ignacy Skłodowski**

Skład i łamanie: **MathMaster Studio**

Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna

00-807 Warszawa, Aleje Jerozolimskie 96

KRS: 0000595068

Infolinia: **801 220 555**

www.wsip.pl

Wyprodukowano w Polsce

Spis treści

Jak korzystać z podręcznika	5
Wstęp	6
Projekt	7
1. Wykonujemy pomiary	9
1.1. Wielkości fizyczne, które mierzysz na co dzień	10
1.2. Pomiar wartości siły ciężkości	18
1.3. Wyznaczanie gęstości substancji	24
1.4. Pomiar ciśnienia	32
1.5. Sporządzanie wykresów	39
Podsumowanie	42
Sprawdź się	45
2. Cząsteczkowa budowa ciał	47
2.1. Trzy stany skupienia ciał	48
2.2. Zmiany stanów skupienia ciał	52
2.3. Cząsteczkowa budowa ciał	57
2.4. Siły międzycząsteczkowe	62
2.5. Różnice w budowie ciał stałych, cieczy i gazów	66
2.6. Gaz w zamkniętym zbiorniku	69
Podsumowanie	72
Sprawdź się	74
Tekst popularnonaukowy <i>Rozszerzalność temperaturowa</i>	77
3. Jak opisujemy ruch?	79
3.1. Układ odniesienia	80
3.2. Tor ruchu, droga	83
3.3. Ruch jednostajny	87
3.4. Szybkość w ruchu jednostajnym	91
*3.5. Prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym	97
3.6. Ruch zmienny	100
3.7. Ruch jednostajnie przyspieszony	104
3.8. Przyspieszenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym	107
3.9. Ruch jednostajnie opóźniony	112
Podsumowanie	114
Sprawdź się	117
4. Siły w przyrodzie	119
4.1. Rodzaje i skutki oddziaływań	120
4.2. Siła wypadkowa. Siły równoważące się	126
4.3. Pierwsza zasada dynamiki Newtona	133
4.4. Trzecia zasada dynamiki Newtona	138
4.5. Siła sprężystości	142
4.6. Siła oporu powietrza i siła tarcia	145
4.7. Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne	149

4.8. Siła wyporu	155
4.9. Druga zasada dynamiki Newtona	164
Podsumowanie	170
Sprawdź się	173
Tekst popularnonaukowy <i>Dlaczego samoloty mogą latać?</i>	177
 5. Praca, moc, energia mechaniczna	179
5.1. Praca mechaniczna	180
5.2. Moc	184
5.3. Energia mechaniczna	186
5.4. Energia potencjalna i energia kinetyczna	190
5.5. Zasada zachowania energii mechanicznej	195
Podsumowanie	199
Sprawdź się	201
 Dodatek. Poradnik matematyczny	203
Tabele	206
Odpowiedzi do zadań	208
Skorowidz	221
Źródła ilustracji i fotografii	222

Jak korzystać z podręcznika

W trakcie lekcji

W ramce wyróżniono najważniejsze pojęcia w temacie.

Przykład 1.1

Przeanalizowanie przykładów pozwoli ci zapoznać się z metodami rozwiązywania zadań.

Twoja kolej! ➡ zad. 3 s. 23

Doświadczenie 1.1

Wykonywanie doświadczeń pomoże ci lepiej zrozumieć omawiane zagadnienia.

Czy wiesz że...

Ciekawostki wykraczające poza podstawę programową poszerzą twoją wiedzę.

Na koniec lekcji

To ważne!

Tu znajdziesz najważniejsze informacje z danego tematu, które powinieneś zapamiętać.

Zadania i doświadczenia

Na końcu tematu znajdziesz różnorodne zadania i doświadczenia, które umożliwią Ci przećwiczenie i utrwalenie zagadnień omówionych podczas lekcji.

Na koniec działu

WYKONUJEMY POMIARY

Podsumowanie

Najważniejsze treści z danego działu, które warto powtórzyć przed sprawdzianem.

WYKONUJEMY POMIARY

Sprawdź się

Test do samodzielnego sprawdzenia swojej wiedzy.

Dodatki

Poradnik matematyczny

Tekst popularnonaukowy

Odpowiedzi

Projekt

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

Wstęp

Drodzy Uczniowie,

witajcie w świecie fizyki, z którą spotykacie się codziennie, chociaż być może nie zdajecie sobie z tego sprawy.

Fizyka to nauka, która pomaga zrozumieć, jak działa wszystko, co nas otacza! Na pewno ciekawi Was:

- dlaczego samolot może latać;
- jak to możliwe, że możecie rozmawiać przez telefon komórkowy z osobą znajdującą się tysiące kilometrów od Was;
- skąd biorą się dźwięk, światło czy prąd elektryczny.

Na te i wiele innych pytań odpowiada właśnie fizyka.

Ale nie wszystko naraz. To Wasz pierwszy rok nauki fizyki, więc zaczniemy od podstaw. Dowiedziecie się, jak obserwować zjawiska, mierzyć różne wielkości fizyczne i wyciągać wnioski z doświadczeń. Poznacie pojęcia takie jak siła, energia, ruch, temperatura czy ciśnienie.

Mamy nadzieję, że fizyka stanie się dla Was nie tylko szkolnym przedmiotem, lecz także sposobem patrzenia na świat. Zachęcamy, abyście obserwowali własne otoczenie oczami badacza – z ciekawością i chęcią odkrywania. Pomoże Wam w tym projekt uczniowski, opisany na następnych stronach.

Życzymy powodzenia!
Barbara Sagnowska

Projekt

1. Cele projektu

Celem projektu jest pokazanie, jak ważna jest fizyka w codziennym życiu. Dzięki niemu odkryjecie, że zjawiska fizyczne towarzyszą nam w każdej sytuacji i w każdej chwili – w domu, szkole, podróży, podczas odpoczynku lub uprawiania sportu.

Fizyka jest naprawdę wszędzie

– z pewnością nie będziecie mieć więc problemów, aby ją dostrzec. Oto kilka przykładów:



Działanie mydła i detergentów



Skraplanie wody



Pomiar czasu biegu



Pływanie ciał



Przemiany energii podczas zjazdu na nartach



Siła nacisku wywierana przez ostrze noża podczas krojenia warzyw

2. Przebieg projektu

Projekt będziecie realizować w dwóch etapach przez całą klasę 7 szkoły podstawowej.

Waszym zadaniem będzie rozpoznawanie w otoczeniu zjawisk fizycznych omawianych na kolejnych lekcjach fizyki oraz dokumentowanie obserwacji. Nowe słowa – pojęcia fizyczne – pomogą wam w opisie tych zjawisk. Obserwacje powinny dotyczyć waszego codziennego życia. Możecie również przeprowadzić doświadczenia zaproponowane w podręczniku lub

pochodzące z innych źródeł. Projekt wykonujcie w zespołach kilkuosobowych. Wybierzcie lidera czuwającego nad pracą zespołu.

Potraktujcie zaobserwowane zjawiska jako inspiracje do przeprowadzenia własnych doświadczeń, które pozwolą wam dogłębniej poznać wybrane prawa fizyki. Zdecydujcie, jakie zależności chcielibyście badać, wybierzcie przedmioty potrzebne do przeprowadzenia eksperymentów i zaplanujcie dalsze działania.

3. Propozycje zagadnień

W pierwszym półroczu zwróćcie szczególną uwagę na:

- pomiary takich wielkości fizycznych jak czas, temperatura, masa czy długość, oraz przyrządy, które służą do tych pomiarów;
- skutki istnienia ciśnienia atmosferycznego;
- zmiany stanów skupienia;
- rozszerzalność temperaturowa;
- sposoby zwiększania i zmniejszania ciśnienia;
- zjawiska potwierdzające cząsteczkową budowę ciał;
- różnice między ciałami stałymi, cieciami a gazami;
- różne rodzaje ruchu, które możecie obserwować w swoim otoczeniu.

W drugim półroczu zwróćcie szczególną uwagę na:

- różne rodzajach sił występujących w przyrodzie;
- warunki pływania ciał;
- przemiany energii mechanicznej w codziennym życiu;
- skutki działania na ciało sił.

4. Dokumentowanie wyników

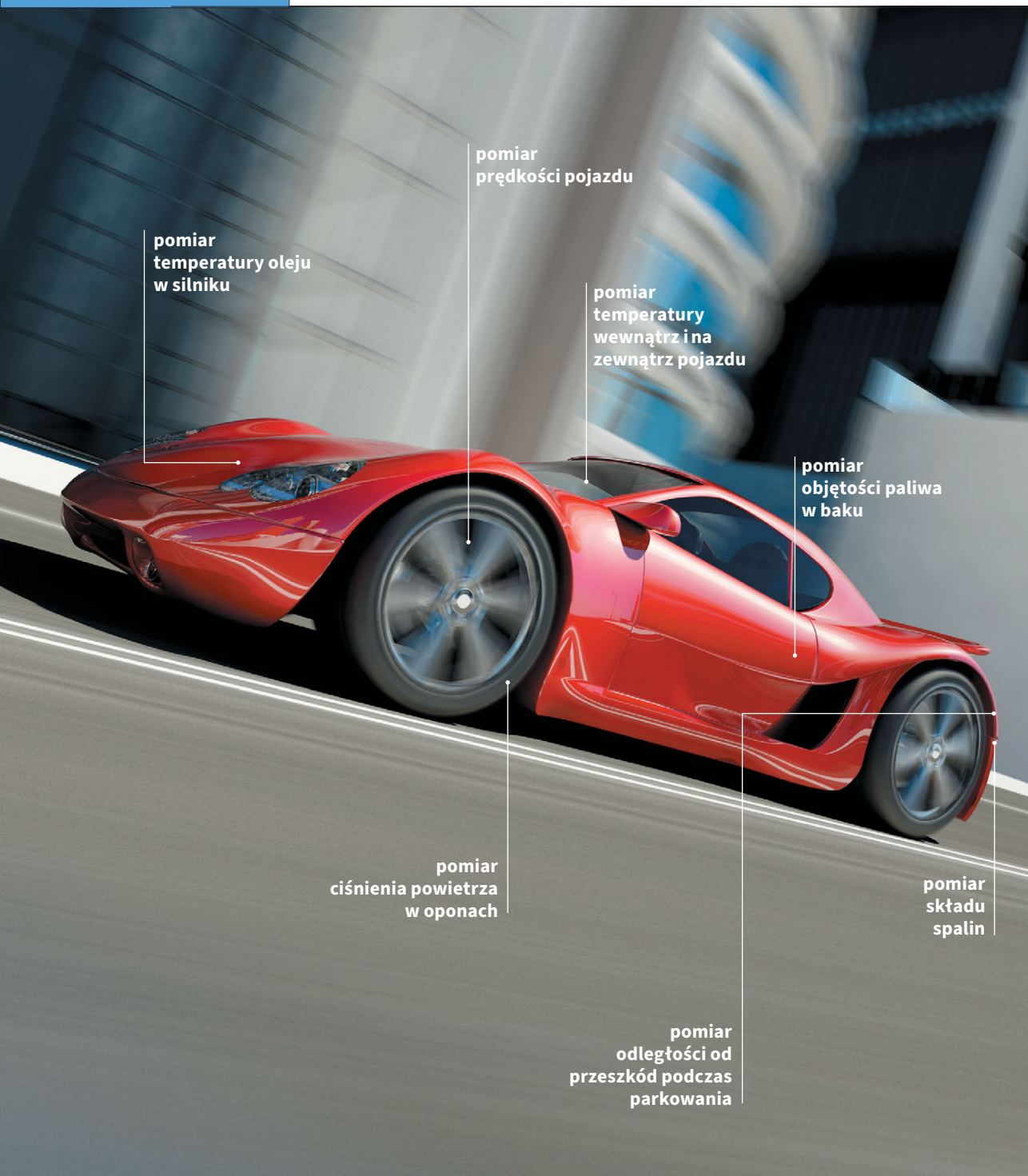
Dokumentujcie wyniki. W tym celu najlepiej założyć przechowywany przez lidera zespołu dziennik, w którym będziecie gromadzić opisy obserwacji i doświadczeń. Róbcie zdjęcia i nagrywajcie filmiki, aby móc zaprezentować zauważone zjawiska. Na bieżąco przedyskutujcie spostrzeżenia i zapisujcie wyjaśnienia tego, co zaobserwowaliście. A opisując je, wspierajcie się podręcznikiem i wiedzą z lekcji fizyki, ale też szukajcie informacji w internecie oraz innych źródłach.

5. Prezentacja wyników

Na zakończenie każdego półroczu zaprezentujcie pozostałym uczniom w klasie wyniki waszej pracy. W tym celu możecie przygotować plakat (którego treść należy omówić w trakcie prezentacji), prezentację multimedialną lub pokaz doświadczeń na żywo. W prezentowaniu wyników powinni uczestniczyć wszyscy członkowie zespołu. Nauczyciel zdecyduje, ile czasu powinna trwać prezentacja oraz w jaki sposób oceni waszą pracę.

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
składu
spalin

pomiar
odległości od
przeszkód podczas
parkowania

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 tylko 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

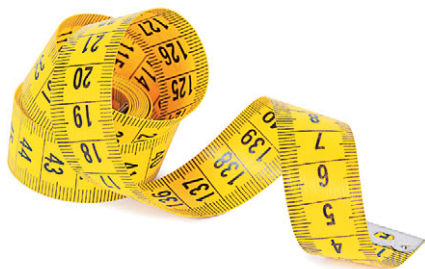
Długość obiektu (np. długość pokoju, ołówka) i odległość (np. między miejscowościami) ustalamy za pomocą dalmierzy laserowych, taśm mierniczych, linijek lub liczników kilometrów, które mierzą długość trasy przebytej przez pojazd. Długość i odległość wyrażamy najczęściej w milimetrach, centymetrach, metrach lub kilometrach. Podstawową jednostką długości jest 1 metr. Najczęściej używanym do mierzenia przyrządem jest linijka.



Rys. 1.1. Linijka służy do pomiaru długości

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 jest obarczony **niepewnością pomiarową**. Wystarczy np. pod nieco zmienionym kątem spojrzeć na skalę przyrządu, by odczytać inny wynik.

Kolejnym 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.



Rys. 1.2. Centymetr krawiecki

Aby uzyskać wynik najbliższy rzeczywistej szerokości książki, należy pomiar wykonać kilka razy, dodać wyniki, a następnie podzielić sumę przez liczbę pomiarów. Tym sposobem otrzymamy znaną ci z lekcji matematyki **średnią arytmetyczną** mierzonej wielkości. Gdyby z dzielenia wyszło nam 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 wykonywalibyśmy każdy pomiar tą linijką. Wartość 23,4 cm byłaby w tym przypadku najbliższa rzeczywistej szerokości książki.

Przykład 1.1

Troje uczniów zmierzyło 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.

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

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

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, to wynik zaokrąglilibyśmy do 3,0 cm.

Pomiar temperatury

Często, zanim rano zdecydujesz, w co się ubrać, sprawdzasz prognozę pogody w telefonie lub stacji pogodowej albo 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 uczonec 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

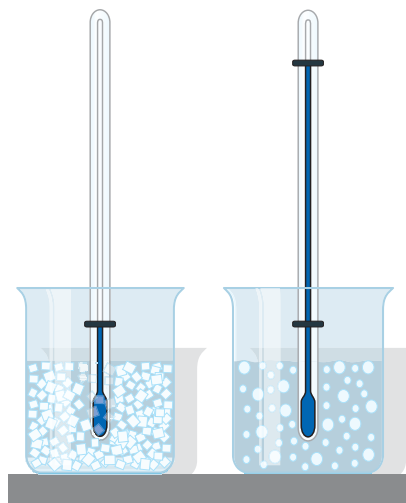
Skalujemy termoskop

Termoskop to naczynko z cieczą, zakończone długą zamkniętą rurką o stałej średnicy wewnętrznej. Objętość cieczy zależy od temperatury (zob. tekst popularnonaukowy *Rozszerzalność temperaturowa* s. 77).

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 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (lub $1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

W skali Celsjusza ciało zdrowego człowieka ma temperaturę $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperaturę w tej skali oznaczamy symbolem t i piszemy np. $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_2 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_3 = 36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. W szkole używa się termometru laboratoryjnego, który może mierzyć temperaturę np. od $t_1 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $t_2 = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, a termometr lekarski – przedstawiony na fotografii poniżej – pozwala mierzyć temperaturę od $t_1 = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $t_2 = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Naukowcy posługują się też inną skalą temperatur – skalą Kelvina, której istotę poznasz w drugim dziale tego podręcznika.



Rys. 1.3. Termometr lekarski służy do pomiaru temperatury ciała

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 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 a początkową dowolnej wielkości fizycznej, czyli przyrost tej wielkości. W naszym przykładzie przyrost czasu wynosi 1,5 godziny.

Czas mierzymy w sekundach (s), minutach (min) i godzinach (h).

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

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

Przyrządami do mierzenia czasu są różnego rodzaju zegary.

a)



b)



c)



Rys. 1.4. Klepsydra (a), stoper (b) oraz zegar ścienny (c)

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 $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$.

Doświadczenie 1.2

Szacujemy czas reakcji

Doświadczenie powinno być wykonywane w grupach kilkuosobowych.

Potrzebne przyrządy: stoper (np. w smartfonie).

Kolejne czynności i pomiary:

- Zdecydujcie, jaki przedział czasu chcecie zmierzyć (np. 3 sekundy).
- Włączcie stoper i postarajcie się zatrzymać pomiar, gdy minie ustalony przez was czas.
- Niech każdy powtórzy pomiar trzy razy. Zapiszcie wyniki wszystkich pomiarów.
- Obliczcie, o ile różnią się wyniki pomiarów od wybranej wartości.
- Obliczcie średnią arytmetyczną tych różnic, aby oszacować rzeczywisty średni czas reakcji.

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 kosiarzek 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. Jeszcze inaczej będziemy określać szybkość przyswajania angielskich zwrotów i słówek. W tym przypadku wyrażamy ją liczbą zapamiętanych słówek i zwrotów na tydzień lub miesiąc.

Najczęściej jednak pojęcie szybkości 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 przebyliśmy 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). Przyrządem do pomiaru szybkości pojazdu w danej chwili jest szybkościomierz, nazywany też prędkościomierzem.



Rys. 1.5. Prędkościomierz samochodowy

Za pomocą prędkościomierza przedstawionego na rys. 1.5 można mierzyć szybkości do $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Na podstawie położenia wskazówki możemy odczytać szybkość pojazdu w danej chwili. W sytuacji przedstawionej na zdjęciu szybkość samochodu wynosiła $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

W samochodzie wyścigowym trzeba by zamontować prędkościomierz o większym zakresie, bo wskazówka tego widocznego na fotografii mogłaby w takim przypadku „ucieć” poza skalę.

Na co dzień w przypadku ruchu szybkość wyznaczamy poprzez mierzenie dwóch innych wielkości: przebytej drogi i czasu trwania ruchu. Wielkości te mierzymy 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.

Pomiar masy

Do pomiaru masy używa się wagi. Przed użyciem należy ją wyzerować, czyli ustawić tak, aby wskazywała zero.

Jeśli masz w domu wagę kuchenną, połóż na niej 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.



Rys. 1.6. Dwukrotnie większa ilość ważonej materii ma dwukrotnie większą masę

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

Masę wyrażamy w kilogramach (kg), gramach ($1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$) i tonach ($1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$). W fizyce oznaczamy ją symbolem m . Piszemy więc np. $m_1 = 100 \text{ g}$, $m_2 = 2 \text{ kg}$, $m_3 = 0,5 \text{ kg}$. Przedstawiona na fotografiach waga kuchenna pokazuje wynik z dokładnością do 20 g. Dokładność tę odczytujemy jako najmniejszą działkę jej skali. Za pomocą tej wagi można mierzyć masę ciał do 2 kg. Mówimy, że ta waga waży w zakresie od 0 do 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 rys. 1.1 wynosi od 0 do 20 cm, a jej dokładność to 1 mm. Zakres pomiarowy termometru przedstawionego na rys. 1.3 wynosi od 34°C do 42°C , a jego dokładność to $0,1^\circ\text{C}$. Zakres pomiarowy prędkościomierza ze s. 14 wynosi od 0 do $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Obecnie coraz częściej używa się przyrządów pomiarowych z wyświetlaczem cyfrowym. Dokładność przyrządu pomiarowego, a szczególnie cyfrowego, powinna być podana przez producenta. Jeśli jednak jej nie znamy, to przyjmujemy, że jest równa najmniejszej wartości, o jaką może zmienić się wskazanie tego przyrządu.



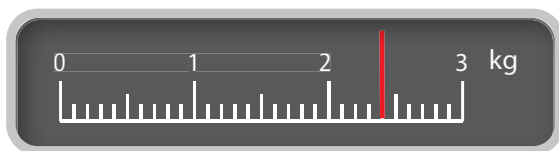
Rys. 1.7. Waga z wyświetlaczem cyfrowym

To ważne!

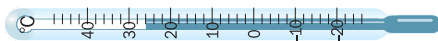
- W celu wykonania pomiaru należy dobrać przyrząd o odpowiednim zakresie pomiarowym i odpowiedniej dokładności.
- Każdy pomiar jest obarczony niepewnością pomiarową. Aby uzyskać wartość najbliższą rzeczywistej, wykonujemy pomiar tej samej wielkości fizycznej kilka razy, a następnie obliczamy średnią arytmetyczną wyników pomiarów i zaokrąglamy ją do najmniejszej dziesiątki 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 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: $t_1 = 17,26\text{ s}$, $t_2 = 17,35\text{ s}$ i $t_3 = 17,08\text{ s}$. 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. Zaproponuj, w jakich jednostkach można by wyrazić szybkość czytania.

Doświadczenie 1.

Mierzmy wysokość człowieka

Potrzebne przedmioty: taśma klejąca, kartka, 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, na której będziesz zaznaczać wysokość.
- Na głowie mierzonej osoby ustaw pionowo książkę i dociśnij jej krawędź do kartki przyklejonej do ściany. 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 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 trzeciego naczynia nalej wody o temperaturze pokojowej.
- Zanurz równocześnie jedną dłoń w zimnej wodzie, a drugą w gorącej.
- Potrzymaj chwilę i przenieś dłonie do trzeciego naczynia.
- 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.

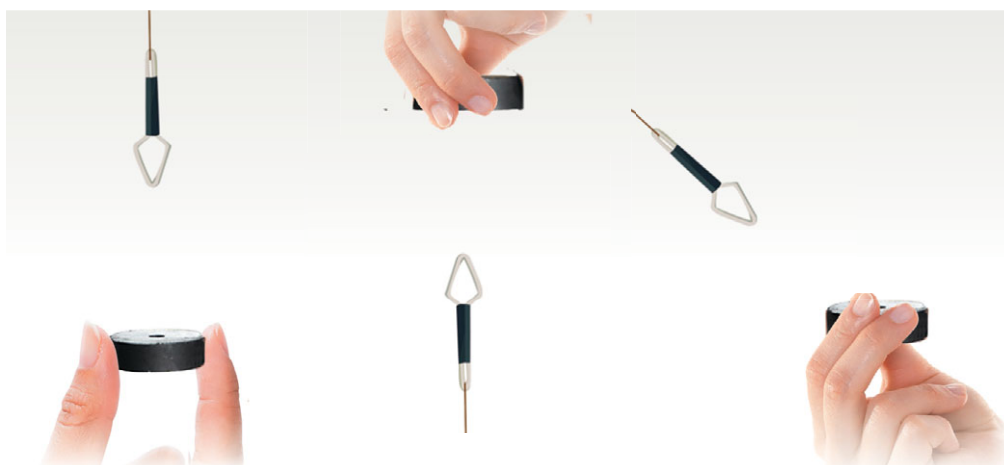
Siła różni się od wielkości fizycznych, które omawialiśmy dotychczas. Aby się o tym przekonać, leżącą na stole gąbkę naciśnijmy na różne sposoby.



Rys. 1.8. Skutki działania siły zależą od wartości siły oraz od tego, w którą stronę działa

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

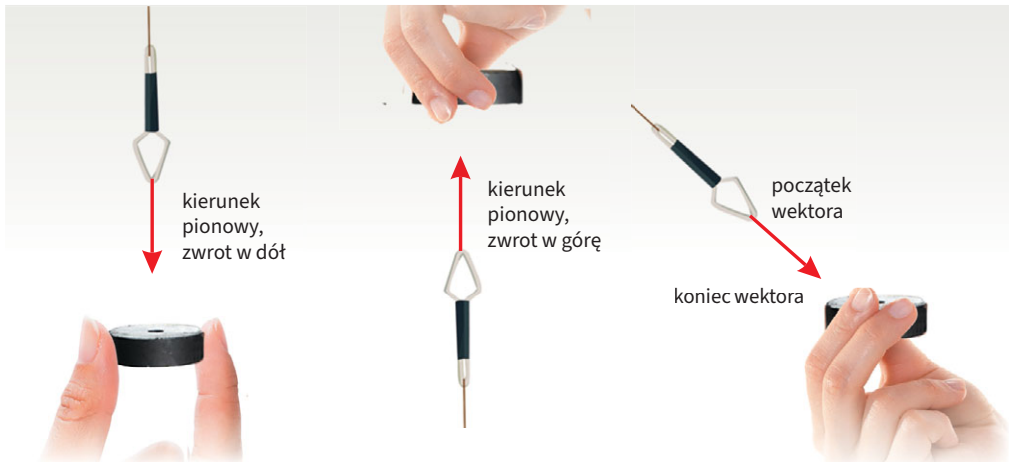
Aby potwierdzić naszą obserwację, do magnesu w kształcie krążka zbliżamy z różnych stron stalową strzałkę (może być spinacz biurowy) zawieszoną na nitce.



Rys. 1.9. Strzałka jest przyciągana przez magnes siłą działającą pionowo w dół. Wskazuje na to położenie nitki, do której strzałka jest przyczepiona

Rys. 1.10. Siła działa na strzałkę pionowo do góry (ma kierunek pionowy i jest zwrócona w górę)

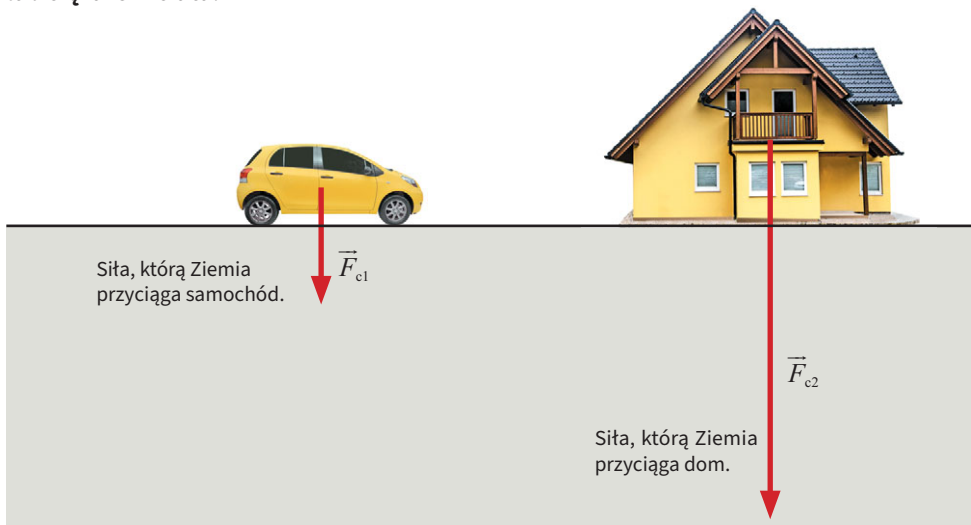
Rys. 1.11. Siła działa na strzałkę skośnie. Nitka wyznacza kierunek działania siły, a strzałka jej zwrot



Rys. 1.12. Prostą, wzdłuż której działa siła, nazywamy kierunkiem wektora siły. Grot strzałki wskazuje zwrot wektora

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 do opisu siły mogą 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. A długość tego odcinka zależy od wartości siły.

Jeśli puścisz trzymany w ręce przedmiot, spada on na podłoże. Dzieje się tak dlatego, że Ziemia przyciąga wszystkie ciała. Siłę przyciągania ziemskiego nazywamy **siłą ciężkości** lub **ciężarem ciała**.



Rys. 1.13. Siłę, którą Ziemia przyciąga wszystkie ciała, nazywamy siłą ciężkości

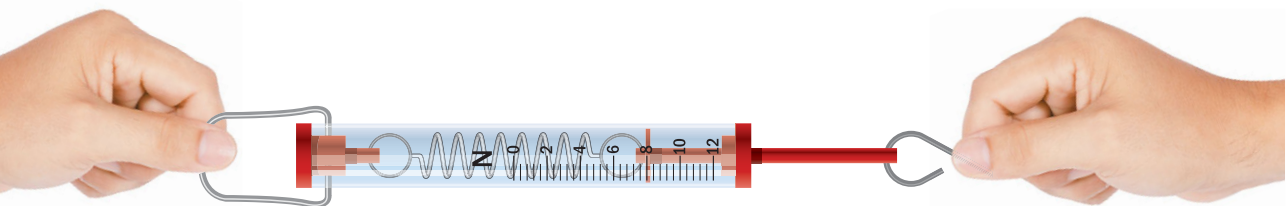
Siła ciężkości jest zawsze zwrócona pionowo w dół, w stronę środka Ziemi. Na rysunkach przedstawiamy ją za pomocą wektora (strzałki) zwróconego pionowo w dół. Aby podkreślić wektorowy charakter siły, nad symbolem F dorysowujemy małą strzałkę, np. $\vec{F}_c$ lub $\vec{F}_g$.

Jeśli ciało jest przyciągane przez Ziemię większą siłą, czyli jest cięższe, wektor przedstawiający siłę przyciągania na rysunku jest dłuższy. Mówimy wtedy, 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 gró strzałki (koniec wektora);
- punkt przyłożenia (początek wektora) – w tym obiekcie, na który działa siła.

Do mierzenia siły używamy siłomierzy.



Rys. 1.14. Siłomierz służy do pomiaru siły

Przed zmierzeniem siły za pomocą siłomierza 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 1.3

Badamy, jak dużą siłą jest jeden niuton

Potrzebne przyrządy: siłomierz i 2 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 siłomierz był dokładnie taki, jak na fotografii, to pomiar wykonujesz z dokładnością 0,1 N. Zakres tego siłomierza wynosi 2 N.



Doświadczenie 1.4

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 (kg)	F_c (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 1.4 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 (skorzystaj z poradnika matematycznego, s. 204):

$$F_c \sim m$$

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

Wartość siły ciężkości możemy zatem obliczyć ze wzoru:

$$F_c = m \cdot g$$

gdzie g nazywane jest przyspieszeniem ziemskim i w pobliżu powierzchni Ziemi wynosi w przybliżeniu $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Przykład 1.2

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

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

Szukane: F_c

Rozwiązanie:

$$F_c = m \cdot g$$

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

Uwaga: Jednostki skracamy tak jak liczby.

Odpowiedź: Ciężar chłopca ma wartość 500 N.

Tvoja kolej! ➔ zad. 3 s. 23

Często siłomierze mają także drugą podziałkę (skalę), 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 na to, że sformułowanie **ważyć ciało** ma dwa znaczenia. Najczęściej oznacza pomiar masy (w gramach, kilogramach, tonach), ale może też oznaczać pomiar wartości ciężaru (w niutonach). Słowo **waga** oznacza przyrząd do ważenia.

Czy wiesz, że...

Siła przyciągania ziemskiego działa nie tylko na ciecze i ciała stałe, lecz także na niewidoczne, otaczające nas gazy. Ziemię otacza gruba, 150-kilometrowa warstwa gazów, głównie azotu i tlenu, zwana atmosferą ziemską. Nie oddala się ona w przestrzeń kosmiczną właśnie dlatego, że działa na nią siła ciężkości. Dzięki atmosferze możemy oddychać, więc żyć, ale pełni ona również wiele innych funkcji.



To ważne!

- 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.
- Na każde ciało w pobliżu powierzchni Ziemi działa siła ciężkości 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 $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Zadania i doświadczenia

1. Wymień cechy, które należy podać, żeby mieć pełną informację o sile działającej na ciało.
2. Podaj kierunek i zwrot siły, którą należy zadziać na piłkę, by ją podrzucić.
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. W tabeli przedstawiono masy ciał oraz odpowiadające im wartości sił, którymi te ciała są przyciągane przez Ziemię. Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij brakujące wartości.

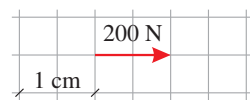
$m \text{ (kg)}$	1	3		7,2
$F \text{ (N)}$	10		5	

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 w zeszycie wektor ilustrujący ten ciężar.



1 cm odpowiada 200 N

1.3 Wyznaczanie gęstości substancji

Na wadze kuchennej zważmy szklankę cukru i szklankę płatków śniadaniowych.



Rys. 1.15. Masa szklanki wypełnionej płatkami śniadaniowymi jest mniejsza niż masa takiej samej szklanki wypełnionej cukrem

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 leżący na szalce okazałby się lżejszy.

Jeśli chcemy odpowiedzieć na pytanie: „Co jest lżejsze – cukier czy płatki?”, **musimy porównywać masy jednakowych objętości tych substancji.** Wielkość fizyczną informującą nas o tym, jaka jest masa jednostki objętości danej substancji, nazywamy **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	8,50
sól kamienna	2160	2,16
srebro	10 800	10,80
złoto	19 300	19,30
żelazo	7900	7,90

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 1.4 na s. 29);
- kawałek złota jest prawie 1,7 razy cięższy od kawałka ołowiu o tych samych wymiarach.

Otoczające nas przedmioty 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 1.5

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 fizycznych odszukujemy substancję o gęstości najbliższej naszemu wynikowi (szkolne pomiary są mało dokładne!).

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

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. Oznacza to, że masa ciała jest wprost proporcjonalna do objętości tego ciała. Dla przedmiotów wykonanych z tej samej substancji iloraz masy i objętości jest stały.

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

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

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 $[V]$.

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

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.

Przykład 1.3

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

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

Twoja kolej! ➡ zad. 6 s. 31

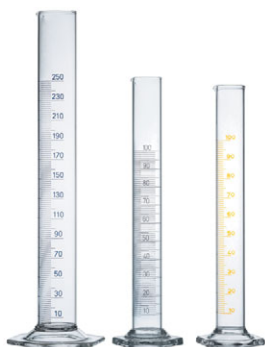
Przykład 1.4

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.

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

Tvoja kolej! ➔ zad. 7 s. 31



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).

Rys. 1.16. Menzurka to naczynie laboratoryjne, dzięki któremu można precyzyjnie odmierzyć pożądaną objętość cieczy

Doświadczenie 1.6**Wyznaczamy objętość i gęstość ciała o nieregularnych kształtach**

Potrzebne przyrządy: menzurka, odważnik lub klucz.

Kolejne czynności i pomiary:

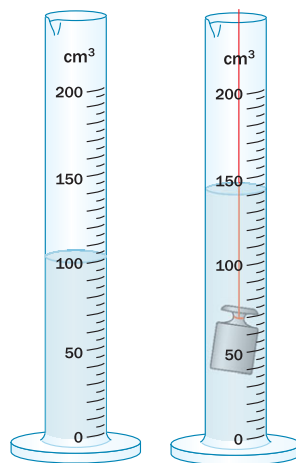
- Do menzurki nalej wody i odczytaj jej objętość V_1 .
- Przywiązany do nitki odważnik, który zmieści się w tej menzurce, zanurz w wodzie.
- Odczytaj objętość V_2 wody z zanurzonym w niej ciałem.
- Różnica między odczytami V_2 i V_1 to objętość zanurzonego ciała:

$$V = V_2 - V_1$$

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

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

i oblicz gęstość ciała.



Przykład 1.5

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: wymiary deski: szerokość 20 cm, grubość 4 cm, długość 1,2 m = 120 cm,

$$d = 0,80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Szukane: m

Rozwiązanie:

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

$$d = \frac{m}{V}, \text{ czyli } m = d \cdot V$$

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

Odpowiedź: Deska ma masę ok. 7,7 kg.

Twoja kolej! ➔ zad. 2 s. 30

Pomiar gęstości jest przykładem pomiaru pośredniego, to znaczy, że gęstości nie odczytujemy bezpośrednio z przyrządu pomiarowego, tylko wyznaczamy ją na podstawie pomiaru masy i objętości. W przypadku takich pomiarów możliwe jest otrzymanie wartości, która ma bardzo wiele cyfr, a podawanie ich wszystkich na ogół nie ma sensu. Dlatego wyniki zaokrąglamy zgodnie z zasadami zaokrąglania. Cyfry zaokrąglania – oprócz zer na początku ułamka dziesiętnego i zer wynikających z zaokrąglania – nazywamy cyframi znaczącymi. Liczba cyfr znaczących zależy od dokładności pomiarów. W poniższej tabeli zaprezentowano, w jaki sposób zapisać wyniki różnych pomiarów z dokładnością do dwóch lub trzech cyfr znaczących.

Tabela 1.3. Zaokrąglanie wyników pomiaru

Wynik pomiaru	Wynik zapisany z dwiema cyframi znaczącymi	Wynik zapisany z trzema cyframi znaczącymi
$2,8479 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$2,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$2,85 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$
$7364 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$7400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$7360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$0,09065 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$0,091 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$0,0907 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$303 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$303 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Przykład 1.6

Masz do dyspozycji tylko menzurkę. Odmierz za jej pomocą 23 g oliwy. Gęstość oliwy odczytaj z tabeli 1.4.

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

Szukane: V

Rozwiązanie:

$$d = \frac{m}{V}, \text{ czyli } V = \frac{m}{d}$$

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

Odpowiedź: Do menzurki należy wlać 25 cm^3 oliwy.



Tvoja kolej! ➔ zad. 4 s. 30

Tabela 1.4 zawiera gęstości niektórych cieczy i gazów. Gęstości innych substancji możesz znaleźć w tablicach fizycznych lub w internecie.

Tabela 1.4. Gęstości wybranych cieczy i gazów pod ciśnieniem atmosferycznym w podanej temperaturze

Rodzaj substancji	Gęstość $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$
alkohol etylowy (20 °C)	790
azot (−196 °C)	808
nafta (20 °C)	810
oliwa (20 °C)	920
rtęć (20 °C)	13 500
woda (4 °C)	1000
wodór (−253 °C)	71
azot (0 °C)	1,25
dwutlenek węgla (0 °C)	1,98
hel (0 °C)	0,18
para wodna (100 °C)	0,60
powietrze (0 °C)	1,29
tlen (0 °C)	1,43
wodór (0 °C)	0,09

Czy wiesz, że...

W ostatnich latach szybko rozwijają się technologie związane z wytwarzaniem materiałów o bardzo małej gęstości i dużej wytrzymałości. Należą do nich aerozele, czyli porowate materiały zbudowane najczęściej z krzemionki, których ponad 90 % objętości stanowi powietrze. Z tego powodu mają one gęstość niewiele większą od powietrza, czyli rzędu tysięcznych części $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Mimo bardzo małej gęstości aerozele charakteryzują się dużą wytrzymałością mechaniczną, a duża zawartość powietrza czyni je doskonałymi izolatorami cieplnymi. Ze względu na te cechy aerozele są chętnie wykorzystywane w przemyśle kosmicznym przy budowie sond i statków kosmicznych oraz jako warstwa izolacyjna w skafandrach astronautów, a także w lotnictwie i budownictwie.



To ważne!

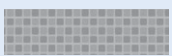
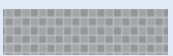
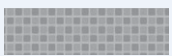
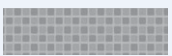
- Każda substancja ma gęstość, która informuje nas o tym, jaka jest masa 1 m³ lub 1 cm³ danej substancji. Gęstość wyrażamy w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
- Aby obliczyć gęstość danej substancji, należy masę ciała wykonanego z tej substancji podzielić przez jego objętość:

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

Zadania i doświadczenia

1. Masa przedmiotu o objętości 5 cm³ jest równa 42,5 g. Oblicz gęstość tego przedmiotu. Na podstawie danych z tabeli 1.2 ustal, z czego wykonany jest ten przedmiot.
2. Oblicz masę sztabki złota w kształcie prostopadłościanu o wymiarach: 20 cm, 5 cm, 10 cm. Gęstość złota odczytaj z tabeli 1.2.
3. 1 m³ powietrza ma masę 1,29 kg. Oblicz masę powietrza wypełniającego pokój o objętości 25 m³. Skorzystaj z tego, że masa substancji jest wprost proporcjonalna do jej objętości.
4. Wiemy, że 1 cm³ wody ma masę 1 g. Opisz, jak odmierzyć 20 g wody za pomocą menzurki z podziałką.
5. Korona królewska ma objętość 100 cm³ i masę 1700 g. Oblicz gęstość korony. Skorzystaj z danych w tabeli 1.2 i sprawdź, czy jest ona wykonana z czystego złota.

6. Wykonaj odpowiednie obliczenia i wyraż gęstość nafty równą $810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ w gramach na centymetr sześcienny.
7. Wykonaj odpowiednie obliczenia i wyraż w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gęstość miedzi równą $8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
8. Na wadze laboratoryjnej zważono pustą menzurkę. Jej masa wynosiła 0,250 kg. Do menzurki wiano 150 cm^3 cieczy o temperaturze 20°C i ponownie zważono. Teraz masa jest równa 0,388 kg.
 - Oblicz gęstość cieczy wlanej do menzurki.
 - Na podstawie tabeli 1.4 sprawdź, jaka to mogła być ciecz.
9. 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.
10. Gęstość pewnego metalu wynosi $10,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Uzupełnij tabelę. Wpisz odpowiednie masy lub objętości przedmiotów wykonanych z tego metalu.

$V (\text{cm}^3)$	1		5	
$m (\text{g})$		21,6		108

Doświadczenie 1.

Wyznaczamy gęstość wody i oleju

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.

1.4

Pomiar ciśnienia

W codziennym życiu często używa się pojęcia ciśnienia: mówimy o ciśnieniu atmosferycznym, ciśnieniu krwi, ciśnieniu powietrza w oponie samochodu. W tym rozdziale ciśnieniem zajmiemy się dokładniej.

Gdy poruszamy się w butach po głębokim śniegu, nogi zapadają się w śnieg. Po przypięciu nart, 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 tego nacisku. Im mniejsza jest powierzchnia zetknięcia się ciała ze śniegiem, tym większe zagłębienie. Podeszwy naszych butów mają tączną powierzchnię około 500 cm^2 , natomiast powierzchnia dwóch nart jest około sześciu razy większa. Głębokość zapadania się 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**.



Rys. 1.17. Im mniejsza jest powierzchnia styku człowieka ze śniegiem, tym głębiej człowiek się w nim zapada

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 wywierana jest określona siła nacisku, tym mniejsze jest ciśnienie;
- im mniejsza jest powierzchnia, na którą wywierana jest określona siła nacisku, tym większe jest ciśnienie.

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 Pa to ciśnienie wytwarzane przez siłę o wartości 1 N działającą na powierzchnię o polu 1 m^2 . Takie ciśnienie wytwarza np. 100 g cukru rozsypanego równomiernie na stole o powierzchni 1 m^2 ($100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$, $F = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1 \text{ N}$). 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 ($1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$), kilopaskal ($1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$) czy megapaskal ($1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$).

Czy wiesz, że...

W różnych dziedzinach nauki i techniki stosowane są nie tylko paskale (Pa), ale też inne jednostki ciśnienia. Bar jest jednostką ciśnienia stosowaną m.in. w przemyśle i motoryzacji, np. do opisu ciśnienia w oponach pojazdów ($1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$).

W medycynie ciśnienie tętnicze krwi podawane jest w milimetrach słupa rtęci ($1 \text{ mmHg} \approx 133 \text{ Pa}$). Nazwa tej jednostki pochodzi od tradycyjnych urządzeń pomiarowych, w których zmiana ciśnienia atmosferycznego powodowała zmianę wysokości słupa rtęci. W niektórych obszarach techniki stosowane są również takie jednostki, jak atmosfera fizyczna ($1 \text{ atm} \approx 101\,300 \text{ Pa}$) oraz atmosfera techniczna ($1 \text{ at} \approx 98\,070 \text{ Pa}$).



Przykład 1.7

Oblicz ciśnienie na ostrzu pinezki wciskanej w drewno siłą o wartości 50 N, jeżeli powierzchnia tego ostrza wynosi $0,1 \text{ mm}^2$.

Dane: $F = 50 \text{ N}$
 $S = 0,1 \text{ mm}^2$

Szukane: p

Rozwiązanie:

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

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

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

Odpowiedź: Ciśnienie na ostrzu pinezki wynosi 500 MPa. Jest to ciśnienie około 1500 razy większe od ciśnienia pod kołami samochodu osobowego.

Twoja kolej! ➔ zad. 1 s. 36

Przykład 1.8

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

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.

Tvoja kolej! ➔ zad. 2 s. 36

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.



Rys. 1.18. Ciśnieniomierz do pomiaru ciśnienia powietrza w oponach

Doświadczenie 1.7

Sprawdzamy istnienie ciśnienia atmosferycznego

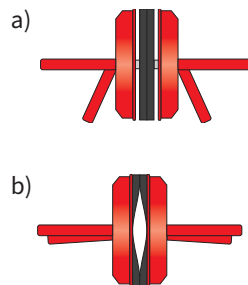
Potrzebne przedmioty: 2 duże przyssawki.

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

Kolejne czynności:

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

Wniosek: W zagłębieniu powstaje pusta przestrzeń. Siła parcia powietrza atmosferycznego działająca z zewnątrz na przyssawki jest tak duża, że nie można ich rozdzielić.



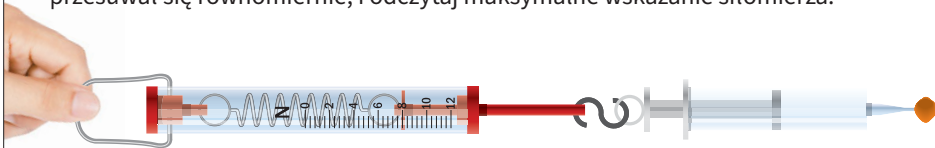
Doświadczenie 1.8

Wyznaczamy ciśnienie atmosferyczne za pomocą strzykawki i siłomierza

Potrzebne przedmioty: siłomierz, strzykawka, plastelina, linijka, kalkulator, nitka.

Kolejne czynności i pomiary:

- Wysuń 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 maksymalnie głęboko i zatkaj plasteliną wylot strzykawki.
- Do uchwytu tłoczka przyczep haczyk siłomierza (jeżeli strzykawka nie ma plastikowego kółka na końcu uchwytu, to możesz wykorzystać do tego nitkę).
- 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 ją na skali siłomierza).
- Podziel zmierzoną wartość siły przez obliczoną powierzchnię tłoczka, by otrzymać ciśnienie atmosferyczne.
- Sprawdź w internecie, 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, gdy przewidujemy pogodę (na następny dzień). Nadchodzenie wyżu – czyli układu mas powietrza, w którego centrum ciśnienie jest wyższe niż w otoczeniu – niesie poprawę pogody (zimą także spadek temperatury). Jeśli zbliża się niż – czyli układ mas powietrza, w którego centrum ciśnienie jest niższe niż dookoła – 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 (wytworzasz 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 pipeta.



Rys. 1.19. Podciśnienie wewnątrz pipety powoduje zaciągnięcie płynu do rurki

To ważne!

- 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 .

- Ciśnienie mierzymy w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.
- $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$. 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 .
- 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. Oblicz ciśnienie wywierane na leśną ścieżkę przez kijek trekkingowy. Kijek naciska na ścieżkę siłą o wartości 20 N , a powierzchnia jego końcówki to 3 mm^2 .
2. Dno studni ma powierzchnię równą $1,5 \text{ m}^2$. Oblicz ciśnienie, które wywiera na nie $15\,000 \text{ kg}$ wody.
3. Wyjaśnij:
 - dlaczego igły, noże, nożyczki, piły muszą być dobrze zaostrzone;
 - 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.
4. Oblicz wartość siły nacisku stopy na podłogę, jeżeli powierzchnia styku nóg stopy z podłogą wynosi 100 cm^2 , a ciśnienie wywierane przez ten stół jest równe $50\,000 \text{ Pa}$.
5. Foka o masie 120 kg wywiera na podłoże ciśnienie o wartości 1000 Pa . Oblicz powierzchnię styku tej foki z podłożem.
6. Wyjaśnij, dlaczego sok z kartonowego pudełka łatwiej jest pić, jeśli oprócz otworu do picia zrobimy w górnej części pudełka jeszcze jeden otwór.

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



8. 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	
20 N	0,5 m ²	
25 N	0,5 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	

9. 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 doświadczeń zaproponowanych w pierwszym dziale podręcznika do grupy (a) lub (b).

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, miska.

Kolejne czynności:

- Szklankę napełnij wodą po brzegi.
- Przykryj ją kartką.
- Połóż dłoń na kartce i nad miską 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

Sporządzanie wykresów

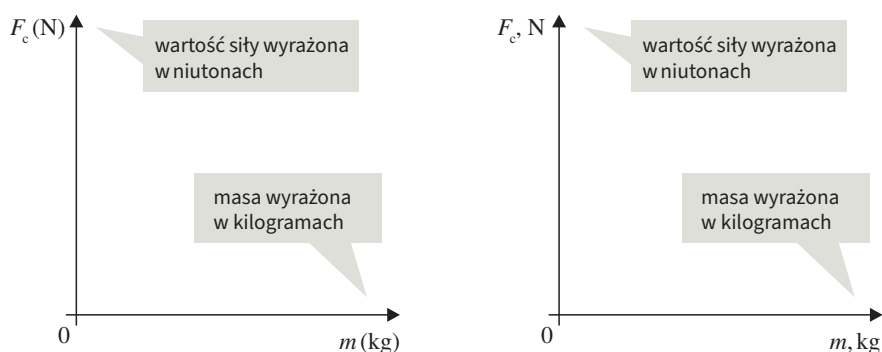
W jesienny poranek temperatura powietrza jest zwykle niska. Jeśli jednak dzień jest pogodny, wraz z upływem czasu temperatura wzrasta. Gdyby mierzyć ją co pół godziny, a wyniki wpisywać do dwukolumnowej tabeli (w jednej kolumnie czas, w którym dokonujemy pomiaru, np. 7.00, 7.30, 8.00, 8.30 itd., w drugiej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

W rozdziale 1.2 wykonaliśmy doświadczenie 1.4, 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 przez niego w każdym przypadku. Wyniki umieściliśmy w tabeli. Stwierdziliśmy wówczas, że na odważnik o dwukrotnie większej masie działa dwukrotnie większa siła ciężkości, na ciało o trzykrotnie większej masie działa 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, pokażemy na przykładzie doświadczenia 1.4.

Aby sporządzić wykres, należy wykonać poniższe czynności.

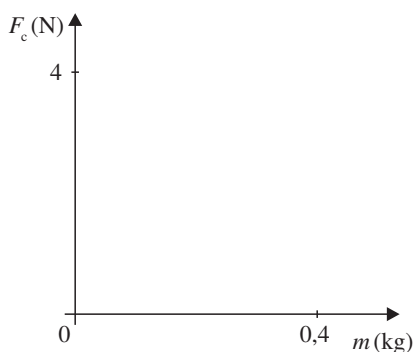
1. Rysujemy dwie osie prostopadłe do siebie. Na ich końcach zaznaczamy symbole mierzonych wielkości i ich jednostki. Jednostki zapisujemy w nawiasach okrągłych lub po przecinku. Miejsce przecięcia osi, zwane początkiem układu osi, oznaczamy symbolem 0.



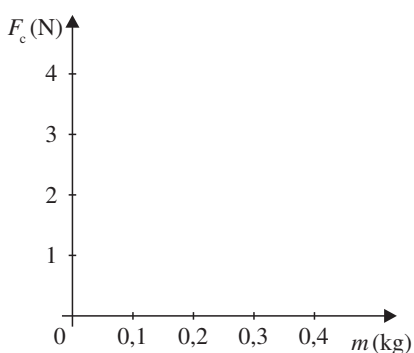
Rys. 1.20. Osie wykresu należy podpisać, zaznaczając symbole wielkości oraz jednostki, w jakich są wyrażone

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

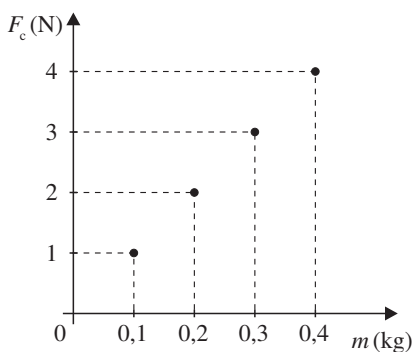
Rys. 1.21. Etapy tworzenia wykresu



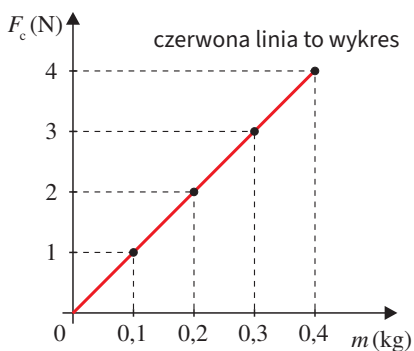
3. Odcinki od miejsca przecięcia się osi do zaznaczonych największych wartości dzielimy na równe części (w naszym przypadku na tyle części, ile pomiarów wykonaliśmy).



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 po upływie 2,5 godziny.
2. Samochód zużywa 6 l benzyny na każde 100 km jazdy. Narysuj wykres zależności objętości zużytego paliwa od liczby przejechanych kilometrów.
 3. Pewnego poranka temperatura powietrza o godzinie 9.00 wynosiła 7 °C. Narysuj wykres zależności temperatury powietrza od czasu w godzinach 9.00–11.00, jeśli w ciągu każdych 15 minut temperatura wrastała o 0,5 °C.

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.
Uwaga: W przypadku tego doświadczenia punktów pomiarowych zaznaczonych na wykresie nie należy łączyć linią.
- 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	1 s, 1 h	zegar, stoper
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 określoną dokładnością. Zakres pomiarowy przyrządu wskazujemy 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 jeden 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 cm^3 lub 1 m^3) danej substancji.

- W zależności od tego, w którą stronę działa na ciało siła o tej samej wartości, skutek jej działania może być 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 cm^2 lub 1 m^2). 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. $1000 \text{ hPa} = 100\,000 \text{ Pa}$.

Ciśnienie

$$\text{ciśnienie} = \frac{\text{wartość siły nacisku}}{\text{pole powierzchni}}$$

Z powyższego wzoru wynika, że...

...im **większa** jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym **mniejsze** jest ciśnienie.



Dzięki szerokim i długim płozom powierzchnia styku nart ze śniegiem jest duża i narciarz nie zapada się w śnieg.



Ratownik kładzie się na pokrywie lodowej, dzięki czemu ciężar jego ciała rozkłada się na większej powierzchni.



Szerokie gąsienice czołgu lub koparki zapobiegają ugrzęźnięciu pojazdu w miękkim gruncie.

...im **mniejsza** jest powierzchnia, na którą wywierany jest określony nacisk, tym **większe** jest ciśnienie.



Noż ma cienkie ostrze, dzięki czemu powierzchnia, jaką naciska na krojone produkty jest mała i może on wytwarzać duże ciśnienie.



Powierzchnia styku ostrzy nożyczek z ciętym materiałem jest bardzo mała, co ułatwia jego przecinanie.

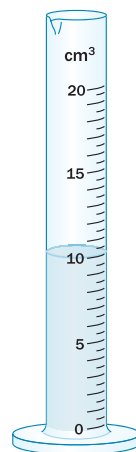


Gwoździe i szpilki mają cienkie końcówki, co pozwala łatwo wbijać je w drewno lub tkaninę.

Sprawdź się

Wybierz właściwe dokończenie zdań w zadaniach 1.–14.

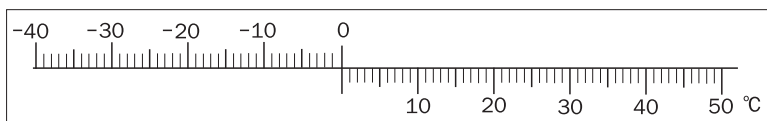
- Przedział czasu równy $\Delta t = 45$ s to
 A. $\frac{1}{4}$ min B. 1 min C. $\frac{3}{4}$ min D. 3 min
- Wynik pomiaru długości 34,263 cm zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących to
 A. 34,26 cm B. 34 cm C. 35 cm D. 34,27 cm
- Jeśli metalowy klocek o wymiarach 2 cm, 2 cm, 2 cm zostanie wrzucony do menzurki pokazanej na rysunku, poziom cieczy podniesie się i wskaże objętość
 A. 18,0 cm³ B. 10,9 cm³ C. 16,0 cm³ D. 14,5 cm³
- Barometr może mieć podziałkę wyrażoną
 A. w stopniach. B. w metrach na sekundę.
 C. w hektopaskalach. D. w niutonach.
- Siłomierz może mieć podziałkę wyrażoną w
 A. centymetrach sześciennych. B. niutonach.
 C. hektopaskalach. D. metrach na sekundę.
- Astronauta wybierający się w podróż kosmiczną otrzymał od swojej córeczki maskotkę. Masa maskotki będzie
 A. wszędzie jednakowa.
 B. największa na Ziemi.
 C. największa na Księżycu.
 D. największa po opuszczeniu przez raketę atmosfery ziemskiej.
- 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
- Gęstość pewnej substancji wynosi $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oznacza to, że
 A. masa 800 m³ 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. Na rysunku przedstawiono dwie skale: termometru lekarskiego i okiennego.



Skala termometru lekarskiego



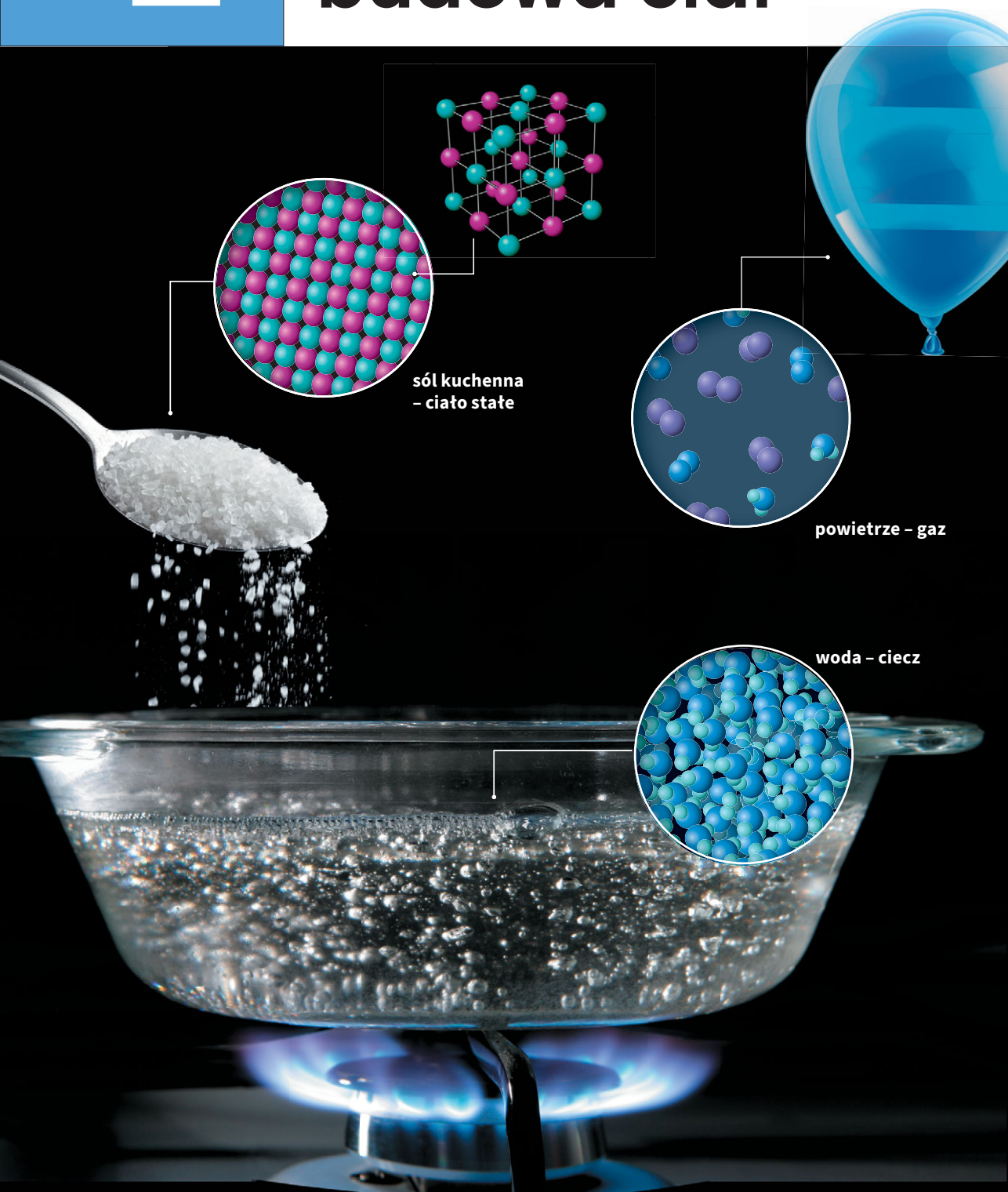
Skala termometru okiennego

Prawdą jest, że

- A. zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest mniejszy, a dokładność obu termometrów jest jednakowa.
 - B. zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest mniejszy, a dokładność większa niż termometru okiennego.
 - C. zakres pomiarowy termometru lekarskiego jest większy, a dokładność mniejsza niż termometru okiennego.
 - D. zakresy pomiaru obu termometrów są jednakowe i dokładności także.
10. Ciężar 2 kg mąki jest równy
- A. 200 N
 - B. 0,2 N
 - C. 2 N
 - D. 20 N
11. Jeśli porównamy drewniany klocek o masie 1 kg oraz sztabkę żelaza o masie 1 kg, to możemy stwierdzić, że
- A. objętość drewnianego klocka jest większa od objętości sztabki żelaza, a gęstości drewna i żelaza są jednakowe.
 - B. objętość sztabki żelaza jest mniejsza od objętości drewnianego klocka, a gęstość żelaza jest większa od gęstości drewna.
 - C. objętość sztabki żelaza jest mniejsza od objętości drewnianego klocka, a gęstość żelaza jest mniejsza od gęstości drewna.
 - D. objętość drewnianego klocka jest mniejsza od objętości sztabki żelaza, a gęstość drewna jest większa od gęstości żelaza.
12. Trzykrotnie zmierzono długość ołówka linijką 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
13. 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
14. 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. $11\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

2

Cząsteczkowa budowa ciał



sól kuchenna
- ciało stałe

powietrze - gaz

woda - ciecz

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

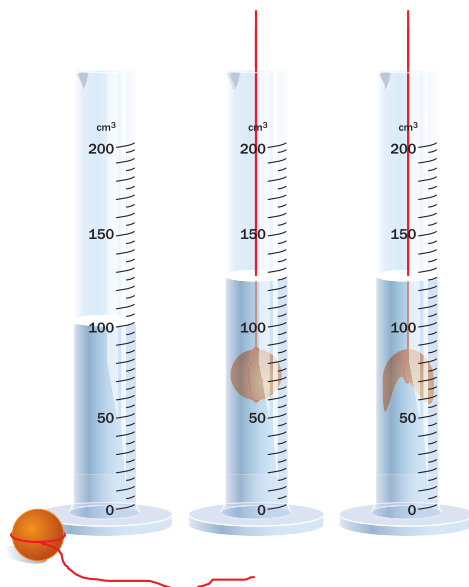
Potrzebne przedmioty i przyrządy:
menzurka z wodą, plastelina, nitka.

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 ponownie w wodzie i odczytaj objętość wody i plasteliny.

Wynik: Objętość wody i plasteliny jest taka jak poprzednio.

Wniosek: Różnica między odczytaniami objętości wody z zanurzoną w niej plasteliną i samej wody jest w każdym przypadku równa objętości zanurzonej w wodzie plasteliny. Oznacza to, że objętość plasteliny nie zmieniła się mimo zmiany jej kształtu.



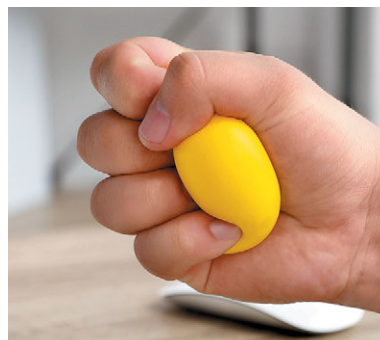
Ciała stałe oprócz tego, że są określonego kształtu i tego, że trudno zmienić ich objętość, mają pewne właściwości przydatne w różnych praktycznych zastosowaniach. **Kruchość** kredy wykorzystujemy, gdy piszemy nią po tablicy. Pod wpływem nacisku kreda kruszy się i pozostawia ślad. Sprężyny znajdujące się w środku fotela są **sprężyste**. Pod wpływem nacisku naszego ciała sprężyny zmieniają kształt (odkształcają się), a po wstaniu z fotela, powracają do pierwotnej postaci. A dzięki temu, że plastelina jest **plastyczna**, możemy lepić z niej ludozki. Pod wpływem nacisku naszych palców kształt tego tworzywa 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 dzbanki, 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. Z kolei w wysokiej temperaturze staje się ona substancją plastyczną i kowal może z niej wówczas wykuć różne przedmioty.

Ciecze przyjmują kształt naczyń, w którym się znajdują, ale mają określoną objętość (rys. 2.3.).



Rys. 2.1. Materiały, z których powstają rzeźby, są kruche, dzięki czemu rzeźbiarz może odłupywać ich fragmenty i nadawać rzeźbie pożądany kształt



Rys. 2.2. W wyniku ściśnięcia dłonią piłeczka odkształca się, a po jej puszczeniu wraca do swojego pierwotnego kształtu



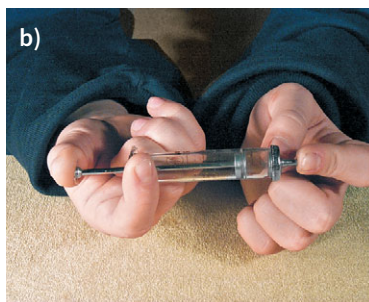
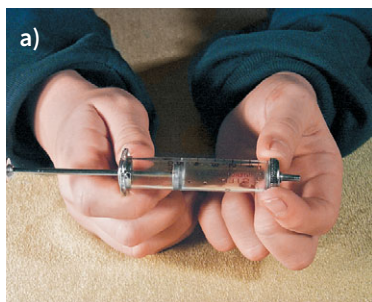
Rys. 2.3. W naczyniach o różnych kształtach znajduje się taka sama ilość zabarwionej wody



Rys. 2.4. Przesunięcie tłoka w zatkanej strzykawce wypełnionej cieczą jest bardzo trudne, ponieważ ciecze są nieściśliwe

Ciecze są **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.

Gazy, podobnie jak ciecze, nie mają określonego własnego kształtu. Przyjmują kształt zbiornika (naczynia), w którym się znajdują, np. balonu, butli. Nie mają też określonej objętości, wypełniają całą objętość naczynia. Gdy w doświadczeniu zilustrowanym na fotografiach wodę zastąpimy powietrzem, okaże się, że objętość powietrza w strzykawce 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**.



Rys. 2.5. Objętość powietrza w strzykawce (a) można znacznie zmniejszyć przez ściśnięcie tłoka (b), ponieważ gazy są ściśliwe

Czy wiesz, że...

Istnieje jeszcze jeden stan skupienia materii. Jest to plazma, czyli zjonizowana materia, w której znaczna część cząstek ma ładunek elektryczny. Plazmą wypełnione jest np. wnętrze Słońca, gdzie temperatura osiąga 15,5 mln °C, gęstość materii jest około 160 razy większa od gęstości wody, a ciśnienie jest 300 miliardów razy większe niż ciśnienie atmosferyczne przy powierzchni Ziemi. Plazmę można uzyskać również w warunkach ziemskich, w znacznie niższej temperaturze, np. w kuli plazmowej, w której dochodzi do jonizacji gazów pod wpływem wysokiego napięcia generowanego na elektrodzie znajdującej się w centrum kuli.



To ważne!

- W przyrodzie substancje mogą występować w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.
- Ciała stałe mają określony kształt. Zmiana kształtu ciała stałego nie powoduje zmiany jego objętości. Ciała stałe mogą być kruche, sprężyste lub plastyczne.
- 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.
- Gazy nie mają określonego własnego kształtu ani określonej objętości – przyjmują kształt zbiornika (naczynia), w którym się znajdują, i wypełniają całą jego objętość. Są ściśliwe i rozprężliwe.

Zadania i doświadczenia

1. Wybierz cechę substancji stałych – kruchość, sprężystość lub plastyczność – wykorzystywaną podczas:
 - rozbijania bloków skalnych w kamieniołomach,
 - napinania łuku,
 - rysowania ołówkiem na kartce,
 - 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 napętnione cieczą spełniałyby swoje zadanie.

Doświadczenie 1.

Badamy właściwości stalowego drutu

Potrzebne przedmioty: nieużywany, stalowy spinacz biurowy.

Kolejne czynności:

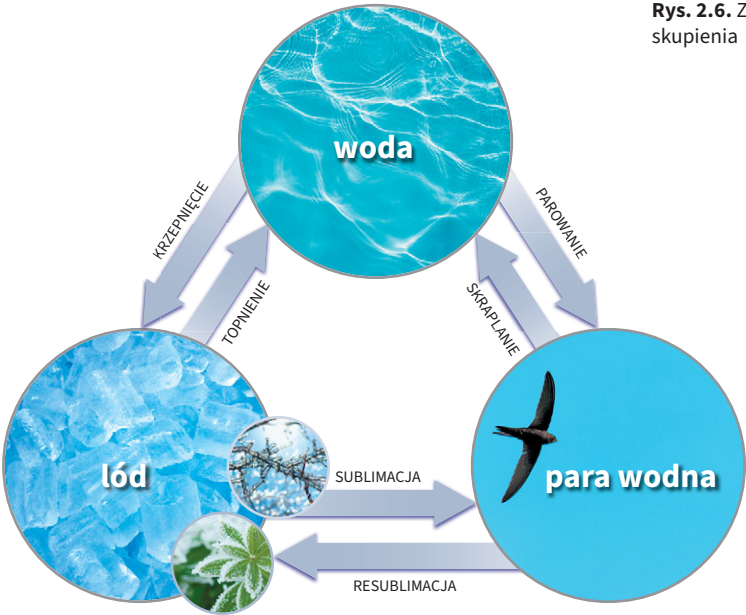
- Zepnij spinaczem kilka kartek, a następnie je uwolnij. Przyjrzyj się spinaczowi. Oceń, czy zmienił się jego kształt.
- Rozegnij spinacz, czyli zmień kształt drutu, z którego go wykonano.
- Uchwyć drut w połowie długości i wyginaj jedną połowę aż do złamania drutu.
- Podaj nazwy właściwości, jakie wykazywał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



2.2

Zmiany stanów skupienia ciał

Z obserwacji wody w naszym codziennym życiu wiesz, że może ona zmieniać stan skupienia: może być ciałem stałym (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.



Rys. 2.6. Zmiany stanów skupienia

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

Tabela 2.1. Temperatury topnienia wybranych substancji

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



Rys. 2.7. Żelazne przedmioty użytku codziennego powstają przez wlewanie płynnej surówki żelaza do odpowiednich form, w których przebiega proces krzepnięcia

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, płaski talerz.

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. Po zamarznięciu wody zaobserwuj, jaka jest objętość lodu w porównaniu z objętością wody.

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

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

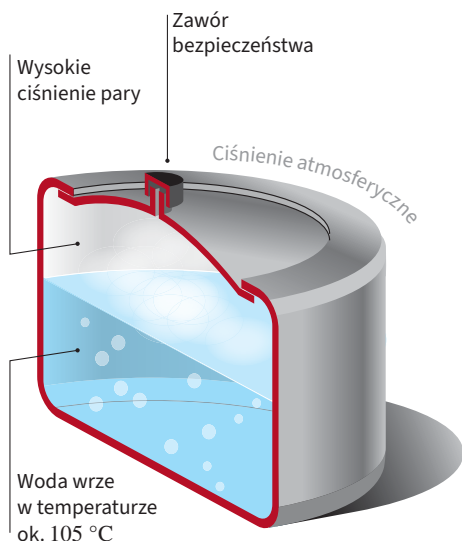
Przejście substancji ze stanu ciekłego w stan gazowy to **parowanie**. Rozwieszona na sznurkach bielizna i kałuża na ulicy po pewnym czasie wysychają – tym szybciej, im wyższa jest temperatura powietrza. Fakty te świadczą o tym, że woda paruje w każdej temperaturze, choć niejednakowo intensywnie – w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



Rys. 2.8. Para wodna nad ujściem dzióbka czajnika jest niewidoczna. Unosząca się wyżej biała mgiełka to skroplona para wodna



Rys. 2.9. W naczyniu próżniowym woda może wrzeć w temperaturze niższej niż $100\text{ }^{\circ}\text{C}$



Woda w stanie gazowym jest niewidoczna. Przyjrzyj się czajnikowi z wrzącą wodą (rys. 2.8.). Tuż nad ujściem z dzióbka nie widać nic. Dopiero wyżej unosi się biała chmura. 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 efekt skroplenia się pary wodnej z powietrza, pojawiający się w niskiej temperaturze. Wyjęte z lodówki produkty także natychmiast pokrywają się kropelkami wody.

Specjalnym przypadkiem parowania jest **wrzenie** (gotowanie się). Podczas wrzenia banieczki 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 (rys. 2.9.). Podczas intensywnego wypompowywania powietrza z naczynia woda zaczyna wrzeć, choć jej temperatura jest niższa od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na wysokości 4000 m n.p.m., gdzie ciśnienie powietrza jest mniej więcej o 40 % mniejsze niż na poziomie morza, woda wrze w temperaturze $86\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeśli chcemy podnieść temperaturę jej wrzenia, trzeba zwiększyć ciśnienie nad jej powierzchnią. Na przykład w tzw. kotłach wysokoprzężnych, pod ciśnieniem pięć razy większym od ciśnienia atmosferycznego, temperatura wrzenia wody wynosi $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Rys. 2.10. Szybkokwar to szczelny garnek, w którym w czasie gotowania potraw następuje wzrost ciśnienia, co powoduje wzrost temperatury wrzenia wody

Z podobnym zjawiskiem podniesienia temperatury wrzenia wody mamy do czynienia w szybkowarach (rys. 2.10.). W wodzie, która wrze w temperaturze wyższej niż $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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

Substancja	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. Dzięki temu samemu zjawisku pranie wysycha na mrozie. Niewielka część wody zawartej w ubraniach paruje, jej większość zamarza, a powstały lód sublimuje.

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

Powyżej temperatury $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$ niemal wszystkie substancje istnieją już tylko w stanie lotnym, czyli w stanie gazowym.



Rys. 2.11. Szron powstaje na skutek resublimacji zawartej w powietrzu pary wodnej

To ważne!

- 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 podczas krzepnięcia zmniejszają objętość.
- 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.
- W temperaturze wyższej od temperatury wrzenia substancja może istnieć tylko w stanie lotnym.
- 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 w internecie informację o 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, którą ciecz należy zastosować w termometrach dla polarników.
6. Opisz przemiany stanów skupienia ciał przedstawione na schemacie na s. 52.
7. Opisz, co należy zrobić, aby otrzymać wodę w stanie ciekłym o temperaturze wyższej niż 100 °C.

2.3

Cząsteczkowa budowa ciał

Kiedy fizycy odkryją 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 przypuszczenia, które w nauce nazywa się **hipotezami**.

W poprzednich rozdziałach 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) budowy.

Doświadczenie 2.3

Sprawdzamy hipotezę o cząsteczkowej budowie ciał

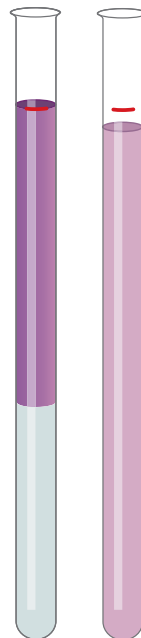
Potrzebne przedmioty: długa, wąska probówka lub plastikowa rurka zasklepiąca na jednym końcu, denaturat, woda, pisak.

Kolejne czynności i obserwacje:

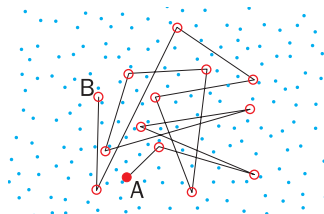
- Do probówki wlewamy wodę (około połowy pojemności naczynia).
- Powoli dolewamy denaturat tak, by ciecze się nie zmieszały.
- Zaznaczamy pisakiem górny poziom cieczy i zatykamy probówkę palcem.
- Obracamy probówkę i mieszamy obie ciecze. Obserwujemy poziom mieszaniny wody i denaturatu.

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 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



Rys. 2.12. Ruchy Browna

podali, niezależnie od siebie, Albert Einstein (1879–1955) i polski fizyk Marian Smoluchowski (1872–1917). Ruchy Browna stanowią doświadczalne potwierdzenie **cząsteczkowej teorii budowy materii**.

W celu wyjaśnienia wyników doświadczenia 2.3. wykonajmy tzw. doświadczenie modelowe, w którym modelem cząsteczek wody będą ziarna kaszy, a modelem cząsteczek denaturatu – ziarna fasoli. Do doświadczenia można także użyć kaszy manny i ryżu.

Doświadczenie 2.4



Uzasadniamy hipotezę za pomocą doświadczenia modelowego

Potrzebne przedmioty: menzurka, kasza, fasola, gumka recepturka.

Kolejne czynności i obserwacje:

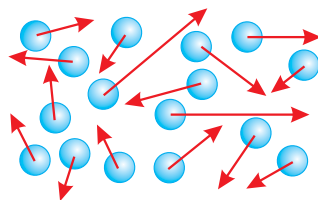
- Do menzurki wsypujemy kaszę, a następnie podobną objętość fasoli.
- Zaznaczamy górny poziom gumką recepturką, a następnie mieszamy groch z kaszą i obserwujemy poziom powstałej mieszaniny.

Tak jak przewidywaliśmy, poziom mieszaniny jest niższy. Puste miejsca między ziarnami fasoli zajęły ziarna kaszy. To doświadczenie modelowe tłumaczy wynik doświadczenia 2.3. i potwierdza hipotezę o cząsteczkowej budowie wody i denaturatu.

Wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek pozostających w ciągłym ruchu.

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 średnicę około 1 mm, a wzrost przeciętnego człowieka wynosiłby około 4800 km. Warto sobie także uzmysłowić, 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 (27 trylionów) 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.

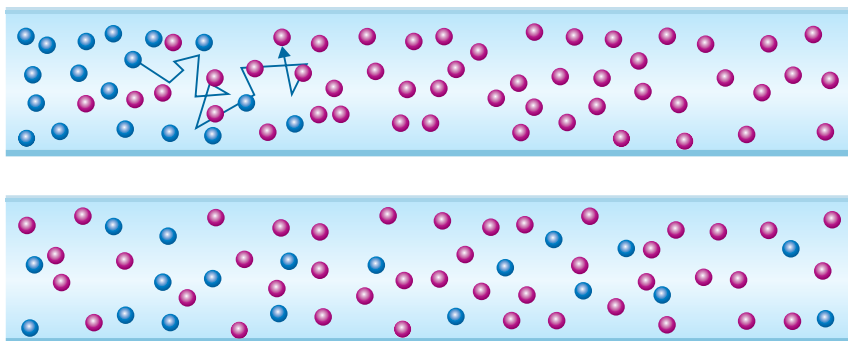


Rys. 2.13. Cząsteczki gazu poruszają się w różnych kierunkach z różnymi szybkościami

W danej chwili jedne poruszają się szybciej, inne wolniej. Ich średnia szybkość wynosi 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 przebywa średnio 0,0001 mm. Mimo że średnio droga cząsteczki w ciągu 1 s to ok. 425 m, nie oddala się ona bardzo od początkowego położenia, bo w wyniku zderzeń z innymi cząsteczkami jej ruch jest zygzakowaty.

Czy wiesz, że...

Jeśli rozpylisz perfumy w jednym końcu sali, to po pewnym czasie poczujesz ich zapach w całym pomieszczeniu. Gdy cząsteczki perfum zderzają się z cząsteczkami powietrza, wnikają pomiędzy nie i przemieszczają się we wszystkich kierunkach, czyli ulegają samorzutnemu mieszanii się, które w fizyce nazywamy **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 trawiennego do krwi. W rzekach i jeziorach są 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.

W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej i w określonym czasie docierają na większą odległość.

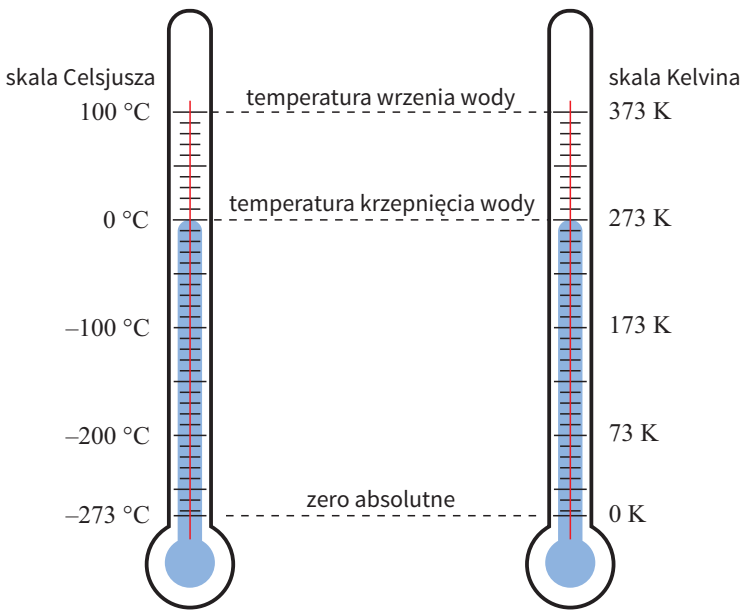
Poniższa tabela pokazuje, jak zmienia się średnia szybkość cząsteczek tlenu w zależności od temperatury.

Tabela 2.3. Średnia szybkość cząsteczek tlenu w różnych temperaturach

Temperatura (°C)	Średnia szybkość cząsteczek ($\frac{m}{s}$)	Temperatura (°C)	Średnia szybkość cząsteczek ($\frac{m}{s}$)
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 tlenu maleje wraz z obniżaniem się temperatury. 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 °C) jest najniższą temperaturą w przyrodzie. W **skali Kelvina**, zwanej także bezwzględną skalą temperatury, jest ona oznaczona jako 0 kelwinów (0 K) i nosi nazwę **zera bezwzględnego** lub **absolutnego**.



Rys. 2.14. Porównanie skal temperatury: Celsjusza i Kelvina

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

$$T = t + 273 \qquad t = T - 273$$

Przykład 2.1

- $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ile to kelwinów?

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

- 50 K – ile to stopni Celsjusza?

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

- Różnica temperatur $\Delta t = 50\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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!

Tvoja kolej! ➔ zad. 3 s. 61

To ważne!

- Wszystkie ciała są zbudowane z cząsteczek, które pozostają w ciągłym ruchu.
- Średnia szybkość cząsteczek jest tym większa, im wyższa jest temperatura ciała.
- W temperaturze $t = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$ zamiera ruch cząsteczek. Przyjęto zatem, że jest to najniższa temperatura w przyrodzie i oznaczono ją jako 0 w skali Kelvina:

$$-273\text{ }^{\circ}\text{C} = 0\text{ K}$$

Zadania i doświadczenia

- Wyraź w skali Kelvina następujące temperatury:
a) $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, b) $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, c) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, d) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, e) $-156\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Wyraź w skali Celsjusza temperatury podane w skali bezwzględnej:
a) 10 K , b) 273 K , c) 383 K , d) 253 K , e) 213 K .
- 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 a nieoświetloną tej planety w skali Kelvina i w skali Celsjusza.
- Czy ręka może służyć jako „przyrząd” do porównywania szybkości ruchu cząsteczek wody? Uzasadnij odpowiedź. Czy takiemu „przyrządowi” można zaufać? (Patrz doświadczenie 2. na s. 17 w rozdziale 1.1).

2.4 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 określony kształt. Trudno jest je rozciągnąć, pokruszyć. Rozlana na stole herbata tworzy jedną mokłą plamę i nie rozpada się na poszczególne cząsteczki.

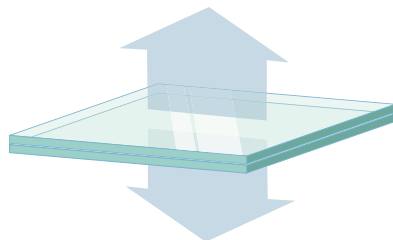
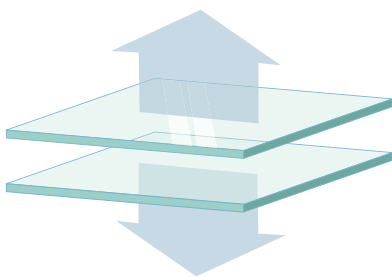
Doświadczenie 2.5

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 unieś, 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 ze sobą połączyć poprzez dociskanie, nie uda nam się to. Najwyraźniej odległości między cząsteczkami dwóch kawałków kredy są już zbyt duże, aby wystąpiło między nimi wzajemne przyciąganie.

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.

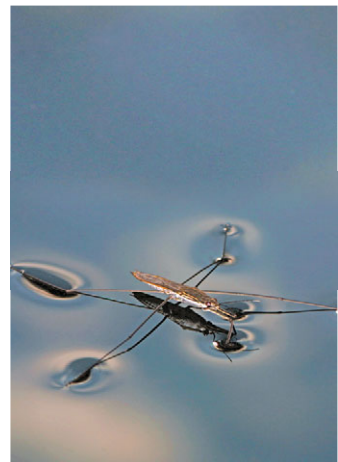


Rys. 2.15. Wygląd włosów po zmoczeniu to efekt działania sił przylegania

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 stawów i rzek.



Rys. 2.16. Nartnik może poruszać się po powierzchni wody dzięki zjawisku napięcia powierzchniowego

Jeśli jednak obok szpilki znajdującej się na powierzchni wody sygniemy odrobinę proszku do prania, szpilka natychmiast utonie. Mydło i detergenty 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.

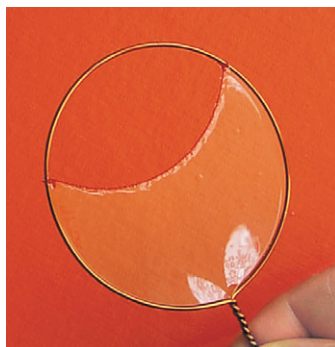
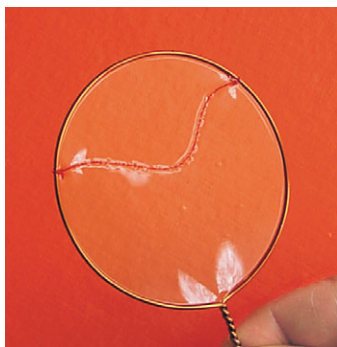
Doświadczenie 2.6

Badamy siły napięcia powierzchniowego

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

Kolejne czynności i obserwacje:

- Z drutu wykonaj pierścień 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.

To ważne!

- Napięcie powierzchniowe to zjawisko powstawania błonki na powierzchni cieczy wskutek działania sił przyciągania między cząsteczkami.
- Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami tego samego rodzaju nazywa się siłami spójności. Siły międzycząsteczkowe działające między cząsteczkami różnych ciał nazywa się siłami przylegania.

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.

Badamy działanie detergentów

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

Kolejne czynności:

- Na talerz nalej wodę i 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 2.

Obserwujemy skutki działania sił napięcia powierzchniowego

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

Kolejne czynności:

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

Doświadczenie 3.

Badamy siły napięcia powierzchniowego

Potrzebne przedmioty: moneta jednogroszowa, zakraplacz, woda.

Kolejne czynności:

- Za pomocą zakraplacza lub strzykawki umieszczaj krople wody na monecie. Ile kropli wody można nanieść na monetę jednogroszową tak, by woda z niej nie spływała?
- Opisz wynik doświadczenia. Wyjaśnij go.

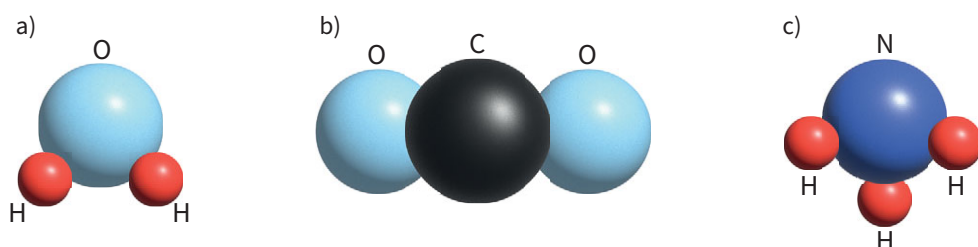
2.5

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 ilości 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 mniej więcej 90 różnych atomów występujących w przyrodzie i tworzących pierwiastki pozwala 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 tych związków chemicznych przedstawiono na rysunku.

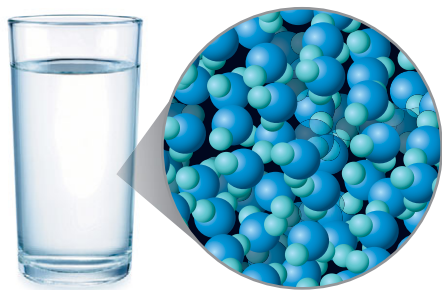


Rys. 2.17. Modele cząsteczek związków chemicznych: woda (a), dwutlenek węgla (b), amoniak (c)

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 napełnić gazem naczynia np. do połowy, bo cząsteczki poruszające się chaotycznie we wszystkich kierunkach wypełniają całe naczynie.

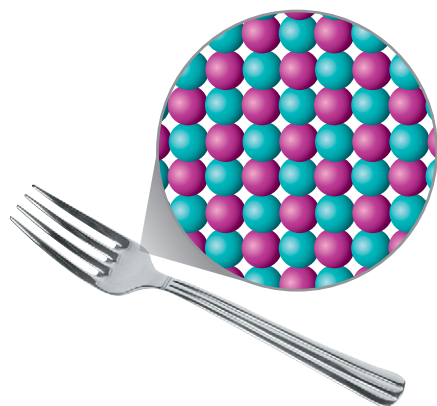


Rys. 2.18. Cząsteczki gazów są oddalone od siebie i praktycznie ze sobą nie oddziałują



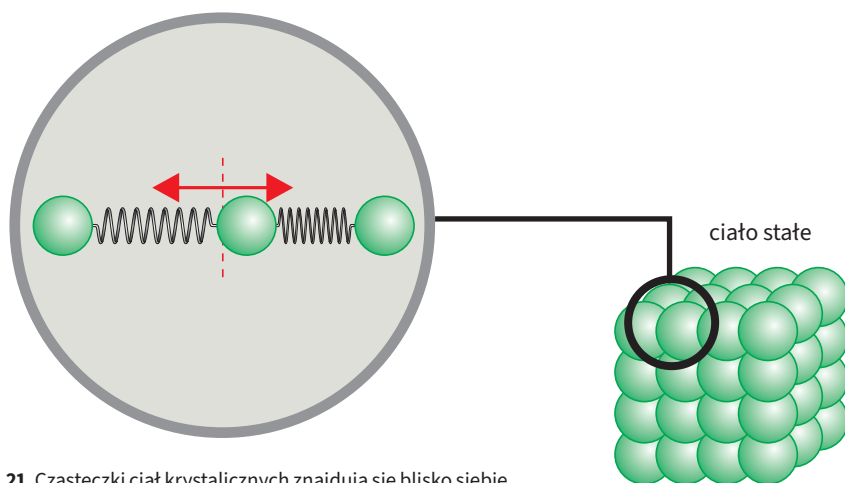
Rys. 2.19. Częsteczki ciecchy znajdują się bliżej siebie niż częsteczki gazu i działają na siebie wzajemnie, dlatego zmiana objętości ciecchy jest trudna

Z kolei ciecchy są nieściśliwe. Oznacza to, że odległości między ich częsteczkami są dużo mniejsze niż w gazach, więc działają na nie dużo większe siły międzycząsteczkowe. Nie są one jednak na tyle duże, by ciecchy zachowywały własny kształt. Częsteczki ciecchy mogą swobodnie się przemieszczać, co potwierdzają obserwacje dyfuzji. Przy próbie zmniejszenia objętości ciecchy między częsteczkami pojawiają się siły odpychania. Podobnie jest w ciałach stałych.



Rys. 2.20. Częsteczki ciał stałych krystalicznych tworzą uporządkowaną strukturę

Częsteczki 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. Częsteczki tworzące sieć krystaliczną wykonują niewielkie drgania. Podobne drgania wykonuje kulka umieszczona między dwiema sprężynkami i wytrącona ze stanu spoczynku. Gdy częsteczka zanedba zbliży się do sąsiedniej częsteczki, jest od niej odpychana; gdy się zanedba oddali, jest przyciągana.



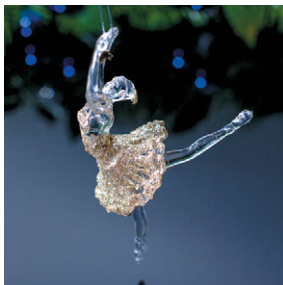
Rys. 2.21. Częsteczki ciał krystalicznych znajdują się blisko siebie i wykonują niewielkie drgania

Czy wiesz, że...

Oprócz ciał stałych o budowie krystalicznej istnieją także ciała stałe bezpostaciowe. Nie mają one uporządkowanej struktury – ich cząsteczki są rozmieszczone chaotycznie. Przykładami substancji o takiej budowie są szkło, bursztyn, stearyna (stosowana m.in. do wyrobu świec) czy asfalt. Ciała stałe bezpostaciowe charakteryzują się tym, że w przeciwieństwie do ciał krystalicznych nie mają określonej temperatury topnienia, a w miarę ogrzewania miękną i stają się plastyczne.



bursztyn



szklana figurka



droga asfaltowa

To ważne!

- Ze ściśliwości gazów wynika, że ich cząsteczki poruszają się chaotycznie w dużych odległościach od siebie i prawie się nie przyciągają.
- Odległości między cząsteczkami cieczy są dużo mniejsze niż odległości w wypadku gazów, stąd siły międzycząsteczkowe (spójności) w cieczach są większe. Nie są jednak wystarczająco duże, by ciecze zachowywały kształt.
- Ciała stałe w większości mają budowę krystaliczną. Cząsteczki tworzące sieć krystaliczną nie mogą się swobodnie poruszać. Jedynie drgają.

Zadania i doświadczenia

1. Wytłumacz, dlaczego spośród ciał w różnych stanach skupienia gazy mają najmniejsze gęstości.
2. Wyjaśnij, dlaczego gaz wypełnia cały zbiornik, w którym się znajduje, a ciecz – nie.
3. 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.
- *4. Gęstość grafitu wynosi $2,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, a gęstość diamentu to $3,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, mimo że oba te materiały są zbudowane z atomów węgla. Zastanów się, z czego wynika ta różnica w gęstości.

2.6 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, lecz 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 2.7

Badamy skutki zmniejszania ciśnienia powietrza w zbiorniku

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

Wniosek: Ciśnienie powietrza w pęcherzykach piany dopasowuje się do zmniejszającego się ciśnienia zewnętrznego w naczyniu i objętość piany wzrasta.

Ciśnienie w zbiorniku, 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 ponton, piłkę do koszykówki czy opony samochodowe. Od prawidłowego ciśnienia w oponach zależą bezpieczeństwo pasażerów i czas użytkowania opon.

Jest jeszcze jeden sposób zwiększania ciśnienia w zbiorniku. Przedstawimy go w kolejnym doświadczeniu.



Rys. 2.22. Podczas pompowania piłki zwiększamy liczbę cząsteczek, które się w niej znajdują, przez co wzrasta ciśnienie wewnątrz piłki

Doświadczenie 2.8

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 stoik o pojemności 0,5 litra w miejsce nakrętki nałóż gumową membranę (balon lub rękawiczkę). Membranę przymocuj do stoika mocną nitką.
- Stoik umieść w naczyniu z gorącą wodą i obserwuj powierzchnię membrany.

Wynik: Po umieszczeniu stoika 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 stoika jest większe.

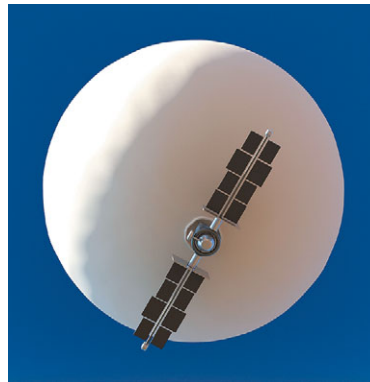


To ważne!

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

Zadania i doświadczenia

1. Wyjaśnij, dlaczego wraz ze wzrostem temperatury rośnie ciśnienie powietrza w dętcie rowerowej.
2. Spróbuj przewidzieć, czy unoszący się 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

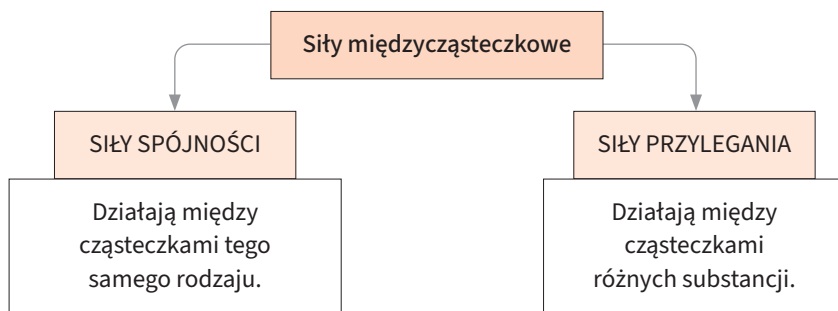
Potrzebne przedmioty: szklana butelka (lub wazon), której szyjka ma trochę mniejszy obwód od obwodu jajka, ugotowane i obrane ze skorupki jajko, papierek, zapałki.

Kolejne czynności:

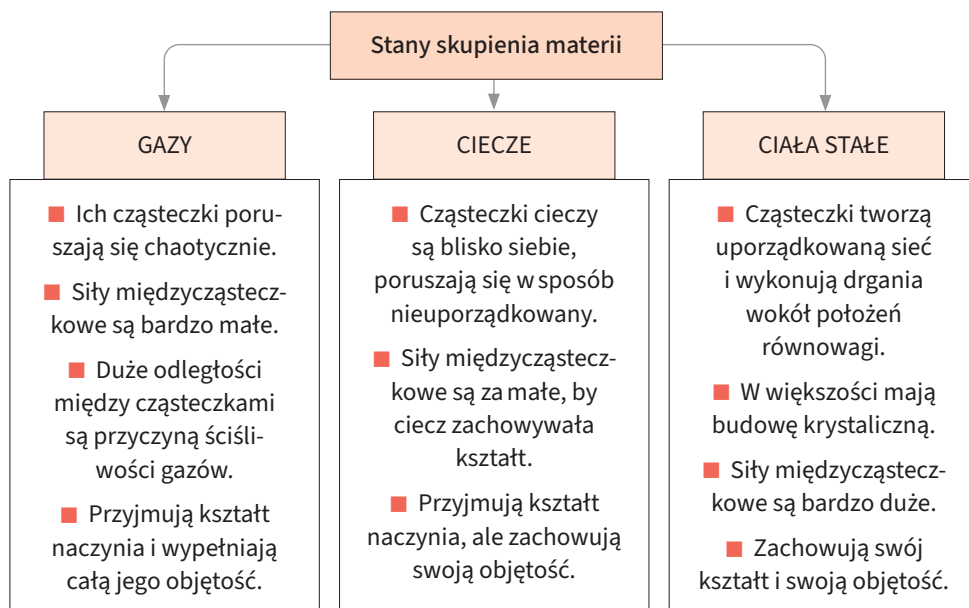
- Do wnętrza butelki wrzucić zapalony papierek.
- Natychmiast po tym na otworze butelki położyć jajko.
- Opisać wynik obserwacji. Wyjaśnić zaobserwowane zjawisko.

Podsumowanie

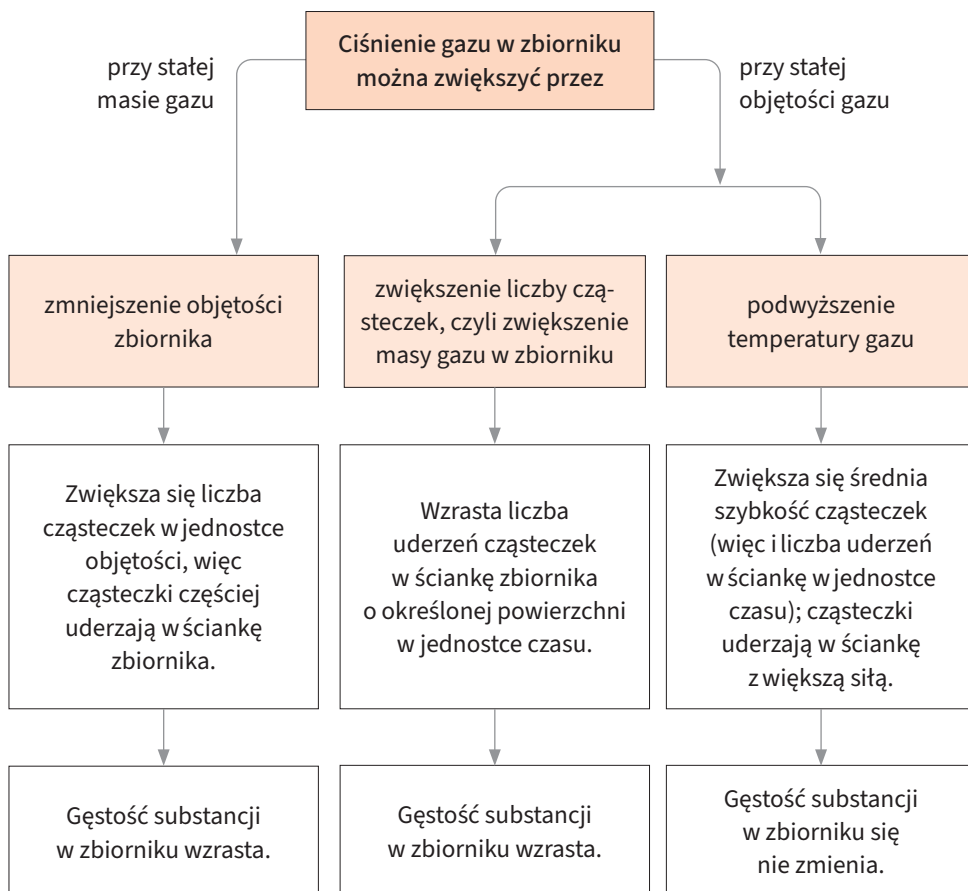
- Siły wzajemnego przyciągania występujące przy bardzo małych odległościach między cząsteczkami nazywamy siłami międzycząsteczkowymi.



- Wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek pozostających w ciągłym ruchu, których ułożenie i wzajemne oddziaływanie zależą od stanu skupienia, w jakim znajduje się to ciało.



- Siły napięcia powierzchniowego to siły przyciągania działające między cząsteczkami na powierzchni cieczy. Dążą one do zmniejszenia tej powierzchni.
- Topnienie i krzepnięcie substancji o budowie krystalicznej 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 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.
- Cząsteczki gazu znajdującego się w zbiorniku nieustannie bombardują jego ścianki, w wyniku czego wywierają na nie nacisk.



Sprawdź się

Wybierz właściwe dokończenia zdań w zadaniach 1–20.

1. Najistotniejszą cechą dobrego materaca jest jego
 - A. ściśliwość.
 - B. sprężystość.
 - C. plastyczność.
 - D. kruchość.
2. Z porcelanowym talerzem należy postępować ostrożnie ze względu na jego
 - A. plastyczność.
 - B. kształt.
 - C. kruchość.
 - D. twardość.
3. Po przelaniu cieczy ze szklanki do flakonu
 - A. nie zmienia się jej objętość, ale zmienia się kształt.
 - B. objętość cieczy wzrośnie, a kształt się zmieni.
 - C. objętość cieczy zmaleje, a kształt się zmieni.
 - D. nie zmienia się ani objętość, ani kształt cieczy.
4. Nieprawdą jest, że ciecze
 - A. mogą łatwo zmieniać kształt.
 - B. wywierają nacisk na dno pojemnika, w którym się znajdują.
 - C. dostosowują się kształtów do zbiornika.
 - D. samorzutnie wypełniają całą objętość zbiornika.
5. Para wodna
 - A. jest widoczna w postaci mgły i chmur.
 - B. jest widoczna na wewnętrznej powierzchni szklanki, gdy nalejemy do niej wrzątku.
 - C. jest widoczna w postaci mgiełki wydobywającej się z dzióbka czajnika, gdy gotujemy w nim wodę.
 - D. nie jest widoczna (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. Pierwiastkiem chemicznym jest
- A. ołów.
 - B. woda.
 - C. dwutlenek węgla.
 - D. sól kuchenna.
9. Pierwiastkiem chemicznym nie jest
- A. węgiel.
 - B. woda.
 - C. tlen.
 - D. żelazo.
10. Przykładem substancji o budowie krystalicznej jest
- A. szkło.
 - B. plastik.
 - C. sól kuchenna.
 - D. masło.
11. 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.
12. 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.
13. Temperatura 7°C jest równa
- | | | | |
|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| A. 280 K | B. 180 K | C. 80 K | D. 7 K |
|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
14. Temperatura 373 K jest równa
- | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| A. 0°C | B. 53°C | C. 73°C | D. 100°C |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|



15. Skutkiem występowania zjawiska napięcia powierzchniowego nie jest
- A. możliwość biegania owadów po powierzchni wody.
 - B. powstawanie baniek mydlanych.
 - C. utrudnione wnikanie wody między włókna tkanin.
 - D. przyczepianie się cząsteczek farby drukarskiej do papieru.
16. 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.
17. Powstawanie szronu jest efektem
- A. parowania wody z liści.
 - B. skraplania pary wodnej z powietrza.
 - C. resublimacji pary wodnej z powietrza.
 - D. krzepnięcia pary wodnej z powietrza.
18. Podczas krzepnięcia
- A. ciało stałe zamienia się w gaz.
 - B. ciało stałe zamienia się w ciecz.
 - C. ciecz zamienia się w ciało stałe.
 - D. ciecz zamienia się w gaz.
19. Parowanie cieczy w temperaturze niższej niż temperatura wrzenia
- A. zachodzi w całej objętości cieczy.
 - B. zachodzi na powierzchni cieczy.
 - C. nie zachodzi.
 - D. zachodzi tym intensywniej, im niższa jest temperatura.
20. Temperatura zera bezwzględnego
- A. to temperatura 0°C .
 - B. to temperatura, w której cząsteczki poruszają się z maksymalną szybkością.
 - C. to temperatura, w której szybkość cząsteczek wynosi 0 m/s .
 - D. to początek skali Celsjusza.

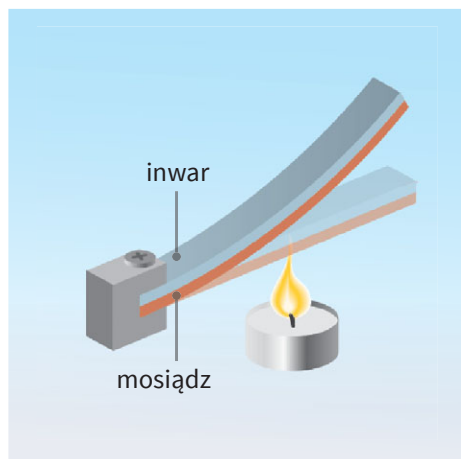


Rozszerzalność temperaturowa

Gdy nie możesz odkręcić słoika, wystarczy go odwrócić i na kilka sekund zanurzyć metalową zakrętkę w bardzo gorącej wodzie. Ten sposób działa, bo wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się objętość zakrętki, dzięki czemu zwiększa się jej średnica i to ułatwia „odkręcenie”, bo przestaje ona ściśle przylegać do szklanego gwintu słoika. Zaobserwowane tu zjawisko zwiększania objętości ciała wraz ze wzrostem jego temperatury nazywamy **rozszerzalnością temperaturową**.

Zjawisko rozszerzalności temperaturowej jest powszechnie wykorzystywane również w przemyśle. Zwiększanie objętości wraz ze wzrostem temperatury oraz zmniejszanie jej wraz ze spadkiem temperatury ciała stosowane jest m.in. do tworzenia trwałych połączeń elementów metalowych, na przykład podczas produkcji kół wagonów tramwajowych i kolejowych. Koła te składają się z tarczy obracającej się wokół osi oraz otaczającej tarczę obręczy, która prowadzi pojazd po szynach. Średnica obręczy jest nieco mniejsza od średnicy koła, ale po ogrzaniu zwiększa się i wtedy obręcz jest nasuwana na koło. Po ostygnięciu obręcz kurczy się i tworzy bardzo mocne połączenie.

Przedmioty wykonane z jednych substancji bardziej rozszerzają się wraz ze wzrostem temperatury, a wykonane z innych – mniej. Efekt ten wykorzystuje się w tzw. taśmie bimetalowej. Jest ona wykonana z połączonych ze sobą pasków z dwóch różnych metali, najczęściej inwaru i mosiądzu (inwar jest stopem żelaza i niklu, a mosiądz – miedzi i cynku). Podczas ogrzewania takiej taśmy część wykonana z mosiądzu bardzo się rozszerza, a część wykonana z inwaru nie rozszerza się prawie wcale. Skutkiem tego jest wygięcie taśmy bimetalowej.

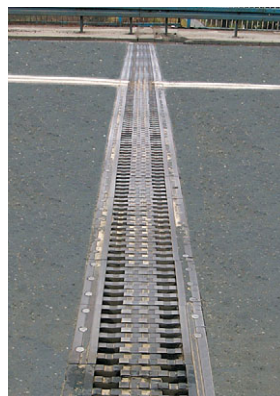


Taką taśmę wykorzystuje się m.in. w piecykach gazowych (powoduje ona zamknięcie dopływu gazu w przypadku zgaśnięcia tzw. świeczki) oraz w żelazkach lub piecykach elektrycznych (wyłącza urządzenie po osiągnięciu odpowiedniej temperatury).



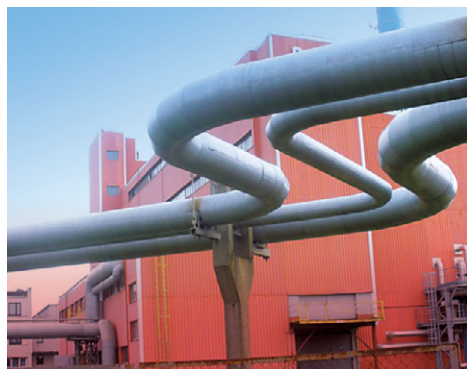
Także ciecze i gazy wykazują rozszerzalność temperaturową. Zwiększanie objętości podczas ogrzewania gazów możemy sprawdzić samodzielnie dzięki przeprowadzeniu prostego eksperymentu. Jeśli wylot dużej pustej butelki po wodzie mineralnej zanurzymy w naczyniu z wodą i wzdłuż butelki będziemy przesuwając 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.

Rozszerzalność temperaturowa jest na tyle powszechnym zjawiskiem, że należy ją uwzględniać podczas projektowania różnych elementów konstrukcyjnych, zwłaszcza tych wykonanych z metalu i narażonych na zmiany temperatury, na przykład stalowych konstrukcji mostów. W lecie, gdy temperatura powietrza jest wysoka, stalowe przęsła mostu się rozszerzają. Z tego powodu często stosuje się metalowe grzebienie z naprzemiennymi zębami (patrz zdjęcie), które zaciskają się i rozsuwają w zależności od długości połączonych nimi elementów.



Po przeczytaniu tekstu...

- Zastanów się i wyjaśnij, dlaczego rury ciepłownicze w niektórych miejscach są wygięte.
- Odpowiedz na pytanie, dlaczego w czasie upałów przewody linii wysokiego napięcia swobodnie zwisają, a zimą są bardziej napięte.
- Znajdź w internecie informacje o anomalnej rozszerzalności temperaturowej wody. Jaki ma ona związek z możliwością przeżycia organizmów w zbiornikach wodnych zimą?



3

Jak opisujemy ruch?

W czasie biegu sprinterka wykorzystuje różne rodzaje ruchu. Przy starcie jest to ruch przyspieszony, czyli taki, w którym wartość prędkości rośnie.



3.1

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 tej 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 innego ciała, zwanego **układem odniesienia**. Na przykład nauczyciel stoi przy tablicy, obraz wisi półtora metra nad podłogą, a Kasia siedzi w trzeciej ławce, przy oknie. Najczęściej używanym układem odniesienia jest Ziemia lub ciało, które nie porusza się względem niej, a więc dom, drzewo, znak drogowy itp.



Rys. 3.1. Każda osoba lub przedmiot w klasie w danej chwili zajmuje określone położenie w przestrzeni, które można określić względem innego ciała (układu odniesienia)

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.



Rys. 3.2. Sportowcy na fotografiach poruszają się w układzie odniesienia związanym z Ziemią

Przykład 3.1

Przeanalizujmy sytuację przedstawioną na fotografii. Jeśli przyjmimy, 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.

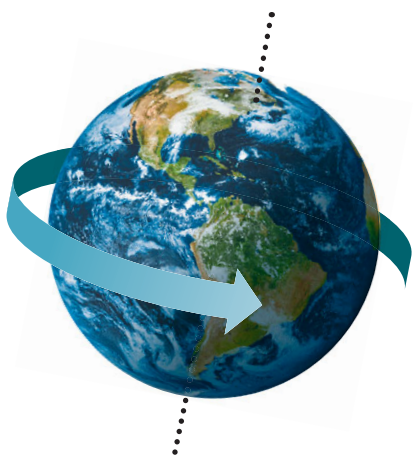


Tvoja kolej! ➔ zad. 2 s. 82

Nie można więc stwierdzić, że dane ciało jest w spoczynku lub 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. 3.3). W konsekwencji względem Słońca jesteśmy w ruchu, a Słońce jest w ruchu względem nas. Dlatego na niebie widzimy Słońce wędrujące ze wschodu na zachód.



Rys. 3.3. Ziemia obraca się z zachodu na wschód

Przykład 3.2

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

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



Tvoja kolej! ➔ zad. 3 s. 82

To ważne!

- Położenie ciała w przestrzeni można określić jedynie względem innego ciała, zwanego układem odniesienia (ciałem odniesienia).
- 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.
- Gdy opisujemy ruch, powinniśmy 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 porusza się względem brzegu, 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 Wisły wybił piłkę w stronę bramkarza Polonii. W układzie odniesienia związanym
1. z bramkarzem Wisły
 2. z bramkarzem Polonii
 3. z grudką błota na piłce
- A. piłka się zbliża.
B. piłka spoczywa.
C. piłka się oddala.

3.2

Tor ruchu, droga

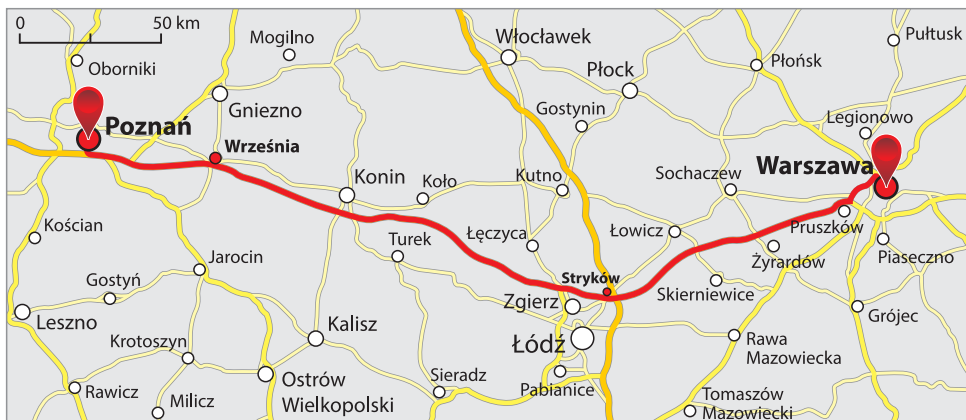
Ciało zmieniające położenie między dwoma punktami porusza się wzdłuż jakiejś linii. Widoczną lub niewidoczną linię, którą zakreśla ciało wykonujące ruch, nazywamy **torem** jego ruchu. Ruch, którego torem jest prosta, nazywamy **prostoliniowym**. Ruch, którego torem jest dowolna krzywa, nazywamy ruchem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

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



Rys. 3.4. Po alei przedstawionej na fotografii rowerzysta może się poruszać ruchem prostoliniowym (a). Przy bezwietrznej pogodzie balony wznoszą się w górę ruchem prostoliniowym (b). Po tej szosie pojazdy poruszają się ruchem krzywoliniowym (c). Pasażerowie tej kolejki poruszają się ruchem krzywoliniowym (d)

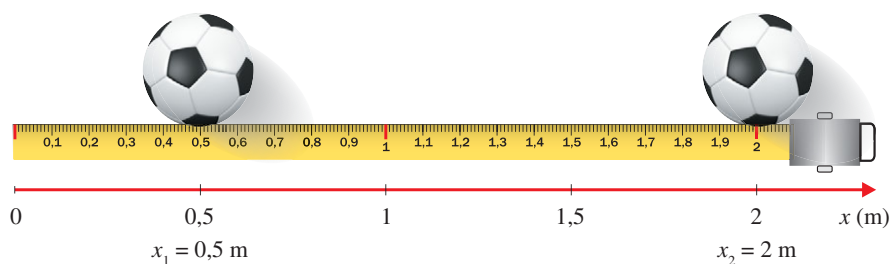
Przypatrzmy się fragmentowi mapy komunikacyjnej Polski. Zaznaczona czerwoną kreską szosa przedstawia tor, po którym poruszają się samochody na trasie Poznań–Warszawa. Wracający z Warszawy do domu mieszkaniec Strykowa przebędzie tylko część tego toru, podobnie jak mieszkaniec Wrześni.



Rys. 3.5. Fragment mapy komunikacyjnej Polski z trasą Poznań–Warszawa

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.

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



Rys. 3.6. Ruch piłki wzdłuż taśmy mierniczej

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

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

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

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

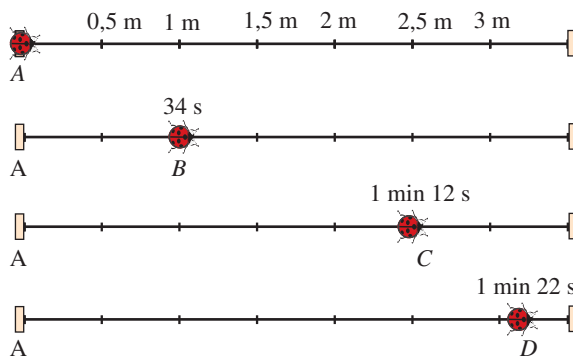
piłka przesunęła się o:

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

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 3.3

Po drucie wędruje biedronka. Druk ma długość 3,5 metra. W chwili, gdy biedronka weszła na druk, 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:

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

To ważne!

- Torem ruchu nazywamy linię, którą zakresła ciało wykonujące ruch.
- Ruch, którego torem jest prosta, nazywamy ruchem prostoliniowym.
- Ruch, którego torem jest dowolna krzywa, nazywamy ruchem krzywoliniowym.
- Długość toru między dwoma jego punktami nazywamy drogą przebytą przez ciało i oznaczamy symbolem s .
- Jednostką drogi jest metr (m).

Zadania i doświadczenia

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. Na mapie odległości są podane w kilometrach.



Oszacuj drogę, którą trzeba przebyć, aby:

- a) z miejscowości Pasztowa Wola dojechać do miejscowości Lipsko,
 - b) z miejscowości Ciepielów dojechać do miejscowości Sienno,
 - c) z miejscowości Bujak dojechać do miejscowości Anusin.
3. Magda przejechała na tyżworolkach 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.



3.3

Ruch 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 w jednakowych odstępach czasu przebywa jednakowe odcinki drogi.

Dodatkowo załóżmy, że ruch odbywa się **stałe w tę samą stronę**.

Przykład 3.4

Jeżeli samolot poruszający się po linii prostej w ciągu dowolnych, ale jednakowych odstępów czasu przebywa jednakowe odcinki drogi (np. w ciągu każdej godziny przeleci 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 3.1

Badamy ruch prostoliniowy jednostajny

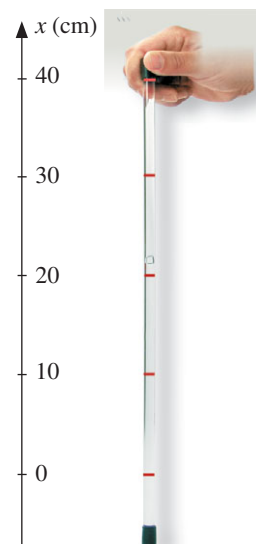
Potrzebne przyrządy: szklana rurka lub kawałek plastikowego węża o długości co najmniej 45 cm, wypełniona olejem z banieczką powietrza, pisak, stoper, linijka.

Kolejne czynności i pomiary:

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

Do pomiaru możesz użyć np. stopera w smartfonie. Wykorzystaj dostępną w tym stoperze możliwość zapisywania wyników pośrednich.

- Wyniki wpisz do tabeli.
- Oblicz średnie czasy przebywania przez banieczkę 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. 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 $\Delta t = 0,1$ s.

Tabela 3.1. Przykładowe wyniki doświadczenia 3.1

Δx (cm)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_{sr} (s)	$t_{\text{sr}} \pm \Delta t$ (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.

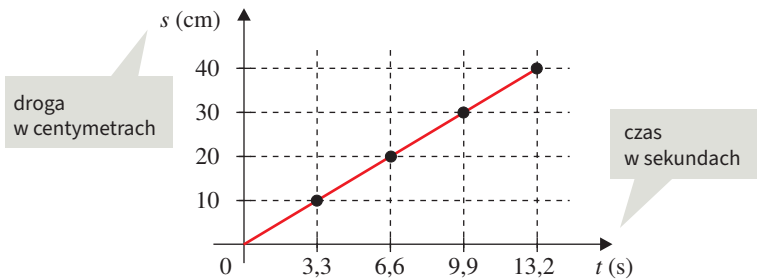
Na podstawie tych wyników pomiarów możemy także odpowiedzieć na pytanie: „Jak droga przebyta przez ciało zależy od czasu trwania ruchu?”.

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 jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu.

Wykorzystajmy otrzymane wyniki 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 układ osi nanosimy punkty: (0; 0), (3,3; 10), (6,6; 20), (9,9; 30), (13,2; 40). Pierwsza współrzędna to czas, a druga to droga przebyta od początku ruchu. Otrzymane punkty leżą na tej samej półprostej.



Rys. 3.7. Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym

Jak widać na rysunku 3.7, **wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.**

Przykład 3.5

Żółw wędruje ruchem jednostajnym.
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.

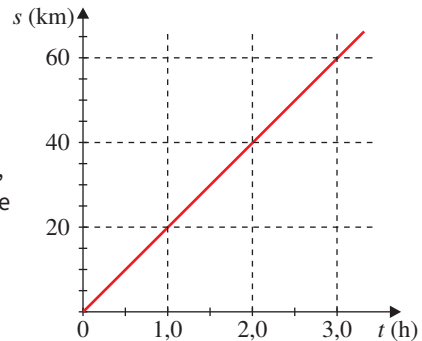


Tvoja kolej! ➔ zad. 2 s. 90

Przykład 3.6

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

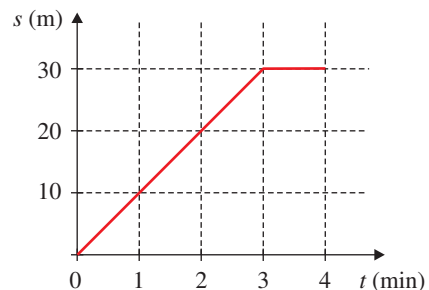
- w czasie 2,5 godziny łódź przepłynęła 50 km,
- drogę równą 30 km łódź przepłynęła w czasie 1,5 h.



Przykład 3.7

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

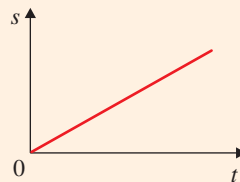
- w pierwszej minucie przejechało 10 m,
- w drugiej minucie przejechało 10 m,
- w końcu trzeciej minuty zatrzymało się i przez całą czwartą minutę pozostawało w spoczynku.



Tvoja kolej! ➔ zad. 6 s. 90

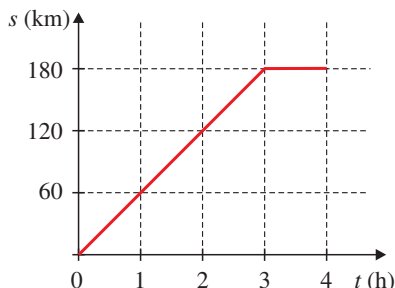
To ważne!

- Ruchem jednostajnym nazywamy taki ruch, w czasie którego ciało w dowolnych, ale jednakowych odstępach czasu przebywa jednakowe odcinki drogi.
- Droga przebyta przez ciało w czasie tego ruchu jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu, np. w dwukrotnie dłuższym czasie ciało przebywa dwukrotnie dłuższą drogę.
- 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.



Zadania i doświadczenia

1. Narysuj wykres zależności drogi przebytej przez żółwia z przykładu 3.5 od czasu jego ruchu.
2. Kolarz jedzie ruchem jednostajnym. 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.
3. Wykonaj wykres zależności drogi przebytej przez kolarza z zadania 2. od czasu dla pierwszych 10 sekund jego ruchu.
4. Dźwięk w powietrzu w czasie 1 s 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.
5. W stalowych szynach kolejowych dźwięk w jednej sekundzie przebywa drogę 5800 m.
 - a) Oblicz czas, po jakim zawiadowca stacji usłyszy dźwięk wydawany przez pociąg odległy od niego o 2,9 km, jeśli przyłoży ucho do szyny.
 - b) Sporządź wykres zależności drogi przebytej przez dźwięk rozchodzący się w stali od czasu.
6. Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez samochód od czasu trwania ruchu.
 - a) Jaką drogę przebył samochód w czasie pierwszych dwóch godzin ruchu?
 - b) Jaką drogę przebył samochód w drugiej godzinie ruchu?
 - c) Czy w czwartej godzinie ruchu samochód się poruszał?



3.4 Szybkość 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:

$$\frac{\text{droga}}{\text{czas}} = \frac{s}{t} = \text{const} \quad (3.1)$$

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

$$\begin{aligned} \text{wartość prędkości} &= \frac{\text{droga}}{\text{czas}} \\ v &= \frac{s}{t} \end{aligned} \quad (3.2)$$

W celu określenia jednostki szybkości do wzoru (3.2) 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. $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$, $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Rys. 3.8. Gąsienica porusza się z małą szybkością, tzn. w długim czasie przebywa krótką drogę (a). Narciarz porusza się z dużą szybkością, tzn. w krótkim czasie przebywa długą drogę (b)

Wróćmy do przykładu z piłką toczącą się wzdłuż taśmy mierniczej (s. 84). W ciągu 3 sekund piłka przebyła drogę 1,5 metra. Jeśli podzielimy całą przebytą przez nią drogę przez czas trwania ruchu, otrzymamy szybkość, tzn. informację o tym, o ile przesunęła się w ciągu jednej sekundy.

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

Tabela 3.2. 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
samolot odrzutowy	222	800
dźwięk w powietrzu	340	1224

Przykład 3.8

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 3.9

Samochód jedzie z szybkością 30 m/s. Wyrażmy tę szybkość w km/h.

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

$$30 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 30 \cdot \frac{\frac{1 \text{ km}}{1000}}{\frac{1 \text{ h}}{3600}} = 30 \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000} \cdot \frac{3600}{1 \text{ h}} = 30 \cdot \frac{1 \text{ km} \cdot 3600}{1000 \cdot 1 \text{ h}} = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Twoja kolej! ➔ zad. 2 s. 94

Przykład 3.10

Samochód jedzie ruchem jednostajnym z szybkością $v = 36 \text{ km/h}^1$. Wyrażmy tę szybkość w m/s.

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

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

Twoja kolej! ➔ zad. 1 s. 94

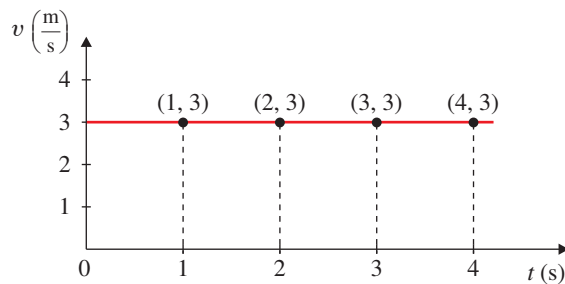
¹ Zapis 36 km/h oznacza to samo co $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jest on często stosowany w podręcznikach fizyki i zbiorach zadań.

Narysujmy wykres zależności szybkości od czasu w ruchu jednostajnym dla wyników przedstawionych w tabeli 3.3. W każdej chwili, a więc po 1 sekundzie ruchu, po 2 sekundach ruchu itd., szybkość wynosi 3 m/s.

Tabela 3.3. Wyniki pomiarów szybkości i czasu w ruchu jednostajnym

t (s)	1	2	3	4
v (m/s)	3	3	3	3

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.



Rys. 3.9. Wykres zależności szybkości od czasu w ruchu jednostajnym

Wykresem zależności szybkości 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 (3.2) i przekształcimy go do postaci:

$$\text{droga} = \text{szybkość} \cdot \text{czas}$$

$$s = v \cdot t \quad (3.3)$$

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

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

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

Jeśli przekształcimy wzór (3.2) do postaci:

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

możemy obliczyć czas, w którym ciało ruchem jednostajnym przebywa drogę s .

Czy wiesz, że...

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. Szybkość ta wynosi w przybliżeniu 300 000 km/s.

To ważne!

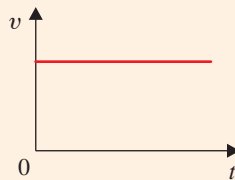
- W ruchu jednostajnym szybkość (wartość prędkości) informuje nas o tym, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu.

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

- Jednostką szybkości jest 1 m/s.
- Drogę w ruchu jednostajnym obliczamy ze wzoru:

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

- W ruchu jednostajnym wykresem zależności szybkości od czasu $v(t)$ jest półprosta równoległa do osi czasu.



Zadania i doświadczenia

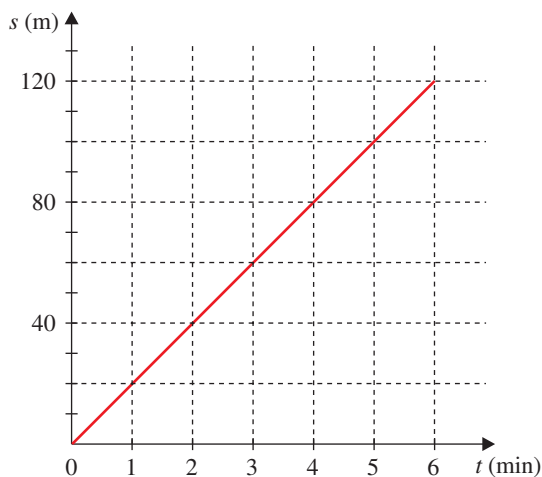
1. Samochód jedzie ruchem jednostajnym z szybkością $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wyraż tę szybkość w m/s.
2. Rowerzysta jedzie ruchem jednostajnym z szybkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wyraż tę szybkość w km/h.
3. Która z szybkości $v_1 = 36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_2 = 360 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, $v_3 = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ jest największa? Wykonaj odpowiednie obliczenia.
4. 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

5. Dźwięk w powietrzu rozchodzi się z prędkością o wartości $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij drogę s , jaką pokonuje dźwięk w podanym czasie t .

$s \text{ (m)}$	$t \text{ (s)}$
	1
	2
	0,5

6. 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.
7. Skorzystaj z tabeli 3.2 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.
8. Wykres przedstawia zależność $s(t)$ dla kostki masła umieszczonej na taśmie transportera przenoszącego produkty z hali produkcyjnej do paczkowni.



- a) Odczytaj drogę przebytą przez kostkę masła:
- 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.

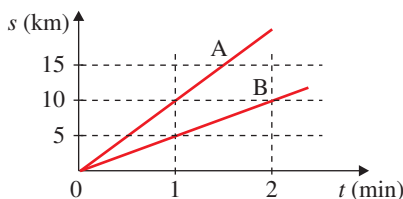
9. Od ujrzenia błyskawicy do usłyszenia grzmotu upłynęło 5 sekund. Jak daleko od obserwatora uderzył piorun? Szybkość dźwięku w powietrzu jest równa 340 m/s.
Wskazówka: Ze względu na bardzo dużą szybkość światła można pominąć w obliczeniach czas, jakiego potrzebowało ono na dotarcie do obserwatora.

10. Postuż się tabelą 3.2 i oblicz, jak daleko może dotrzeć:

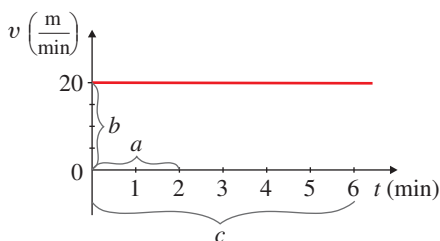
- pszczoła w ciągu pół godziny,
- antylopa w ciągu piętnastu minut,
- samolot odrzutowy w ciągu dwóch godzin.



11. Postuż się tabelą 3.2 i oblicz, ile czasu potrzebuje:
- koń na przebycie 9 kilometrów,
 - sprinter na przebycie 300 metrów.
12. 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.



- *13. Wykres przedstawia zależność szybkości kostki masła z zadania 8. od czasu ruchu na taśmie transportera.



- Oblicz pole prostokąta o bokach a i b (z uwzględnieniem jednostek) ze wzoru $P = a \cdot b$. Sprawdź na wykresie w zadaniu 8., jaką drogę przebyło masło w ciągu dwóch minut, i porównaj ją z uzyskaną wartością.
- Przerysuj wykres do zeszytu i zakresł na nim prostokąt o bokach b i c . Oblicz pole tego prostokąta. Sprawdź na wykresie w zadaniu 8., jaką drogę przebyło masło w ciągu sześciu minut, i porównaj ją z uzyskaną wartością.
- Zapisz słowami wnioski z przeprowadzonych obliczeń i porównań.

*3.5

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.



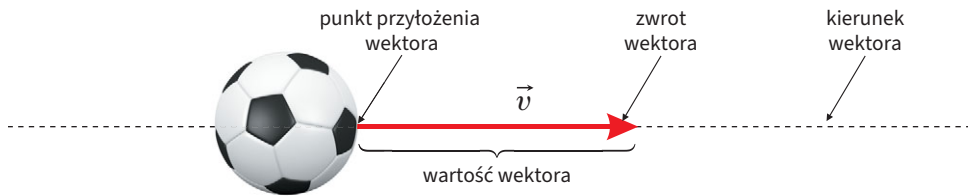
Rys. 3.10. Bez określenia, wzdłuż jakiej prostej i w którą stronę porusza się ciało, nie możemy jednoznacznie określić jego końcowego położenia

W chwili początkowej statek znajduje się w punkcie A. Stąd wyrusza i płynie z szybkością 15 km/h ruchem jednostajnym prostoliniowym przez 9 godzin. Jeśli nie wiemy, w którą stronę płynie, nie uda się wskazać jego położenia po tym czasie. Statek może się poruszać na północ, południe, wschód lub w każdym innym kierunku. Po 9 godzinach ruchu może znajdować się więc w każdym punkcie okręgu o środku w punkcie A i promieniu s równym drodze, którą przebył. 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**². Wektor obrazujący prędkość przykładamy do ciała, którego ruch opisujemy.

² 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.



Rys. 3.11. Prędkość jest wielkością wektorową

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.



Rys. 3.12. Wektor prędkości określa, wzdłuż jakiej prostej i w którą stronę porusza się ciało

Przykład 3.11

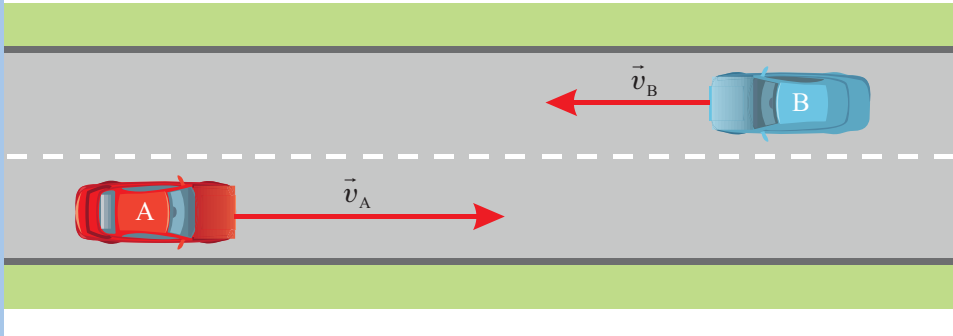
Samolot leci na wschód z szybkością 800 km/h. Narysujmy wektor obrazujący prędkość samolotu. Umawiamy się, że strzałka o długości 1 cm oznacza 400 km/h.

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



Przykład 3.12

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.

Tabela 3.4. Cechy wektora

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.

To ważne!

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

3.6

Ruch zmienny

W życiu codziennym często obserwujemy ruchy, w których wartość prędkości się zmienia.

Przykład 3.13

Skuter śnieżny wolniej jedzie pod górę, szybciej z góry. Zwalnia, aż do zatrzymania się, a zwiększa 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 obliczamy ze wzoru:

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

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

Przykład 3.14

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 w aplikacji w smartfonie. O której godzinie powinna rozpocząć się podróż, jeżeli Magda ma dojechać do Zakopanego o 14.00?

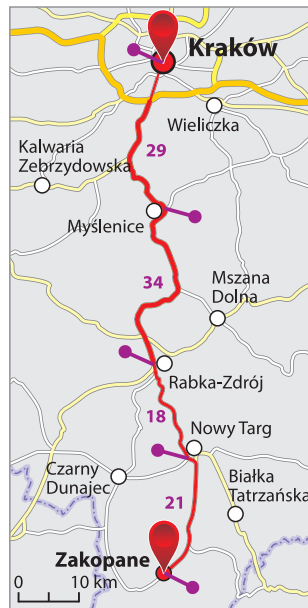
Rozwiązanie:

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:

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

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

$$= 1,7 \cdot 60 \text{ min} = 102 \text{ min} = 1 \text{ h } 42 \text{ min}$$



Odpowiedź: Podróż Magdy powinna się rozpocząć o 12.18.

Tvoja kolej! ➡ zad. 4 s. 103

Doświadczenie 3.2

Wyznaczanie średniej szybkości przez pomiar odległości i czasu

Wspólnie z kolegami i koleżankami zorganizuj zawody sportowe – w sali gimnastycznej, na boisku lub w basenie.

- Odmierzcie określony dystans do przebycia przez uczestników zawodów.
 - Zmierzcie czas przebycia wyznaczonego dystansu przez każdego zawodnika. Czas powinien jednocześnie mierzyć przynajmniej trzy osoby.
 - Dla każdego zawodnika obliczcie średnią arytmetyczną wyników pomiaru czasu w sekundach, zaokrągloną do pierwszego miejsca po przecinku.
 - Obliczcie średnią wartość prędkości każdego zawodnika.
- Zawody wygrywa osoba, dla której wyznaczona średnia wartość prędkości jest największa.

Do opisu ruchu zmiennego także używa się prędkości, czyli wielkości wektorowej. 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**.

Czy wiesz, że...

Odcinkowy pomiar szybkości to metoda wyłapywania kierowców przekraczających dozwoloną szybkość – skuteczniejsza od fotoradaru. Fotoradar fotografuje pojazdy, które przekraczają dopuszczalną szybkość w danym miejscu. Jednak kierowcy, którzy widzą znak informujący o fotoradarze, często zwalniają tylko przed punktem kontroli. System odcinkowego pomiaru szybkości polega natomiast na zmierzeniu czasu przejazdu samochodu pomiędzy wyznaczonymi punktami, a następnie obliczeniu jego średniej szybkości na tym odcinku. Jeśli szybkość ta przekroczy dopuszczalną, to kierowca zostanie ukarany mandatem. Taki system zachęca do jazdy zgodnej z obowiązującymi przepisami na całym kontrolowanym odcinku drogi, co poprawia bezpieczeństwo na drogach.



To ważne!

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

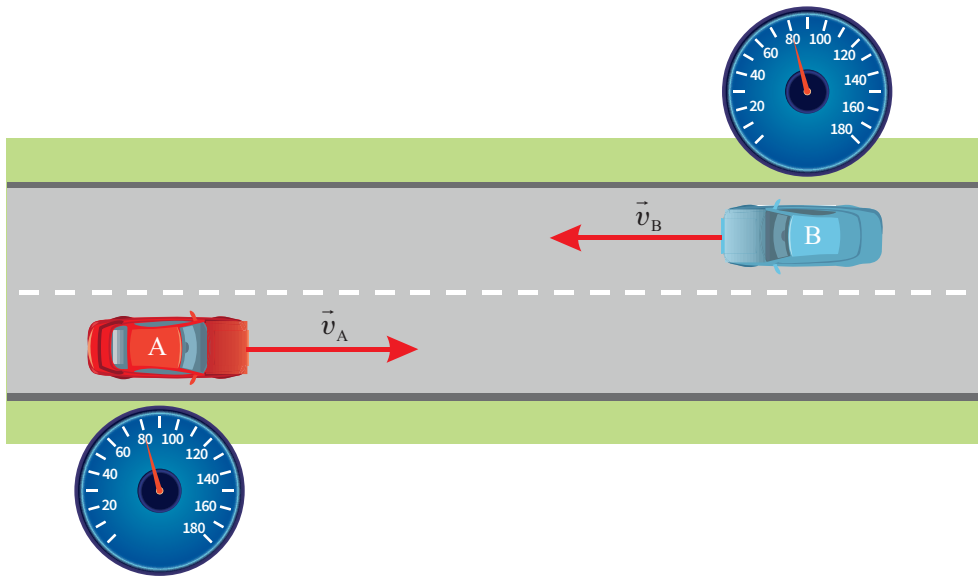
$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$$

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 50 oznacza zakaz przekroczenia wskazywanej przez prędkościomierz szybkości chwilowej 50 km/h czy średniej szybkości 50 km/h.
4. Odległość między domem a szkołą Tomka wynosi 1,5 km. O której godzinie najpóźniej powinien on wyjść z domu, aby zdążyć na lekcje rozpoczynające się o 8.00, jeśli będzie poruszał się ze średnią szybkością równą 4,5 km/h?
5. Podczas szkolnej wycieczki uczniowie w ciągu 4 godzin przebyli 12 km. Oblicz drogę, jaką średnio pokonywali oni w każdej godzinie.
6. 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”.
7. Po prostoliniowym odcinku szosy jadą dwa samochody A i B (rys.). Przy każdym narysowano wskazanie jego prędkościomierza w pewnej chwili.



- a) Czy prędkościomierze samochodów A i B wskazują szybkości średnie czy szybkości chwilowe?
- b) Czy wartości prędkości samochodów w chwili przedstawionej na rysunku są jednakowe czy różne?
- * c) Czy prędkości samochodów w chwili przedstawionej na rysunku są jednakowe czy różne?

3.7 Ruch jednostajnie przyspieszony

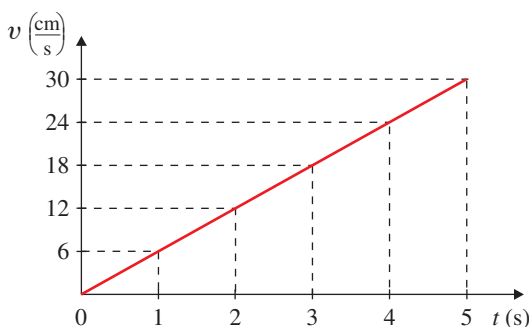


Rys. 3.13. Na spadzistych odcinkach trasy szybkość pontonu wzrasta

jest ruch po gładkiej powierzchni nachylonej do poziomu, można badać z użyciem stalowej kulki poruszającej się w długiej rynnie (rys. 3.14.), mierząc drogi przebyte przez kulkę w kolejnych równych odstępach czasu.



Rys. 3.14. Kulka w stalowej rynnie nachylonej do poziomu porusza się ruchem przyspieszonym



Rys. 3.15. Wykres zależności wartości prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym

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 m.in. samochody i samoloty. Takim ruchem rozpoczynają zjazd po nachylonym stoku narciarze i saneczkarze.

Szczególny ruch przyspieszony, jakim

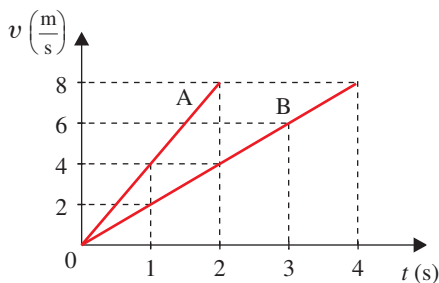
W wyniku przeprowadzonego doświadczenia otrzymujemy wykres zależności $v(t)$, tzn. wartości prędkości chwilowej od czasu dla takiego ruchu, w postaci półprostej wychodzącej z początku układu współrzędnych, nachylonej pod kątem ostrym do osi czasu. Odczytajmy z wykresu, o ile wzrastała wartość prędkości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

W pierwszej sekundzie szybkość wzrosła od 0 do $6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. W drugiej sekundzie 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 nachylnym torze w każdej sekundzie zwiększało szybkość o $\Delta v = 6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$.

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

Przykład 3.15

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

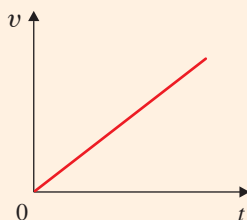


Obydwa pojazdy poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Szybkość pojazdu A wzrasta w każdej sekundzie o 4 m/s , a pojazdu B – o 2 m/s .

Twoja kolej! ➡ zad. 1, 2, 3 s. 106

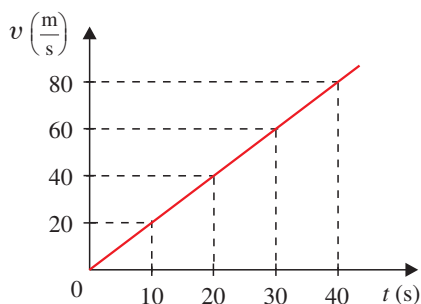
To ważne!

- 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.
- Wykresem zależności szybkości od czasu w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych, nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.



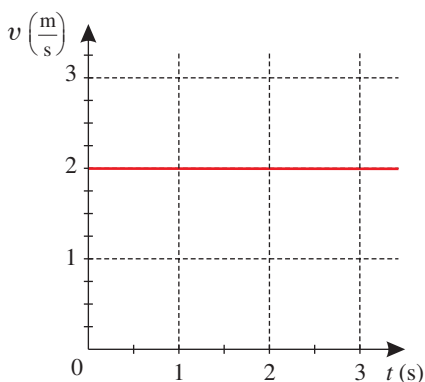
Zadania i doświadczenia

1. Samochód przez 8 sekund poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym. W drugiej sekundzie ruchu jego szybkość wzrosła o 5 m/s. O ile wzrosła szybkość tego samochodu w czwartej sekundzie ruchu?
2. Przedmiot ruszył z miejsca i zsuwał się po gładkiej desce ruchem jednostajnie przyspieszonym. W ciągu pierwszej sekundy ruchu jego prędkość wzrosła o 0,2 m/s. Ile wynosiła szybkość tego przedmiotu po trzech sekundach ruchu?
3. Wykres przedstawia zależność $v(t)$ w pewnym ruchu.

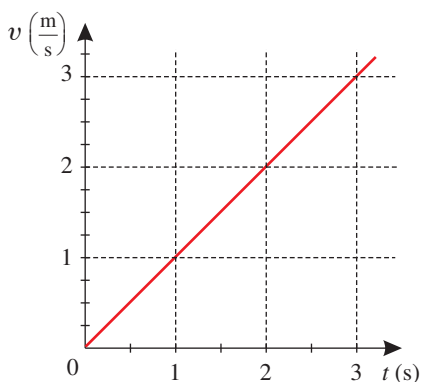


- a) Ustal, czy był to ruch jednostajnie przyspieszony. Uzasadnij odpowiedź.
 - b) Odczytaj z wykresu, o ile zwiększyła się szybkość ciała w dziesięciu sekundach ruchu.
 - c) Jeśli znasz przyrost szybkości w dziesięciu sekundach, oblicz, o ile zwiększyła się szybkość w ciągu jednej sekundy.
4. Na wykresach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

A.



B.



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

3.8

Przyspieszenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym

W poprzednim rozdziale badaliśmy ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony. W takim ruchu szybkość wzrasta w każdej sekundzie o tę samą wartość.

Popatrzmy teraz na wykres przedstawiony na s. 104 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 podzielony przez czas Δt , w którym ten przyrost nastąpił, nazywamy **wartością przyspieszenia**³. Tę wartość oznaczamy literą a .

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

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

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

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

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (3.4)$$

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

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

³ 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.

Wstawmy do wzoru (3.4) 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 3.16

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



Przykład 3.17

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

Dane: $t = 3 \text{ s}$, $v_0 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Szukane: a

Rozwiązanie:

$$v_0 = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

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

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 3.18

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 $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Twoja kolej! ➔ zad. 2a s. 111

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

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \quad \text{czyli} \quad a = \frac{v}{t}$$

skąd:

$$v = a \cdot t \quad (3.5)$$

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 3.19

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:

$$\begin{aligned} \text{szybkość rakiety} &= \text{przyrost szybkości w jednej sekundzie} \cdot 30 \text{ s} = \\ &= 40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30 \text{ s} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} \cdot 30 \text{ s} = 1200 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

- Po upływie minuty:

$$\begin{aligned} \text{szybkość rakiety} &= \text{przyrost szybkości w jednej sekundzie} \cdot 60 \text{ s} = \\ &= 40 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 60 \text{ s} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} \cdot 60 \text{ s} = 2400 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$



Przykład 3.20

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:

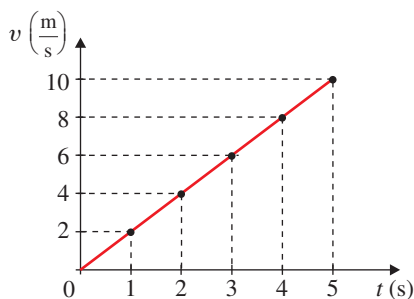
$$v = a \cdot t$$

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

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



Tvoja kolej! ➔ zad. 3 s. 111

Ruchem jednostajnie przyspieszonym poruszają się ciała spadające na Ziemię z niewielkiej wysokości (w stosunku do rozmiarów Ziemi). Taki ruch, zwany **spadaniem swobodnym**, zachodzi wtedy, gdy można pominąć opór powietrza. Stałe przyspieszenie w tym ruchu nazywamy **przyspieszeniem ziemskim**. Wartość przyspieszenia ziemskiego oznaczamy 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 równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

To ważne!

- 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.

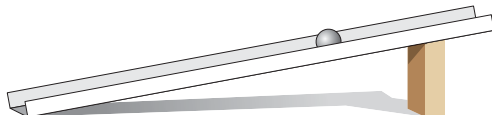
- Jednostką wartości przyspieszenia jest $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wartość przyspieszenia jest stała: $a = \text{const}$.
- Ciała spadające swobodnie poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem o wartości:

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

Przyspieszenie to nosi nazwę przyspieszenia ziemskiego.

Zadania i doświadczenia

- Stalowa śrubka zsunęta się z balkonu wieżowca i spada z przyspieszeniem o wartości $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - 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.
 - Oblicz szybkość śrubki w chwili uderzenia w ziemię. Skorzystaj ze wzoru $v = a \cdot t$.
- Samochód porusza się po linii prostej ruchem jednostajnie przyspieszonym i rozpędza się od szybkości równej zero do szybkości $v = 108 \text{ km/h}$ w czasie $t = 10 \text{ s}$.
 - Oblicz wartość przyspieszenia tego samochodu.
 - Sporządź wykres $v(t)$ dla tego ruchu.
- 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.
- Kulka staczająca się w pochyłej rynnie poruszała się ruchem jednostajnie przyspieszonym. W pierwszej sekundzie szybkość kulki wzrosła o $0,3 \text{ m/s}$. Podaj przyrost szybkości kulki w trzeciej sekundzie ruchu.
- 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.



3.9 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.



Rys. 3.16. Wahadłowiec podczas lądowania porusza się ruchem opóźnionym

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

Przykład 3.21

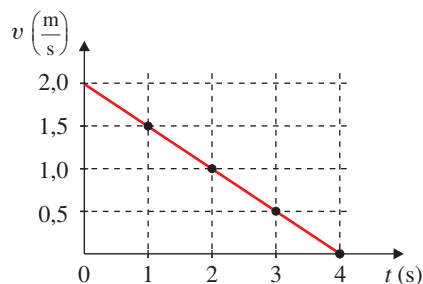
Rozpatrzmy przypadek, w którym szybkość początkowa pojazdu wynosi 2 m/s i w każdej sekundzie maleje o 0,5 m/s.

- 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.



Przyspieszenie jest wielkością wektorową (patrz s. 107), a wartość wektora, jako jego długość, jest zawsze dodatnia. Dlatego wartość przyspieszenia – zarówno w ruchu przyspieszonym, jak i opóźnionym – jest dodatnia. Szybkość końcowa w ruchu opóźnionym jest mniejsza niż szybkość początkowa, dlatego wartość przyspieszenia obliczamy ze wzoru:

$$a = \frac{v_0 - v}{t} \quad (3.6)$$

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

Wartość przyspieszenia pojazdu z przykładu 3.21 jest stała i wynosi $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przykład 3.22

Pomnóżmy obie strony wzoru 3.6 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 3.21 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 3.21.

To ważne!

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

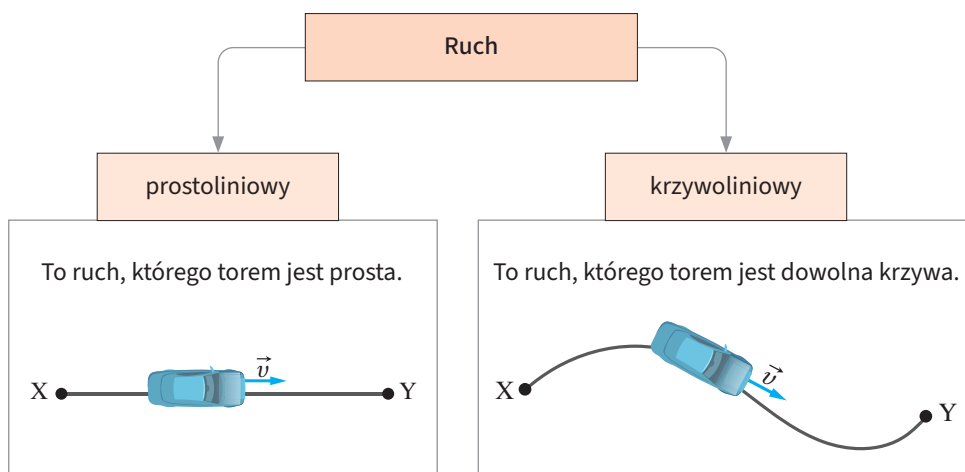
$$a = \frac{v_0 - v}{t}$$

Zadania i doświadczenia

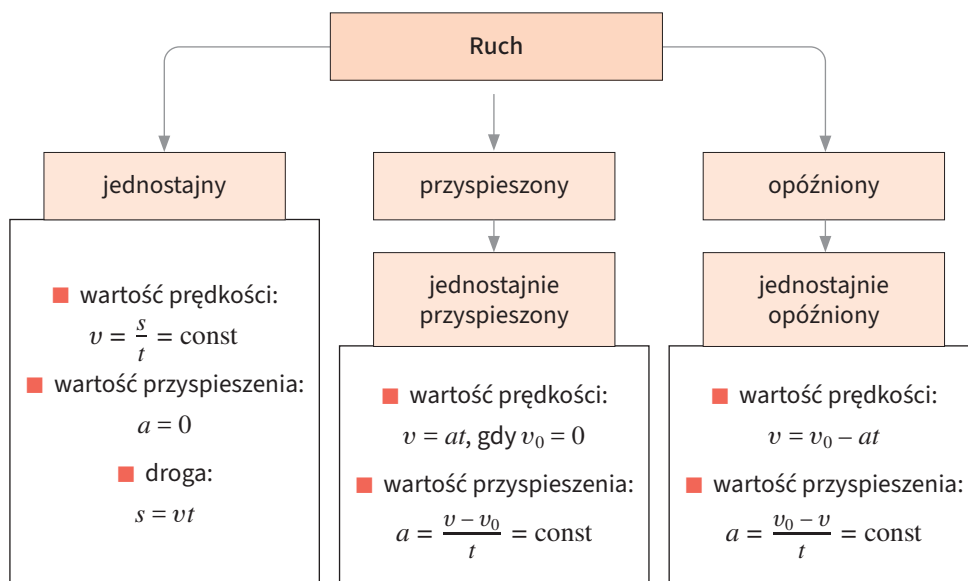
1. Podaj przykłady ciał poruszających się z przyspieszeniem o małej i dużej wartości.
2. W chwili rozpoczęcia hamowania samochód jechał z szybkością 72 km/h . Oblicz czas hamowania, jeśli przyspieszenie samochodu miało wartość $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
3. Strzałę wystrzelono z łuku w górę z szybkością początkową $v_0 = 40 \text{ m/s}$. Wiadomo, że w każdej sekundzie szybkość strzały zmniejsza się o 10 m/s (bo $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). Oblicz czas, po którym wartość prędkości strzały zmaleje do zera.

Podsumowanie

- Linie, którą zakreśla ciało wykonujące ruch, nazywamy torem, a jego długość – drogą. Drogę oznaczamy symbolem s i wyrażamy w metrach.
- Podział ruchu ze względu na kształt toru.



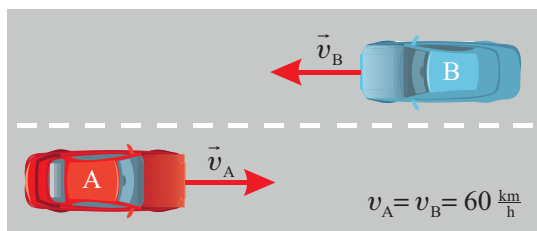
- Podział ruchu ze względu na zmiany szybkości.



- Aby obliczyć średnią wartość prędkości, należy podzielić całkowitą drogę przebytą przez ciało przez czas, w jakim została ona przebyta, niezależnie od tego, jakim ruchem poruszało się ciało:

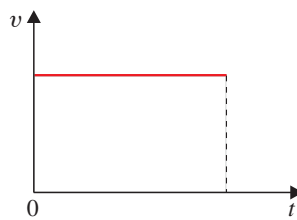
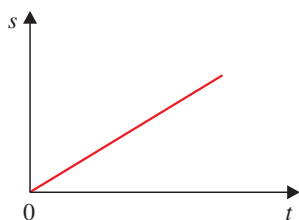
$$v_{\text{sr}} = \frac{s_{\text{całk}}}{t_{\text{całk}}}$$

- Prędkość chwilowa to prędkość, której wartość wskazuje np. prędkościomierz samochodu.
- Położenie ciała w przestrzeni można określić jedynie względem innego ciała, zwanego układem odniesienia. 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.
- Szybkość (ang. *speed*) to wartość prędkości. Samochody przedstawione na rysunku mają jednakowe szybkości, ale różne prędkości.

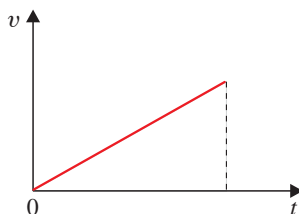


- Gdy opisujemy ruch, wykonujemy wykresy zależności drogi i wartości prędkości od czasu.

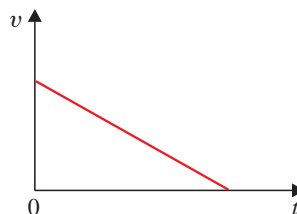
W ruchu jednostajnym:



W ruchu jednostajnie przyspieszonym dla $v_0 = 0$:



W ruchu jednostajnie opóźnionym:



Rekordy szybkości



37,6 km/h

Rekord świata w biegu na 100 metrów należy do pochodzącego z Jamajki Usaina Bolta, który 16 sierpnia 2009 roku podczas zawodów lekkoatletycznych w Berlinie pokonał dystans 100 m w czasie 9,58 s, co oznacza, że jego średnia szybkość na tym dystansie wyniosła około 37,6 km/h.



11000 km/h

Najszybszy pojazd, jaki kiedykolwiek latał w atmosferze, to bezzałogowy amerykański samolot NASA X-43A, który w 2004 roku osiągnął szybkość ponad 11 000 km/h.

Rekordową szybkość wśród zwierząt osiąga sokół wędrowny. Największa zarejestrowana szybkość tego ptaka podczas lotu nurkowego to 389 km/h. Na lądzie najszybszy jest gepard, który może osiągać 120 km/h, a za najszybsze zwierzęta wodne uznawane są marlin czarny oraz żaglica, których szybkość szacuje się mniej więcej na 130 km/h.



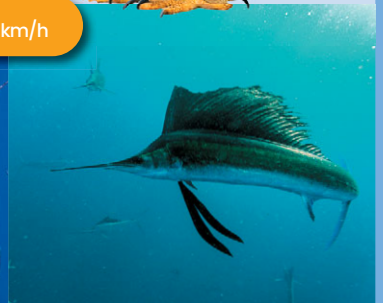
389 km/h



120 km/h



130 km/h



Rekord szybkości na wodzie został ustanowiony przez łódź motorową napędzaną silnikiem odrzutowym Spirit of Australia, która w roku 1978 roku osiągnęła szybkość 511,13 km/h.



511,13 km/h

15 października 1997 roku Thrust SSC jako pierwszy pojazd lądowy na świecie uzyskał szybkość 1227,985 km/h, czyli szybkość większą od szybkości dźwięku (ok. 1224 km/h). Ustanowił tym samym obowiązujący do dziś rekord szybkości wśród pojazdów lądowych.

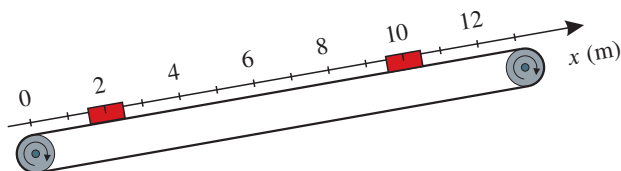


1227,985 km/h

Sprawdź się

1. Cegła przesuwała się razem z taśmą transportera. W chwili t_1 , tj. o 13.25, znajdowała się w położeniu $x_1 = 2$ m, a w chwili t_2 , tj. o 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 $s =$.



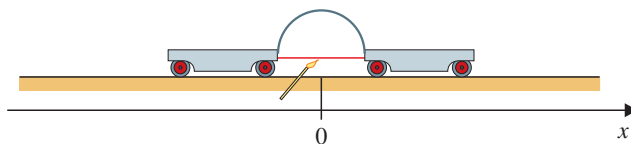
2. Turysta szedł ruchem jednostajnym. W ciągu pierwszych 10 minut przebył 0,8 km. Przepisz do zeszytu poniższe zdanie. **Uzupełnij je.**

W czasie następnych 10 minut turysta przebył drogę , w ciągu pół godziny przebył drogę , a w ciągu godziny przebył drogę .

3. Kamyk spadał 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 kamyka wzrosła o , w ciągu całych czterech sekund szybkość wzrosła o .

- *4. 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 prędkości wózków mają:

- wartości,
- kierunki,
- zwroty.

Wybierz właściwe dokończenia zdań w zadaniach 5–8.

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

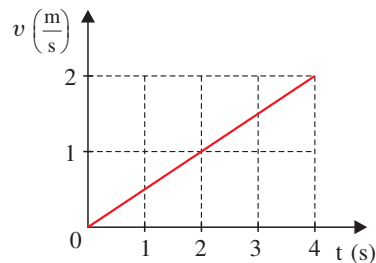
Dane liczbowe wskazują, że ruch pojazdu był ruchem

- A. jednostajnym. B. jednostajnie przyspieszonym.
C. niejednostajnie przyspieszonym. D. niejednostajnie zmiennym.

6. Wykres przedstawia zależność wartości prędkości od czasu w ruchu prostoliniowym pewnego ciała.

Wartość przyspieszenia tego ciała wynosiła

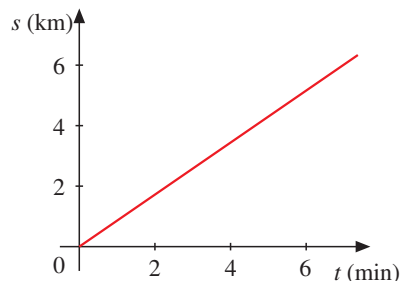
- A. $0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ B. $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
C. $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



7. 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.



8. Spośród szybkości:
- $v_1 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- ,
- $v_2 = 400 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$
- ,
- $v_3 = 0,4 \frac{\text{km}}{\text{s}}$
- oraz
- $v_4 = 400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- największa jest

- A. v_1 B. v_2 C. v_3 D. v_4

4

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 boczного oporu działająca na miecz lub kil zapobiega dryfowaniu jachtu.

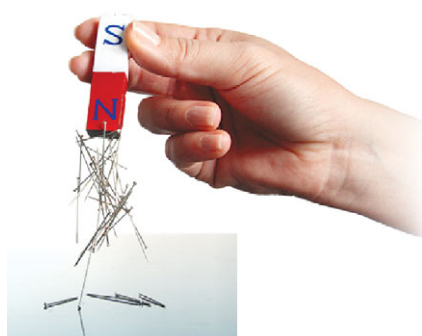
Siła oporu wzdłużnego działa przeciwnie do ruchu jachtu.

Siła wyporu równoważy siłę ciężkości jachtu.

4.1

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.



Rys. 4.1. Codziennie mamy do czynienia z różnymi rodzajami oddziaływań

Doświadczenie 4.1

Obserwujemy umieszczone blisko siebie naelektryzowane baloniki, magnesy oraz 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 kawałka styropianu zastępujemy gwoździem. Ponownie obserwujemy zachowanie kawałków styropianu.

Wyniki obserwacji:

- Baloniki naelektryzowane przez pocieranie gazetą (o elektryzowaniu dowiesz się więcej z podręcznika do klasy 8) 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 4.2

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 jeden koniec listwy. Obserwujemy, czy kulki zaczynają poruszać się kolejno, czy wszystkie w jednej chwili.



Wyniki obserwacji:

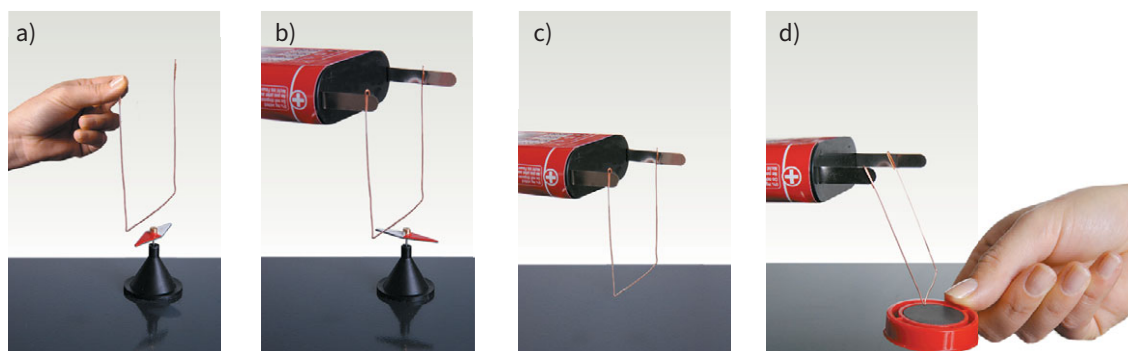
- W pierwszym przypadku kolejna kulka była wprowadzana w ruch w chwili uderzenia poprzednią kulką.
- W drugim przypadku wszystkie kulki zaczęły się poruszać równocześnie w chwili uniesienia końca listwy.

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 odległym, np. Księżycem),
- elektrostatyczne (np. oddziaływanie baloników z doświadczenia 4.1),
- magnetyczne (np. oddziaływanie magnesu i stalowych przedmiotów czy oddziaływania dwóch magnesów, jak w doświadczeniu 4.1),
- 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.



Rys. 4.2. Przykłady oddziaływań elektromagnetycznych

Jeśli natomiast do ramki z drutu miedzianego zawieszanej na elektrodach baterii zbliżysz od dołu silny magnes, np. w postaci pastylki (rys. 4.2. c i d), 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.

Doświadczenia pokazują, że 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 ciał, np. ugięcia, rozciągnięcia, zgniećcia – nazywamy je skutkami statycznymi;
- zmiany prędkości, np. zmiany jej wartości, kierunku lub zwrotu – nazywamy je skutkami dynamicznymi.

Rys. 4.3. Kopnięta piłka ulega chwilowemu odkształceniu (skutek statyczny), a następnie zostaje wprowadzona w ruch (skutek dynamiczny)



Przykład 4.1

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 4.2

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.

To ważne!

- Wszystkie oddziaływania są wzajemne. Oznacza to, że jeżeli jedno ciało działa na drugie, to drugie ciało 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 (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 oddziaływanie 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.

4.2 Siła wypadkowa. Siły równoważące się

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

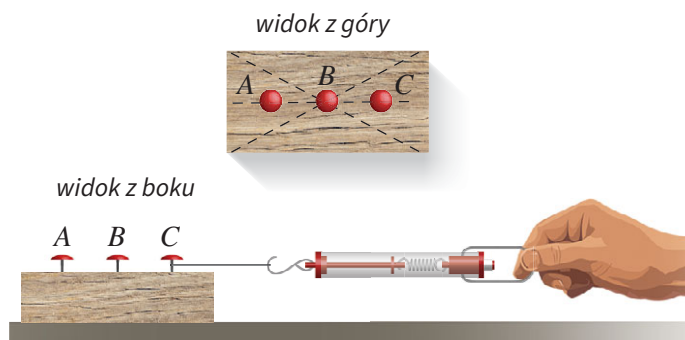
Doświadczenie 4.3

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 przekątną 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.

Zmiana punktu przyłożenia siły wzdłuż jej kierunku w obrębie ciała sztywnego nie zmienia skutków działania tej siły.

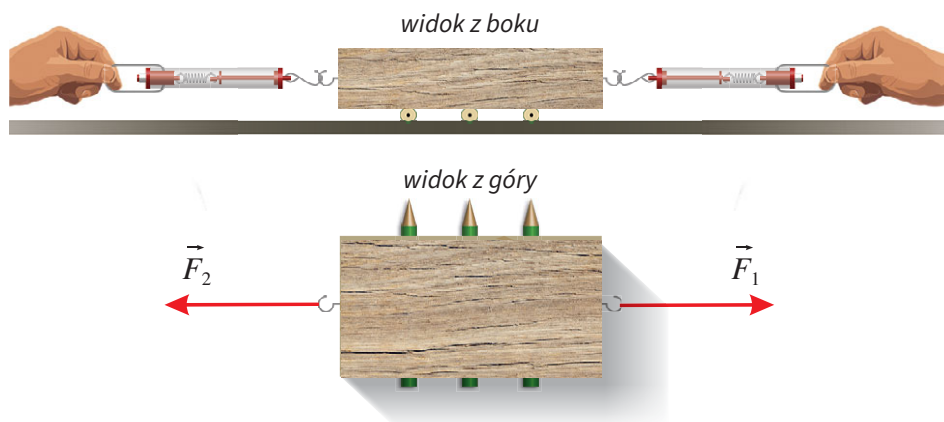
Doświadczenie 4.4

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 przeciwnie 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 przeciwnie zwroty.

Wniosek: Jeżeli dwie siły działające na to samo nieruchome ciało wzdłuż tej samej prostej mają jednakowe wartości i przeciwnie zwroty, to nie zauważamy żadnego skutku ich działania – ciało pozostaje w spoczynku. O takich siłach mówimy, że wzajemnie się równoważą.

Jeżeli na ciało sztywne działają siły równoważące się, to nie powodują żadnego skutku. O ciele, na które działają takie siły, mówimy, że jest **w stanie równowagi**.

Siły równoważą się, gdy działają na to samo ciało, mają taki sam kierunek, taką samą wartość i przeciwnie zwroty.

Poniższe doświadczenie pokazuje przykład ciał w stanie równowagi.

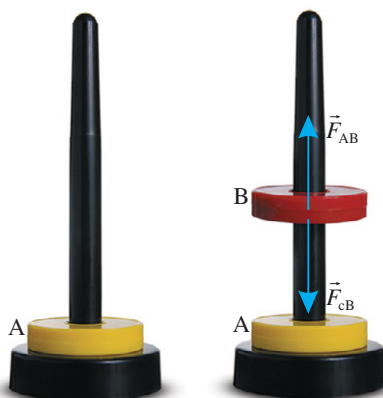
Doświadczenie 4.5

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 unosił się 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:

$$F_{CB} = F_{AB}$$

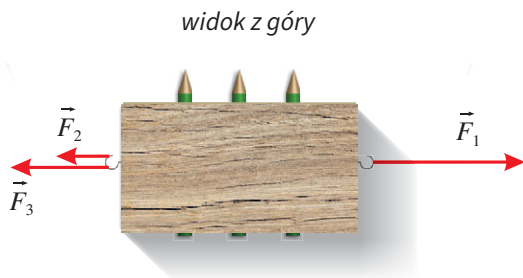
Doświadczenie 4.6

Wprowadzamy pojęcie siły wypadkowej

Potrzebne przedmioty: drewniany klocek z haczykami, 3 siłomierze, kawałek nitki, kilka okrągłych otówków (opcjonalnie).

Kolejne czynności:

- Klocek kładziemy na gładkiej powierzchni lub na otówkach.
- Do każdego z haczyków przyczepiamy siłomierz.



- Do jednego z haczyków przyczepiamy trzeci siłomierz na nitce.
- Ciągniemy za uchwyty siłomierzy, a wartości sił $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ dobieramy w taki sposób, aby klocek pozostawał w stanie równowagi.
- Doświadczenie wykonujemy kilkakrotnie, za każdym razem z innymi wartościami sił. Wyniki pomiarów wpisujemy do tabeli.

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

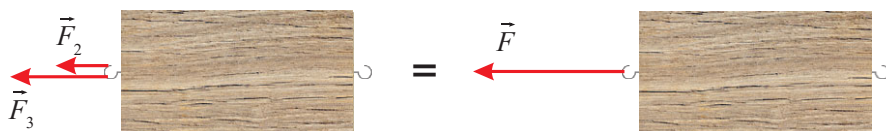
Wszystkie siły działające na klocek mają ten sam kierunek, siły $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$ mają zwroty zgodne, a siła $\vec{F}_1$ ma zwrot przeciwny do nich.

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. 129. 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.

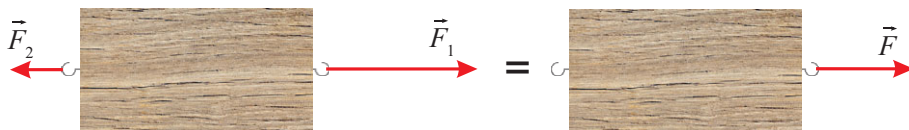
$$F_2 + F_3 = F$$



Rys. 4.4. 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.

$$F_1 - F_2 = F$$



Rys. 4.5. 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. 129 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:

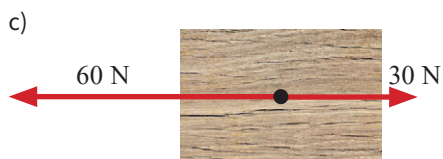
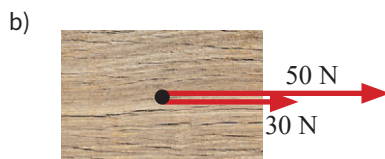
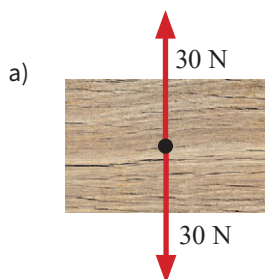
- pamiętaj, by przykładać go do ciała, na które działa ta siła;
- zawsze zastanów się, jakie inne ciało jest źródłem siły, którą przedstawiasz graficznie, tzn. od jakiego ciała ta siła pochodzi.

To ważne!

- Siłę przyłożoną w dowolnym punkcie ciała sztywnego możemy przesuwać wzdłuż kierunku jej działania.
- Jeżeli dwie działające na ciało siły leżą na jednej prostej, mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty, to równoważą się wzajemnie.
- 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.
- Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej i mających zgodne zwroty ma:
 - wartość równą sumie wartości sił składowych;
 - kierunek zgodny z kierunkiem sił składowych;
 - zwrot zgodny ze zwrotem sił składowych.
- 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 sił składowych;
 - zwrot zgodny ze zwrotem siły o większej wartości.

Zadania i doświadczenia

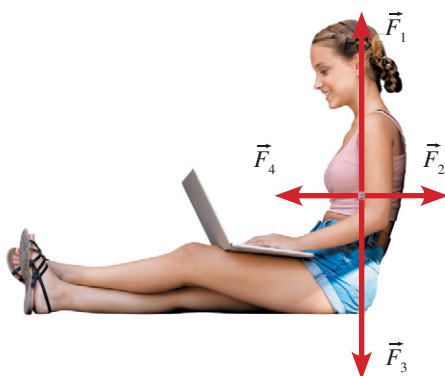
1. W każdym z przypadków a-d przedstawionych na rysunkach oblicz wartość wypadkowej sił. Przerysuj wektory sił do zeszytu i dorysuj wektory sił równoważących.



2. Dwa pieski ciągną w przeciwne strony sznur, który pozostaje nieruchomy. Jeden z piesków ciągnie sznur siłą o wartości 80 N. Podaj wartość siły, jaką ciągnie sznur drugi z piesków.



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? Odpowiedz uzasadnij na przykładzie.



- *6. W chwili uderzenia młotem na kamień działają trzy siły. Mimo to kamień pozostaje w stanie równowagi. Narysuj wektory tych sił. Wykorzystaj wniosek z doświadczenia 4.3 i przytóż je w środku kamienia.

4.3

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.

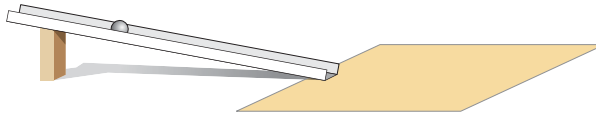
Doświadczenie 4.7

Obserwujemy zmiany prędkości ciała w zależności od rodzaju podłoża, po którym ciało się porusza

Potrzebne przedmioty: wyprofilowana listwa lub ceownik, 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.

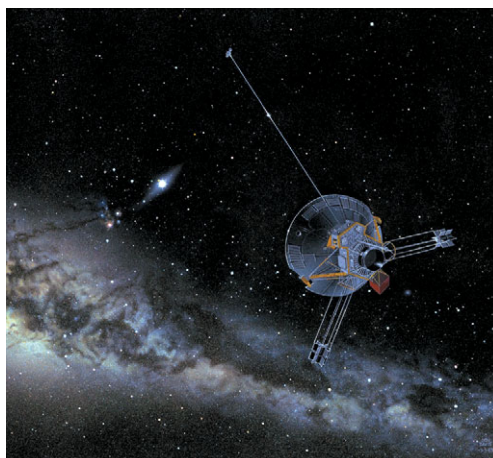
Wniosek: Gdyby podłoże było idealnie gładkie, kulka poruszałaby się ruchem jednostajnym prostoliniowym, czyli ze stałą prędkością.

Uderzony kijem hokejowym krążek porusza się ruchem zbliżonym do jednostajnego tym dłużej, im gładziej jest lód. Działanie siły pochodzącej od chropowatego podłoża powoduje jego stopniowe zwalnianie. Gdyby lód był idealnie gładki, krążek poruszałby się ze stałą prędkością – taką jaką została mu nadana.

Rys. 4.6. Na idealnie gładkim lodzie krążek hokejowy nigdy by nie zwalniał – cały czas poruszałby się ruchem jednostajnym



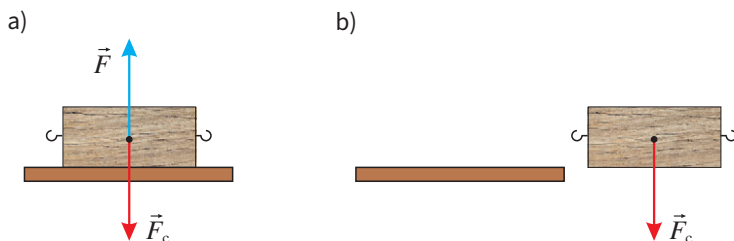
Kierunek ruchu cząsteczek gazu wewnątrz zamkniętego zbiornika zmienia się w wyniku ich zderzenia z innymi cząsteczkami lub ściankami zbiornika. Między kolejnymi zderzeniami każda cząsteczka porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Podobnie sonda kosmiczna (rys. 4.7.) w wielkiej odległości od jakichkolwiek ciał niebieskich, których przyciąganie jest pomijalnie małe, porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.



Rys. 4.7. Sonda kosmiczna

Wróćmy do doświadczenia 4.4. 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. 4.8.a). Siła ta działa na dolną powierzchnię klocka, ale – zgodnie z wynikiem doświadczenia 4.3 – 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. 4.8.b).



Rys. 4.8. Siły działające na klocek leżący na stole równoważą się (a). Klocek spadnie, gdy zostanie przesunięty poza stół, ponieważ będzie na niego działać niezrównoważona siła (b)

Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa, jeżeli nie działają na nie żadne siły lub gdy działają siły równoważące się wzajemnie.

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 4.3

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 stan ruchu. Dlatego tułów pasażerki przesuwają 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.**

Twoja kolej! ➡ zad. 2 s. 137

Przykład 4.4

Spróbujemy 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 szyjnego.

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 4.8

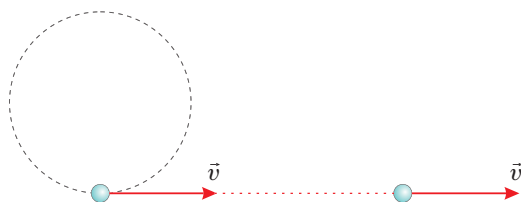
Obserwujemy zachowanie prędkości kulki

Potrzebne przedmioty: okrągła przezroczysta miska lub plastikowe pudełko, 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 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.

To ważne!

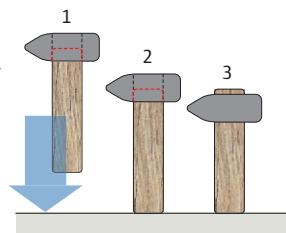
■ Pierwsza zasada dynamiki Newtona

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.

- 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, która pojawiła się na drodze, rowerzysta zostaje wyrzucony 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 napętniają się gazem w chwili zderzenia auta z innym obiektem, znacznie zwiększa koszt jego produkcji. Odpowiedz, dlaczego mimo to poduszki powietrzne są powszechnie montowane w samochodach.

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 zapatkami, linijka.

Kolejne czynności:

- Pudełka z zapatkami 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.

4.4 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.

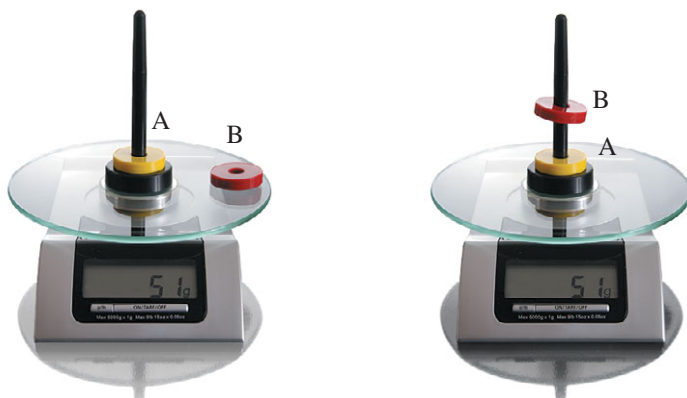
Doświadczenie 4.9

Badamy, jakie wartości mają siły wzajemnego oddziaływania ciał

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

Kolejne czynności i pomiary:

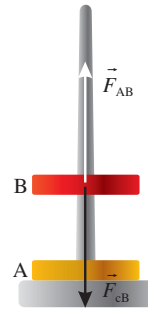
- Na szalkę wagi kładziemy podstawkę z prętem i magnesem A, a obok – drugi magnes B. Ważymy ten układ ciał. Wynik jest sumą wartości ciężaru $\vec{F}_c$ podstawki z prętem i magnesem A oraz wartości ciężaru $\vec{F}_{cB}$ magnesu B.
- Leżący na szalce magnes B nakładamy na pręt tak, by zawisł nad magnesem A.



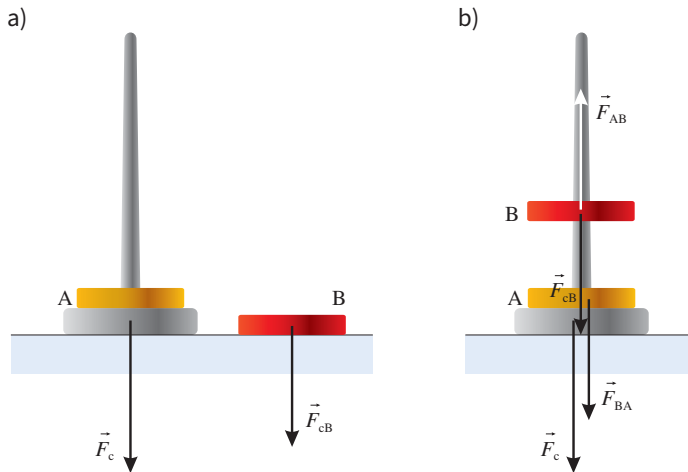
Wynik doświadczenia: Niezależnie od tego, czy magnes B leży na szalce, czy unosi się i nie dotyka prawie niczego, waga wskazuje tę samą wartość.

Wyjaśnijmy ten zaskakujący wynik. Z doświadczenia 4.5 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:

$$F_{cB} = F_{AB} \quad (4.1)$$



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 prętą 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}):

$$F_{cB} = F_{BA} \quad (4.2)$$

Po lewej stronie równości (4.1) i (4.2) 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 (czyli mają różne punkty przyłożenia).

Przykład 4.5

Piłka o ciężarze $\vec{F}_c$ naciska na dłoń, czyli na dłoń działa siła nacisku $\vec{F}_N$. Jeśli piłka działa na dłoń, to dłoń działa na piłkę siłą $\vec{F}_R$ 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 4.3 siły możemy przesuwać 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:

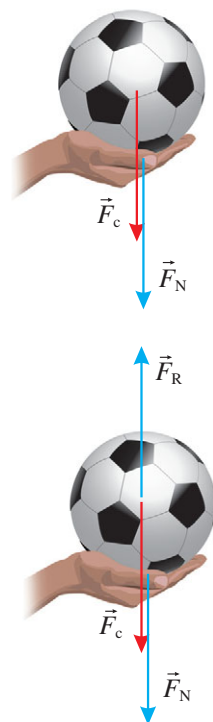
$$F_R = F_c$$

Jednak z trzeciej zasady dynamiki wynika, że 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.

**To ważne!**

■ 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.

■ 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 zaczyna biec do przodu po desce surfingowej. Opisz i wyjaśnij zachowanie się deski względem wody.
3. Siedzący na łódce chłopiec ciągnie na sznurku w swoją stronę deskę surfingową, 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.

Budujemy model odrzutowca

Potrzebne przedmioty: dwa krzesła, papierowa słomka do napojów, nożyczki, mocna nić o długości ok. 4,5 m, balonik, taśma klejąca.

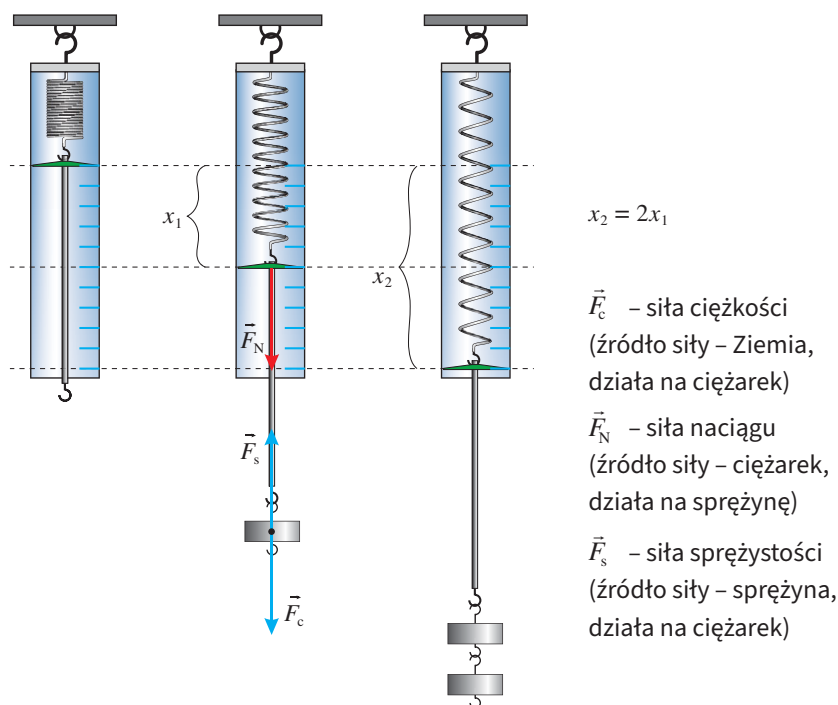
Kolejne czynności:

- Ze słomki odetnij prosty kawałek o długości ok. 10 cm i przewlec przez niego nitkę.
- Przywiąż końce nici do oparc krzeseł ustawionych w odległości ok. 4 m od siebie.
- Nadmuchaj balonik i przytrzymaj jego otwór ręką tak, aby powietrze nie uciekało.
- Przesuń słomkę na początek toru i przyklej do niej nadmuchany balonik w taki sposób, aby otwór balonika był skierowany w stronę najbliższego krzesła.
- Puść balonik i obserwuj jego ruch.

4.5 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 w doświadczeniu 1.3 wieszaliśmy na haczyku siłomierza kolejne ciężarki o jednakowych masach. Na tej podstawie można stwierdzić, że odpowiadające im przyrosty długości sprężyny są jednakowe. Oznacza to, że wydłużenie sprężyny jest wprost proporcjonalne do wartości siły rozciągającej sprężynę.



Rys. 4.9. Jeśli na haczyku siłomierza będziemy zawieszać kolejne ciężarki o jednakowych masach to zauważymy, 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 rozciągającą ją ciało.

Przykład 4.6

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.

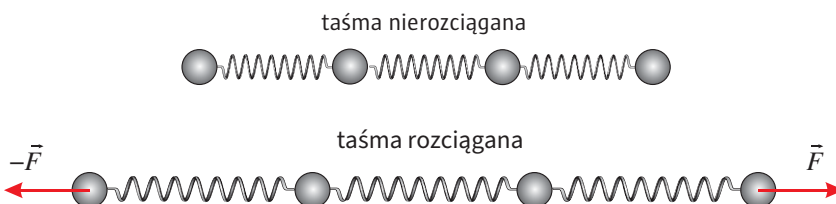
Przeczytaj ponownie opis obserwacji w przykładzie 4.1. Siła sprężystości w tym przypadku to zwrócona w górę siła, którą gąbka działa na cegłę.

Co jest przyczyną powstawania siły sprężystości? Wykorzystajmy nasze wiadomości dotyczące budowy materii.

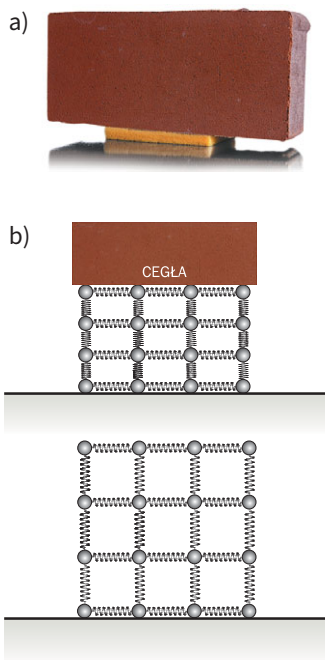


Rys. 4.10. Dziewczyna działa siłą na gumową taśmę, w wyniku czego taśma ulega rozciągnięciu

Gdy przedstawiona na fotografii dziewczyna przestanie działać siłą na gumową taśmę, taśma wróci do 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.



Rys. 4.11. W wyniku działania siły $\vec{F}$ taśma ulega rozciągnięciu, co można przedstawić za pomocą modelu, w którym cząsteczki taśmy są połączone sprężynkami



Tak naprawdę w gumowej taśmie nie ma żadnych sprężyn, 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 postużymy 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.

Rys. 4.12. Gąbka ugina się pod ciężarem cegły (a), a po usunięciu cegły wraca do poprzedniego kształtu, co można przedstawić za pomocą modelu (b)

To ważne!

- Siły sprężystości są to siły, którymi ciała rozciągane lub ściskane działają na ciała rozciągające je lub ściskające.
- 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?

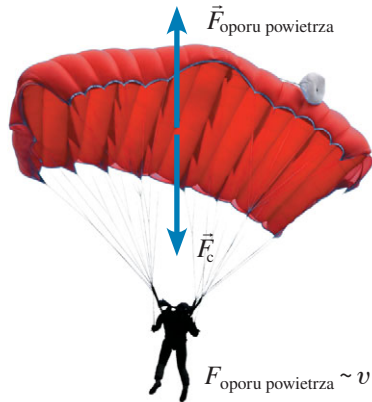
Wskazówka: narysuj wykres zależności wydłużenia sprężyny od wartości działającej na nią siły i odczytaj z niego szukane wydłużenie sprężyny lub zastosuj proporcje.

2. Zapis $F_s \sim x$ oznacza, że wartość siły sprężystości $\vec{F}_s$ 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.

4.6 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.

Rys. 4.13. 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



Doświadczenie 4.10

Badamy siłę oporu powietrza

Potrzebne przedmioty: książka w twardej okładce, kilka kartek o wymiarach równych wymiarom książki.

Kolejne czynności:

- Kartkę trzymaną poziomo na wysokości ramion w jednej ręce oraz książkę trzymaną poziomo w drugiej upuść równocześnie i obserwuj sposób oraz czas spadania.
- Powtórz doświadczenie, ale tym razem potóż 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.

Wniosek: Wynik obserwacji w pierwszej części doświadczenia może sugerować błędny wniosek, że książka spada w krótszym czasie, bo jest cięższa od kartki. Jednak 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.

W trzeciej części doświadczenia zgnieciona kartka spada szybciej niż niezgnieciona, co pokazuje, że wartość siły oporu powietrza zależy od kształtu ciała poruszającego się w powietrzu i wielkości powierzchni tego ciała.

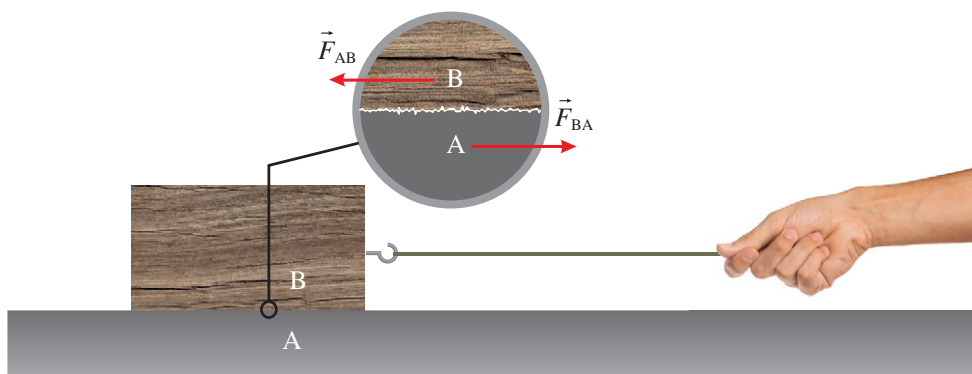
Czy wiesz, że...

Projektanci pojazdów, takich jak sportowe samochody, szybkie pociągi czy samoloty, nadają im tzw. aerodynamiczne (opływowe) kształty. Ma to na celu zmniejszenie siły oporu powietrza działającej na pojazd podczas ruchu, a tym samym zmniejszenie zużycia paliwa oraz poprawę osiągnięć.



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 $\vec{F}_{BA}$ zwróconą 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 $\vec{F}_{AB}$ zwróconą do tyłu.



Rys. 4.14. Gdy ciągniemy klocek po stole, nierówności na powierzchniach klocka i stołu zaczepiają o siebie

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 zadziałania na nie siłą równoległą do powierzchni stykających się ciał oddziałują one wzajemnie **siłami tarcia statycznego**. Siła tarcia statycznego, którą trzeba pokonać, by rozpocząć wprowadzanie ciała w ruch, jest większa od siły tarcia kinetycznego.

Można się o tym przekonać przez wykonanie prostego doświadczenia.

Doświadczenie 4.11

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.

Czy wiesz, że...

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 tarcu poślizgowym. Takie tarcie występuje np. podczas ruchu nart po

śniegu. Gdy jedno ciało toczy się po drugim, tarcie towarzyszące

temu ruchowi nazywamy tarcem tocznym. Występuje ono np. podczas toczenia się kół samochodu po jezdni.



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.

To ważne!

- Wartość siły oporu powietrza zwiększa się wraz ze wzrostem szybkości ciała. Zależy także od kształtu ciała i wielkości jego powierzchni.
- Tarcie występujące podczas przesuwania jednego ciała po drugim nazywamy tarciem kinetycznym.
- Wartość siły tarcia kinetycznego zależy od:
 - wartości siły dociskającej ciała do siebie,
 - rodzaju powierzchni ciał trących o siebie.

Zadania i doświadczenia

1. Zinterpretuj wynik doświadczenia 4.7 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. Poszukaj informacji i przygotuj plakat lub 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: płyta CD, kartka z zeszytu.

Kolejne czynności:

- Płytę CD umieść na gładkim podłożu (np. laminowanej powierzchni stołu lub biurka) i spróbuj delikatnie go przesunąć, popychając palcem.
- Z kartki wykonaj rurkę o średnicy podobnej do średnicy otworu w płycie CD.
- 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.



4.7

Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne

W rozdziale 2.6 badaliśmy, od czego zależy ciśnienie gazu w zamkniętym zbiorniku. Stwierdziliśmy, że ciśnienie gazu w zbiorniku można zmienić przez zmianę liczby cząsteczek, zmianę objętości zbiornika lub zmianę temperatury gazu. Wyjaśniliśmy to 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 zatknano palcem, spowodowaliśmy zmniejszenie objętości powietrza i wzrost ciśnienia w strzykawce. Działanie siłą na tłok strzykawki napętnionej cieczą nie powoduje zmniejszenia jej objętości, ale powoduje wzrost ciśnienia w strzykawce. Ilustruje to poniższe doświadczenie.

Doświadczenie 4.12

Sprawdzamy prawo Pascala

Potrzebne przedmioty: piłeczka pingpongowa, strzykawka lekarska, plastelina.

Kolejne czynności:

- W piłeczce wykonujemy kilkanaście równomiernie rozmieszczonych niewielkich otworków oraz jeden większy, o średnicy wylotu strzykawki.
- Piłeczkę nakładamy na wylot strzykawki i uszczelniamy połączenie plasteliną.
- Wyjmujemy tłok ze strzykawki i napętniamy ją wodą.
- Z powrotem nakładamy tłok, wsuwamy go do strzykawki i obserwujemy wodę wytryskującą przez otwory.

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 uczyony 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 prawo.

Prawo Pascala

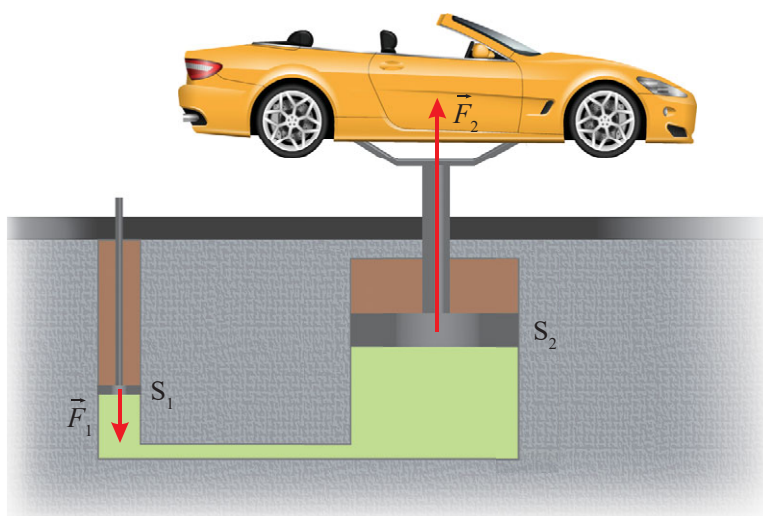
Jeśli na zamkniętą w zbiorniku ciecz lub zamknięty w nim gaz działamy siłą, to wytworzone w ten sposób dodatkowe ciśnienie jest jednakowe w całej objętości tej cieczy lub tego gazu.

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. 4.15.).



Rys. 4.15. Prawo Pascala stanowi podstawę działania podnośnika hydraulicznego

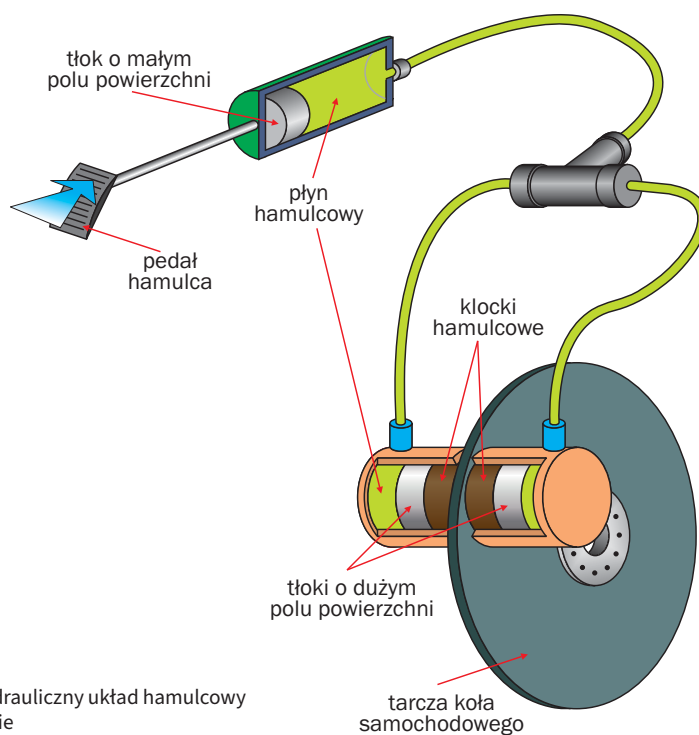
Gdy działamy siłą $\vec{F}_1$ o niewielkiej wartości na powierzchnię S_1 , wytwarzamy w zbiorniku cieczy ciśnienie $p = \frac{F_1}{S_1}$, jednakowe w całym zbiorniku. Na znacznie większą powierzchnię S_2 woda, olej lub inna ciecz działa siłą o dużej wartości:

$$F_2 = p \cdot S_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

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. 4.16.).

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 większej wartości.



Rys. 4.16. Hydrauliczny układ hamulcowy w samochodzie

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 ciecze 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 skutek działania siły parcia, którą ciecz w cylindrycznym naczyniu działa na jego dno wykonane z gumy. Wartość tej siły jest równa $F_c = m \cdot g$.

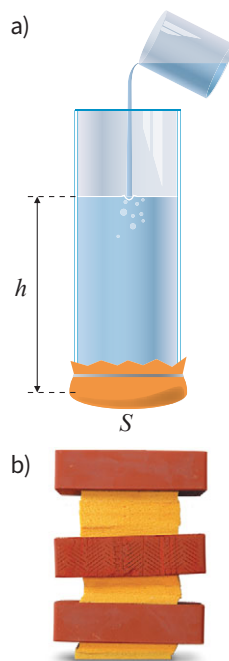
$$p_h = \frac{F_c}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{d_c \cdot V \cdot g}{S} = \frac{d_c \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = d_c \cdot h \cdot g$$

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.

Rys. 4.17. Ciśnienie hydrostatyczne zależy od gęstości cieczy oraz wysokości słupa cieczy nad poziomem, nad którym mierzymy ciśnienie (a). Ułożone naprzemiennie cegły i gąbki stanowią model obrazujący wzrost ciśnienia wraz ze wzrostem głębokości cieczy (b)



Przykład 4.7

Oliwa wypełnia po brzegi zbiornik o wysokości 1 m. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne przy dnie tego zbiornika. Przyjmij, że gęstość oliwy wynosi $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a przyspieszenie ziemskie to $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dane: $d = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $h = 1 \text{ m}$, $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Szukane: p

Rozwiązanie:

$$p = dgh$$

$$p = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m} = 9200 \text{ Pa} = 92 \text{ hPa}$$

Odpowiedź: Ciśnienie na dnie zbiornika jest równe 92 hPa.

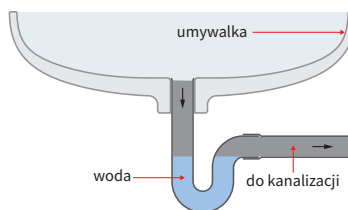
Tvoja kolej! ➔ zad. 5 s. 154

Czy wiesz, że...

Naczynia połączone to układ kilku naczyń o dowolnym kształcie skonstruowany tak, aby ciecze mogły między nimi swobodnie przepływać. Jeżeli będzie się w nich znajdowała taka sama ciecz, to poziom tej cieczy w każdym z naczyń będzie jednakowy.



Fakt ten wykorzystuje się m.in. przy projektowaniu elementów instalacji wodno-kanalizacyjnej. Pod umywalkami oraz toaletami montuje się tzw. syfony, w których fragment rury o kształcie litery „U” jest zawsze wypełniony wodą. Dzięki temu nie docierają do nas nieprzyjemne zapachy z rur kanalizacyjnych.



To ważne!

■ 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.

■ Wartość siły parcia na płaską ściankę zbiornika o powierzchni S wyraża się wzorem:

$$F = p \cdot S$$

gdzie p jest ciśnieniem panującym w zbiorniku.

■ 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:

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

■ Ciśnienie w cieczy o gęstości d_c na głębokości h , spowodowane działaniem siły ciężkości na ciecz, zwane ciśnieniem hydrostatycznym, wyraża się wzorem:

$$p_h = d_c \cdot g \cdot h$$

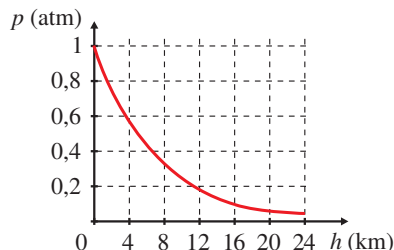
Zadania i doświadczenia

1. Omów zasadę działania dowolnego urządzenia hydraulicznego lub pneumatycznego.
2. Wyjaśnij, dlaczego w przypadku rozszczelnienia wnętrza samolotu lecącego na dużej wysokości pasażerowie muszą używać masek tlenowych.
3. Przypomnij sobie i opisz doświadczenie z przyssawkami z rozdziału 1.4, stanowiące ilustrację słynnego doświadczenia, które potwierdziło istnienie ciśnienia atmosferycznego.

4. 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.

5. Gliceryna wypełnia po brzegi naczynie o wysokości 0,2 m. Oblicz ciśnienie wywierane przez glicerynę na dno tego naczynia. Przyjmij gęstość gliceryny równą 1260 kg/m^3 .
6. Słup cieczy o wysokości 50 cm wywiera na dno naczynia ciśnienie 40,5 hPa. Oblicz gęstość tej cieczy. Skorzystaj z tabeli na s. 29 i określ, jaka to ciecz.
7. Oblicz ciśnienie całkowite wywierane przez wodę na dno jeziora o głębokości 5 m. Przyjmij gęstość wody równą $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ oraz ciśnienie atmosferyczne 1000 hPa.
8. Telewizory mają ekrany w kształcie prostokąta. Wielkość ekranów określa się przez podanie długości przekątnej tego prostokąta w calach: 1 cal = 2,54 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.

Doświadczenie 1.

Badamy związek między ciśnieniem hydrostatycznym a wysokością słupa cieczy

Potrzebne przedmioty: plastikowa butelka, pudełko o wysokości zbliżonej do wysokości butelki, gwoździ, taśma klejąca, woda.

Kolejne czynności:

- W plastikowej butelce za pomocą ostrego przedmiotu (np. gwoździa) zrób trzy dziurki znajdujące się na różnych wysokościach (np. 5 cm, 10 cm i 15 cm od dna butelki).
- Zaklej dziurki taśmą klejącą i postaw butelkę na pudełku.
- Wypełnij butelkę wodą. Zerwij taśmę i obserwuj strumienie wody wypływające z dziurek.
- Zastanów się, co wpływa na różnice w kształtach i zasięgach strumieni wody.

4.8

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.

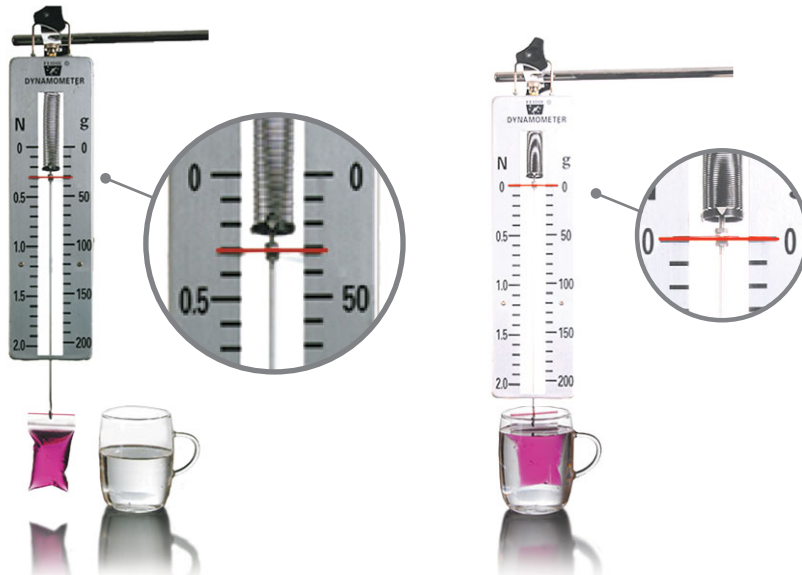
Doświadczenie 4.13

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.
- Woreczek całkowicie zanurzamy w naczyniu z wodą i odczytujemy wskazanie siłomierza.

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

Wniosek: Ciężar woreczka z wodą $\vec{F}_c$ woreczka, równy w przybliżeniu ciężarowi wody w woreczku, został zrównoważony przez działającą na woreczek w górę **siłę wyporu** $\vec{F}_w$:

$$F_w = F_{c \text{ wody w woreczku}} \quad (4.3)$$

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 ciężar wypartej wody $F_{c \text{ wypartej wody}}$ jest równy ciężarowi wody w woreczku (ciężar pustego woreczka jest bardzo mały w porównaniu z ciężarem wody wewnątrz, więc możemy go pominąć):

$$F_{c \text{ wypartej wody}} = F_{c \text{ wody w woreczku}} \quad (4.4)$$

Prawe strony równości (4.3) i (4.4) 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 4.13, ale tym razem zawieśmy na siłomierzu sześcienny metalowy klocek o znanej objętości.

Doświadczenie 4.14

Badamy, jaką wartość ma siła, którą ciecz działa na zanurzone w niej ciało

Potrzebne przedmioty: aluminiowy klocek sześcienny o znanej objętości z haczykiem (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:

$$F_w = F_c - F = 0,9 \text{ N} - 0,6 \text{ N} = 0,3 \text{ N}$$

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

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

Wniosek: $F_w = F_{c \text{ wypartej wody}} = 0,3 \text{ N}$

Jeśli weźmiemy pod uwagę niepewności pomiarowe, stwierdzimy, że także w tym przypadku **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

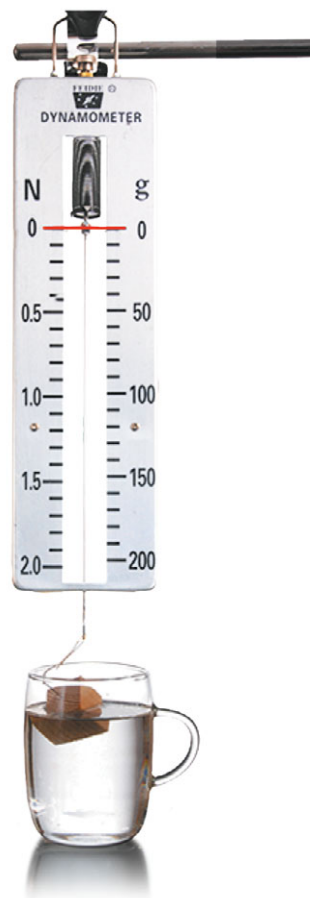
Na każde ciało zanurzone w cieczy działa zwrócona do góry siła wyporu $\vec{F}_w$ o wartości równej wartości ciężaru cieczy wypartej przez to ciało:

$$F_w = F_c = d_c \cdot g \cdot V$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy,

V – objętość ciała lub jego zanurzonej części.



Rys. 4.18. Po zanurzeniu w wodzie drewnianego klocka zawieszonego na siłomierzu wskazanie siłomierza maleje do zera, a klocek pływa częściowo zanurzony

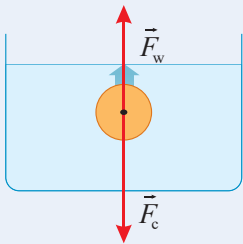
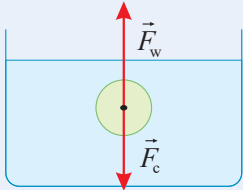
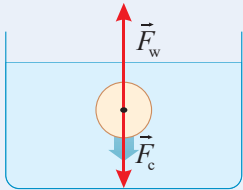
Prawo to zostało odkryte w starożytności przez greckiego uczonego Archimedesesa. Dotyczy ono również ciał zanurzonych w gazach.

Z prawa Archimedesesa można wyznaczyć nieznaną gęstość ciała tonącego w cieczy o znanej gęstości. W doświadczeniu 4.14 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: większej od gęstości cieczy, równej gęstości cieczy i mniejszej od gęstości cieczy. Niech V oznacza objętość kulki, d – jej gęstość, a d_c – gęstość cieczy. Gdy kulka znajduje się pod powierzchnią cieczy, puszcza 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 $F_w = d_c \cdot g \cdot V$.

Tabela 4.1. Trzy przypadki zachowania się ciała zanurzonego w cieczy

Jeśli $d > d_c$, to $F_c > F_w$	
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.	
Jeśli $d = d_c$, to $F_c = F_w$	
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.	
Jeśli $d < d_c$, to $F_c < F_w$	
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 maleje. Dzieje się tak do chwili, gdy wartości sił wyporu i ciężaru kulki się zrównają. Wówczas kulka będzie pływać w cieczy częściowo zanurzona.	

Przykład 4.8

Żelazny klocek o objętości 50 cm^3 całkowicie zatonał w naczyniu z naftą, której gęstość jest równa $810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oblicz wartość siły wyporu działającej na ten klocek. Przyjmij wartość g równą $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dane: $V = 50 \text{ cm}^3 = 0,00005 \text{ m}^3$, $d_c = 810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Szukane: F_w

Rozwiązanie:

$$F_w = d_c \cdot g \cdot V$$

$$F_w = 810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,00005 \text{ m}^3 \approx 0,4 \text{ N}$$

Odpowiedź: Na klocek działa siła wyporu o wartości ok. 0,4 N.

Twoja kolej! ➔ zad. 7 s. 161

Przykład 4.9

Drewniana tratwa pływa zanurzona do $\frac{3}{5}$ swojej objętości V . Wiadomo, że gęstość wody wynosi $d_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oblicz 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.



Rys. 4.19. Balon się uniesie, jeśli jego całkowity ciężar będzie mniejszy niż ciężar wypartego powietrza

Często słyszymy, że w stoczni zwodowano statek o ładowności na przykład 10 tysięcy ton. Oznacza to, że możemy załadować do kadłuba statku towaru 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 zatonie. 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, jak i częściowo wynurzone.

Aby okręt podwodny mógł zmieniać głębokość zanurzenia, powinna być możliwa zmiana wartości jego ciężaru. W praktyce osiąga się to poprzez wypełnianie wodą lub opróżnianie znajdujących się na statku zbiorników balastowych. Napętnienie wodą zbiorników zwiększa całkowity ciężar okrętu. Okręt „tonie” – zanurza się. 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 Archimedesusa stosuje się także do ciał zanurzonych w gazach. Balon wznosi się, 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, dlatego nie musi być ogrzewany.

To ważne!

■ Prawo Archimedesesa

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

■ Wartość siły wyporu wyraża się wzorem:

$$F_w = d_c \cdot g \cdot V_{zan}$$

gdzie:

d_c – gęstość cieczy,

V_{zan} – objętość zanurzonego ciała lub jego zanurzonej części.

■ Zachowanie się ciała zanurzonego w cieczy zależy od jego gęstości d w porównaniu z gęstością d_c tej cieczy:

- gdy $d > d_c$, to $F_c > F_w$ i ciało tonie,
- gdy $d = d_c$, to $F_c = F_w$ i ciało pływa całkowicie zanurzone,
- gdy $d < d_c$, to $F_c < F_w$ (po ustaleniu równowagi: $F_c = F_w$) i ciało pływa częściowo zanurzone.

Zadania i doświadczenia

1. Bryłka lodu wrzucona do soku pomarańczowego pływa częściowo zanurzona. Co ma większą gęstość: lód czy sok?
2. Jak zmieni się zanurzenie statku, który wpływa rzeką do morza?
3. Stojący w porcie statek ma ciężar 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.
4. Wskaż, jakie wielkości należy znać, aby przewidzieć, czy dane ciało będzie pływać, czy też tonąć w danej cieczy.
5. Spróbuj przewidzieć, czy otwierany przedmiot będzie pływał w rtęci. Uzasadnij swój pogląd.
6. Odszukaj w internecie informacje o Archimedesie i przygotuj prezentację na jego temat.
7. Oblicz wartość siły wyporu działającej na aluminiowy sześcián o boku 3 cm, całkowicie zanurzony w wodzie. Potrzebne dane odszukaj w tablicach stałych fizycznych.
8. Prostopadłościan o wysokości h 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.
- *9. 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 stoik, szklanka, jajko, woda, sól, łyżeczka do herbaty.

Kolejne czynności:

- Do stoika 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 stoika z jajkiem wlewaj po łyżeczce roztworu soli i uważnie obserwuj położenie jajka.
- Wyjaśnij, dlaczego w miarę dolewania roztworu jajko zmienia położenie.

Doświadczenie 2.

Sprawdzamy słuszność prawa Archimedesa dla gazów

Potrzebne przedmioty: cienki worek na śmieci, igła z nitką, suszarka do włosów.

Kolejne czynności:

- Wylot worka zszyj nitką tak, by miał średnicę nie większą niż 8 cm.
- Suszarką wdmuchuj gorące powietrze do worka i puść go swobodnie.
- Opisz wynik doświadczenia i wyjaśnij go.

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 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 zanurzanie okrętu podwodnego

Potrzebne przedmioty: mały słoiczek z zakrętką, drobne metalowe przedmioty do obciążania słoiczka, duży stoik z wodą.

Kolejne czynności:

- Do słoiczka włóż kilka metalowych przedmiotów i po zamknięciu zakrętką połóż go na powierzchni wody w dużym stoju lub innym przezroczystym naczyniu.
- Sporządź rysunek lub zdjęcie przedstawiające zachowanie się słoiczka.
- Kilkakrotnie powtórz następujące czynności: wyjmij słoiczek z wody, nalej do niego porcję wody, zakręć i włóż do stoika z wodą. Sporządź rysunek lub zdjęcie przedstawiające zachowanie się słoiczka.
- Doprowadź okręt do całkowitego zanurzenia i udokumentuj ten fakt.

Doświadczenie 5.

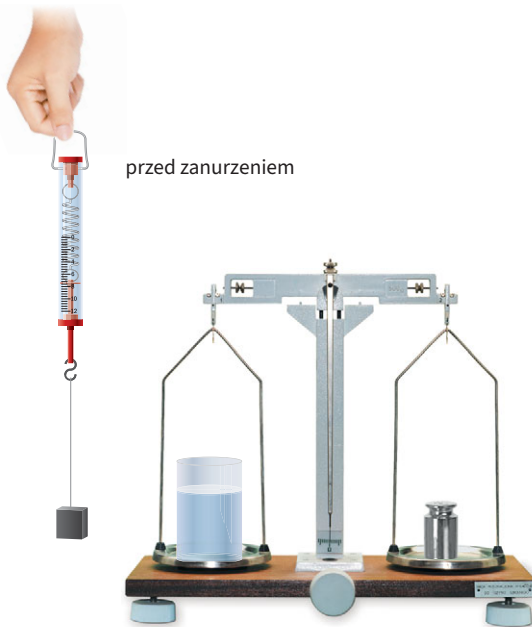
Sprawdzamy słuszność trzeciej zasady dynamiki

Potrzebne przyrządy: waga laboratoryjna, siłomierz, naczynie z wodą, klocek lub inny metalowy przedmiot mieszczący się w naczyniu.

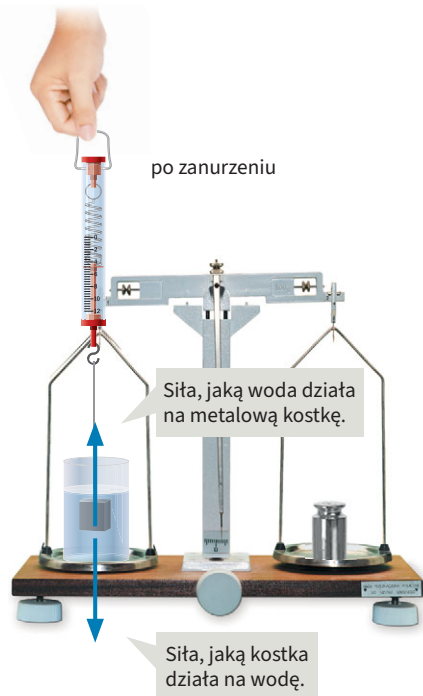
Kolejne czynności:

- Na szalce 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.

a)



b)



4.9

Druga zasada dynamiki Newtona

Wiesz już, że jeśli na ciało działają siły się równoważące, 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 zmiana szybkości ciała jest skutkiem działania siły wypadkowej.



Rys. 4.20. Gdy kierowca chce wyprzedzić inny samochód, naciska pedał gazu, co powoduje gwałtowny przyrost szybkości

Z naszych codziennych obserwacji wiemy, że jeśli kierowca samochodu jadącego ruchem jednostajnym (siła napędzająca jest równoważona przez opory ruchu) chce zwiększyć szybkość, naciska pedał gazu. Zwiększa tym sposobem siłę napędzającą samochód (pojawia się siła wypadkowa), a wskazówka prędkościomierza przesuwają 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:

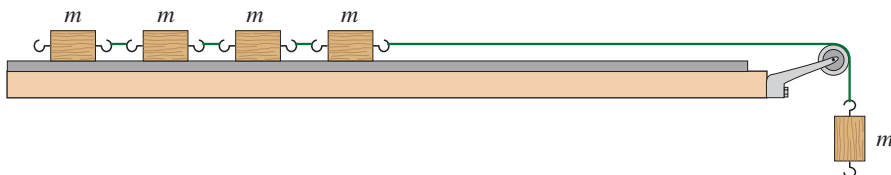
$$\frac{F_{\text{wypadkowa}}}{a} = \text{const}$$

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 4.10

Na gładkiej 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 $a_2 \sim 2m \cdot g$.

$$\frac{2m \cdot g}{a_2} = \text{const}$$

$$\frac{2m \cdot g}{a_2} = \frac{m \cdot g}{a_1}$$

$$a_2 = 2a_1$$

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 $a_3 \sim 3m \cdot g$.

$$\frac{3m \cdot g}{a_3} = \frac{m \cdot g}{a_1}$$

$$a_3 = 3a_1$$

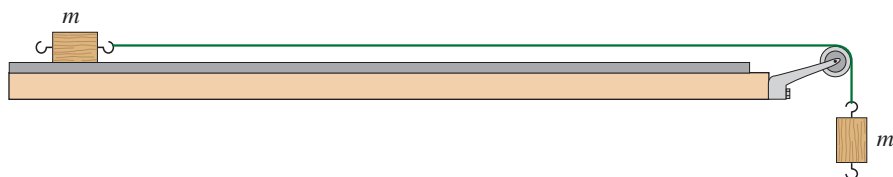
Trzykrotny wzrost wartości siły wypadkowej działającej na układ pięciu klocków spowodował trzykrotny wzrost wartości przyspieszenia układu.

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.

$$a \sim \frac{1}{m} \quad (F_{\text{wypadkowa}} = \text{const})$$

Przykład 4.11

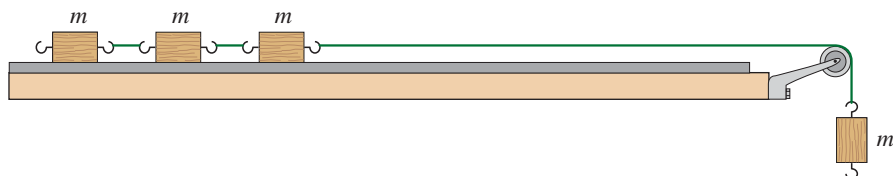
Na gładkiej powierzchni leży klocek o masie m . Drugi klocek o takiej samej masie wisi na nici.



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:

$$a_2 \sim \frac{1}{4m} \quad a_2 = \frac{a_1}{2}$$

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.

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

⁸ Patrz *Poradnik matematyczny* s. 206.

Jeśli przekształcimy tę zależność, otrzymamy:

$$F_{\text{wypadkowa}} = m \cdot a \quad (4.5)$$

Gdy wstawimy do wzoru (4.5) jednostkę masy (1 kg) i jednostkę przyspieszenia ($1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$), 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 ciału 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 4.12

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:

$$\begin{aligned} v &= 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ a &= \frac{v - v_0}{t} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ F &= 500 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \text{ N} \end{aligned}$$

Odpowiedź: Wartość siły wypadkowej wynosi 1000 N.

Tvoja kolej! ➡ zad. 3 s. 169

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:

$$a = \frac{F_c}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g$$

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 to jedyna siła działająca 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 3.8 obliczaliśmy wartość prędkości ciała poruszającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym po czasie t trwania ruchu, przy założeniu, że początkowa prędkość ciała ma wartość równą zeru ($v_0 = 0$) ze wzoru:

$$v = a \cdot t$$

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:

$$v = g \cdot t$$

Czy wiesz, że...

Wartość przyspieszenia, z jakim spadają obiekty na innych ciałach niebieskich (nazywanego wtedy przyspieszeniem grawitacyjnym) jest różna od wartości tego przyspieszenia na Ziemi. Przykładowo na Księżycu, którego masa jest ok. 80 razy mniejsza od masy Ziemi, a promień ok. 4 razy mniejszy od promienia Ziemi, wartość przyspieszenia grawitacyjnego wynosi w przybliżeniu $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – jest więc ono sześciokrotnie mniejsze niż na Ziemi. Natomiast na Jowiszu, czyli największej i najcięższej planecie Układu Słonecznego, przyspieszenie g jest o wiele większe – to ponad $23 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



To ważne!

■ Druga zasada dynamiki Newtona

Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej $\vec{F}$ działającej na to ciało:

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

■ Jednostką siły jest niuton. 1 N jest to wartość siły, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

■ Swobodne spadanie ciał jest ruchem jednostajnie przyspieszonym, zachodzącym pod wpływem siły ciężkości.

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

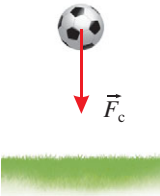
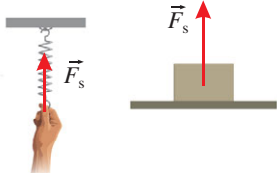
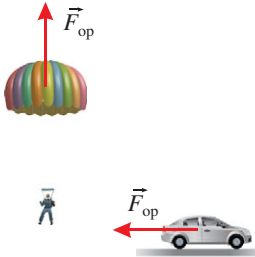
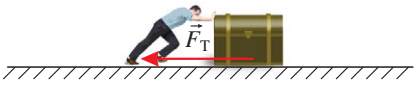
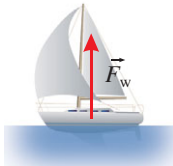
Zadania i doświadczenia

1. Z okna wypadła doniczka o masie 2 kg. Na doniczkę działa siła przyciągania ziemskiego i nadaje jej przyspieszenie o wartości 10 m/s^2 . Oblicz wartość tej siły.
2. Na samochód o masie 1000 kg działa siła wypadkowa o wartości 300 N. Oblicz wartość przyspieszenia tego samochodu.
3. Samochód wyścigowy o masie 1200 kg w pewnej chwili miał szybkość $v_1 = 140 \text{ km/h}$, a po dwóch sekundach $v_2 = 212 \text{ km/h}$. 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.
4. Trzej siłacze ciągną ciężki pojazd, działając siłami o wartościach $F_1 = 1000 \text{ N}$, $F_2 = 1400 \text{ N}$ i $F_3 = 1500 \text{ N}$, o jednakowych kierunkach i zwrotach. Pomijając siły oporu ruchu oblicz:
 - a) wartość siły wypadkowej, którą siłacze działają na pojazd,
 - b) wartość przyspieszenia pojazdu, jeśli jego masa wynosi 1300 kg.
5. W pewnej chwili na spadochroniarkę działają: siła ciężkości o wartości 1000 N i siła oporu powietrza o wartości 900 N. Oblicz:
 - a) wartość siły wypadkowej,
 - b) wartość przyspieszenia, z którym spada spadochroniarka w tej chwili.
6. Udowodnij, że $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ to to samo, co $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
7. W tabeli przedstawiono wartości siły wypadkowej F działającej na ciało o masie m , które w wyniku działania tej siły porusza się z przyspieszeniem a . Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij brakujące wartości.

$F \text{ (N)}$	5		20	90
$m \text{ (kg)}$	1	2	4	
$a \text{ (m/s}^2\text{)}$		10		1

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: $F_w = d_c \cdot g \cdot V_{zan}$	

■ 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 zamkniętę 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 $\vec{F}_c$ 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.

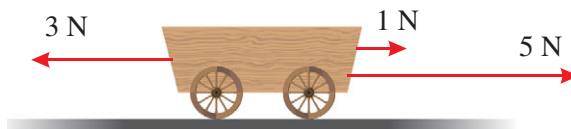
Sprawdź się

Wybierz właściwe dokończenia zdań w zadaniach 1–14.

- Kasia trzyma na głowie piłkę plażową. Nieprawdą jest, że
 - 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.

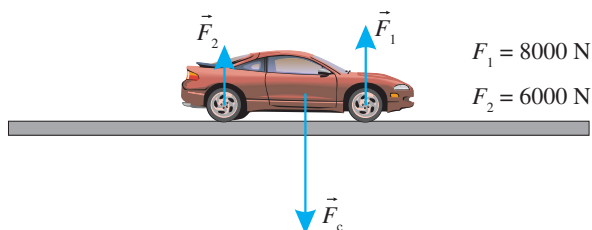
Statyczny skutek działania siły wystąpił w

- | | |
|-----------------|------------------------|
| A. czynności 1. | C. czynności 2. |
| B. czynności 3. | 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

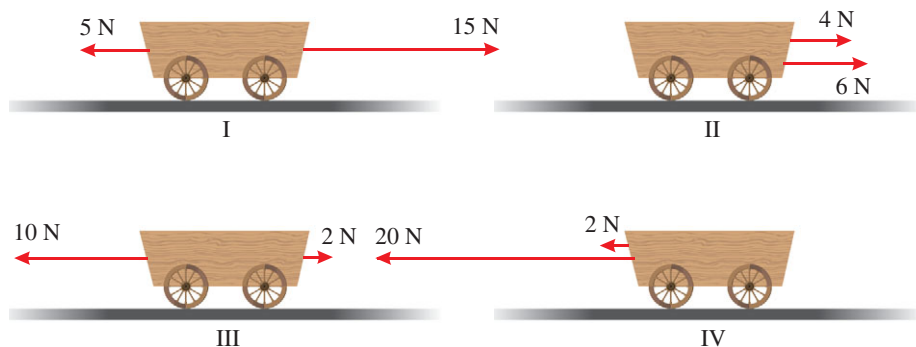
- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| A. 1 N | B. 2 N | C. 3 N | D. 4 N |
|--------|--------|--------|--------|
- Na stojący na parkingu samochód działają trzy siły, jak pokazano na rysunku.



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

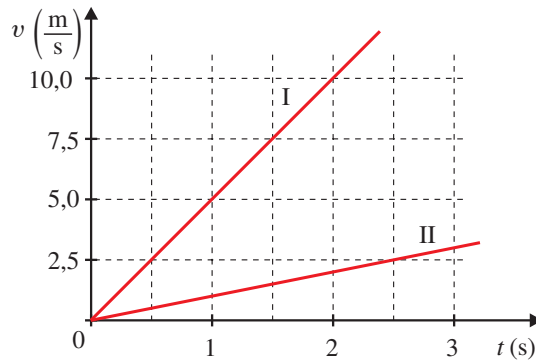
Informacje do zadań 6. i 7.

Dwa wózki połączono gumą i oddalono je od siebie tak, by guma była naprężona. Gdy je swobodnie puszczono, zderzyły się w punkcie 0.



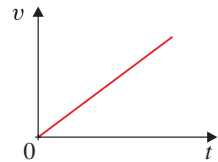
6. Prawdą jest, że
- A. Guma działała na wózek I siłą o większej wartości niż na wózek II.
 - B. Guma działała na wózek I siłą o mniejszej wartości niż na wózek II.
 - C. Na podstawie znajomości punktu zderzenia wózków nie można określić, na który wózek guma działała siłą o większej wartości.
 - D. Guma działała na oba wózki siłą o takiej samej wartości.
7. Prawdą jest, że
- 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:

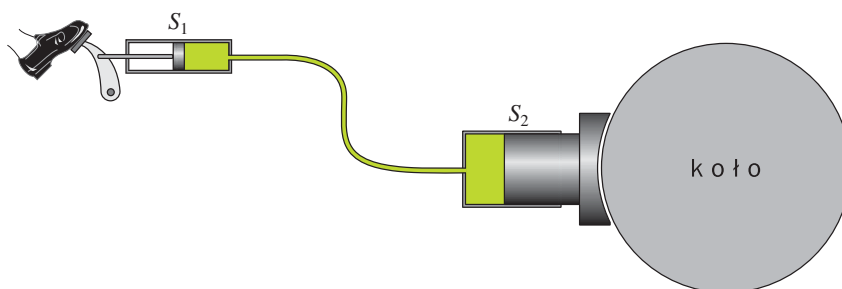
- A. $m_I = 4 \text{ kg}$, $m_{II} = 20 \text{ kg}$.
 B. $m_I = 5 \text{ kg}$, $m_{II} = 25 \text{ kg}$.
 C. $m_I = 20 \text{ kg}$, $m_{II} = 4 \text{ kg}$.
 D. $m_I = 25 \text{ kg}$, $m_{II} = 5 \text{ kg}$.
9. Na wykresie obok przedstawiono zależność wartości prędkości od czasu dla samochodu ruszającego na ulicy po zmianie świateł. Który z poniższych wykresów przedstawia zależność wartości wypadkowej siły powodującej ruch samochodu od czasu?



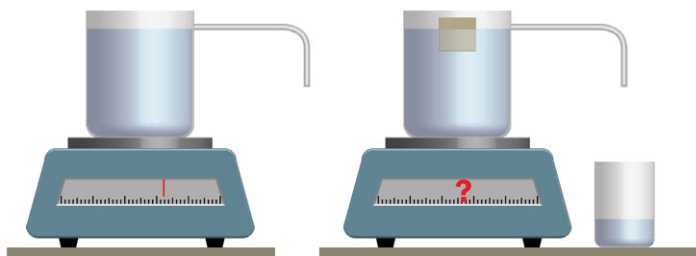
- A. B. C. D.

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 przesuwa 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.



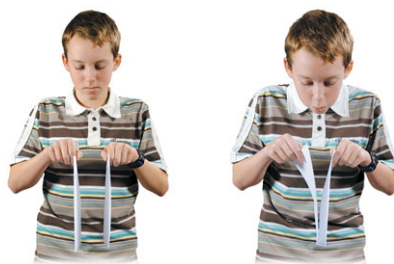
Prawdą jest, że

- A. wskazanie wagi nie zmieniło się.
B. waga wskazuje większą wartość.
C. waga wskazuje mniejszą wartość.

Dlaczego samoloty mogą latać?

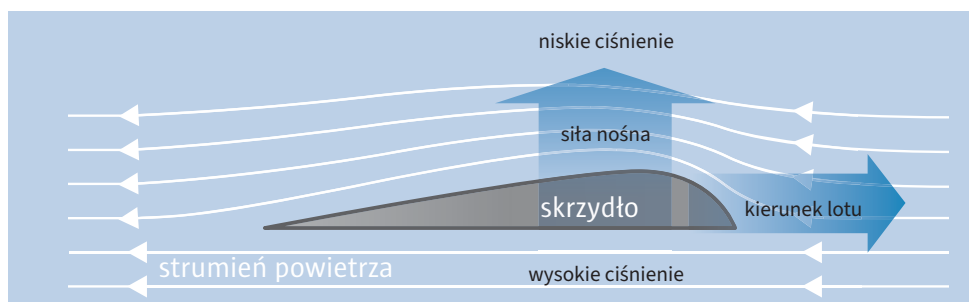
Chęć latania towarzyszyła ludziom od najdawniejszych czasów. Świadczy o tym choćby grecki mit o Dedalu i Ikarze. Ostatecznie właśnie naśladowanie ptaków pozwoliło zrealizować to marzenie. Ludzie zbudowali samolot. Wiadomo, dlaczego lata balon i sterowiec (prawo Archimidesa). A dlaczego lata samolot? Siła wyporu jest za mała, żeby zrównoważyć jego ciężar. Przecież siła grawitacji powinna spowodować szybki upadek samolotu.

Kluczową rolę odgrywa tutaj prawo Bernoulliego. Aby się o tym przekonać, można wykonać doświadczenie. Dwie kartki trzymaj tak, aby zwisały swobodnie pionowo obok siebie w odległości kilku centymetrów. Gdy mocno dmuchniesz między nie od góry, to zauważysz, że kartki zamiast oddalać się – przylegają do siebie. Dzieje się tak, ponieważ 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. To zjawisko wyjaśnił w 1738 roku matematyk Daniel Bernoulli – stwierdził on, że w szybko poruszającym się strumieniu cieczy lub gazu panuje niższe ciśnienie niż w poruszającym się wolniej lub będącym w spoczynku.

To samo zjawisko leży u podstaw zasady lotu zarówno ptaków, jak i samolotów. Kształt przekroju skrzydła jest taki, że nad jego górną powierzchnią powietrze napotyka zwężenie, 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. Nazywamy ją **siłą nośną** utrzymującą samolot w powietrzu. Jest ona większa, gdy samolot porusza się z dużą szybkością.



Na lecący samolot działają więc siły grawitacji i siły nośne. Działają także siły ciągu silników oraz siły oporu powietrza, która rośnie, gdy rośnie szybkość samolotu. Podczas startu samolot, jadący po pasie startowym, rozpędza się, dlatego 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 do przodu 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 się unosi. Gdy krąży w 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 przelecieć długi odcinek 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.

Po przeczytaniu tekstu...

- Im większa wysokość nad Ziemią, tym mniejsza jest gęstość powietrza. Zastanów się nad tym, jaki może mieć to wpływ na lot samolotu, a następnie sprawdź, jaka jest optymalna wysokość lotu samolotów pasażerskich i z czego ona wynika.
- Wiele gatunków ptaków, takich jak gęsi czy pelikany, w czasie długich lotów tworzy formację w kształcie litery „V” nazywaną kluczem. Zastanów się, w jaki sposób ułatwia im to lot. Zweryfikuj przypuszczenia na podstawie dostępnych źródeł.

5

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.

5.1

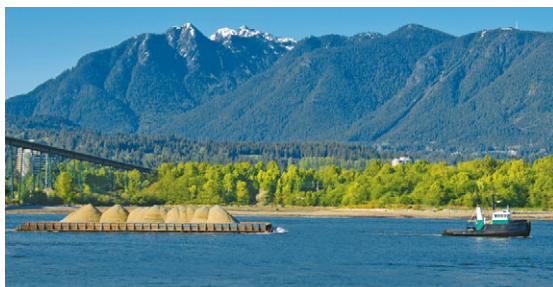
Praca mechaniczna

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 5.1

Działający siłą holownik przesuwa barki z piaskiem po jeziorze. Podczas przesuwania holownik wykonuje pracę.



Przykład 5.2

Woda spada sztolniami z wyższego poziomu na niższy – pracę polegającą na przemieszczaniu wody wykonuje siła ciężkości.



Przykład 5.3

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 ciało przemieszcza się na skutek działania tej siły.

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 zostanie wykonana większa praca, bo na paczkę musi działać większa siła.

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).



Rys. 5.1. Podczas podnoszenia paczki na pewną wysokość wykonywana jest praca

praca = wartość siły · przebyta droga

$$W = F \cdot s \quad (5.1)$$

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.

Jednostkę pracy możemy określić przez wstawienie do wzoru (5.1) 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 5.4

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:

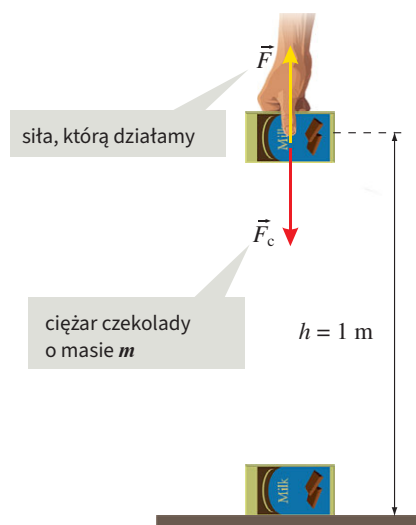
$$F = m \cdot g$$

$$F = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

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 5.5

Obliczmy pracę, jaką wykonuje dźwig budowlany, gdy ruchem jednostajnym podnosi cegły o masie 1000 kg na wysokość $h = 20 \text{ m}$, a następnie przesuwają 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 siłą, 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.

To ważne!

- Siła działająca na ciało wykonuje pracę, gdy:
 - podczas działania tej siły następuje przemieszczenie ciała lub jego odkształcenie,
 - kierunki działającej siły i przemieszczenia ciała nie są do siebie prostopadłe.
- 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.
- 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, kre-da 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 od-cinku odczytaj na siłomierzu wartość siły, jaką działasz na książkę.
- Skorzystaj ze wzoru 5.1 i oblicz wykonaną pracę.

5.2

Moc

Jedne urządzenia wykonują pracę szybko, inne wolniej.



Rys. 5.2. Kosiarz (a) w ciągu jednej godziny jest w stanie skosić o wiele mniejszą powierzchnię niż kombajn rolniczy (b), więc moc kosiarza jest mniejsza niż moc kombajnu

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), określimy 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 tota).

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.

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.

Czy wiesz, że...

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.



Bugatti Veyron o mocy 1001 KM

To ważne!

- Mocą urządzenia nazywamy iloraz pracy i czasu, w którym została ona wykonana:

$$P = \frac{W}{t}$$

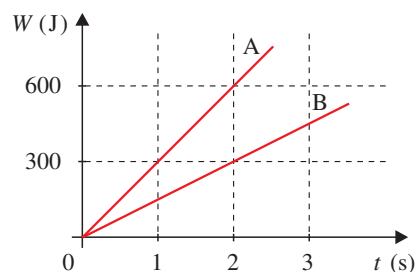
- Moc danego urządzenia informuje nas o tym, jaką pracę wykonuje ono w czasie 1 sekundy.
- Jednostką mocy jest wat (1 W). Moc jednego wata ma urządzenie, które w czasie 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz moc wioślarza, który w czasie 1 minuty wiosłowania wykonuje pracę 12 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 $v = \frac{s}{t}$.



5.3

Energia mechaniczna

Po zapoznaniu się z pojęciem pracy możemy przystąpić do omawiania niezwykle ważnego i ściśle związanego z pracą pojęcia energii.

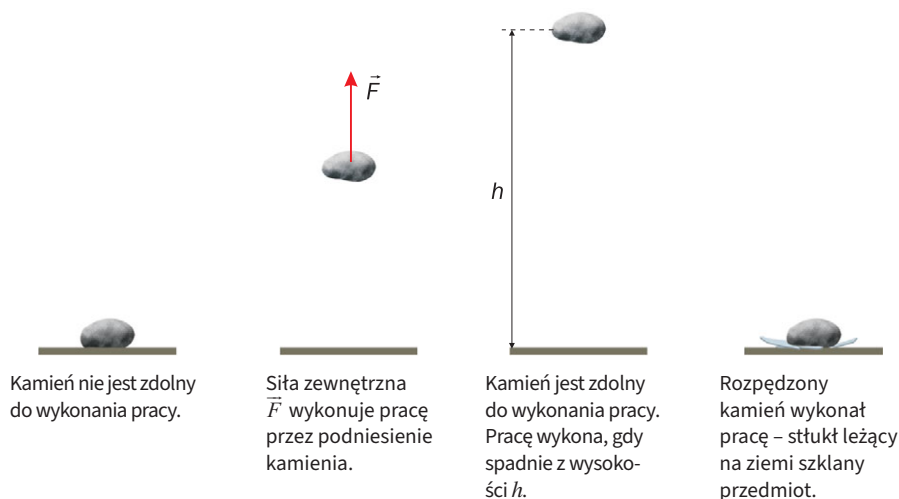
Maszyny w fabrykach mogą wykonać pracę, jeżeli są zasilane np. przez silniki elektryczne, które zużywają energię elektryczną. Silniki samochodów zużywają podczas pracy energię spalanej benzyny, a turbiny wodne – energię wody spadającej z pewnej wysokości. Również ludzie, aby żyć i pracować, muszą uzupełniać zapasy 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 stanowiący układ – siłami wewnętrznymi układu.

Przykład 5.6

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.

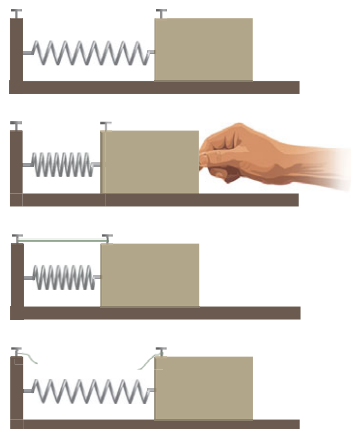
Jeśli zadziałamy siłą naszych mięśni, czyli siłą spoza układu, i podniesiemy kamień na pewną wysokość (siła zewnętrzna wykona pracę), układ stanie się zdolny do wykonania pracy. Może ją wykonać kamień – jedno z ciał należących do układu.



Przykład 5.7

Ściśnięta sprężyna i klocek to układ ciał, działających 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.

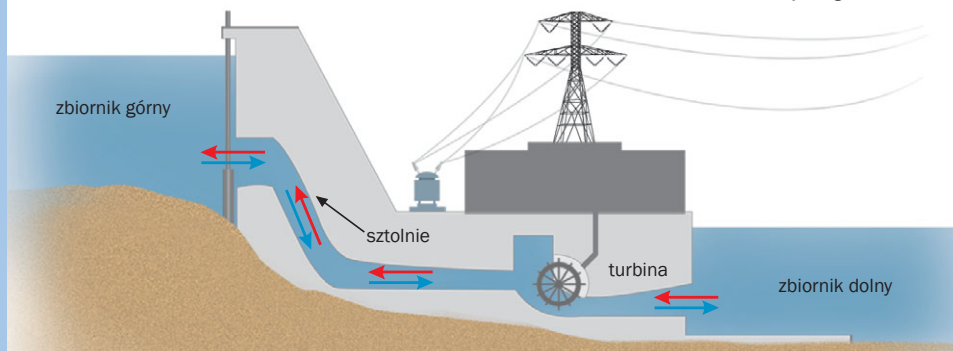


Przykład 5.8

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 zadziałanie 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 5.9

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 pał 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 pał, jest równa $7,5\text{ MN}$.

Tvoja kolej! ➡ zad. 3 s. 189

To ważne!

- 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:

$$\Delta E = W_z$$

- Jednostką energii jest dżul (J).
- 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.

Zadania i doświadczenia

1. Zaproponuj sposób zwiększenia energii mechanicznej przedstawionych układów ciał.



kule połączone sprężyną



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 .
3. Młot kafara podniesiono na pewną wysokość i wykonano przy tym pracę $W = 2\text{ MJ}$. O ile wzrosła energia młota? Jaką pracę może on wykonać podczas powrotu do stanu początkowego? Oblicz wartość siły, którą młot działa na pał, jeśli wciska go na głębokość $0,5\text{ m}$.

5.4 Energia potencjalna i energia kinetyczna

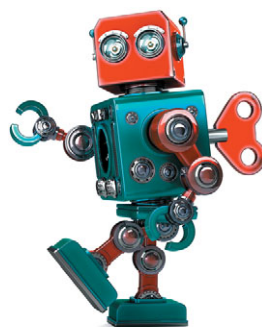
Wyróżniamy dwa rodzaje energii mechanicznej: energię potencjalną i energię kinetyczną. Zmiana wzajemnego położenia ciał, które oddziałują na siebie siłami grawitacji lub sprężystości, prowadzi do zmiany ich **energii potencjalnej** (nazwa pochodzi od łacińskiego słowa *potentia* – możliwość). W przypadku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



Rys. 5.3. Wędka uległa odkształceniu podczas wyciągania złowionej ryby – ma zatem energię potencjalną sprężystości

Oddziałująca z klockiem ściśnięta sprężyna (przykład 5.7) 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 też 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 zeru – 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.



Rys. 5.4. Zabawka o napędzie sprężynowym

Zgodnie z obliczeniem przeprowadzonym w przykładzie 5.4 na wysokości h nad poziomem zerowym ciało o masie m ma energię potencjalną grawitacji równą:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (5.2)$$

bo podczas podnoszenia ciała na wysokość h wykonaliśmy taką pracę.

Przykład 5.10

Obliczmy energię potencjalną 1 m³ wody o masie $m = 1000$ kg w zbiorniku górnym elektrowni Porąbka-Żar, który znajduje się 430 metrów powyżej zbiornika dolnego.

Dane: $m = 1000$ g, $h = 430$ m

Szukane: E_p

Rozwiązanie:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 430 \text{ m} = 4\,300\,000 \text{ J} = 4,3 \text{ MJ}$$

Twoja kolej! ➡ zad. 1 s. 194

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 zeru, a ciało o masie m , leżące np. na stole, ma energię potencjalną $E_p = m \cdot g \cdot h$, gdzie h jest wysokością stołu.

Przykład 5.11

Obliczmy energię potencjalną szklanki o masie $m = 0,1$ kg, stojącej na półce na wysokości $h_2 = 0,5$ m nad stołem. Błat stołu znajduje się na wysokości $h_1 = 1$ m nad podłogą. Za poziom zerowy przyjmujemy kolejno: a) podłogę, b) stół, c) półkę.

Dane: $m = 0,1$ kg, $h_1 = 1$ m, $h_2 = 0,5$ 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)

$$E_{p3} = m \cdot g \cdot h_3$$

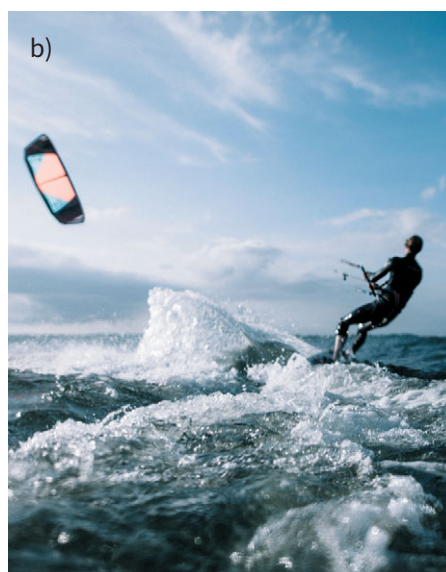
$$E_{p3} = m \cdot g \cdot 0 = 0$$

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 łopatkę koła młyńskiego), poruszające się powietrze, czyli wiatr (może on wprawić w ruch żaglówkę lub łopatkę 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 poważnie ją uszkodzi.



Rys. 5.5. Poruszające się powietrze, czyli wiatr, jest zdolne do wykonania pracy: wprawia w ruch łopaty wiatraka (a) i latawiec kitesurfera (b)

Ciało o masie m poruszające się w danym układzie odniesienia z szybkością v ma w tym układzie energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (5.3)$$

Ze wzoru 5.3 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 praca, jaką podczas zderzenia wykonuje samochód o dwa razy większej szybkości, jest czterokrotnie większa, a więc 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 5.12

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:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 900\,000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 450\,000 \text{ J} = 0,45 \text{ MJ}$$

Twoja kolej! ➡ zad. 4 s. 194

To ważne!

- 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.
- Energia potencjalna grawitacji wzrasta, gdy ciało oddala się od powierzchni Ziemi.
- Zmiana energii potencjalnej sprężystości wiąże się zawsze z odkształceniem ciała.
- Energię potencjalną grawitacji ciała o masie m umieszczonego na wysokości h nad tzw. poziomem zerowym obliczamy za pomocą wzoru:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

- Energia kinetyczna jest związana z ruchem ciała. Każde ciało, które w danym układzie odniesienia jest w ruchu, ma w tym układzie energię kinetyczną.
- 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.

5.5

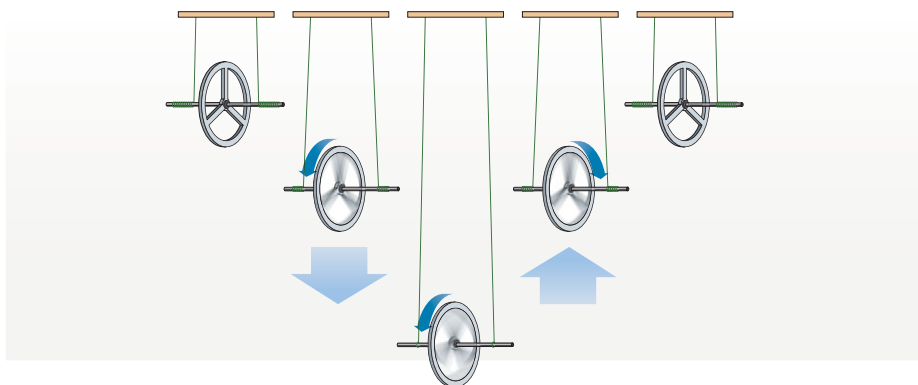
Zasada zachowania energii mechanicznej

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 5.1

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. 5.6). 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):

$$E_p = E_k$$

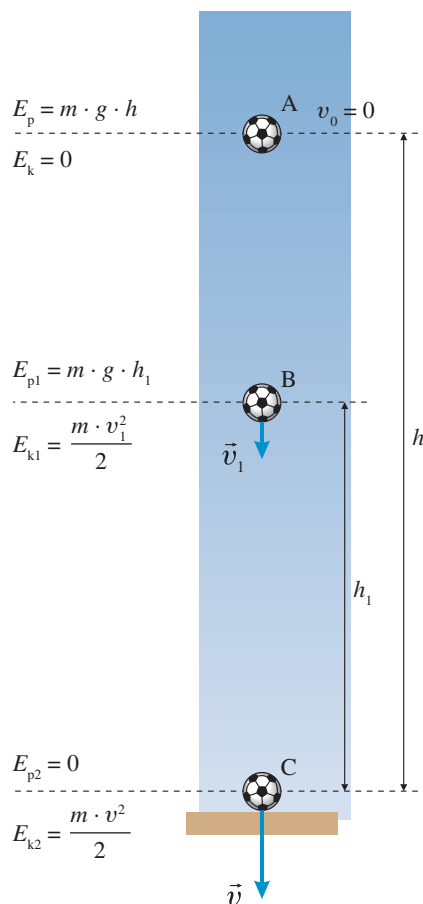
Podobne rozważania można byłoby przeprowadzić dla dowolnego położenia ciała w czasie jego swobodnego spadania. Przy obliczaniu dla tego położenia wartości energii kinetycznej i potencjalnej ciała można byłoby stwierdzić, że o tyle wzrosła energia kinetyczna ciała, o ile zmniejszyła się jego energia potencjalna. 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:

$$E_p = E_{p1} + E_{k1} = E_{k2}$$

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. Gdy siła zewnętrzna (tu: oporu powietrza) 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 pracy sił zewnętrznych i nie następuje zmiana energii mechanicznej.



Rys. 5.6. Podczas swobodnego spadania ciała następuje zamiana energii potencjalnej na kinetyczną



Rys. 5.7. 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 5.13*

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:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{36 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}} = 1,8 \text{ m}$$

Tvoja kolej! ➡ zad. 3 s. 198

Czy wiesz, że...

Między ciałami tworzącymi układ 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:

$$\text{sprawność maszyny} = \frac{\text{praca użyteczna wykonana przez maszynę}}{\text{energia dostarczona tej maszynie}} \cdot 100 \%$$

To ważne!

■ 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.

■ Jeśli między ciałami tworzącymi układ działają siły oporu ruchu, np. tarcie, opór powietrza, to energia mechaniczna układu maleje – nie jest zachowana.

Zadania i doświadczenia

- Opisz przemiany energii mechanicznej:
 - piłki rzuconej pionowo do góry (pomiń opór powietrza),
 - huśtawki wykonującej ruch wahadłowy,
 - układu proca–kamyk podczas wyrzucenia kamyka.
- Saneczkarz o masie 40 kg rusza ze stoku i jedzie z przyspieszeniem o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Sporządź wykresy zależności $v(t)$ oraz $E_k(v)$ dla ruchu tego saneczkarza. Przed wykonaniem wykresów sporządź w zeszycie 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			

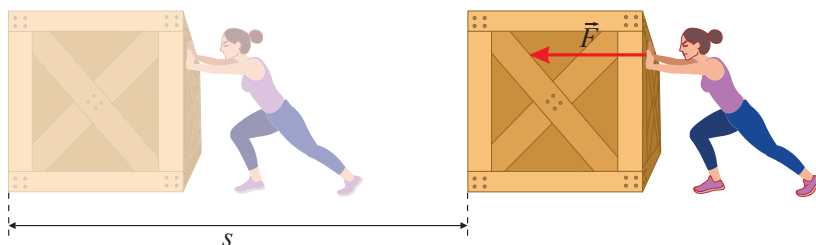
- *3. Olga rzuciła w górę piłkę z szybkością 10 m/s. Czy może ją złapać Zosia stojąca na balkonie na wysokości 4,5 m? Pomijamy opór powietrza.

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:

$$W = F \cdot s$$

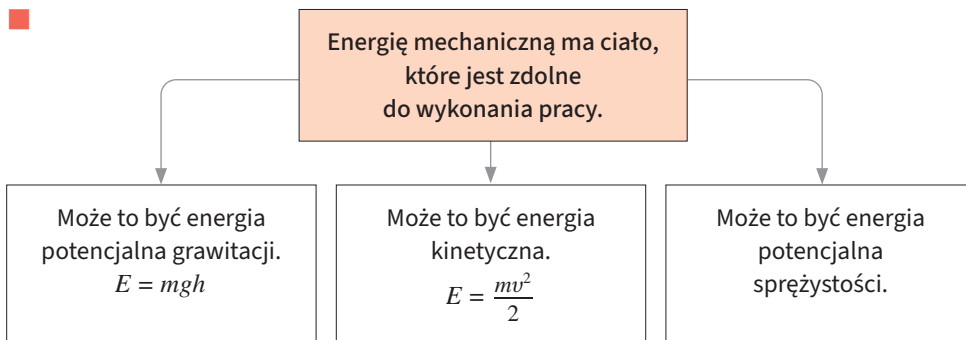
Jednostką pracy jest dżul: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$.



- 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.

Odnawialne źródła energii

Energia odnawialna to energia pozyskiwana ze źródeł, które odnawiają się naturalnie w krótkim czasie i praktycznie się nie wyczerpują. W przeciwieństwie do paliw kopalnych (węgiel, ropa, gaz), ich wykorzystywanie nie prowadzi do trwałego zużycia zasobów i zwykle jest mniej szkodliwe dla środowiska.

Energia wiatrowa

Energia wiatrowa, czyli kinetyczna przemieszczających się mas powietrza, jest przekształcana na energię elektryczną za pomocą turbin wiatrowych. Obecnie w Polsce ok. 30 % energii z odnawialnych źródeł pochodzi z elektrowni wiatrowych.

Energia słoneczna

Energia słoneczna to energia promieniowania słonecznego, które jest wykorzystywane do produkcji energii cieplnej (kolektory słoneczne stosowane do podgrzewania wody) i energii elektrycznej (ogniwa fotowoltaiczne).



Energia geotermalna

Energia geotermalna to energia ciepła pochodząca z wnętrza Ziemi, wykorzystywana do ogrzewania (np. w instalacjach CO) i produkcji prądu elektrycznego. Pozyskuje się ją poprzez odwierty, które dostarczają gorącą wodę lub parę do instalacji, lub za pomocą pomp ciepła.



Energia wodna

Energie kinetyczna i potencjalna grawitacji wody wykorzystywane są do napędzania turbin wodnych połączonych z generatorami prądu elektrycznego.

Energia biomasy i biogazu

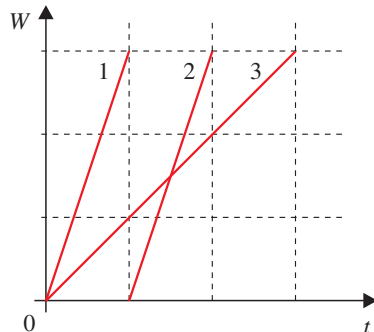
Energię pozyskiwać można również z materiałów organicznych (roślin, odpadów czy obornika). Są one poddawane fermentacji beztlenowej (biogaz) lub spalane (biomasa).



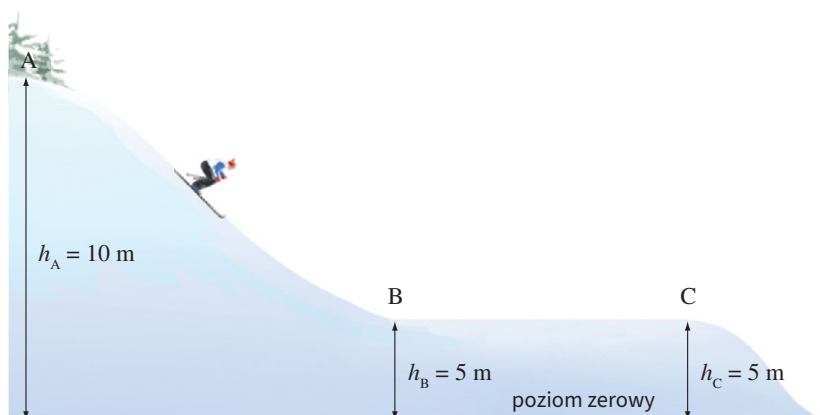
Sprawdź się

Wybierz właściwe dokończenie zdań w zadaniach 1–10.

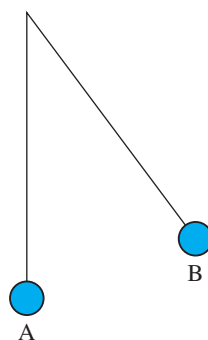
1. Ciężarowiec o wzroście 1,9 m podniósł z podłogi 120-kilogramową sztangę na wysokość 60 cm ponad głowę i trzymał ją w tym położeniu przez 10 sekund. Ciężarowiec wykonał pracę równą
 A. 300 J B. 3000 J C. 10,2 kJ D. 102 kJ
2. Zosia przeniosła plecak o masie 10 kg po poziomej ulicy na odcinku 100 m. Praca wykonana przez Zosię jest równa
 A. 0 J B. 100 J C. 1000 J D. 10000 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. 10000 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. Prawdą jest, że
 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. Narciarz wyruszył z punktu A i zjeżdżał ze stoku, mijając kolejno punkty B i C.



- Jeśli założymy, że opory ruchu są pomijalne, to prawdą jest, że
- A. na odcinku AB energia potencjalna narciarza rośnie.
 - B. na odcinku BC energia potencjalna narciarza rośnie.
 - C. na odcinku AB energia kinetyczna narciarza rośnie.
 - D. na odcinku BC energia kinetyczna narciarza rośnie.
9. 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.
10. Nitkę z umocowaną na jej końcu kulką odchyłono od początkowego położenia A do położenia B tak, jak pokazuje rysunek, i puszczono. Podczas ruchu kulki od punktu B do punktu A
- A. malała jej energia potencjalna i rostała jej energia kinetyczna.
 - B. rostała jej energia potencjalna i malała jej energia kinetyczna.
 - C. malała zarówno jej energia potencjalna, jak i kinetyczna.
 - D. rostała zarówno jej energia potencjalna, jak i kinetyczna.



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.

Dodawać i odejmować 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:

$$\frac{2}{5} : \frac{3}{10} = \frac{2}{5} \cdot \frac{10}{3} = \frac{2 \cdot 10}{5 \cdot 3} = \frac{20}{15} = \frac{4}{3}$$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \frac{1 \text{ km}}{1000} \cdot \frac{3600}{1 \text{ h}} = \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

- 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** i oznaczamy $a \sim b$.

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.

$$\frac{4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \frac{8 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{16 \text{ m}}{8 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \frac{20 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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
$a = 100 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 2 = 50 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 4 = 25 \text{ m/s}$	$100 \text{ m/s} : 5 = 20 \text{ m/s}$
$b = 2 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 2 = 4 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 4 = 8 \text{ s}$	$2 \text{ s} \cdot 5 = 10 \text{ s}$

Pomnożmy 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 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):

$$c = \frac{a}{b} \quad \left| \cdot b, \quad c \cdot b = \frac{a \cdot \cancel{b}}{\cancel{b}} \Rightarrow a = c \cdot b \right.$$

Jeśli chcesz teraz obliczyć b , podziel obie strony równości przez c :

$$a = c \cdot b \quad \left| : c, \quad \frac{a}{c} = \frac{\cancel{c} \cdot b}{\cancel{c}} \Rightarrow b = \frac{a}{c} \right.$$

Tabela 1. Wielkości fizyczne z ich symbolami, jednostkami oraz wzorem

Wielkość fizyczna	Symbol	Jednostka	Wzór
wartość siły ciężkości	F_c	N	$F_c = m \cdot g$
gęstość	d	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$d = \frac{m}{V}$
ciśnienie	p	Pa	$p = \frac{F}{S}$
zamiana temperatury ze °C na K	T	K	$T = t + 273$
zamiana temperatury z K na °C	t	°C	$t = T - 273$
szybkość w ruchu jednostajnym	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ lub $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = \frac{s}{t}$
średnia szybkość	v_{sr}	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ lub $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v_{\text{sr}} = \frac{s_{\text{całk}}}{t_{\text{całk}}}$
wartość przyspieszenia	a	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
ciśnienie hydrostatyczne	p_h	Pa	$p_h = d_c \cdot h \cdot g$
ciśnienie całkowite	p	Pa	$p = p_h + p_{\text{atm}}$
wartość siły wyporu	F_w	N	$F_w = d_c \cdot g \cdot V$
wartość przyspieszenia (II ZD)	a	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a = \frac{F_{\text{wypadkowa}}}{m}$
szybkość w spadku swobodnym	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = gt$
praca	W	J	$W = F \cdot s$
moc	P	W	$P = \frac{W}{t}$
energia potencjalna grawitacji	E_p	J	$E_p = m \cdot g \cdot h$
energia kinetyczna	E_k	J	$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Tabela 2. Przedrostki do wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^3 = 1000$
hekto	h	$10^2 = 100$
deka	da	$10^1 = 10$
–	–	$10^0 = 1$
decy	d	$10^{-1} = 0,1$
centy	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
mikro	u	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$

Odpowiedzi do zadań

1. Wykonujemy pomiary

1.1. Wielkości fizyczne, które mierzysz na co dzień

Strona	Zadanie	Odpowiedź
16	2	$8,25 \text{ m} = 8250 \text{ mm} = 82,5 \text{ dm} = 0,00825 \text{ km}$
16	3	$\Delta t = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$
16	4	dokładność: 0,1 kg zakres pomiarowy: od 0 do 3 kg wynik pomiaru: 2,4 kg
16	5	$t = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
16	6	$t = 17,23 \text{ s}$
16	7	Masa odpadów nie zmieniła się, ponieważ masa ciała pozostaje stała niezależnie od zmiany kształtu czy objętości.
16	8	liczba słów / 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	$m \text{ (kg)}$ 1 3 0,5 7,2
		$F \text{ (N)}$ 10 30 5 72
23	8	wektor o długości 2 cm, kierunek pionowy, zwrot w dół

1.3. Wyznaczanie gęstości substancji

Strona	Zadanie	Odpowiedź
30	1	$d = 8,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; Przedmiot jest wykonany z mosiądzu.
30	2	$m = 19,3 \text{ kg}$
30	3	$m = 32,25 \text{ kg}$

Strona	Zadanie	Odpowiedź				
30	4	Należy odmierzyć 20 cm ³ wody.				
30	5	$d = 17 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, nie				
31	6	$d = 0,81 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$				
31	7	$d = 8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$				
31	8	$d = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, oliwa				
31	10	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	1	2	5	10
		$m \text{ (g)}$	10,8	21,6	54	108

1.4. Pomiar ciśnienia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
36	1	$p \approx 6,67 \text{ MPa}$
36	2	$p = 100\,000 \text{ Pa}$
36	4	$F = 500 \text{ N}$
36	5	$S = 1,2 \text{ m}^2$
36	6	Powietrze dostaje się do środka kartonika, zapobiegając tworzeniu się podciśnienia, które utrudniałoby wyptywanie soku.
37	7	Odciągając tłok, zmniejszamy ciśnienie w strzykawce, więc ciecz jest wypychana przez wyższe ciśnienie atmosferyczne do strzykawki.
37	8	5 Pa, 100 Pa, 40 Pa, 50 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. 45)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	1.1	1	C
2	1.1	1	B
3	1.3	1	A
4	1.4	1	C
5	1.2	1	B
6	1.1	1	A

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
7	1.1	1	C
8	1.3	1	D
9	1.1	1	B
10	1.2	1	D
11	1.3	1	B
12	1.1	1	A
13	1.4	2	D
14	1.3	2	C

2. Częsteczkowa budowa ciał

2.1. Trzy stany skupienia ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
51	1	kruchosc, sprężystosc, kruchosc, plastycznosc, sprężystosc
51	2	ściśliwość
51	3	Nie, gdyż ciecze nie są ściśliwe.

2.2. Zmiany stanów skupienia ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
56	1	Wszystkie substancje w podanych temperaturach są cieciami.
56	2	Podczas liofilizacji zachodzi sublimacja.
56	3	temperatura, masa
56	5	Z cieczy podanych w tabeli 2.1 można zastosować tylko alkohol metylowy.
56	7	Należy zwiększyć ciśnienie, co podnosi temperaturę wrzenia.

2.3. Częsteczkowa budowa ciał

Strona	Zadanie	Odpowiedź
61	1	a) 309,6 K, b) 373 K, c) 273 K, d) 253 K, e) 117 K
61	2	a) $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$, b) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, c) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, d) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, e) $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$
61	3	$\Delta T = 600\text{ K}$, $\Delta t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.4. Siły międzycząsteczkowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
65	1	Siły spójności działające między cząsteczkami tłuszczu są większe od sił przylegania między cząsteczkami tłuszczu i wody.
65	2	Między cząsteczkami wody i szkła działają siły przylegania.
65	3	Mydło zmniejsza napięcie powierzchniowe wody, co umożliwia tworzenie cienkich błonek wypełnionych powietrzem.
65	4	Napięcie powierzchniowe dąży do zminimalizowania powierzchni cieczy, a kształt kulisty ma najmniejszą powierzchnię przy danej objętości.

2.5. Różnice w budowie ciał stałych, cieczy i gazów

Strona	Zadanie	Odpowiedź
68	1	Odległości między cząsteczkami w gazach są bardzo duże, a siły oddziaływania między nimi są słabe.
68	2	Gaz wypełnia cały zbiornik, bo jego cząsteczki poruszają się swobodnie, ciecz ma określoną objętość.
68	3	Z talerza, bo ma większą powierzchnię parowania.

2.6. Gaz w zamkniętym zbiorniku

Strona	Zadanie	Odpowiedź
71	1	Rosną szybkości cząsteczek powietrza, które częściej i mocniej uderzają w ścianki dętki.
71	2	Objętość balonu rośnie, gdyż ciśnienie atmosferyczne maleje wraz ze wzrostem wysokości.
71	3	Wzrost temperatury powoduje wzrost ciśnienia gazu wewnątrz pojemnika, co może doprowadzić do jego rozerwania.
71	4	Należy podgrzewać puszkę otwartą lub przynajmniej nakłutą, gdyż wzrost temperatury powoduje w szczelnej puszcze wzrost ciśnienia.

Sprawdź się (s. 74)

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

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
7	2.2	1	B
8	2.2	1	A
9	2.2	1	B
10	2.5	1	C
11	2.4	1	A
12	2.3	1	B
13	2.3	1	A
14	2.3	1	D
15	2.4	1	D
16	2.5	1	B
17	2.2	1	C
18	2.2	1	C
19	2.2	1	B
20	2.3	1	C

3. Jak opisujemy ruch?

3.1. Układ odniesienia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
82	1	Nie, ponieważ nie ma widocznego układu odniesienia, względem którego może określić położenie.
82	2	względem łodzi: w spoczynku względem wody: w spoczynku względem drzew na brzegu: w ruchu
82	3	1 C, 2 A, 3 B

3.2. Tor ruchu, droga

Strona	Zadanie	Odpowiedź
86	1	$\Delta x = x_2 - x_1 = 5 \text{ m}$
86	3	7 km

3.3. Ruch jednostajny

Strona	Zadanie	Odpowiedź
90	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.
90	4	9 s
90	5	a) 0,5 s
90	6	a) 120 km, b) 60 km, c) nie

3.4. Szybkość w ruchu jednostajnym

Strona	Zadanie	Odpowiedź	
94	1	20 m/s	
94	2	18 km/h	
94	3	$v_1 = 36 \text{ m/s}$	
94	4	Droga s przebyta przez traktor (km)	Czas t ruchu traktora (h)
		20	1
		40	2
		60	3
95	5	Droga s przebyta przez dźwięk (km)	Czas $t(s)$, w którym dźwięk przebywa drogę s
		340	1
		680	2
		170	0,5
95	6	W każdej sekundzie ciało przebywa drogę 2 m. W drugiej sekundzie przebędzie 2 m, a w ciągu dwóch sekund przebędzie 4 m.	
95	7	8 minut 20 sekund	
95	8	a) 20 m, 40 m, 20 m, 120 m b) 20 m c) $20 \text{ m/min} \approx 0,33 \text{ m/s}$ d) ruch jednostajny	

Strona	Zadanie	Odpowiedź
96	9	1700 m
96	10	a) 9 km, b) 23,5 km, c) 4392 km
96	11	a) 10 min, b) 30 s
96	12	$v_A = 600 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 167 \frac{\text{m}}{\text{s}}, v_B = 300 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
96	*13	a) $P = a \cdot b = 2 \text{ min} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 40 \text{ m}$

3.6. Ruch zmienny

Strona	Zadanie	Odpowiedź
102	1	a) $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, b) ok. $14 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
102	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. $45,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
103	4	Tomek powinien najpóźniej wyjść o 7.40.
103	5	Uczniowie przebywali średnio 3 km w każdej godzinie.
103	7	a) chwilowe, b) jednakowe, c) różne

3.7. Ruch jednostajnie przyspieszony

Strona	Zadanie	Odpowiedź
106	1	$0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
106	2	$0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
106	3	a) Tak, ponieważ w jednakowych odstępach czasu szybkość ciała wzrasta o tę samą wartość (wykres $v(t)$ jest linią prostą). b) W ciągu 10 s szybkość wzrosła o $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. c) W ciągu 1 s szybkość wzrosła o $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
106	4	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) $\Delta v = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

3.8. Przyspieszenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Strona	Zadanie	Odpowiedź
111	1	b) W chwili uderzenia o ziemię $v = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
111	2	$3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
111	3	$24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
111	4	$0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
111	5	To znaczy, że w każdej sekundzie szybkość wzrasta o $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

3.9. Ruch jednostajnie opóźniony

Strona	Zadanie	Odpowiedź
113	2	4 s
113	3	4 s

Sprawdź się (s. 117)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	3.2	1	1 min, 8 m
2	3.3	1	0,8 km, 2,4 km, 4,8 km
3	3.7	1	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
4	*3.5	1	jednakowe, jednakowe, przeciwne
5	3.8	1	B
6	3.8	1	B
7	3.4	1	B
8	3.4	1	C

4. Siły w przyrodzie

4.1. Rodzaje i skutki oddziaływań

Strona	Zadanie	Odpowiedź
125	1	Sztanga z zawodnikiem – bezpośrednio; sztanga z Ziemią – na odległość.
125	2	Woda – wiośło, cięciwa – strzała.

4.2. Siła wypadkowa. Siły równoważące się

Strona	Zadanie	Odpowiedź
131	1	0 N, 80 N, 30 N, 0 N
132	2	80 N
132	3	Siła $\vec{F}_1$.
132	4	Dziewczyna działa na walizkę siłą równoważącą ciężar walizki: $F = 100 \text{ N}$, kierunek pionowy, zwrot w górę. $F_{\text{wyp}} = 0$.
132	*6	W dół: ciężar i siła od młota; w górę: siła od podłoża.

4.3. Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
136	1	Trzonek gwałtownie zatrzymuje się w chwili zetknięcia z podłożem, a obuch, wskutek bezwładności, porusza się dalej w tę samą stronę.
137	2	Rower zatrzymuje się w chwili uderzenia w przeszkodę, a rowerzysta, wskutek bezwładności, zachowuje swój ruch do przodu.
137	5	Bezpieczniej jest umieszczać bagaż na półce od strony lokomotywy. Rozważ sytuację, gdy pociąg gwałtownie hamuje.

4.4. Trzecia zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
141	1	Nie, siły akcji i reakcji nie równoważą się, bo działają na różne ciała.
141	2	Deska porusza się w przeciwną stronę niż Mikołaj względem wody – zgodnie z III zasadą dynamiki, Mikołaj działa na deskę, a deska na niego siłą przeciwną.
141	3	W układzie odniesienia związanym z wodą oba obiekty są w ruchu – zbliżają się do siebie.
141	4	Przymocowana do motorówki śruba odpycha wodę do tyłu. Co więc dzieje się z motorówką?

4.5. Siła sprężystości

Strona	Zadanie	Odpowiedź
144	1	$x = 6 \text{ cm}$
144	2	$k = 0,5 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$

4.6. Siła oporu powietrza i siła tarcia

Strona	Zadanie	Odpowiedź
148	2	Nie. Na Księżycu czas spadania obu ciał jest jednakowy.
148	3	Woda zmniejsza siłę tarcia między dłonią a powierzchnią przedmiotu.
148	5	Tak, większa masa powoduje większy nacisk zawodnika na podłoże, a tym samym większą siłę tarcia.

4.7. Prawo Pascala. Ciśnienie hydrostatyczne

Strona	Zadanie	Odpowiedź
153	2	Na dużej wysokości powietrze jest rozrzedzone, więc przy rozszczelnieniu kabiny spada ilość tlenu – maski tlenowe pozwalają pasażerom oddychać.
154	4	Na poziomie morza – ok. 12,2 kN, na Kasprowym Wierchu – ok. 8,5 kN.
154	5	2520 Pa
154	6	$810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, nafta
154	7	1500 hPa
154	8	Siła działająca na ekran ma wartość około 45 kN.

4.8. Siła wyporu

Strona	Zadanie	Odpowiedź
161	1	sok
161	2	Zanurzenie zmniejszy się.
161	3	$F_{\text{wyp}} = 100\,000 \text{ kN}$, $V_{\text{zan}} = 10\,000 \text{ m}^3$
161	4	Należy znać gęstość ciała i cieczy.
161	7	$F_{\text{wyp}} = 0,27 \text{ N}$
161	8	Jeśli głębokość zanurzenia dolnej podstawy prostopadłościanu oznaczymy przez h , to do chwili całkowitego zanurzenia $F_{\text{wyp}} \sim h$. Potem wartość siły wyporu już nie wzrasta.
161	*9	$\frac{V_{\text{zan}}}{V} = 0,9$, więc $\frac{V_{\text{wyp}}}{V} = 0,1$

4.9. Druga zasada dynamiki Newtona

Strona	Zadanie	Odpowiedź
169	1	20 N
169	2	$0,3 \text{ m/s}^2$

Strona	Zadanie	Odpowiedź
169	3	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, 12 kN
169	4	a) 3900 N; b) $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
169	5	a) 100 N; b) ok. $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Sprawdź się (s. 173)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	4.1	1	B
2	4.1	1	B
3	4.2	1	C
4	4.3	1	B
5	4.9	1	C
6	4.4	1	D
7	4.9	2	A
8	4.9	2	A
9	4.9	1	C
10	4.6	1	D
11	4.6	1	B
12	4.7	1	D
13	4.8	1	D
14	4.8	3	A

5. Praca, moc, energia mechaniczna

5.1. Praca mechaniczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
183	1	4,8 kJ
183	2	2 m
183	3	zero
183	4	240 J, 400 J, 640 J

5.2. Moc

Strona	Zadanie	Odpowiedź
185	1	200 W
185	2	Urządzenie A pracuje z większą mocą, bo w tym samym czasie wykonuje większą pracę niż urządzenie B.
185	3	$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v = 2,5 \text{ kW}$

5.3. Energia mechaniczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
189	1	kule połączone sprężyną: rozciągnąć lub ścisnąć sprężynę leżącą na boisku piłka i Ziemia: podnieść piłkę na większą wysokość lub kopnąć ją, nadając jej prędkość
189	2	$\Delta E = 100 \text{ J}$
189	3	Energia bijaka wzrosła o 2 MJ, może on wykonać pracę 2 MJ podczas powrotu do stanu początkowego. Siła, z jaką bijak działa na pał wynosi 4 MN.

5.4. Energia potencjalna i energia kinetyczna

Strona	Zadanie	Odpowiedź
194	1	150 J
194	2	200 kg
194	3	a) są jednakowe; b) są jednakowe
194	4	160 kJ
194	5	$\frac{E_2}{E_1} = 16$
194	6	Ciało B – dwa razy.
194	8	187,5 J
194	9	a) 270 kJ; b) 13,5 kW; c) $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; d) 4 razy
194	*10	10 000 MJ

5.5. Zasada zachowania energii mechanicznej

Strona	Zadanie	Odpowiedź
198	*3	Tak. Nadana piłce energia kinetyczna jest wystarczająca.

Sprawdź się (s. 201)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	5.1	1	B
2	5.1	1	A
3	5.1	1	C
4	5.2	1	C
5	5.2	1	B
6	5.4	2	B
7	5.2	1	C
8	5.5	2	C
9	5.5	1	C
10	5.5	1	A

Skorowidz

B

bezwładność 134

C

ciśnienie 32, 69, 150

ciśnienie atmosferyczne 34

ciśnienie hydrostatyczne 151

cząsteczkowa budowa ciał 67

cząsteczkowa budowa

materii 57

D

delta (Δ) 13

dokładność przyrządu 11, 15

droga 84, 93

druga zasada dynamiki 166

dyfuzja 59

E

energia kinetyczna 192, 193

energia mechaniczna 186, 188

energia potencjalna 190, 191

G

gęstość substancji 24

H

hipoteza 57

K

krzepnięcie 52, 53

M

masa 15

moc 184

N

napięcie powierzchniowe 63

niepewność pomiarowa 11, 42

O

oddziaływanie ciał 121

P

parowanie 52, 53

pierwsza zasada dynamiki 134

praca mechaniczna 181

prawo Archimedesesa 157

prawo Pascala 150

prędkość 97

proporcjonalność

odwrotna 166, 207

proporcjonalność prosta 22,
26, 88, 143, 164, 206

R

resublimacja 52, 55

rozszerzalność

temperaturowa 77

ruch opóźniony 104, 112

ruch prostoliniowy

jednostajny 87

ruch przyspieszony 104

S

siła ciężkości (ciężar) 19

siła oporu 145

siła parcia 32, 150

siła sprężystości 142

siła tarcia 146

siła wypadkowa 129

siła wyporu 155

siłomierz 20

siły międzycząsteczkowe 62

siły równoważące się 127

siły wewnętrzne

i zewnętrzne 124

skala Celsjusza 11

skala Kelvina 60

skraplanie 52

spadek swobodny 110, 168

sublimacja 52, 55

substancja 48

T

topnienie 52, 53

tor ruchu 83

trzecia zasada dynamiki 140

U

układ odniesienia 80

W

wartość prędkości

(szybkość) 14, 91

wartość przyspieszenia 107, 113

wektor 19

wrzenie 54

względność ruchu 81

Z

zasada zachowania energii
mechanicznej 197

Źródła ilustracji i fotografii

Okladka: (piłka w koszu) bigstevemac/iStockphoto/Getty Images

Tekst główny: : s. 7 (narciarz) AscentXmedia/E+/Getty Images, (mycie rąk) kazoka30/iStockphoto/Getty Images, (bieganie) PeopleImages/iStockphoto/Getty Images, skraplanie (5PH/iStockphoto/Getty Images), piłka plażowa (YinYang/iStockphoto/Getty Images), krojenie (Artsyplik/iStockphoto/Getty Images); s. 9 (samochód sportowy) mevans/Getty Images; s. 10 (linijka) Grażyna Bryk i Małgorzata Kozioł/WSiP; s. 11 (centymetr krawiecki) SvetaVo/iStockphoto/Getty Images; s. 11 (termoskop w naczyniach z lodem i wodą) Stefan Drewiczewski; s. 12 (termometr) ZamKor/WSiP; s. 13 (klepsydra) Karramba Production/Shutterstock.com, (stoper) ziviani/Shutterstock.com, (zegar) RilakkuMaxx/Shutterstock.com; s. 14 (prędkościomierz) Dngprstyo/Shutterstock.com; s. 15 (wagi analogowe) ZamKor, (waga cyfrowa) DonNichols/iStockphoto/Getty Images; s. 17 (miski) ZamKor/WSiP; s. 18 (naciskanie gąbki) ZamKor/WSiP; s. 18–19 (magnes i stalowa strzałka) ZamKor/WSiP; s. 19 (samochód) risteski goce/Shutterstock.com, (dom) arka38/Shutterstock.com; s. 20 (rozciąganie siłomierza) ZamKor/WSiP; s. 21 (siłomierz z ciężarkami) ZamKor; s. 23 (Ziemia) PAP/EPA/NASA; s. 24 (waga ze szklanką cukru), (waga ze szklanką płatków) ZamKor; s. 25 (klocki z różnych substancji) ZamKor; s. 27 (cylindry miarowe) prill/iStock/Getty Images Plus, (plastelina w menzurce) WSiP; s. 28 (deska) domnickyy/iStockphoto/Getty Images; s. 29 menzurka (prill/iStock/Getty Images Plus); s. 30 (aerożel) Yagovy/iStockphoto/Getty Images; s. 32 (nogi w śniegu), (nogi w nartach na śniegu) ZamKor; s. 33 (ciśnieniomierz) Olga Yastremska/iStockphoto/Getty Images; s. 34 (ciśnieniomierz) ZamKor/WSiP, (dwie przyssawki) ZamKor/WSiP; s. 35 (ręka) Ninell/Shutterstock.com, (ilustr. siłomierz i ręka) Stefan Drewiczewski, (nabieranie cieczy do pipety) ZamKor/WSiP; s. 37 (nabieranie soku do strzykawki) ZamKor/WSiP; s. 38 (ręka, szklanka i kartka) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 43 (dziewczyna) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com, (szafa) Kim Diaz/Shutterstock.com; s. 43 (cega na piasku) ZamKor/WSiP; s. 44 (narty) Lukas Gojda/Shutterstock.com, (ratowanie na lodzie) Inga Gedrovicha/Shutterstock.com, (gąsienica) Caroline Munsterman/iStockphoto/Getty Images, (krojenie) Prostock-Studio/iStockphoto/Getty Images; (nożyczki) Artranq/iStockphoto/Getty Images, (wbijanie gwoździ) Anna Bizon//Gallo Images ROOTS Collection; s. 47 (budowa kryształu soli) eteimaging/Shutterstock.com, (łyżka soli) Luiz Rocha/Shutterstock.com, (woda na gazie) Roman Sigaev/Shutterstock.com, (cząsteczki gazu) WSiP, (cząsteczki powietrza) WSiP, (balon) ChrisGorgio/iStockphoto/Getty Images; s. 48 (trzy menzurki) Stefan Drewiczewski; s. 49 (rzeźbiarz) RossHelen/iStockphoto/Getty Images, (ściskana piłeczka) Liudmila Chernetska/iStockphoto/Getty Images, (cztery naczynia z zabarwioną wodą) ZamKor/WSiP; s. 50 (ciecz w strzykawce) ZamKor/WSiP, (powietrze w strzykawce) ZamKor/WSiP, (sprężanie powietrza w strzykawce) ZamKor/WSiP, (kula plazmowa) Rawpixel/iStockphoto/Getty Images; s. 51 (spinacz biurowy) PixMarket/Shutterstock.com; 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; s. 53 (huta) Ju1978/Shutterstock.com; s. 54 (czajnik) ZamKor/WSiP, (naczynie próżniowe) ZamKor/WSiP, (schemat szybkowaru) Stefan Drewiczewski; s. 55 (szron na drzewach) kosik/Shutterstock.com; s. 57 (próbówki) Stefan Drewiczewski; s. 58 (kasza i groch w menzurce) ZamKor/WSiP, (kasza i groch w menzurce po wymieszaniu) ZamKor/WSiP; s. 59 (perfumy) marevgenna/Shutterstock.com, (ryba) Rostislav Stefanek/Shutterstock.com; s. 62 (szkietka) Stefan Drewiczewski; s. 63 (suche włosy) ZamKor/WSiP, (mokre włosy) ZamKor/WSiP, (nartnik) blickwinkel/Alamy/BE&W; s. 64 (błonka z mydlin) ZamKor/WSiP, (błonka z mydlin po przerwaniu) ZamKor/WSiP; s. 65 (rosół) nada54/Shutterstock.com, (krople na szybie) Vstockphoto/Shutterstock.com, (bańki mydlane) Nattapol_Sritongcom/Shutterstock.com, (kropla wpadająca do wody) showcase/Shutterstock.com; s. 66 (cząsteczka wody) WSiP, (cząsteczka dwutlenku węgla) WSiP, (cząsteczka amoniaku) WSiP, (cząsteczki gazu) WSiP, (balon) ChrisGorgio/iStockphoto/Getty Images; s. 67 (cząsteczki cieczy) WSiP, (cząsteczki ciała stałego) WSiP, (cząsteczki kryształu) Stefan Drewiczewski; s. 68 (bursztyn) Bjoern Wylezich/Shutterstock.com, (figurka) svetlana-81/Shutterstock.com, (droga) ABCDstock/Shutterstock.com; s. 69 (ciastko w pojemniku) ZamKor/WSiP, (ciastko w pojemniku z wypompowanym

powietrzem) Zamkor/WSiP; s. 70 (pompowanie piłki) Zamrznuti tonovi/Shutterstock.com, (naczynie z membraną) Zamkor/WSiP, (naczynie z membraną w gorącej wodzie) Zamkor/WSiP; s. 71 (koło rowerowe) LIGHTITUP/Shutterstock.com, (balon meteorologiczny) Broadcast Media/Shutterstock.com, (dezodorant) OMfotovideocontent/ Shutterstock.com, (puszka) badnews86dups/Shutterstock.com; s. 75 (lody) MaraZe/Shutterstock.com, (szklanka pod strumieniem wody) Zamkor/ WSiP; s. 76. (szron) Toth Tamas/Shutterstock.com; s. 77 (taśma bimetaliczna) ZamKor/WSiP; s. 78 (suszarka z butelką) Zamkor/WSiP, (przerwy dylatacyjne w konstrukcji mostu) Zamkor/WSiP, (rury ciepłownicze) Zamkor/ WSiP, (linie wysokiego napięcia) Magdalena Teterdynko/Shutterstock.com; s. 79 (poklatkowe zdjęcie biegnącej dziewczyny) Mads Perch/Stone RF/Getty Images; s. 80 (klasa) skynesherbazon/E+/Getty Images, (sportowiec na wózku) John Kropewnicki/Shutterstock.com, (snowboardzista) Johannes Waibel/unsplash.com [licencja CC0 1.0]; s. 81 (kajaki) FamVeld/iStockphoto/Getty Images, (kula ziemiska) Egyptian Studio/Shutterstock.com, (dziewczyna na przystanku) skynesherbazon/E+/Getty Images; s. 82 (tódź we mgle) Alex Pix/Shutterstock.com, (pelikany na łodzi) GGRIGOROV/Shutterstock.com; s. 83 (aleja w parku) Linda Z/Shutterstock.com, (balony) Tatiana Popova/Shutterstock.com, (kręta droga) mec17/Shutterstock.com, (park rozrywki) Racheal Grazias/Shutterstock.com; s. 84 (mapa Poznań-Warszawa) Adrian Bergiel, (piłka nożna) mtkang/Shutterstock.com, (ilustr. taśmy i piłek) Stefan Drewiczewski; s. 86 (mapa z odległościami) Adrian Bergiel, (dziewczyna na rolkach) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com; s. 87 (szklana rurka) Zamkor/ WSiP; s. 89 (żółw) Mr. SUTTIPON YAKHAM/Shutterstock.com; s. 91 (gąsienica) neil hardwick/Shutterstock.com, (narciarz) Dudarev Mikhail/Shutterstock.com; s. 96 (pszczoła) TB studio/Shutterstock.com, (antylopa) Papa Bravo/Shutterstock.com , (myśliwiec) VanderWolf Images/Shutterstock.com; s. 97 (mapa) ZamKor/WSiP; s. 98 (piłka nożna) mtkang/Shutterstock.com, (mapa) ZamKor/WSiP, (samolot pasażerski) gmstockstudio/Shutterstock.com, (ilustr. samolot) Stefan Drewiczewski; s. 100 (skuter śnieżny) Fotoillustrator/Shutterstock.com; s. 101 (mapa Kraków-Zakopane) Adrian Bergiel; s. 102 (znak) WSiP; s. 103 (znak) Kaspri/Shutterstock.com, (prędkościomierz) Zamkor/WSiP; s. 104 (ponton) Ammit Jack/Shutterstock.com, (równia pochyła) Zamkor/ WSiP; s. 108 (narciarz) Ljupco/iStockphoto/Getty Images; s. 109 (motocyklista) 19 STUDIO/Shutterstock.com, (rakiet) Believe_In_Me/iStockphoto/Getty Images; s. 110 (ptak) AndreAnita/iStockphoto/Getty Images; s. 111 (śruba) Kareivis/iStockphoto/Getty Images; s. 112 (wahadłowiec) NASA/Jack Pfaller; s. 116 (Usain Bolt) Petr Toman/Shutterstock.com, (NASA X-43A) Steve Lighthill/NASA/Wikipedia [Public Domain], (sokół wędrownny) ManoStudioArt/ Shutterstock.com, (gepard) Neale du Plooy/Shutterstock.com, (marlin czarny) Earth theater/ Shutterstock.com, (żaglica) Danita Delimont on Offset/Shutterstock.com, (tódź motorowa) © Graeme Andrews Australian National Maritime Museum Collection Gift from Graeme Andrews, (Thrust SSC) patruflo/Shutterstock.com; s. 119 (regaty jachtów) Nalidsa/Shutterstock.com; s. 120 (magnes i szpilki) Łukasz Opaliński, (skrawki papieru i linijka) Łukasz Opaliński, (naelektryzowane balony) Łukasz Opaliński; s. 121 (woda w basenie) Svetlana Turchenick/Shutterstock.com, (styropiany z magnesami 1-2) Łukasz Opaliński, (kulki na listwie 1) Łukasz Opaliński; s. 122 (kulki na listwie 2) Łukasz Opaliński; s. 123 (druć i igła magnetyczna) Łukasz Opaliński, (bateria z drutem i igła magnetyczna) Łukasz Opaliński, (bateria z drutem) Łukasz Opaliński, (bateria z drutem i magnesem) Łukasz Opaliński, (kopanie piłki) ZamKor/WSiP; s. 124 (gąbka) Łukasz Opaliński, (cegła na gąbce) Łukasz Opaliński, (sekwencja z chłopcem na desce) Łukasz Opaliński; s. 125 (sztangista), (wioślarze) Ververidis Vasilis/Shutterstock.com, (tuczniczka) IAKOBCHUK VIACHESLAV/Shutterstock.com; s. 128 (magnesy na drążku) Zamkor/WSiP; s. 132 (pieski) Eric Isselee/Shutterstock.com, (dziewczyna z laptopem) MJTH/Shutterstock.com, (autostopowiczka) Elnur/Shutterstock.com; s. 133 (hokej) walik/E+/Getty Images; s. 134 (sonda kosmiczna) Don Davis/NASA; s. 136 (kulka pod pudelkiem) Łukasz Opaliński, (młotki) Stefan Drewiczewski; s. 137 (kolarz) ostill/Shutterstock.com, (kamień) givaga/Shutterstock.com, (ilustr. Kolarz i kamień) Stefan Drewiczewski; s. 138 (magnesy na wadze) Łukasz Opaliński; s. 139 (magnesy na pręcie 1-3) Stefan Drewiczewski; s. 141 (chłopiec na desce) Łukasz Opaliński, (ciągnięcie deski windsurfingowej) Łukasz Opaliński, (motorówka) Hellen Nell/Shutterstock.com, (śruba napędowa) donvictorio/Shutterstock.com; s. 143 (dziewczyna z taśmą) Samo Trebizan/Shutterstock.com; s. 144 (cegła na gąbce) Łukasz Opaliński; s. 145 (spadochroniarz) EnsUPER/Shutterstock.com; s. 146 (sportowy samochód) Just dance/

Shutterstock.com, (szybki pociąg) MarcelClemens/ Shutterstock.com, (odrzutowiec pasażerski) InsectWorld/Shutterstock.com, (ręka) Oliver toledo/ Shutterstock.com; s. 147 (narty biegowe) Parilov/ Shutterstock.com, (koło samochodu) InsectWorld/ Shutterstock.com; s. 148 (płyta CD) Milan Surkala/ iStockphoto/Getty Images; s. 149 (strzykawka z piłęczką) Łukasz Opaliński; s. 150 (samochód) Yuri Schmid/Shutterstock.com; s. 152 (naczynie z cieczą) Stefan Drewiczewski; s. 153 (rurka z wodą) Łukasz Opaliński; s. 154 (woda wylewająca się z butelki) grapixland/Shutterstock.com; s. 155-157 (naczynie z wodą i siłomierz) Łukasz Opaliński; s. 160 (balon) Tharin Sinlapachai/Shutterstock.com; s. 163 (waga laboratoryjna) Ryszard Piątkowski/WSiP, (ilustr. waga i siłomierz) Stefan Drewiczewski; s.164 (wyprzedzanie) gehringj/iStockphoto/Getty Images; s. 168 (Księżyc) Cristian Cestaro/Shutterstock.com, (Jowisz) Tristan3D/Shutterstock.com; s.177 (chłopiec z kartkami) ZamKor/WSiP; s. 178 (drewniane budynki) Simon Dannhauer/Shutterstock.com, (albatros) Andrew M. Allport/Shutterstock.com; s. 179 (sekwencja skoku o tyczce) © Marie-Lan Nguyen/Wikimedia [licencja CC-BY 3.0]; s. 180 (holownik z barkami) romakoma/Shutterstock.com, (zapora wodna) Ingram Publishing/ThETA, (bejsboliści) Aspen Photo/Shutterstock.com; s. 181 (podnoszenie paczki) Visions/iStockphoto/Getty Images; s. 184 (koszenie kosą) M. Cornelius/Shutterstock.com, (kombajn) Vasilyev Alexandr/ Shutterstock.com; s. 185 (Bugatti Veyron) Sjo/iStock Unreleased/Getty Images; s. 187 (sztuczny zbiornik na górze Żar) borzywoj/ Shutterstock.com; s. 188 (kafar, budowa Stadionu Narodowego w Warszawie) rmy AARSLEFF; s. 190 (wędkarz) Dudarev Mikhail/Shutterstock.com, (zabawka); s. 192 (wiatrak) Jason Blackeye/ unsplash.com [licencja CC0 1.0], (kitesurfer) Flash Bros/unsplash.com [licencja CC0 1.0]; s. 197 (tuczniczka) Diego Barbieri/Shutterstock.com

Ostatnia strona okładki: (tablet) Muharis saputra/Shutterstock.com, (laptop) Miguel Guasch/ Shutterstock.com

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.