

SPOSÓB NA FIZYKĘ

NOWOŚĆ
2023



Oznaczono
zmiany
i wykreślenia

E-book
na eduranga.pl

**PODSTAWA
2024**



Podręcznik
Szkoła podstawowa

7

Drogi WSiP,

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

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

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

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

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

Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

Jak korzystać z podręcznika	5
-----------------------------------	---

I. Oddziaływania

1. Oczami fizyki	8
2. Otaczający nas świat	14
3. Oddziaływanie – co to znaczy?	21
4. Siły wokół nas	26
5. Więcej niż jedna siła	32
6. Wzajemność oddziaływań	38
Powtórzenie. Oddziaływania	44
Tekst popularnonaukowy <i>Magnesy neodymowe</i>	49

II. Właściwości materii

7. Ciecze i gazy	52
8. Gęstość materii	58
9. Wyznaczanie gęstości	64
10. Siła parcia i ciśnienie	68
11. Ciśnienie a pole powierzchni	74
12. Ciśnienie hydrostatyczne	80
13. Siła wyporu. Pływanie ciał	88
Powtórzenie. Właściwości materii	96
Tekst popularnonaukowy <i>Paradoks hydrostatyczny</i>	101

III. Ruch

14. Czas i droga	104
15. Względność ruchu	112
16. Rodzaje ruchu. Prędkość ciała	118
17. Wyznaczanie prędkości	124
18. Pierwsza zasada dynamiki. Siły oporu ruchu	130
19. Tworzenie wykresów ruchu	135
Powtórzenie. Ruch	142
Tekst popularnonaukowy <i>Przewrót kopernikański</i>	147

IV. Dynamika

20. Ruch przyspieszony	150
21. Ruch opóźniony	157
22. Siła tarcia i ruch	163
23. Druga zasada dynamiki	168
24. Wykresy ruchu jednostajnie zmiennego	176
25. Rozwiązywanie zadań	181
Powtórzenie. Dynamika	188
Tekst popularnonaukowy <i>Cessna 172 – samolot jednosilnikowy</i>	193

V. Praca i energia

26. Praca mechaniczna i zmiana energii	196
27. Energia kinetyczna i energia potencjalna	204
28. Moc	210
29. Spadek swobodny	216
Powtórzenie. Praca i energia	224
Tekst popularnonaukowy <i>Ćwiczenia na siłowni</i>	229

VI. Zjawiska cieplne

30. Wszystko ma temperaturę	232
31. Termometry i pomiar temperatury	237
32. Energia wewnętrzna	245
33. Ciepło właściwe	249
34. Stany skupienia a temperatura	256
35. Energia podczas zmian stanu skupienia	262
36. Transport ciepła	268
37. Kinetyczno-molekularny model budowy materii	274
Powtórzenie. Zjawiska cieplne	280
Tekst popularnonaukowy <i>Centralne ogrzewanie</i>	285

Odpowiedzi i wskazówki do zadań	287
Tabele	292
Indeks rzeczowy	296



treści usunięte wg podstawy programowej 2024



treści fakultatywne wg podstawy programowej 2024

Jak korzystać z podręcznika

W trakcie lekcji

- ▶ Pod każdym tematem są pytania – odpowiedzi na nie znajdziesz w tekście.

Dowiedz się więcej!

Dodatkowe informacje poszerzą twoją wiedzę na dany temat.



Tu znajdziesz najważniejsze wzory i pojęcia.

Rozglądaj się wokół!

Zwróć uwagę na to, co cię otacza – fizyka jest wszędzie!

Zobacz, jak to zrobić!

Przeanalizuj przykłady, by lepiej poznać nowe zagadnienia.

Zbadaj to sam!

Te doświadczenia możesz wykonać samodzielnie.

Sprawdź się!

Rozwiąż zadania, by sprawdzić swoje umiejętności. Odpowiedzi do zadań zapisz w zeszyte przedmiotowym.

Podsumujmy!

- ▶ Tu znajdziesz najważniejsze treści z całego rozdziału.

Na koniec działu

POWTÓRZENIE Zjawiska cieplne

Przyjrzyj się treściom przedstawionym w formie graficznej – to ułatwi ci ich zapamiętanie.

Sprawdź się!

Sprawdź swoje umiejętności.

Tekst popularnonaukowy

Przeczytaj uważnie tekst, a później rozwiąż związane z nim zadania.

Pamiętaj! Rozwiązania i odpowiedzi do zadań zapisuj w zeszyte przedmiotowym.

DZIAŁ

ODDZIAŁYWANIA

Jakie są rodzaje oddziaływań?

Co waży waga?

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!



1. Oczami fizyki

- ▶ Co to znaczy prowadzić obserwacje?
- ▶ Jak wykonywać doświadczenia?

Rozpoczynasz lekcje fizyki. Myślisz pewnie, że nic jeszcze o niej nie wiesz, ale to nieprawda. Już znasz fizykę i co więcej, korzystasz z niej na co dzień. Często intuicyjnie wiesz, co robić: posypujesz oblodzony chodnik piaskiem, żeby się nie przewrócić, nie dotykasz dłonią garnka z gotującą się zupą, żeby się nie poparzyć. To jest właśnie fizyka – cały świat, który nas otacza. Ten podręcznik pomoże tylko uporządkować tę wiedzę i zapisać ją bardziej precyzyjnym językiem.

W nauce fizyki towarzyszyć nam będą Kminka i Bert. Razem z nimi spróbujemy odkryć świat na nowo – zobaczymy go oczami fizyki. Pokażemy tu także sposób na zrozumienie fizyki.

Nasi bohaterowie

Nazywa się Ala Rozkminowska, ale wszyscy mówią do niej albo Rozkminka, albo – w skrócie – **Kminka**. Takie przezwisko bardzo do niej pasuje, bo wszystko zawsze próbuje rozkminić*.



Nazwisko Alberta – Wiedzowski – też do niego pasuje, bo zawsze wszystko wie. Z kolei imię zostało mu nadane na cześć pewnego słynnego fizyka. Wszyscy koledzy mówią do niego **Bert**.

Fizyka zrodziła się z potrzeby zrozumienia i opisania otaczającego nas świata, dlatego odkrywa i formułuje prawa rządzące przyrodą. Czasem przydaje się do tego znajomość matematyki, ale często wystarczy język, którego używamy na co dzień. Bardzo ważne w fizyce są samodzielne obserwacje i wykonywanie doświadczeń. Zapisywanie spostrzeżeń i wyników pomiarów pomaga w sformułowaniu wniosków.

W fizyce – podobnie jak w innych naukach przyrodniczych – posługujemy się **metodą naukową**. To sposób postępowania prowadzący do zdobywania wiedzy o otaczającym nas świecie.

Cechy metody naukowej

Opisuje świat takim językiem i w taki sposób, że wszyscy ludzie rozumieją opis tak samo.

Proponowany opis jest wielokrotnie sprawdzany poprzez dokonywanie różnych obserwacji i przeprowadzanie doświadczeń.

* rozkminić (pot.) – zrozumieć, por. też kminić (pot.) – rozumieć.

Praca z użyciem metody naukowej wymaga starannego zaplanowania działań. Kolejne etapy tej metody przedstawiono na schemacie (ryc. 1.1.). Przyjrzyjmy się tym etapom.

Obserwacja to celowe i uważne przyglądanie się jakiemuś zjawisku. Podczas jej prowadzenia nie możemy wpływać na przebieg tego zjawiska.

W wyniku obserwacji mogą zostać sformułowane **spostrzeżenia**. Spostrzeżenie to zwarty opis tego, co obserwujemy.

Przykładem obserwacji jest wskazanie na horyzoncie punktu, w którym wschodzi słońce (ryc. 1.2.). Jeśli będziemy powtarzać obserwację przez wiele dni, zauważymy, że punkt ten zmienia swoje położenie, np. w Polsce od stycznia do czerwca przesuwają się on w kierunku północnym – i to jest spostrzeżenie.

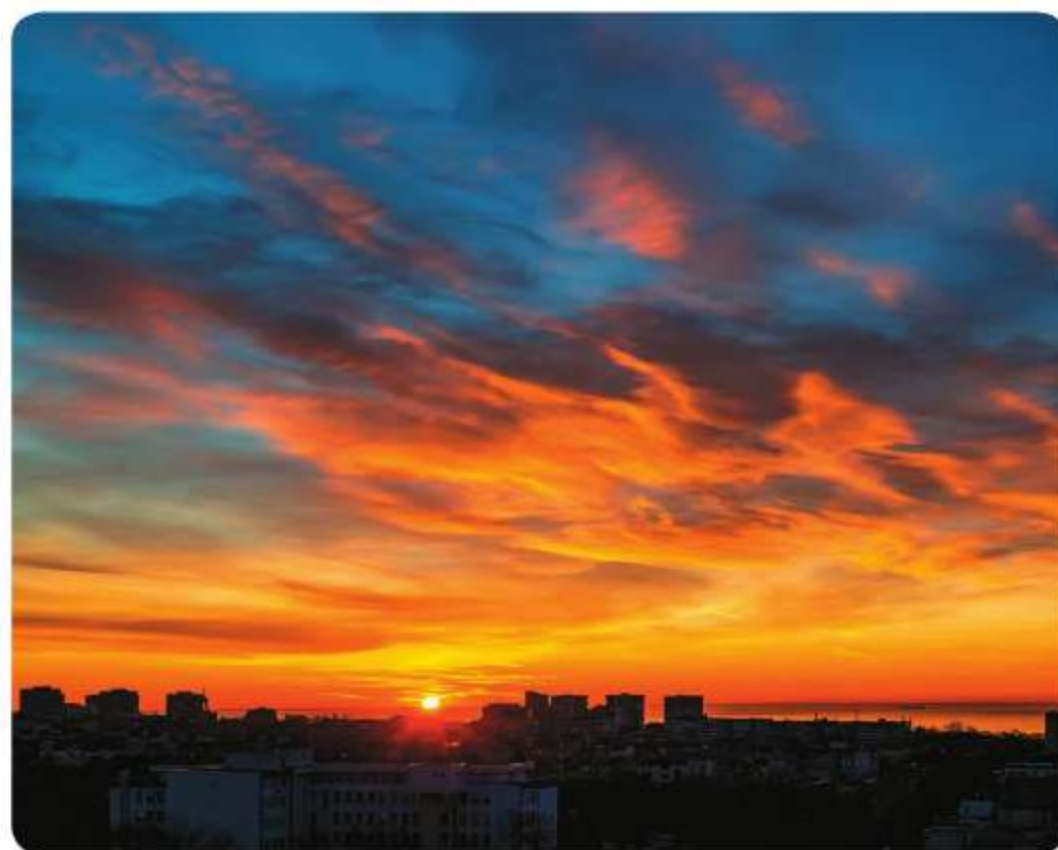
Spostrzeżenia prowadzą do **sformułowania problemu badawczego**. Polega ono na wybraniu tematu badania i zadaniu pytania związanego z tym tematem. Pytanie może dotyczyć choćby sytuacji, w której przedmiot w kształcie walca (np. kredkę) umieszczono na szczycie książki nachylonej pod kątem do ławki. Może ono brzmieć: „Jak zachowanie kredki zależy od kąta nachylenia książki?”.

Hipoteza jest wstępną odpowiedzią na problem badawczy. Może być prawdziwa, ale czasami okazuje się nieprawdziwa. Należy ją potwierdzić lub odrzucić po przeprowadzeniu odpowiedniego doświadczenia. Hipotezą może być na przykład stwierdzenie: „Bez względu na kąt nachylenia książki kredka nie będzie się poruszała”.

Doświadczenie (eksperyment) wykonujemy, gdy celowo zmieniamy warunki, w jakich zachodzi zjawisko. Gdy jego przebieg zależy od wielu czynników, to podczas doświadczenia zmieniamy tylko jeden czynnik i sprawdzamy, jak zmiana wpływa na przebieg zjawiska. Podczas przeprowadzania doświadczenia prowadzimy obserwacje i mierzymy wielkości fizyczne związane z badanym zjawiskiem, czyli wykonujemy **pomiary**.



Ryc. 1.1. Etapy metody naukowej



Ryc. 1.2. Obserwacja wschodu słońca

Wielkościami fizycznymi nazywamy cechy zjawiska, które można zmierzyć; są nimi na przykład: czas, temperatura, masa, wilgotność, prędkość. Zazwyczaj pomiary powtarzamy kilkakrotnie dla każdej modyfikacji warunków doświadczenia i notujemy spostrzeżenia.

Analiza wyników pomiarów polega na szukaniu związków między mierzonymi wielkościami fizycznymi, np. między kątem nachylenia książki a prędkością, z jaką stacza się z niej kredka. Zmierzone wielkości mogą posłużyć także do obliczenia innych wielkości, np. jeśli zmierzymy długość, szerokość i grubość jakiegoś klocka, będziemy mogli obliczyć jego objętość. Analiza wyników pomiarów i obliczeń prowadzi do sformułowania wniosków.

Wnioski to uogólnione spostrzeżenia, które mogą posłużyć do odrzucenia lub potwierdzenia hipotezy. Mogą także doprowadzić do postawienia nowej hipotezy, a tym samym do zaplanowania i przeprowadzenia nowego doświadczenia. Spostrzeżeniem może być na przykład stwierdzenie, że istnieje związek między czasem staczania się kredki a nachyleniem książki. Wniosek natomiast określa, jaką postać ma ten związek, np. że czas staczania się kredki jest tym mniejszy, im większy jest kąt nachylenia książki.

Zbadaj to sam!

Badamy staczanie się przedmiotu po pochylej powierzchni

(Doświadczenie można wykonać w grupach).



1. Do doświadczenia będą potrzebne: kredka lub bateria typu paluszek, książka, przedmiot do podłożenia pod książkę (np. gumka do ścierania).
2. Rozważcie następujący **problem badawczy**: „Jak zachowanie kredki zależy od kąta nachylenia książki do powierzchni stołu?”.
3. Umieście kredkę lub baterię na pochylni zbudowanej z książki i puśćcie (bez popychania). Obserwujcie ruch przedmiotu i sformułujcie **hipotezę** dotyczącą tego ruchu.
4. Zaplanujcie czynności prowadzące do sprawdzenia hipotezy.
5. Przeprowadźcie **doświadczenie** i zapiszcie jego **wyniki**.
6. Przeanalizujcie wyniki i sformułujcie **wnioski**.

Różne formy przedstawiania wyników pomiarów



Wyniki pomiarów mogą być zapisywane i prezentowane w różny sposób, np. w postaci tabeli, diagramu słupkowego, wykresu lub rysunku. Poniżej przedstawiono informacje na temat niektórych wielkości charakteryzujących pogodę: wilgotności, ilości opadów, temperatury oraz zachmurzenia. Wybór formy prezentacji wyników zależy od rodzaju danych oraz planowanego sposobu ich analizy.

Tabela. W tabeli zapisano wyniki pomiarów względnej wilgotności powietrza, przeprowadzonych w Rawiczu. Dane są uporządkowane – w tym przypadku podzielone na dni i godziny. Tabelę łatwo jest uzupełniać podczas pomiarów.

Data	sobota, 18.09.									niedziela, 19.09.				
Godzina	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Wilgotność (%)	92	91	90	89	88	88	88	88	87	86	85	86	88	90

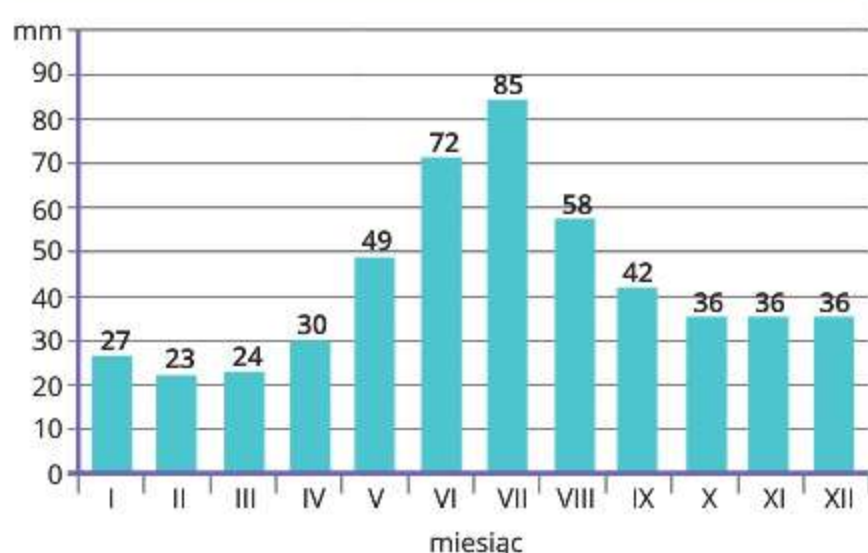
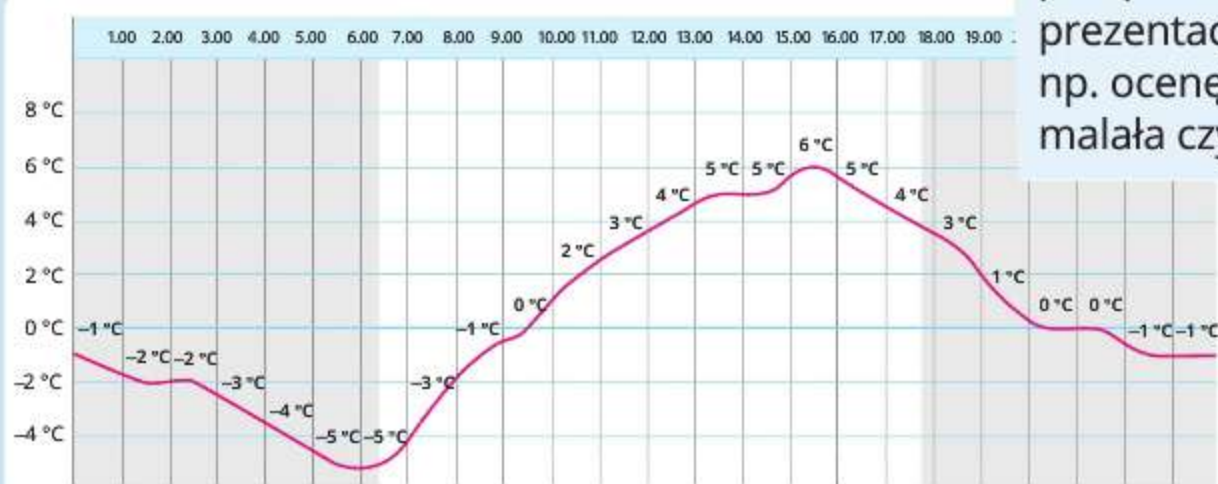


Diagram. Na diagramie przedstawiono wyniki pomiarów ilości opadów deszczu, przeprowadzonych w ciągu roku w Toruniu. W formie diagramu zazwyczaj prezentuje się rozkład pewnej wielkości fizycznej.

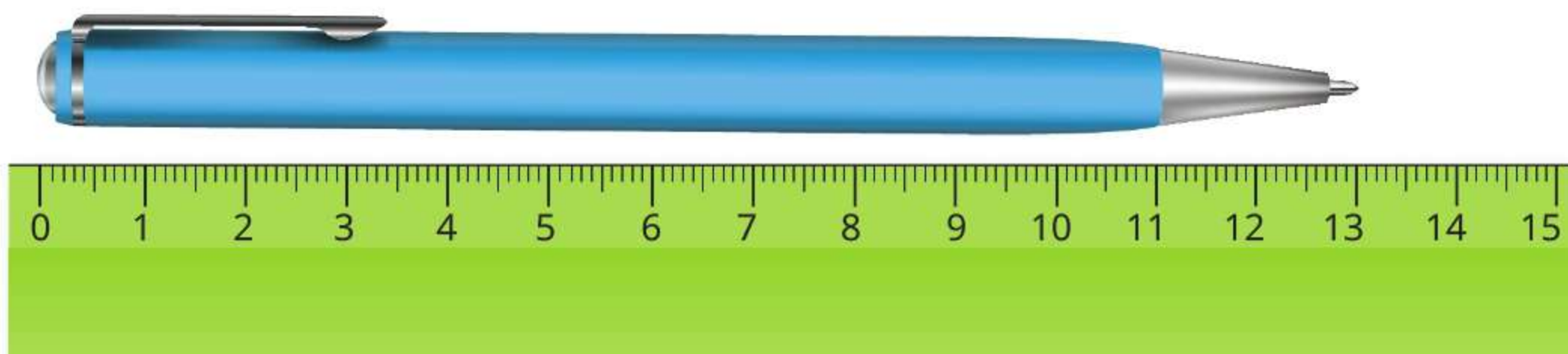


Wykres. Na wykresie przedstawiono wyniki pomiarów temperatury powietrza, przeprowadzonych we Wrocławiu. Taka forma prezentacji wyników ułatwia analizę danych, np. ocenę, czy dana wielkość fizyczna rosła, malała czy pozostawała stała podczas pomiarów.

Rysunek. W formie rysunku – w tym przypadku mapy – przedstawiono zachmurzenie, temperaturę i kierunek wiatru określonego dnia w Polsce.



Zastosowanie metody naukowej w fizyce często wymaga dokonania pomiaru wielkości fizycznych. Każdy pomiar wykonujemy przyrządem pomiarowym, np. do pomiaru długości możemy użyć linijki lub taśmy mierniczej, do pomiaru temperatury – termometru, a do pomiaru czasu – stopera. Na przyrządzie pomiarowym znajduje się skala z odpowiednią jednostką. Pomiar polega na tym, że wielkość mierzona porównujemy ze wzorcem tej wielkości, np. długość długopisu porównujemy ze skalą długości na linijce. Wynik pomiaru zapisujemy wraz z jednostką.



Ryc. 1.3. Pomiar długości długopisu za pomocą linijki

Wynik pomiaru ograniczony jest **dokładnością przyrządu**, którym wykonujemy pomiar. Dokładność przyrządu zazwyczaj jest równa najmniejszej działce jego skali (czyli najmniejszej odległości między kreskami na skali), np. dokładność linijki jest równa 1 mm.

Niepewność pomiarowa wskazuje, z jaką dokładnością dokonaliśmy pomiaru. Określ „dokładność przyrządu” i „niepewność pomiarowa” będziemy używać wymiennie. Wynik pomiaru przedstawionego na rycinie 1.3 wraz z jego niepewnością wynosi zatem:

$$l = 13,0 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

Oznacza to, że rzeczywista długość długopisu mieści się w przedziale od 12,9 cm do 13,1 cm.



Wynik pomiaru wraz z niepewnością pomiarową określają przedział, w jakim znajduje się rzeczywista wartość mierzonej wielkości fizycznej.

Podsumujmy!

- ▶ **Metoda naukowa** to sposób postępowania prowadzący do zdobywania wiedzy o otaczającym nas świecie, a jej kolejne etapy to: obserwacja, sformułowanie problemu badawczego, postawienie hipotezy, przeprowadzenie doświadczenia, analiza wyników oraz sformułowanie wniosków.
- ▶ **Pomiar** to czynność, podczas której mierzoną wielkość fizyczną (np. długość długopisu) porównujemy ze wzorcem tej wielkości (np. ze skalą długości na linijce). Wynik pomiaru zawsze zapisujemy wraz z jednostką.
- ▶ **Niepewność pomiarowa** wskazuje, z jaką dokładnością dokonujemy pomiaru wielkości fizycznej.

Sprawdź się!

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Metoda naukowa to sposób postępowania prowadzący do zdobycia wiedzy o otaczającym nas świecie.	P	F
2.	Wszystkie informacje, które można znaleźć w internecie, stanowią wiedzę naukową.	P	F
3.	Metoda naukowa wymaga przeprowadzenia obserwacji lub wykonania pomiaru.	P	F
4.	Pomiar polega na porównaniu wielkości mierzonej z jej wzorcem.	P	F

- 2.** Przyporządkuj opisy aktywności badawczych (a–g) do odpowiedniej kategorii: I. obserwacja, II. doświadczenie, III. pomiar.

- a. Badanie zależności czasu potrzebnego do zagotowania wody od mocy grzałki.
- b. Wyznaczenie czasu trwania zaćmienia Słońca.
- c. Określenie zależności twardości piłki od czasu jej pompowania.
- d. Wyznaczenie masy przedmiotu za pomocą wagi elektronicznej.
- e. Zauważenie zależności poziomu wody w porcie morskim od pory dnia.
- f. Stwierdzenie zależności odległości między Ziemią i Słońcem od pory roku.
- g. Odczytanie prędkości samochodu z prędkościomierza.

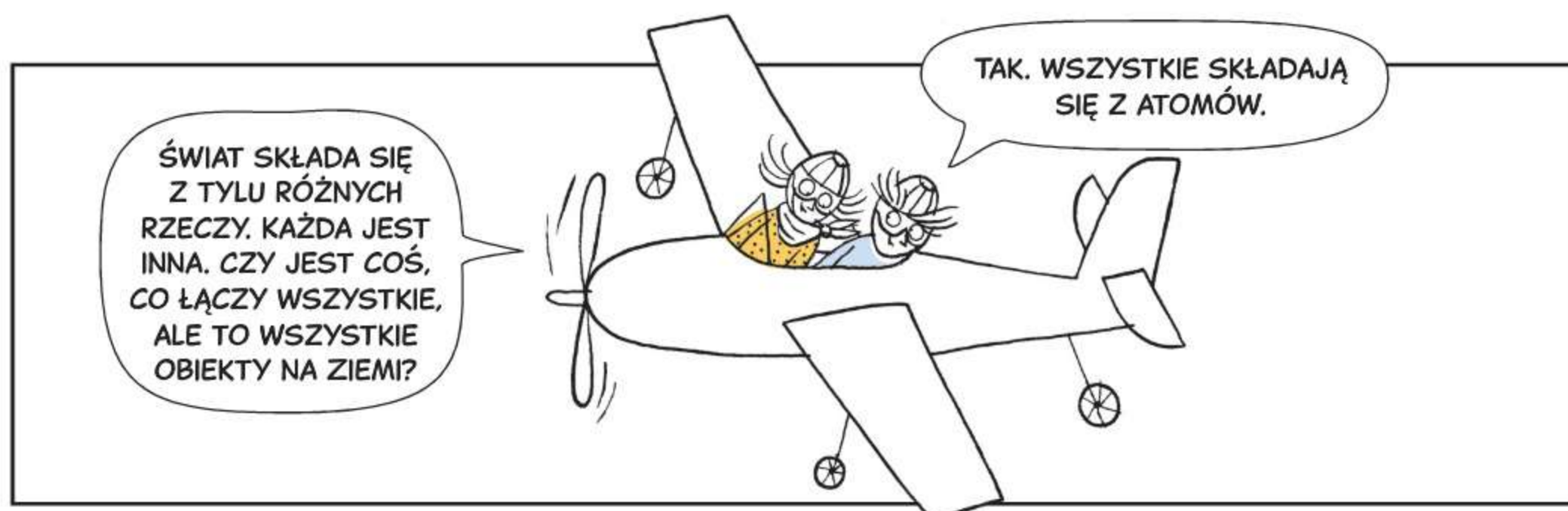
- 3.** Odszukaj w internecie nazwy trzech projektów badawczych, które są prowadzone w dużych zespołach międzynarodowych. Zapisz w zeszycie nazwę każdego projektu oraz jego tematykę w taki sposób, by była ona zrozumiała dla twoich rówieśników.

- 4.** Opisz przykład obserwacji, którą można samodzielnie przeprowadzić w najbliższym otoczeniu. Zapisz w zeszycie, jakich pomiarów należy dokonać podczas tej obserwacji i jakie spostrzeżenia można sformułować.

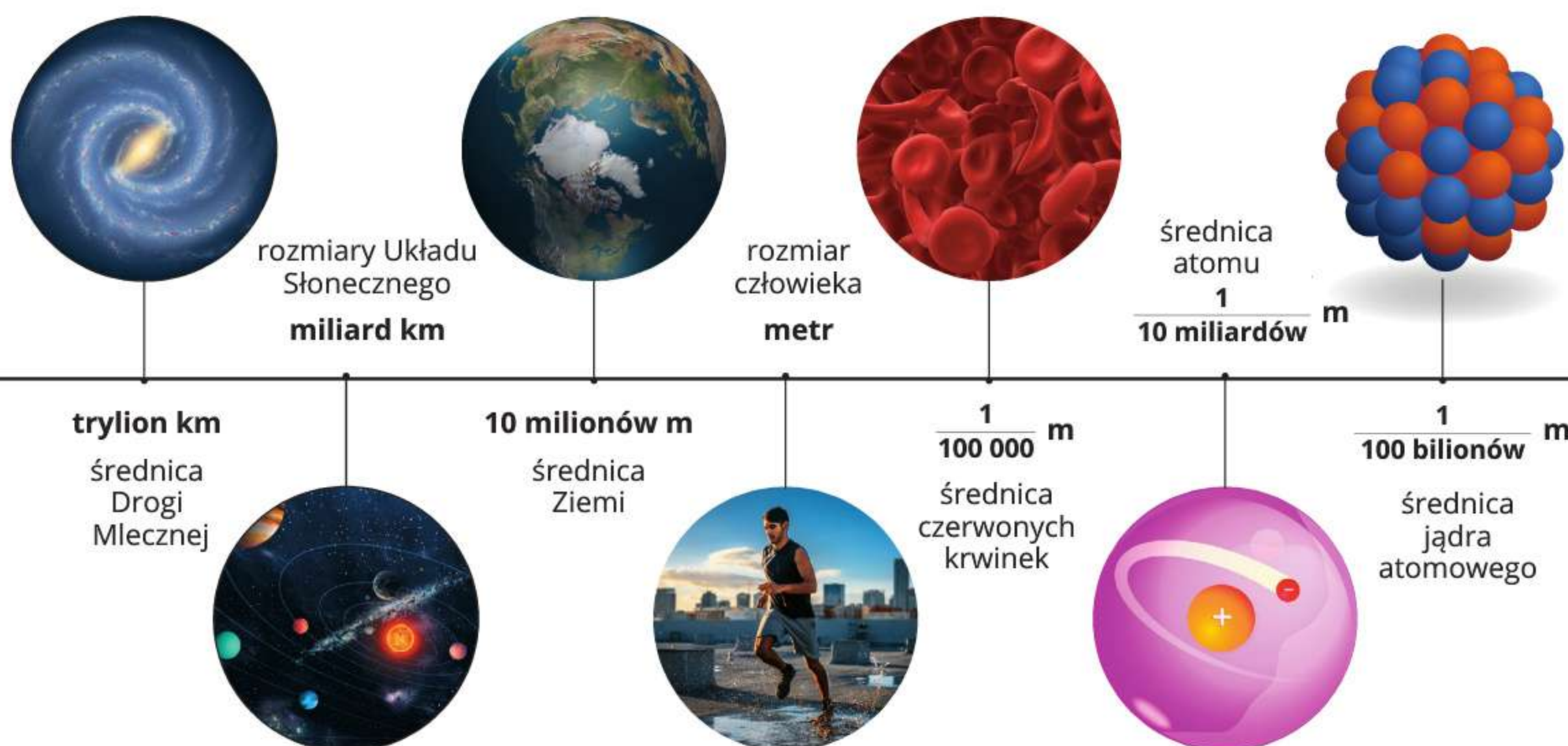
- 5.** Zapisz w zeszycie trzy pytania, na które chcesz poznać odpowiedź podczas lekcji fizyki.

2. Otaczający nas świat

- ▶ Jakie stany skupienia wyróżniamy?
- ▶ Czym jest masa ciała?
- ▶ Co to są cyfry znaczące?



Fizyka opisuje wszystkie obiekty we Wszechświecie, od największych do najmniejszych. Na przykład Droga Mleczna – galaktyka, w której znajduje się nasz Układ Słoneczny – ma średnicę około tryliona kilometrów (to jeden i 18 zer). Z kolei średnica jądra atomowego to $\frac{1}{100\text{-bilionowa}}$ metra. Rozmiary większości otaczających nas przedmiotów (i również nas samych) należą do przedziału od setnych części metra do kilku metrów.



Ryc. 2.1. Przykłady obiektów o różnych rozmiarach (podany rząd wielkości, a nie dokładne rozmiary)

Każdy przedmiot nazywamy **ciałem fizycznym**. Wokół nas są różne ciała, które na pewno łączą jedno – wszystkie są zbudowane z atomów. Każdy atom składa się z protonów, neutronów i elektronów. Protony i neutrony tworzą niewielkich rozmiarów jądro atomowe, wokół którego poruszają się elektrony (ryc. 2.2.). Atomy mogą łączyć się ze sobą i tworzyć cząsteczki.

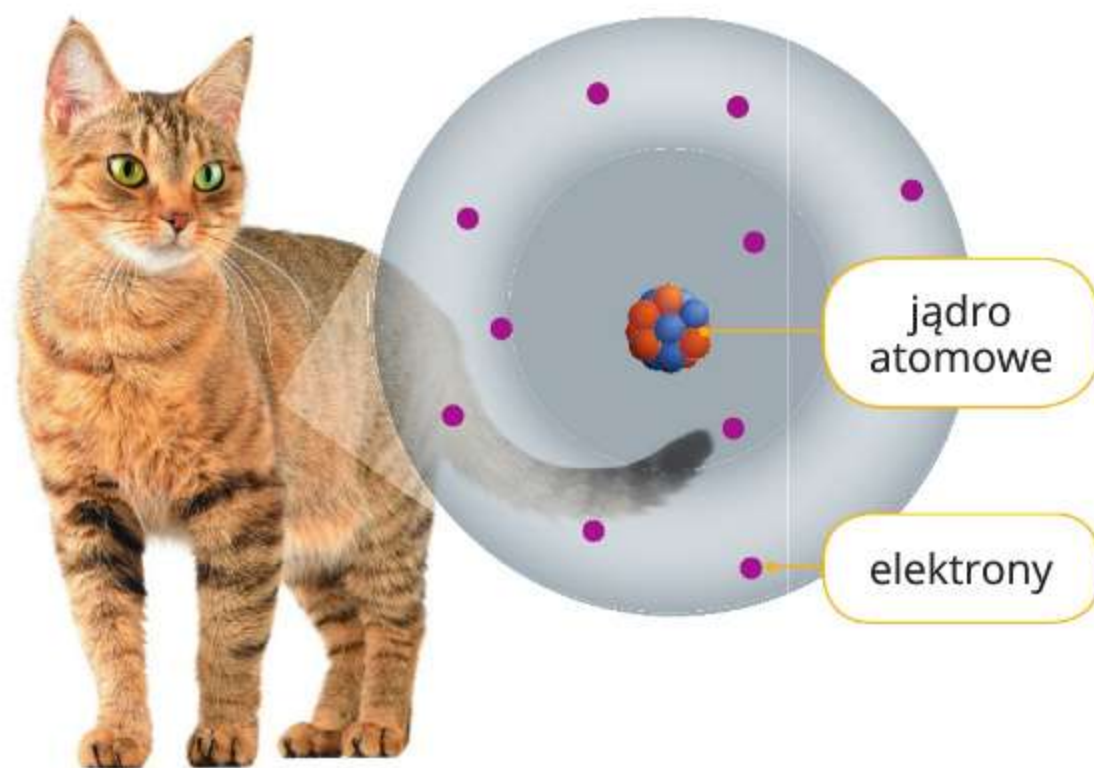
Substancja to materiał, z którego zbudowane jest ciało fizyczne. Każda substancja składa się z pojedynczych atomów lub cząsteczek, a każde ciało jest zbudowane z jednej lub wielu substancji.

Substancje mogą występować w **trzech stanach skupienia**: gazowym, ciekłym oraz stałym.

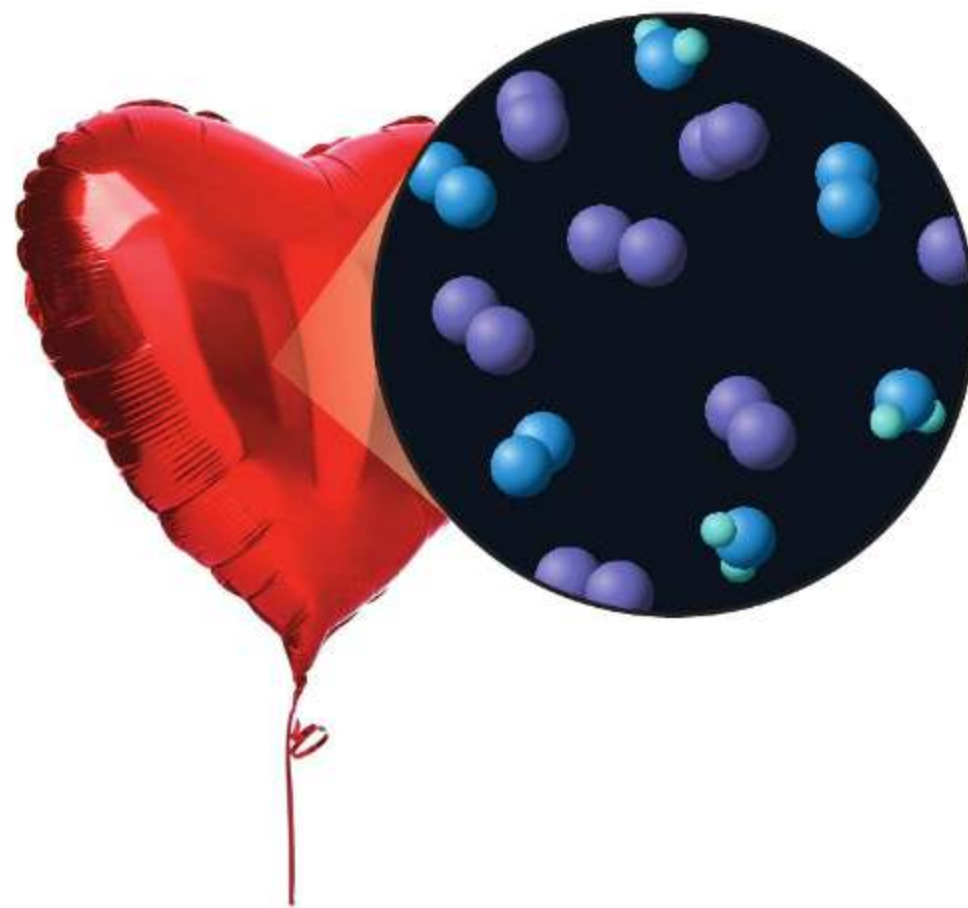
Cząsteczki gazu prawie nie działają na siebie wzajemnie, ponieważ znajdują się w odległościach dużo większych niż ich rozmiary. Cząsteczki te nieustannie się poruszają. Gaz przyjmuje kształt pojemnika, w którym się znajduje, i zajmuje całą dostępną w nim przestrzeń. To dlatego pojemnik z gazem musi być szczelnie zamknięty, jeśli nie chcemy, by gaz się z niego wydostał. Objętość gazu można łatwo zmienić dzięki zmianie rozmiarów pojemnika, w którym się on znajduje.

Cząsteczki cieczy są znacznie bliżej siebie niż cząsteczki gazu i działają na siebie wzajemnie, dlatego trudno jest zmienić objętość cieczy – jest ona nieściśliwa. Substancja w stanie ciekłym przyjmuje kształt naczynia, w którym się znajduje, ale wypełnia je tylko w takiej części, jaka odpowiada jej objętości. Widoczna jest **powierzchnia swobodna** – granica oddzielająca ciecz od jej gazowego otoczenia. Cząsteczki cieczy poruszają się w całej jej objętości.

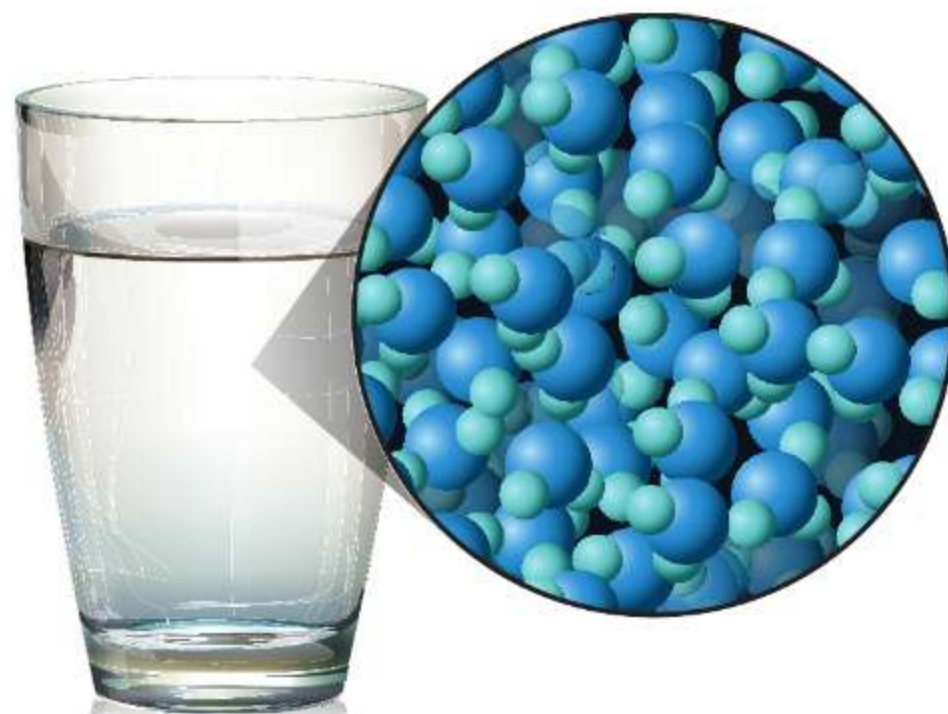
Każde **ciało stałe** ma określoną objętość i własny kształt. Zmiana tego kształtu wymaga dodatkowego działania, np. naciskania. Takie właściwości ciał stałych wynikają z ich budowy wewnętrznej – cząsteczki w tych ciałach znajdują się bardzo blisko siebie i wykonują niewielkie drgania, ale się nie przemieszczają. W **ciałach krystalicznych** cząsteczki tworzą bardzo uporządkowane struktury. Dotyczy to przykładowo soli kuchennej oraz metali. W **ciałach bezpostaciowych** cząsteczki są rozłożone chaotycznie. Do substancji o takiej budowie należą na przykład szkło oraz asfalt.



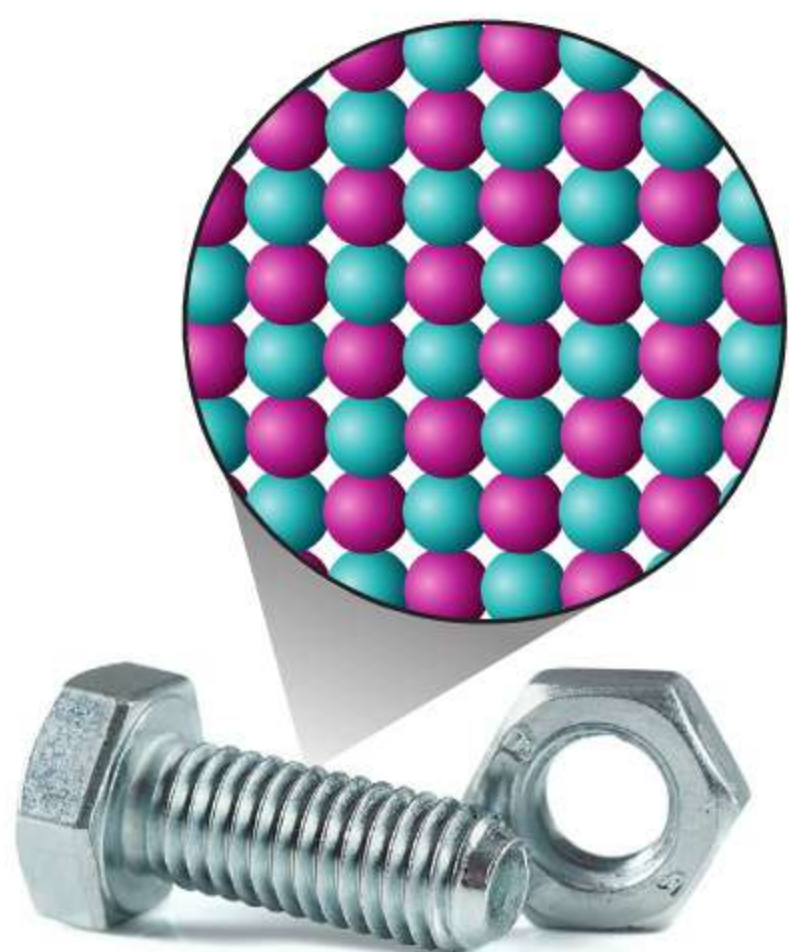
Ryc. 2.2. Materia wokół nas składa się z atomów. Atom zbudowany jest z bardzo małego jądra oraz krążących wokół niego jeszcze mniejszych elektronów.



Ryc. 2.3. Gaz wewnątrz balonika wypełnia całą dostępną objętość.



Ryc. 2.4. Cząsteczki cieczy poruszają się w całej jej objętości.



Ryc. 2.5. W ciałach krystalicznych cząsteczki tworzą uporządkowaną strukturę.



Ryc. 2.6. Waga szalkowa wraz z zestawem odważników

Wodę, która jest najpowszechniej występującą substancją na Ziemi, w każdym ze stanów skupienia nazywamy inaczej (co nie jest regułą dla innych substancji). Lód to woda w stałym stanie skupienia, woda na przykład w kranie – w ciekłym, a para wodna – w gazowym.

Jedną z podstawowych wielkości w fizyce jest masa. **Masa jest miarą ilości substancji.** Im więcej substancji zawiera ciało, tym większa jest jego masa. Masa mąki w dużym worku jest większa od masy mąki mieszczącej się w szklance. Masę oznaczamy symbolem m i wyrażamy w kilogramach. Na co dzień używamy też innych jednostek masy: gramów ($1\text{ g} = 0,001\text{ kg}$), dekagramów* ($1\text{ dag} = 10\text{ g}$), miligramów ($1\text{ mg} = 0,001\text{ g}$) oraz ton ($1\text{ t} = 1000\text{ kg}$). Pomiaru masy dokonujemy za pomocą wagi.

Jednym ze sposobów ważenia jest porównywanie masy wzorca – odważnika – z masą towaru. Dokonujemy tego za pomocą wagi szalkowej (ryc. 2.6.): na jednej z szalek wagi umieszczamy ważony przedmiot, a na drugiej odważniki, dobierane tak, żeby obie szalki były w równowadze (na tym samym poziomie). Na takiej wadze najmniejszą możliwą do zważenia masą jest ta, która odpowiada masie najmniejszego dostępnego odważnika.

Każdy pomiar jest wykonywany z określoną dokładnością. W przypadku ważenia na wadze szalkowej przyjmujemy, że dokładność pomiaru masy jest równa masie najmniejszego odważnika, jaki jest w zestawie. Jeśli najmniejszy odważnik ma masę 10 g ($0,01\text{ kg}$) i uzyskujemy równowagę szalek dla łącznej masy odważników na przykład $1,3\text{ kilograma}$, to wynik pomiaru wraz z niepewnością należy zapisać w postaci:

$$m = 1,30\text{ kg} \pm 0,01\text{ kg}$$

Oznacza to, że rzeczywista masa ciała zmierzona za pomocą tej wagi mieści się w przedziale od $1,29\text{ kg}$ do $1,31\text{ kg}$, a niepewność pomiaru wynosi $0,01\text{ kg}$.

Gdyby najmniejszy odważnik miał masę 100 g ($0,1\text{ kg}$), to wynik pomiaru wraz z niepewnością należałoby zapisać w postaci:

$$m = 1,3\text{ kg} \pm 0,1\text{ kg}$$

* Przedrostki do tworzenia wielokrotności i podwielokrotności jednostek znajdują się w tabeli 2. na s. 292 podręcznika.

Różne rodzaje wag



Miejska **waga szalkowa** z XVII w. służyła do określania mas produktów sprzedawanych na targach, np. zbóż. Waga umożliwiała pomiar masy do 50 kg.

Waga laboratoryjna o zakresie pomiarowym od 0 do 1 kg pozwala określać masę z dużą dokładnością. Takich wag używa się na przykład w przemyśle farmaceutycznym lub branży kosmetycznej.



Waga kuchenna stanowi pomoc przy dokładnym odmierzaniu składników potraw. Najczęściej ma zakres pomiarowy od 0 do 5 kg.



Waga łazienkowa ułatwia kontrolowanie masy ciała. Zazwyczaj zakres pomiarowy tego przyrządu wynosi od 0 do 130 kg.

Ludzie od najdawniejszych czasów handlowali różnymi towarami, co w wielu przypadkach wymagało pomiaru masy. Proste wagi szalkowe znane były już w starożytności. W ciągu wieków skonstruowano wiele typów wag.

Waga hakowa umożliwia pomiar dużych mas – w opakowaniach zbiorczych – w magazynach. Pozwala ona na pomiar masy do 3 ton.



Wyznaczanie niepewności pomiaru masy

1. Waga analogowa ma wskazówkę poruszającą się na tle skali. Za dokładność pomiaru przyjmujemy najmniejszą jednostkę tej skali. Na fotografii przedstawiono pomiar masy za pomocą wagi łazienkowej. Najmniejsza odległość między kreskami na skali (czyli działka skali) jest równa 1 kg, więc tyle wynosi dokładność tej wagi. Niepewność pomiaru masy jest równa dokładności wagi.

Wskazówka wagi przedstawionej na fotografii zatrzymała się między 65 a 70. Liczymy liczbę kresek od 65 do wskazania czerwonej wskazówki – jest ich 3. Wynik pomiaru masy zapisany wraz z niepewnością pomiarową jest więc równy:

$$m = 68 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$$

2. Waga elektroniczna wyświetla wynik w postaci konkretnej liczby. Najczęściej producent takiej wagi podaje, jaka jest jej dokładność. Jeżeli nie, to przyjmujemy, że niepewność pomiarowa jest równa najmniejszej różnicy wskazań możliwej do odczytania z wyświetlacza wagi.

Na fotografii przedstawiono pomiar masy za pomocą wagi cyfrowej. Waga podaje wynik w gramach. Najmniejsza możliwa różnica wskazań tej wagi jest równa 0,01 g, wobec tego wynik pomiaru zapisany wraz z niepewnością pomiarową jest równy:

$$m = 14,16 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$$



Wyniki obliczeń oraz pomiarów należy zaokrągać zgodnie z regułami zaokrąglania. Jeśli pierwsza pomijana w zaokrągleniu cyfra jest mniejsza od 5, to liczbę zaokrąglamy do odpowiedniego miejsca w dół. Gdy na przykład liczbę 1,33333 zaokrąglimy do części dziesiątych, otrzymamy:

$$1,33333 \approx 1,3$$

Jeśli pierwsza pomijana w zaokrągleniu cyfra jest równa 5 lub większa od 5, to liczbę zaokrąglamy do odpowiedniego miejsca w górę. Przykładowo po zaokrągleniu liczby 2467,3 do setek otrzymamy:

$$2467,3 \approx 2500$$

Obie liczby zaokrąglono do dwóch pierwszych cyfr (licząc od lewej strony). W pierwszym przykładzie są to: cyfra jedności i cyfra części dziesiątych, w drugim – cyfra tysięcy i cyfra setek.

Cyfry zaokrąglania – oprócz zer na początku ułamka dziesiętnego (np. 0,056) i zer wynikających z zaokrąglania – nazywamy **cyframi znaczącymi**. Wobec tego obie powyższe liczby zapisano z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Liczba cyfr znaczących zaokrąglanego wyniku **zależy od niepewności pomiarowej**. W tabeli 2.1 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów masy, zapisane z różną liczbą cyfr znaczących wynikającą z niepewności pomiaru. Jeśli wynik pomiaru masy wynosi 23,47 kg, a niepewność tego pomiaru jest równa 1 kg, to wynik zapisany z dwiema cyframi znaczącymi wynosi 23 kg. Natomiast jeśli pomiar został wykonany przyrządem o dokładności 0,1 kg, to taki sam wynik pomiaru zapisany z trzema cyframi znaczącymi wynosi 23,5 kg.

Tabela 2.1. Wyniki pomiarów zapisane z różną liczbą cyfr znaczących wynikającą z niepewności pomiaru

Wynik pomiaru masy (kg)	Niepewność pomiaru (kg)	Wynik zapisany z dwiema cyframi znaczącymi (kg)	Niepewność pomiaru (kg)	Wynik zapisany z trzema cyframi znaczącymi (kg)
23,47	1	23	0,1	23,5
3,936	0,1	3,9	0,01	3,94
0,286	0,01	0,29	0,001	0,286

Podsumujmy!

- ▶ Ciała fizyczne zbudowane są z **atomów**.
- ▶ Substancje występują w trzech **stanach skupienia**: gazowym, ciekłym, stałym.
- ▶ **Masę** oznaczamy symbolem *m* i wyrażamy na przykład w kilogramach.
- ▶ **Pomiaru masy** dokonujemy zawsze z niepewnością pomiarową określoną przez dokładność używanej wagi.
- ▶ **Wynik pomiaru** zapisujemy z zachowaniem liczby cyfr znaczących i zgodnie z zasadami zaokrąglania.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Atom jest najmniejszą i niepodzielną cegiełką materii.	P	F
2.	Otoczające nas ciała mogą znajdować się tylko w stanie ciekłym lub stałym.	P	F
3.	Każdy pomiar wykonywany jest zawsze z określoną dokładnością.	P	F
4.	Liczba cyfr po przecinku to jest to samo, co liczba cyfr znaczących.	P	F

2. Rozejrzyj się w swoim otoczeniu i podaj po dwa przykłady ciał krystalicznych oraz ciał bezpostaciowych wykonanych z różnych substancji. Zapisz przykłady inne niż zawarte w treści rozdziału.

3. Plastelinę o masie 17 g podzielono na trzy równe części, z których wykonano kule. Oblicz masę jednej kuli. Wynik zapisz w zeszycie z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

4. Na fotografii przedstawiono wskazania wagi łazienkowej (w kilogramach). Zapisz w zeszycie wynik tego pomiaru. Jaka jest dokładność wagi?



5. Na fotografii przedstawiono wskazania wagi kuchennej (w gramach).

- a. Zapisz w zeszycie wskazania wagi wyrażone: w miligramach, w dekagramach oraz w kilogramach.
- b. Jaka jest niepewność pomiaru?



3. Oddziaływanie – co to znaczy?

- ▶ Co nazywamy oddziaływaniem?
- ▶ Jakie typy oddziaływań występują w przyrodzie?



Oddziaływanie to działanie jednego ciała na drugie. Wszystkie **oddziaływania są wzajemne**, co oznacza, że jeśli jedno ciało działa na drugie, to drugie także działa na pierwsze. Żeby stwierdzić obecność oddziaływania, trzeba dostrzec jego skutki. Ziemia oddziałuje na Księżyc, a skutkiem tego jest ruch Księżyca dookoła Ziemi. Księżyc oddziałuje z wodą znajdującą się na kuli ziemskiej, a skutkiem są cykliczne zmiany jej poziomu, czyli przyływy i odpływy (ryc. 3.1.). Opisane tu przykłady to **oddziaływania na odległość** – bo przecież Księżyc i Ziemia nie są ze sobą w bezpośrednim kontakcie, są od siebie oddalone. Oprócz oddziaływań na odległość obserwujemy także **oddziaływania bezpośrednie**. Ten rodzaj oddziaływań wymaga kontaktu między ciałami, takie ciała muszą się więc ze sobą stykać.

Oddziaływania są bardzo powszechne, a ich przykłady możemy znaleźć na każdym kroku.



Ryc. 3.1. To samo miejsce podczas odpływu (a) i przyływu (b) (Blackpool, Wielka Brytania, 2010)



Ryc. 3.2. Ręka i materac oddziałują ze sobą sprężystości.



Ryc. 3.4. Naelektryzowane włosy odpychają się wzajemnie.



Ryc. 3.5. Magnesy nie spadają dzięki oddziaływaniu magnetycznemu ze stalową obudową lodówki.



Ryc. 3.3. Kubek spada na skutek oddziaływania grawitacyjnego.

Gdy dłonią naciskamy na materac, a on zmienia swój kształt, czyli się odkształca (ryc. 3.2.) – widzimy skutek oddziaływania. Jednak czujemy, że materac również naciska na dłoń. Interakcję tego rodzaju nazywamy **oddziaływaniem sprężystym**. Po ustaniu nacisku materac powraca do początkowych kształtów. Skutki oddziaływania sprężystego obserwujemy tylko wtedy, gdy ciała są ze sobą w bezpośrednim kontakcie.

Upuszczony kubek spada, bo jest przyciągany przez Ziemię (ryc. 3.3.). Inne ciała, podobnie jak kubek, również są przez nią przyciągane. Nazywamy to **oddziaływaniem grawitacyjnym**. Występuje ono między wszystkimi ciałami i nie wymaga bezpośredniego kontaktu – zachodzi również na odległość. Ziemia przyciąga wszystkie ciała znajdujące się w jej otoczeniu za sprawą oddziaływania grawitacyjnego.

Niektóre ciała elektryzują się, np. dzięki pocieraniu o siebie. Naelektryzowane ciała oddziałują za sprawą **oddziaływań elektrycznych**, których skutki możemy dostrzec na przykład wówczas, gdy czesemy suche włosy szczotką. Naelektryzowane włosy odpychają się od siebie, ale są przyciągane przez szczotkę. Oddziaływanie elektryczne nie wymaga bezpośredniego kontaktu ciał – zachodzi zarówno wtedy, gdy są one oddalone, jak i wówczas, gdy stykają się ze sobą. Oddziaływanie to może skutkować wzajemnym przyciąganiem się lub odpychaniem naelektryzowanych ciał.

Magnesy utrzymują się na obudowie lodówki wykonanej ze stali. Magnes przyciąga stal, a stal przyciąga magnes. Ten rodzaj interakcji nazywamy **oddziaływaniem magnetycznym**. Już podczas zbliżania magnesu do lodówki lub magnesów do siebie dostrzegamy, że oddziałują one na odległość. Oddziaływanie magnetyczne może powodować wzajemne przyciąganie się lub odpychanie ciał o właściwościach magnetycznych.

Praktyczne wykorzystanie różnych oddziaływań

Wzajemne oddziaływanie różnych ciał jest powszechnie wykorzystywane na co dzień. Bez względu na rodzaj oddziaływania przyciąganie lub odpychanie się ciał znajduje praktyczne zastosowanie.

Oddziaływanie grawitacyjne utrzymuje Międzynarodową Stację Kosmiczną na orbicie wokół Ziemi. Stacja porusza się z prędkością ok. 27 700 km/h na wysokości ok. 420 km nad powierzchnią Ziemi.

Dzięki **oddziaływaniu sprężystemu** samozaciskowe opaski odblaskowe mogą być z łatwością mocowane na ciele człowieka.



W drukarkach laserowych naelektryzowana drobina tonera jest przyciągana przez kartkę papieru dzięki **oddziaływaniu elektrycznemu**.

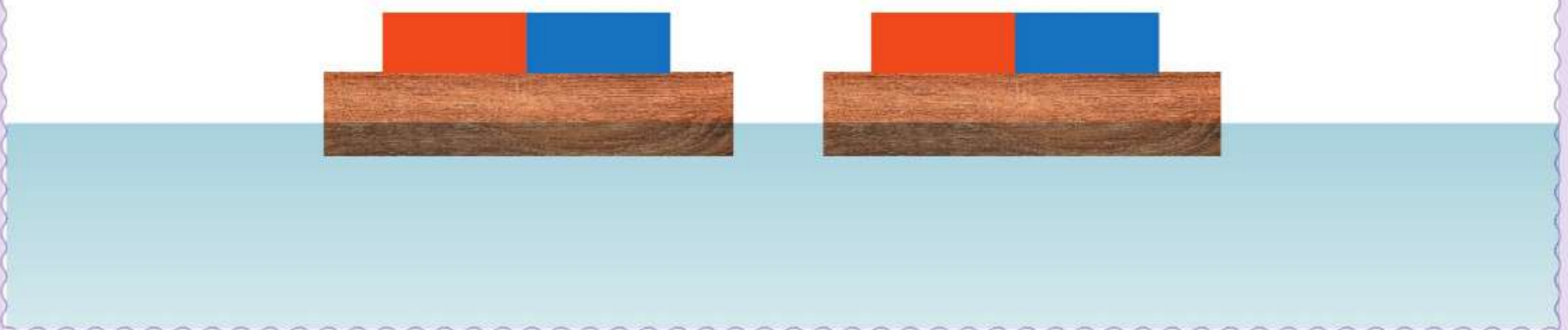
Oddziaływanie magnetyczne jest powszechnie wykorzystywane w uchwytach na stalowe narzędzia warsztatowe lub noże kuchenne.



Zbadaj to sam!

Badamy wzajemność oddziaływań

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa niewielkie identyczne kawałki drewna, dwa magnesy sztabkowe, duże naczynie z wodą.
2. Połóż kawałki drewna na powierzchni wody w niewielkiej odległości od siebie.
3. Na każdym z nich umieść po jednym magnesie w taki sposób, by magnesy były zwrócone do siebie różnymi biegunami.
4. W jaki sposób poruszają się kawałki drewna? Czy na podstawie wyników tego doświadczenia możesz stwierdzić, czy oddziaływanie między magnesami jest wzajemne?
5. Powtórz doświadczenie, ale najpierw ustaw magnesy tak, by były zwrócone do siebie tymi samymi biegunami.
6. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje i odpowiedzi na pytania.



Podsumujmy!

- ▶ **Oddziaływanie** to działanie jednego obiektu na drugi. Obecność oddziaływania możemy stwierdzić na podstawie obserwacji jego skutków.
- ▶ Wszystkie oddziaływania są **wzajemne**.
- ▶ Ciała mogą oddziaływać podczas **bezpośredniego kontaktu** lub **na odległość**.
- ▶ Możemy wyróżnić oddziaływania: sprężyste, grawitacyjne, elektryczne i magnetyczne.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Wszystkie ciała oddziałują na siebie grawitacyjnie.	P	F
2.	Na skutek oddziaływania elektrycznego ciała zawsze się przyciągają.	P	F
3.	Oddziaływanie sprężyste dwóch ciał nie wymaga ich bezpośredniego kontaktu.	P	F
4.	Na skutek oddziaływania magnetycznego ciała zawsze się odpychają.	P	F

2. Przerysuj tabelę do zeszytu i umieść w odpowiednich kolumnach opisy skutków oddziaływania na odległość lub wymagającego bezpośredniego kontaktu.

ściskanie gąbki do mycia, przyciąganie włosów przez grzebień nie dotykający włosów, ruch Ziemi wokół Słońca, odbicie się piłki od podłogi, spadanie kropel deszczu, obrót igły kompasu

Oddziaływanie bezpośrednie	Oddziaływanie na odległość

3. Zapisz w zeszycie po jednym przykładzie sytuacji (ale innej niż przytoczone w rozdziale), w której obserwujemy skutki oddziaływań: sprężystego, grawitacyjnego, elektrycznego i magnetycznego.

4. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

Księżyc i Ziemia wzajemnie się

A.	przyciągają,	ponieważ	1.	oddziałują magnetycznie.
B.	odpychają,		2.	oddziałują grawitacyjnie.

5. Fotografia przedstawia naelektryzowany balon, który po zbliżeniu do pionowej ściany pozostał przy tej ścianie nieruchomo i nieznacznie zmienił swój kształt. Przepisz do zeszytu zdanie i uzupełnij je o brakujące wyrazy.

W tej sytuacji obserwujemy skutki oddziaływania  i oddziaływania .



4. Siły wokół nas

- ▶ Czym jest siła?
- ▶ Co to jest siła ciężkości?



Ryc. 4.2. Wektor siły

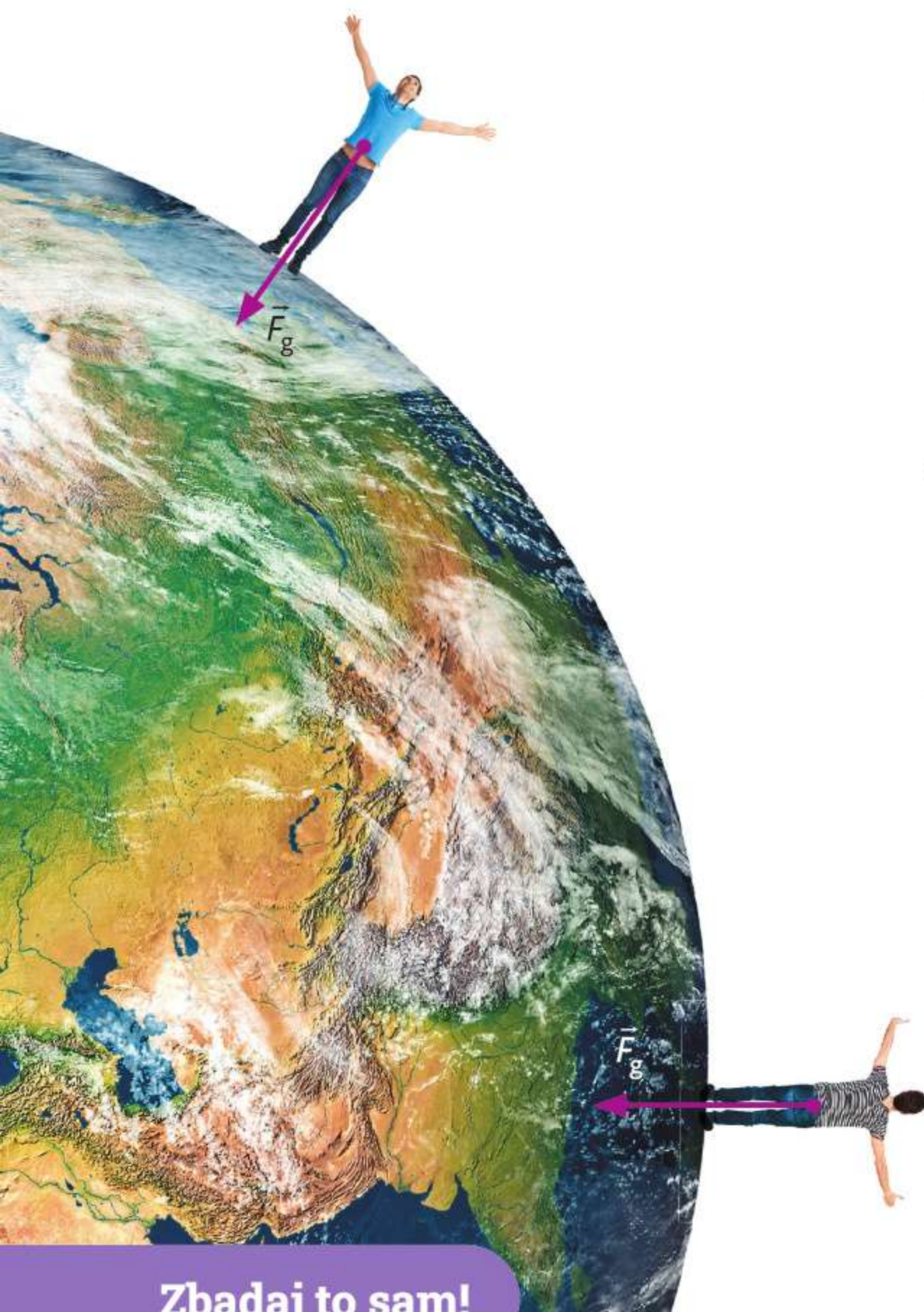
Ryc. 4.1. Siłomierz służy do pomiaru wartości siły.



Oddziaływania towarzyszą nam na każdym kroku. Do ich opisu używamy pojęcia siły. **Siła** to wielkość fizyczna, która charakteryzuje oddziaływania między ciałami. Najczęściej oznaczamy ją literą F (od ang. *force* – czyt. fors – siła). Jednostką siły jest **niuton (N)**. Do pomiaru jej wartości służy **siłomierz**.

Do opisu oddziaływań między ciałami nie wystarczy podanie wartości siły. Ważne jest również to, na które ciało działa siła (czyli punkt przyłożenia), wzdłuż jakiej prostej działa (czyli jej kierunek) i w którą stronę (czyli zwrot). Wielkości fizyczne mające wartość, kierunek i zwrot nazywamy **wielkościami wektorowymi** lub po prostu wektorami. **Siła jest więc wektorem**. Symbole wielkości wektorowych zapisujemy ze strzałką nad literą, np. $\vec{F}$, a sama litera bez strzałki oznacza wartość wektora, np. $F = 7 \text{ N}$ (czyli że wartość siły wynosi 7 niutonów). Na rysunkach wielkości wektorowe przedstawiamy za pomocą strzałek (ryc. 4.2.), a obok umieszczamy symbole tych wielkości, np. $\vec{F}_g$.

Ryc. 4.3. Ziemia przyciąga ciało siłą ciężkości, która jest zawsze skierowana do środka Ziemi.



Na jabłko przedstawione na rycinie 4.2. działa siła – to **siła ciężkości $\vec{F}_g$** , jaką Ziemia przyciąga każde ciało. Siłę ciężkości działającą na ciało nazywamy także ciężarem tego ciała.

Wartość siły ciężkości $\vec{F}_g$ obliczamy ze wzoru:



$$F_g = m \cdot g$$

gdzie:

m – masa ciała,

g – współczynnik związany z oddziaływaniem grawitacyjnym; na Ziemi $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ i nazywamy go przyspieszeniem ziemskim.

Z powyższego wzoru wynika, że ciało o masie 1 kg jest przyciągane przez Ziemię siłą o wartości ok. 10 N, a ciało o masie 100 kg jest przyciągane siłą o wartości ok. 1000 N itd.

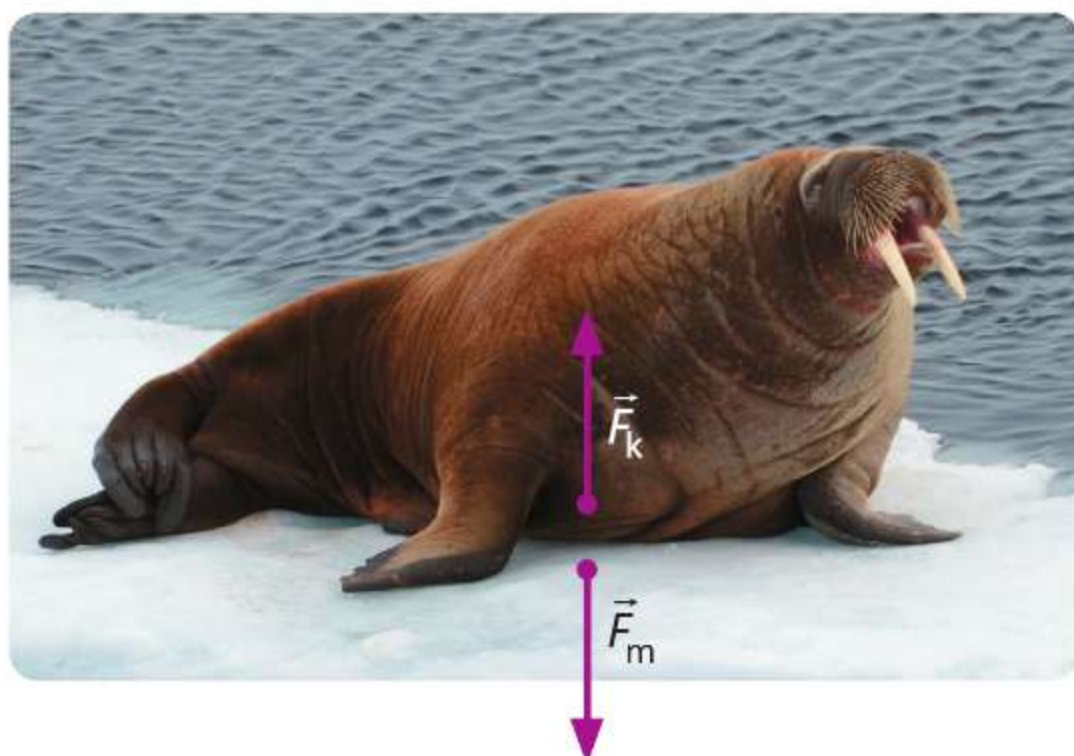
Siła ciężkości działająca na ciało jest zawsze skierowana do środka Ziemi (ryc. 4.3.). Na co dzień słów „ciężar” i „masa” używamy zamiennie, jednak w języku fizyki to są różne wielkości: masa jest miarą ilości substancji, a ciężar to siła.

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy prostą, wzdłuż której działa siła

1. Do doświadczenia będą potrzebne: silny magnes (najlepiej neodymowy), metalowy spinacz oraz szpulka nici.
2. Do spinacza przywiąż nitkę długości ok. pół metra.
3. Trzymaj magnes w jednej ręce tak, aby był nieruchomy (możesz o to poprosić kolegę lub koleżankę).
4. Do magnesu na odległość ok. 1 cm zbliż wiszący na nitce spinacz tak, aby nitka ze spinaczem była napięta, a magnes pozostał nieruchomy.
5. Naszkicuj w zeszycie schematyczny rysunek doświadczenia, prezentujący położenie magnesu oraz nitki ze spinaczem. Na rysunku zaznacz prostą, wzdłuż której na spinacz działa siła od przytrzymującej go nitki.

Ryc. 4.4. Siłomierz wyskalowany w jednostkach siły (N) i jednostkach masy (g)



Ryc. 4.5. Siła nacisku ciała morsa $\vec{F}_m$ przyłożona jest do powierzchni kry, a siła nacisku kry $\vec{F}_k$ przyłożona jest do powierzchni ciała morsa.

Jeśli na siłomierzu zawiesimy ciało, wskaże on jego ciężar, czyli siłę ciężkości, jaką to ciało jest przyciągane przez Ziemię. Ciężar ciała zależy od masy ($F_g = m \cdot g$), dlatego siłomierz możemy wykorzystać jako wagę – należy wówczas jego wskazania wyrażone w niutonach podzielić przez 10 ($g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$). Dzięki temu otrzymamy masę ciała w kilogramach. Niektóre siłomierze są wyskalowane również w jednostkach masy, np. w gramach (ryc. 4.4.). Oprócz siły ciężkości wokół nas działają także inne siły. Na ogół sama ich nazwa wskazuje na oddziaływanie, którego dotyczą.

Siła nacisku to siła, jaką jedno ciało naciska na powierzchnię drugiego ciała*. Ponieważ oddziaływania są wzajemne, mors przedstawiony na fotografii 4.5. naciska na krę siłą $\vec{F}_m$, a kra naciska na morsa siłą $\vec{F}_k$. Każda z sił nacisku przyłożona jest do powierzchni obiektu, na który działa.

Jeżeli ciało się porusza, pojawia się **siła oporu ruchu** (inaczej siła oporu ośrodka, ryc. 4.6.). Siła ta opisuje oddziaływanie między poruszającym się ciałem a powietrzem lub innym ośrodkiem, w którym ten ruch się odbywa. Jest to siła hamująca, gdyż przeciwdziała ona ruchowi. Jadący samochód rozpycha powietrze, działając na nie siłą $\vec{F}_s$, a powietrze działa na samochód siłą oporu $\vec{F}_o$.

* Jeżeli oddziaływaniu temu towarzyszy sprężyste odkształcenie ciała, to siła ta nazywana jest także siłą sprężystości.



Ryc. 4.6. Samochód jedzie w prawą stronę, a siła oporu ruchu $\vec{F}_o$ działa na niego w lewą stronę.

Zobacz, jak to zrobić!

Jak narysować siłę?

Przyjrzyjmy się na przykładzie siły ciężkości działającej na doniczkę z rośliną, jak narysować wektor siły.

a. Punkt przyłożenia

To miejsce, w którym wektor siły ma swój początek. Jeżeli siła działa na jabłko, to jest przyłożona do jabłka, jeżeli działa na gruszkę – do gruszki itd. Strzałkę symbolizującą dowolną siłę rysujemy tak, żeby zaczynała się w obrębie obiektu, na który działa. Siła ciężkości jest przyłożona do środka ciała, więc na ilustracji punkt przyłożenia zaznaczamy na środku doniczki.

b. Kierunek wektora

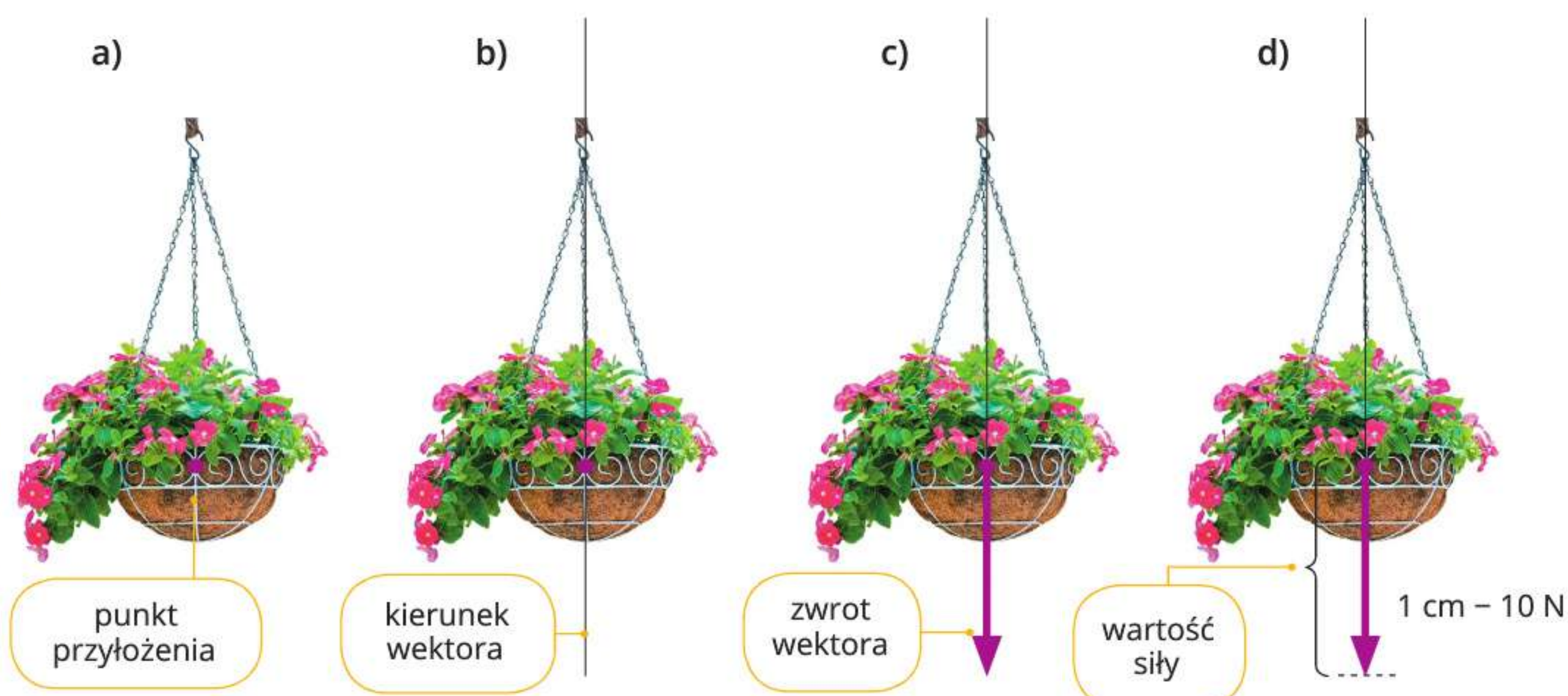
To prosta, wzdłuż której działa siła. Najczęściej przebiega ona przez środki oddziałujących ze sobą ciał. W naszym przypadku jest to prosta łącząca środek doniczki ze środkiem Ziemi i na tej prostej narysujemy wektor siły ciężkości.

c. Zwrot wektora

To on informuje nas, w którą stronę działa siła. Na rysunku wskazuje go grot strzałki symbolizującej wektor siły. Ziemia przyciąga doniczkę z rośliną, więc zwrot siły ciężkości rysujemy w dół – do środka Ziemi.

d. Wartość wektora

Na rysunkach symbolizuje ją długość strzałki. Siłę o większej wartości, czyli odpowiadającą silniejszemu oddziaływaniu, narysujemy jako dłuższą strzałkę. Czasami na rysunku podaje się też skalę, czyli ilu niutonom odpowiada 1 cm długości strzałki. Na naszym rysunku strzałka oznaczająca wektor ma długość 2 cm, a więc wartość zaznaczonej siły (zgodnie z podaną skalą) wynosi 20 N.



Zobacz, jak to zrobić!

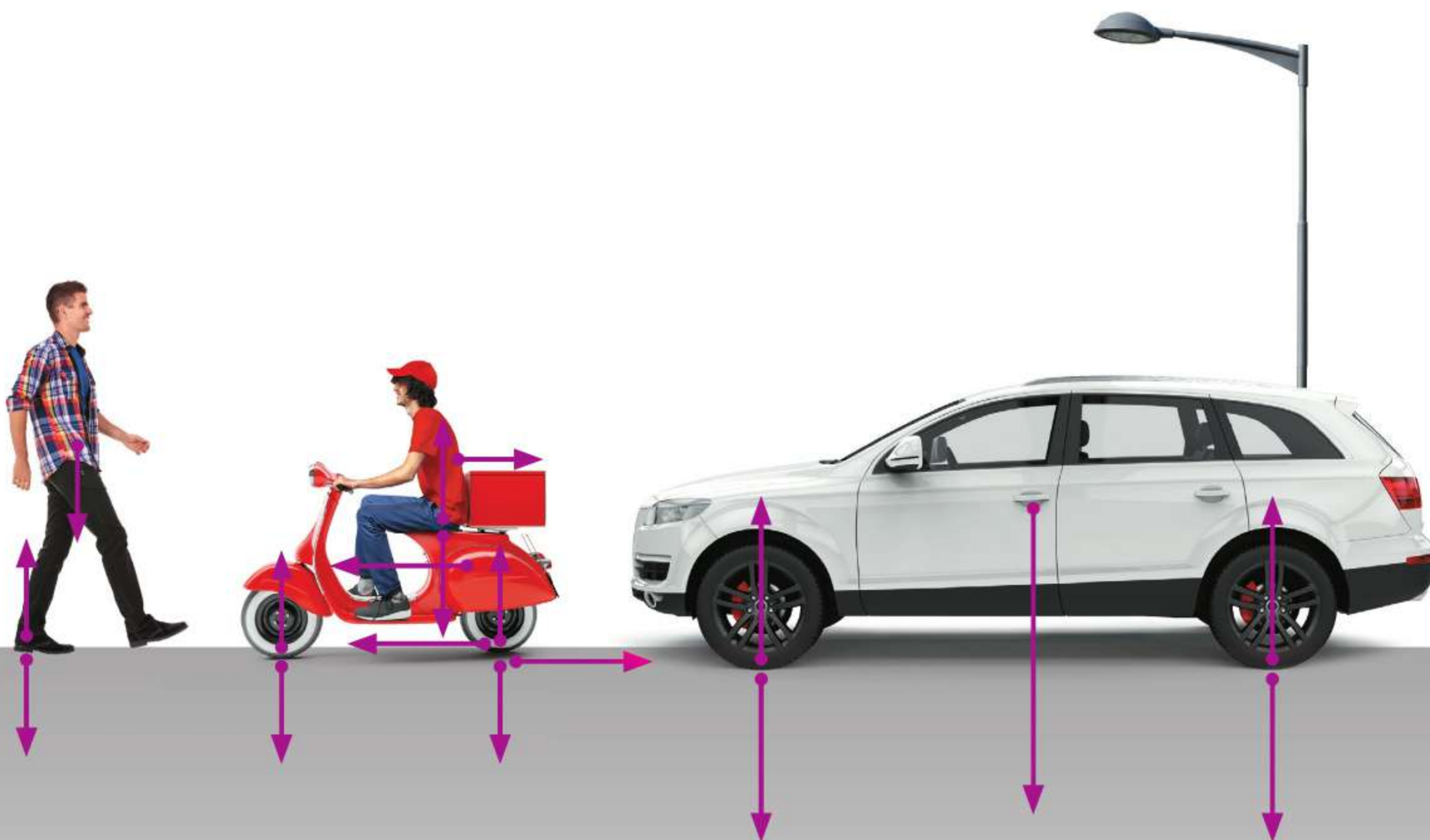
Waga kuchenna jako siłomierz

Na wadze kuchennej postawiono opakowanie z makaronem. Waga wskazała masę 1 kg. Wobec tego ciężar paczki to ok. 10 N, czyli naciska ona na wagę siłą o takiej właśnie wartości. Oznacza to, że w celu określenia wartości siły, jaką dowolne ciało naciska na wagę, wystarczy wskazanie wagi wyrażone w kilogramach pomnożyć przez 10 – wynikiem będzie siła wyrażona w niutonach.

W sytuacji przedstawionej na fotografii waga wskazuje ok. 1,5 kg (to wynik podany z dokładnością do dwóch cyfr znaczących). Ile wynosi wartość siły, jaką ręka naciska na wagę?



Siły są tak powszechne i jest ich tak dużo, że narysowanie ich wszystkich bardzo skomplikowałoby rysunek (ryc. 4.7.). Dlatego w wielu przypadkach rysujemy tylko niektóre siły. Zazwyczaj też pomijamy na rysunkach siły, jakimi ciała przyciągają Ziemię.



Ryc. 4.7. Siły wokół nas

Podsumujmy!

- ▶ **Siła** jest wielkością wektorową, czyli ma wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia. Graficznie przedstawiamy ją za pomocą strzałki.
- ▶ Jednostką siły jest **niuton (N)**.
- ▶ **Siła ciężkości (ciężar)** to siła, jaką Ziemia przyciąga dane ciało. Jej wartość obliczamy ze wzoru:

$$F_g = m \cdot g$$

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

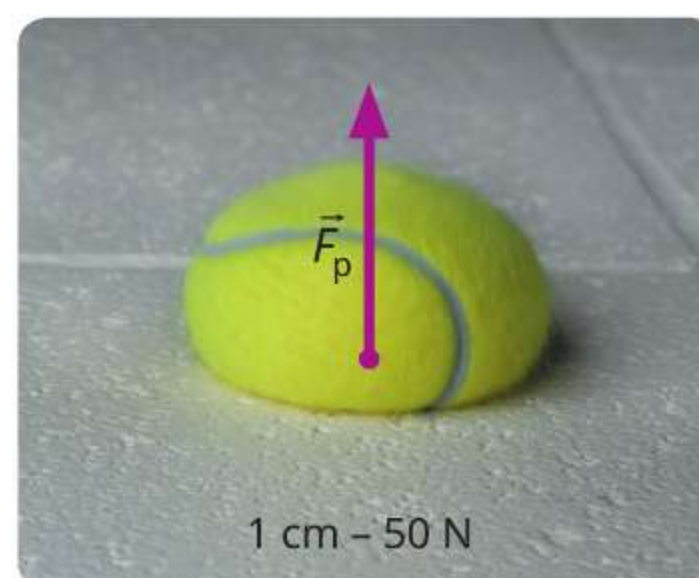
1.	Im większa jest masa ciała, tym większa jest siła ciężkości działająca na to ciało.	P	F
2.	Do pomiaru siły służy siłomierz.	P	F
3.	Jednostką siły jest kilogram.	P	F
4.	Siła jest wektorem, więc ma kierunek i zwrot.	P	F

2. Waga pod wpływem siły nacisku wskazuje masę 2,6 kg. Ile wynosi wartość tej siły nacisku?

3. Zapisz w zeszycie kilka przykładowych skutków działania różnych sił. W każdym przypadku wskaż źródło siły.

4. Na ilustracji przedstawiono siłę działającą na piłkę uderzającą w podłogę. Jaki kierunek ma siła $\vec{F}_p$, którą podłoga działa na piłkę? Ustal także jej zwrot, punkt przyłożenia i wartość.

5. Ciężarek o masie 0,56 kg zawieszono na siłomierzu. Oblicz wartość siły wskazywanej przez siłomierz.



5. Więcej niż jedna siła

- ▶ Co to jest siła wypadkowa?
- ▶ Jak dodawać do siebie siły?



Najczęściej na ciało działa jednocześnie kilka sił, a nie tylko jedna – np. na spadającą książkę oprócz siły ciężkości działa także siła oporu powietrza. Okazuje się jednak, że jeśli tych kilka sił zastąpimy jedną siłą, będącą sumą sił składowych, skutek jej działania będzie taki sam. Siłę taką nazywamy **siłą wypadkową**. Aby otrzymać siłę wypadkową, podczas dodawania wektorów sił składowych należy uwzględnić nie tylko ich wartości, ale także kierunki i zwroty. Taki sposób dodawania nazywamy dodawaniem wektorowym, a jego wynikiem jest wektor. Wobec tego siła wypadkowa jest wektorem, więc ma wartość, kierunek, zwrot oraz punkt przyłożenia.

Zobacz, jak to zrobić!

Dodawanie sił

1. Bliźniacy chcą ruszyć z miejsca wózek z zakupami. Jeden z nich popycha go siłą $\vec{F}_1$ o wartości 35 N, a drugi ciągnie siłą $\vec{F}_2$ o wartości 15 N. Narysujmy wektor siły wypadkowej, jaką obaj mężczyźni działają na wózek, oraz wyznaczmy jej wartość.



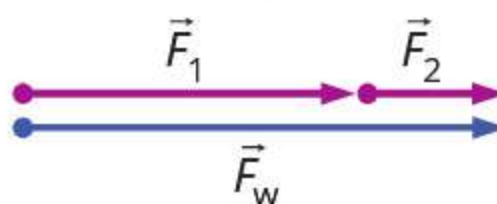
Zobacz, jak to zrobić!

Rozwiązanie:

Obie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ przyłożone są do tego samego ciała. Działają poziomo, zatem mają ten sam kierunek*. Mają też taki sam zwrot – obydwie w prawo. Jeżeli chcemy narysować wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$, to przerysowujemy poniżej wektory tak, żeby początek wektora siły $\vec{F}_2$ znalazł się na końcu wektora siły $\vec{F}_1$ i aby oba leżały na tej samej prostej (z zachowaniem ich kierunku, zwrotu i wartości).



Następnie łączymy początek wektora $\vec{F}_1$ z końcem wektora $\vec{F}_2$. W ten sposób otrzymujemy wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$.



Na rysunku długość strzałki symbolizującej siłę wypadkową $\vec{F}_w$ jest równa sumie długości pozostałych dwóch strzałek. Podobnie dodają się wartości sił: wartość siły wypadkowej $\vec{F}_w$ jest równa sumie wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$. Możemy zapisać:

$$F_w = F_1 + F_2$$

$$F_w = 35 \text{ N} + 15 \text{ N} = 50 \text{ N}$$

Wypadkowa sił działających na wózek jest równa 50 N. Ma taki sam kierunek jak siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, zwrócona jest w tę samą stronę i przyłożona do wózka.

- 2.** Narysujmy wektor siły wypadkowej oraz wyznaczmy jej wartość w sytuacji, gdy dwie osoby ciągną wózek w przeciwne strony. Wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ przyjmijmy takie, jak poprzednio.

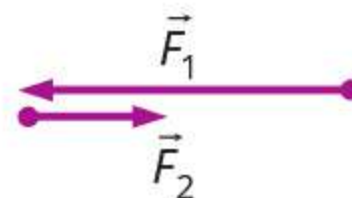
Rozwiązanie:

Obie siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ przyłożone są do tego samego ciała. Działają poziomo, zatem mają ten sam kierunek. W tym przypadku ich zwroty są przeciwne – siła $\vec{F}_1$ działa w lewo, a siła $\vec{F}_2$ w prawo. Przerysowujemy wektory tak, żeby początek wektora siły $\vec{F}_2$ znalazł się na końcu wektora siły $\vec{F}_1$ i aby oba leżały na tej samej prostej (z zachowaniem ich kierunku, zwrotu i wartości).

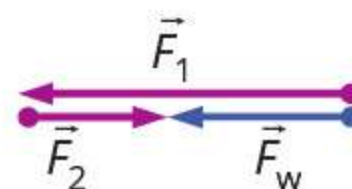


* Jeżeli siły działające na ciało są do siebie równoległe, to przyjmujemy, że mają ten sam kierunek.

Zobacz, jak to zrobić!



Łączymy początek wektora $\vec{F}_1$ z końcem wektora $\vec{F}_2$ i w ten sposób otrzymujemy wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$.



Tym razem długość strzałki symbolizującej siłę wypadkową $\vec{F}_w$ jest równa różnicy długości pozostałych dwóch strzałek. Podobnie odejmujemy wartości sił: wartość siły wypadkowej $\vec{F}_w$ jest równa różnicy wartości sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$. Możemy zapisać:

$$F_w = F_1 - F_2$$

$$F_w = 35 \text{ N} - 15 \text{ N} = 20 \text{ N}$$

Wypadkowa sił działających na wózek jest równa 20 N. Ma taki sam kierunek jak siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, a zwrócona jest w tę samą stronę co siła składowa o większej wartości, czyli $\vec{F}_1$. Jest także przyłożona do wózka.

- 3.** Dwa psy ciągną w przeciwnne strony sznur, a każdy działa siłą 50 N. Obie siły działają wzdłuż tej samej prostej. Wyznamy siłę wypadkową.

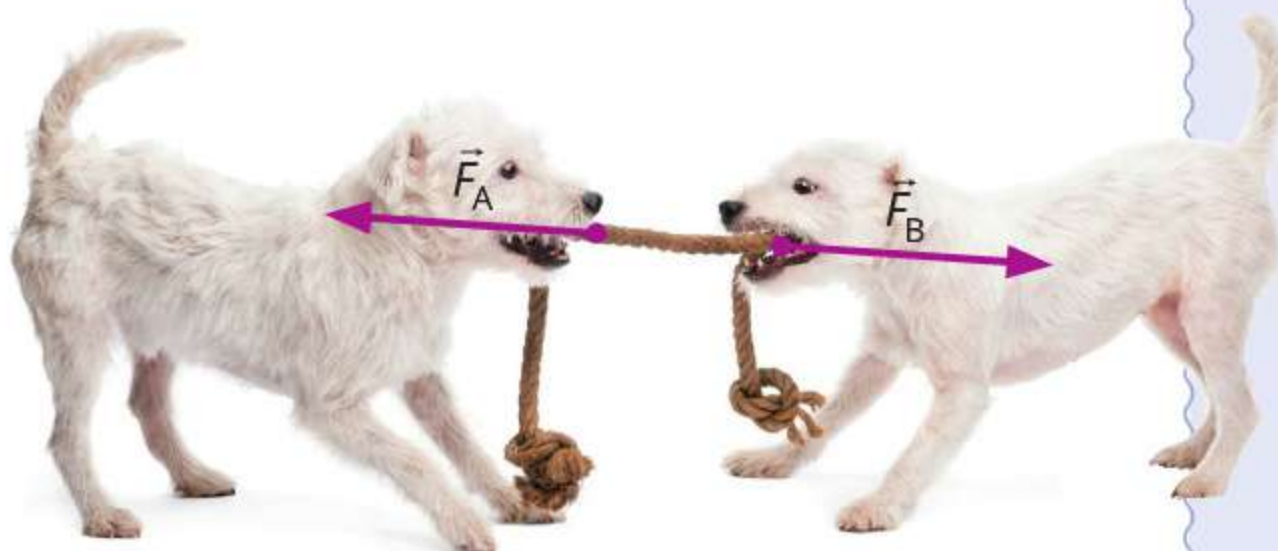
Rozwiązanie:

Rysujemy wektory tak, żeby początek wektora siły $\vec{F}_B$ znalazł się na końcu wektora siły $\vec{F}_A$.

Zauważmy, że koniec wektora siły $\vec{F}_B$ pokrywa się z początkiem wektora siły $\vec{F}_A$, gdyż obie siły mają takie same wartości, ale przeciwne zwroty. Wartość siły wypadkowej jest zatem równa różnicy wartości sił $\vec{F}_A$ i $\vec{F}_B$, czyli jest równa zero.

$$F_w = F_A - F_B$$

$$F_w = 50 \text{ N} - 50 \text{ N} = 0$$

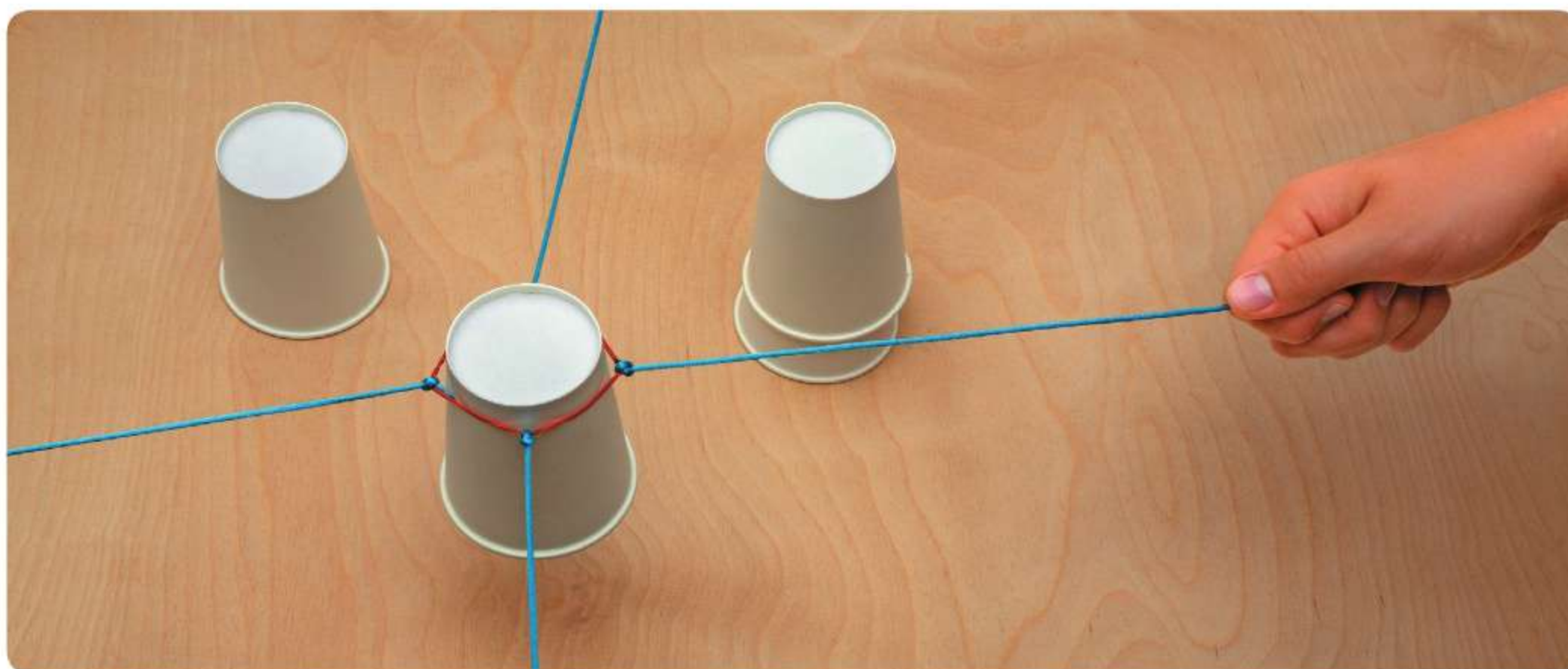


Zbadaj to sam!

Ustawiamy piramidę z kubków

(praca w grupach czteroosobowych)

1. Do doświadczenia będą potrzebne: gumka recepturka, cztery kawałki sznurka lub nitki o długości ok. 50 cm każdy, trzy papierowe kubki.
2. Ustawcie kubki w pewnych odległościach od siebie i do góry dnem.
3. Do gumki recepturki przywiążcie w równych odstępach sznurki.
4. Każdy z członków grupy łapie jeden sznurek – od tej chwili pracujecie zespołowo.
5. Ciągnijcie jednocześnie za sznurki tak, aby gumka się rozciągnęła i można było w nią chwycić kubek.
6. Złapany kubek przenosimy na drugi kubek. Następnie ponownie naciągamy gumkę tak, żeby odciągnąć ją od kubka i utworzyć z kubków piramidę.
7. Powtórzcie jeszcze raz czynności z ostatnim kubkiem tak, by powstała piramida z trzech kubków.
8. Zastanówcie się, jaki warunek musiały spełniać siły przyłożone do gumki, skoro udało się przenieść kubki i ułożyć piramidę. Wnioski zapiszcie w zeszytach.



Gdy wypadkowa sił działających na ciało jest równa zero, to mówimy, że siły się równoważą.



Dwie siły równoważą się (czyli ich wypadkowa jest równa zero), gdy działają na dane ciało wzdłuż tego samego kierunku, mają taką samą wartość, ale przeciwne zwroty.

Dowiedz się więcej!

Dodawanie sił o różnych kierunkach

Siły przyłożone do jednego ciała mogą mieć różne kierunki, gdy działają wzdłuż prostych, które nie są równoległe. W takim przypadku także możemy wyznaczyć siłę wypadkową.

Bliźniacy niosą ciężką torbę, trzymając ją za uchwyty. Wyznamy wypadkową siłę pochodzącą od braci.

Wektory sił przerysowujemy poniżej tak, żeby początek wektora siły $\vec{F}_2$ znalazł się na końcu wektora siły $\vec{F}_1$, i tak, by zachować ich pierwotne kierunki (oraz zwroty i wartości). Łączymy początek wektora $\vec{F}_1$ z końcem wektora $\vec{F}_2$ i otrzymujemy wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$.

Dwie działające siły zostały zastąpione jedną siłą wypadkową. Skutek działania na torbę tej siły wypadkowej jest taki sam jak skutek działania obu sił składowych jednocześnie. Siła wypadkowa jest przyłożona do torby. Kierunek i zwrot tej siły jest inny niż sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ – działa ona pionowo w górę.



Podsumujmy!

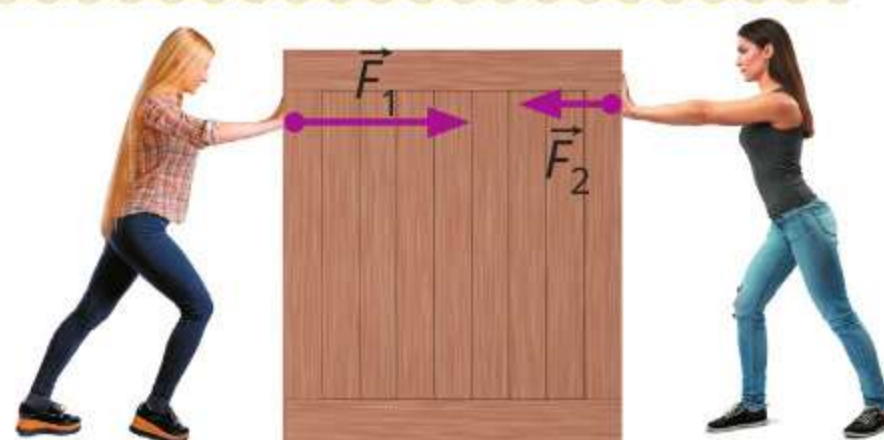
- ▶ **Siła wypadkowa** to wynik dodawania wektorowego wszystkich sił działających na ciało.
- ▶ Dwie siły **równoważą się** (czyli ich wypadkowa jest równa zero), jeśli są przyłożone do tego samego ciała, mają tę samą wartość i kierunek, ale przeciwne zwroty.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Gdy dodajemy dwie siły o tych samych wartościach, to ich suma jest zawsze równa zero.	P	F
2.	Jednym z warunków, aby dwie siły mogły się równoważyć, jest to, że muszą działać wzdłuż tego samego kierunku.	P	F
3.	Tylko siły działające na to samo ciało mogą się równoważyć.	P	F
4.	Sumę wszystkich sił działających na dane ciało nazywamy siłą wypadkową.	P	F

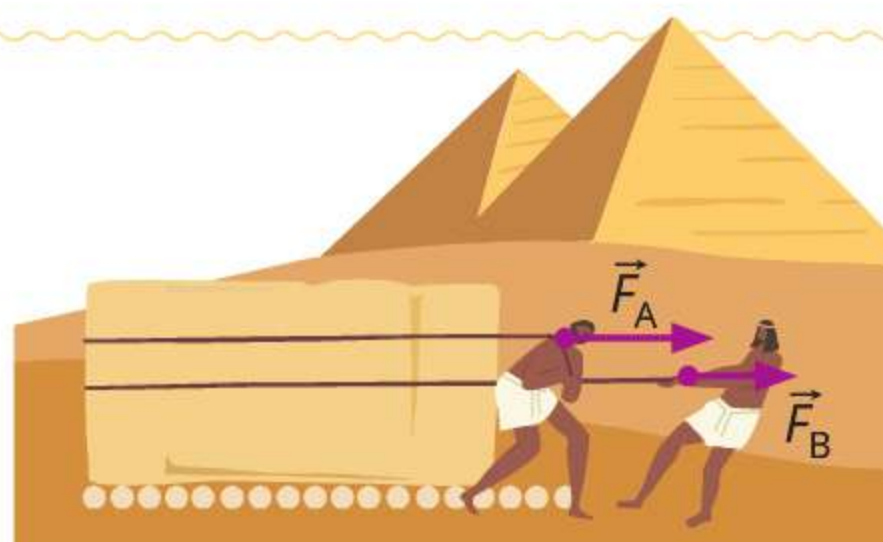
2. Dwie osoby działają na paczkę siłami zwróconymi w przeciwne strony. Wartość siły $\vec{F}_1$ jest równa 150 N, a wartość siły $\vec{F}_2$ wynosi 60 N. Wyznacz wartość siły wypadkowej. Jaki jest jej zwrot?



3. Wypadkowa sił działających na samochód jest równa zero. Siły działające na kierunku pionowym się równoważą, a w poziomie działa na niego siła napędzająca $\vec{F}_{\text{nap}}$ o wartości 560 N oraz siła oporu ruchu $\vec{F}_o$. Wyznacz wartość siły oporu ruchu $\vec{F}_o$.



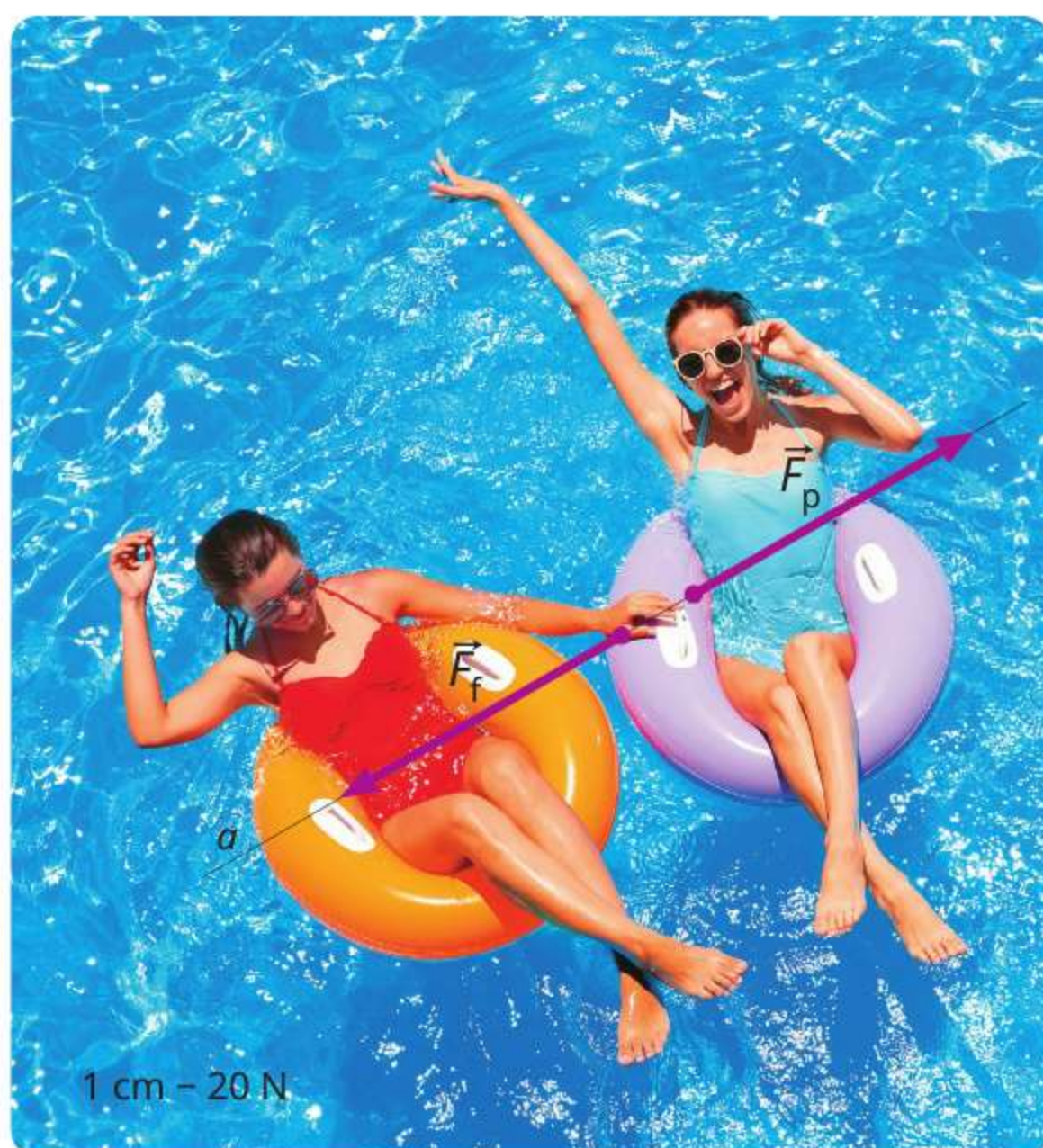
4. Starożytni Egipcjanie ciągnęli poziomo liny przytworzone do bloku piaskowca położonego na walcach. W pewnej chwili wartość siły $\vec{F}_A$ była równa 180 N, a wartość siły $\vec{F}_B$ wynosiła wówczas 110 N. Wyznacz wartość siły wypadkowej.



5. Trzy zawodniczki ciągną linę w przeciwne strony. Po jednej stronie liny stoją dwie z nich i ciągną linę siłami o wartości 140 N każda. Wypadkowa siła działająca na linę jest równa zero. Wyznacz siłę, jaką na linę działa trzecia zawodniczka, stojąca po przeciwnej stronie.

6. Wzajemność oddziaływań

- ▶ Co to oznacza, że oddziaływania są wzajemne?
- ▶ Jak brzmi trzecia zasada dynamiki?



Ryc. 6.1. Siły wzajemnego odpychania się dziewczyn pływających na dmuchanych kołach

Wszystkie oddziaływania występujące między ciałami fizycznymi są wzajemne. Oznacza to, że **wszystkie siły występują parami**. Każdej akcji, czyli jednej sile, towarzyszy reakcja, czyli druga siła. Ziemia przyciąga książkę, ale książka też przyciąga Ziemię. Sile, jaką książka naciska na stół, towarzyszy siła, jaką stół naciska na książkę. Magnes przyciąga szpilkę, a szpilka magnes. Gdy pchamy uszkodzone auto, działamy na nie siłą, ale auto działa też siłą na nas.

Przeanalizujmy siły przedstawione na ilustracji 6.1. Dziewczyny pływają w basenie na dmuchanych kołach. W pewnym momencie dziewczyna na pomarańczowym kole odpycha drugie koło siłą $\vec{F}_p$, której wartość wynosi 50 N. Jednocześnie fioletowe koło działa na tę dziewczynę siłą $\vec{F}_f$. Niemożliwe jest istnienie tylko siły $\vec{F}_p$ bez towarzyszącej jej siły $\vec{F}_f$.

Dziewczyna na pomarańczowym kole jest źródłem siły $\vec{F}_p$, która:

- ▶ jest przyłożona do fioletowego koła – działa na to koło i powoduje, że zaczyna się ono oddalać od pomarańczowego koła,
- ▶ ma kierunek wzdłuż prostej α łączącej koła,
- ▶ ma zwrot w stronę drugiej dziewczyny,
- ▶ ma wartość 50 N.

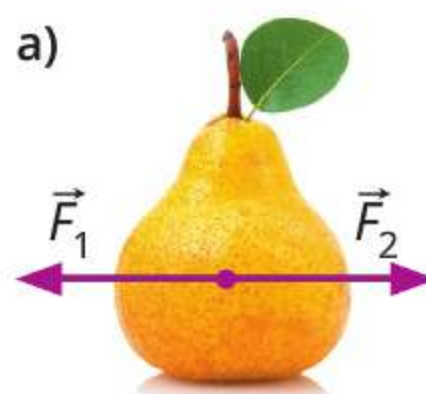
Siłę $\vec{F}_p$ towarzyszy siła $\vec{F}_f$, którą fioletowe koło działa na dziewczynę na pomarańczowym kole. Ta siła:

- ▶ jest przyłożona do ręki tej dziewczyny – działa na nią i powoduje, że dziewczyna również zaczyna oddalać się od fioletowego koła,
- ▶ ma kierunek wzdłuż tej samej prostej α ,
- ▶ ma zwrot w stronę tej dziewczyny,
- ▶ ma wartość 50 N.

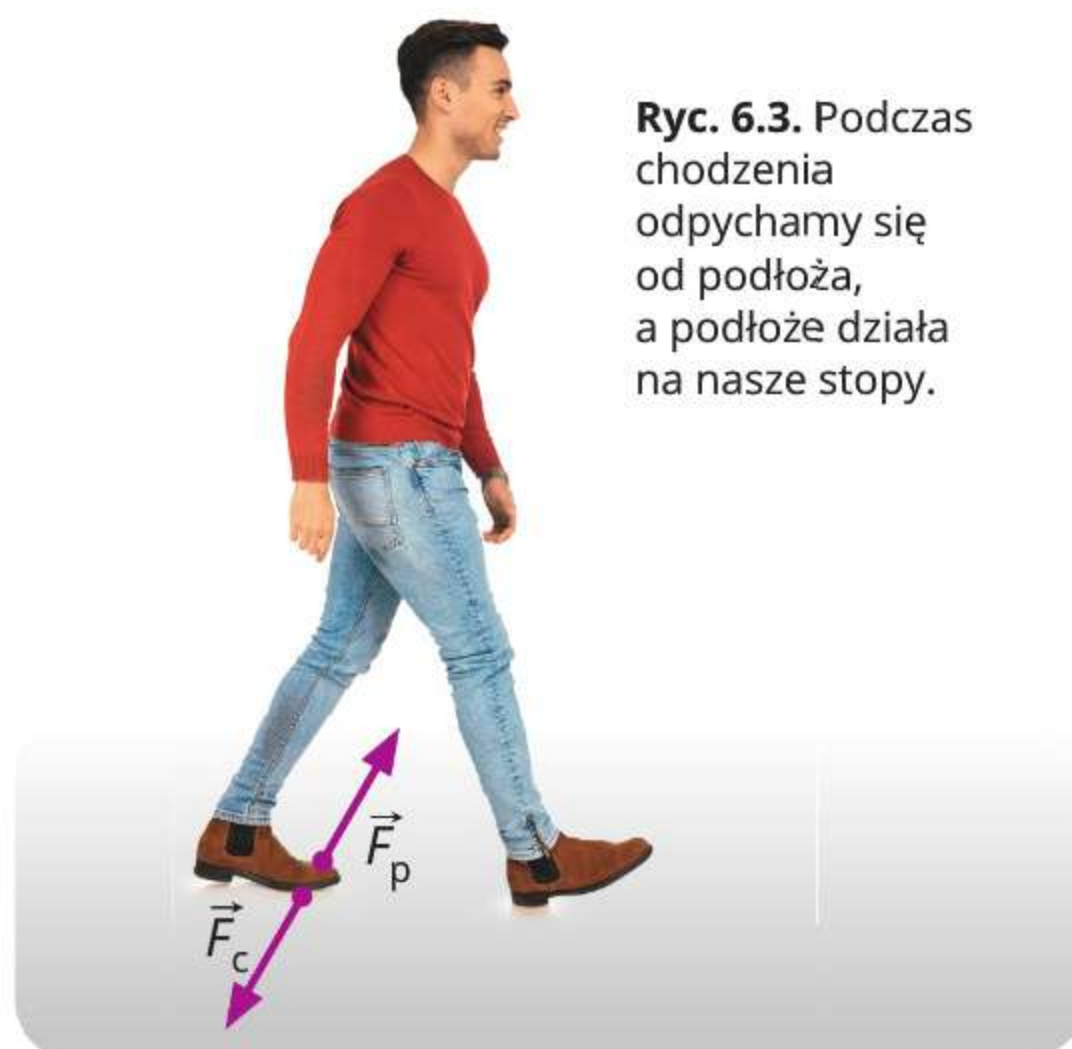
Siły $\vec{F}_p$ oraz $\vec{F}_f$ mają ten sam kierunek, identyczną wartość, ale przeciwne zwroty. Siły te nie równoważą się, ponieważ są przyłożone do dwóch różnych ciał: jedna działa na fioletowe koło, a druga na dziewczynę na pomarańczowym kole. Siły te powodują, że oba koła zaczynają się poruszać.

Aby siły się równoważyły, muszą działać na to samo ciało. Na przykład siły na ilustracji 6.2.a równoważą się, bo obie działają na gruszkę. Z taką sytuacją mielibyśmy do czynienia, gdyby dwie osoby równocześnie próbowały wziąć ten owoc, a on pozostawałby w miejscu. Z kolei ilustracja 6.2.b przedstawia sytuację, gdy działające siły się nie równoważą, gdyż są przyłożone do różnych ciał. Można ją sobie wyobrazić tak, że jedna osoba bierze jabłko, a druga gruszkę.

Wzajemność oddziaływań towarzyszy nam nieustannie. To dzięki niej planety krążą wokół Słońca, ale także my poruszamy się po powierzchni jednej z nich. Wzajemność oddziaływania między nogą a podłożem pozwala nam stawiać kroki, gdyż chodzenie polega na odpychaniu się od podłoża – my działamy na podłoże siłą, a ono działa na nas. Naszej akcji, czyli odepchnięciu się od podłoża, towarzyszy reakcja, czyli siła pchająca nas do przodu, której źródłem jest podłoże. Obie siły mają ten sam kierunek, taką samą wartość, przeciwne zwroty i są przyłożone do dwóch różnych ciał – do podłoża i do naszej stopy.



Ryc. 6.2. a) Siły równoważące się, b) siły działające na dwa różne ciała



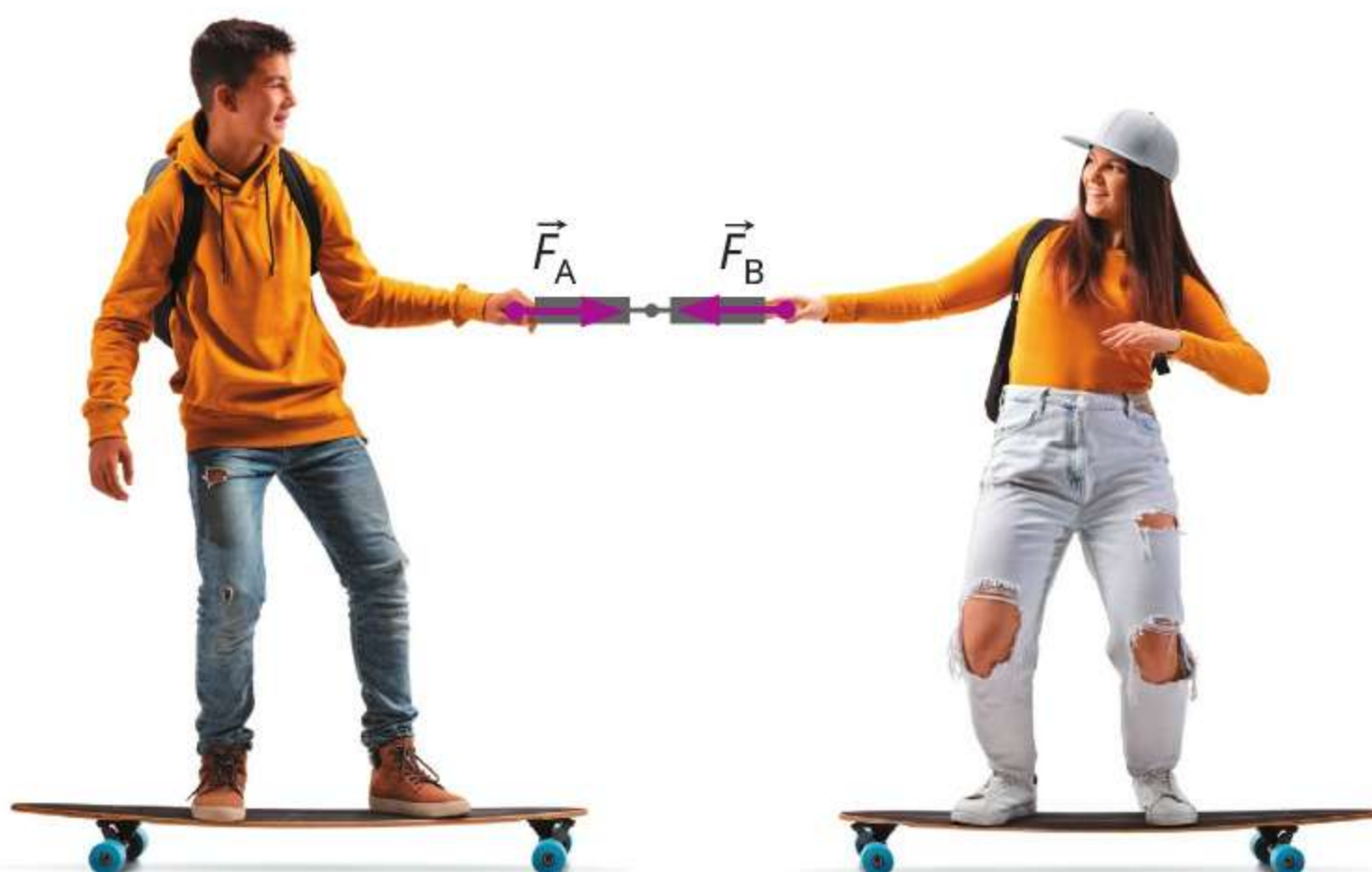
Ryc. 6.3. Podczas chodzenia odpychamy się od podłoża, a podłoże działa na nasze stopy.

Zbadaj to sam!

Sprawdzamy, czy siły występują parami

(Doświadczenie wykonują dwie osoby).

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwie deskorolki i dwa siłomierze.
2. Połączcie siłomierze ze sobą – zaczepcie haczyk jednego siłomierza o haczyk drugiego.
3. Stańcie na deskorolkach, trzymając w ręku po jednym siłomierzu. Ciągnijcie równocześnie za siłomierze. Zanotujcie wskazania siłomierzy.
4. Przyczepcie jeden siłomierz do paska od spodni jednego z was. Stańcie ponownie na deskorolkach i niech drugie z was ciągnie za drugi siłomierz. Zanotujcie wskazania siłomierzy.
5. Zapiszcie w zeszytach wnioski z doświadczenia.



Prawa opisujące oddziaływania i ich skutki zostały sformułowane przez żyjącego na przełomie wieków XVII i XVIII angielskiego badacza przyrody Izaaka Newtona (czyt. niutona). Od jego nazwiska nazywamy je **zasadami dynamiki Newtona**. Są trzy zasady dynamiki: pierwsze dwie zasady dotyczą ruchu ciał, a trzecia – wzajemności oddziaływań.



Trzecia zasada dynamiki Newtona

Oddziaływania ciał są zawsze wzajemne. Dwa ciała oddziałują na siebie siłami o tej samej wartości i tym samym kierunku, lecz przeciwnych zwrotach.

Gdy przyjrzymy się wskazaniom siłomierzy używanych w doświadczeniu z deskorolką, dostrzeżemy, że jeżeli prawy siłomierz wskazywał na przykład 20 N, to taką samą wartość siły wskazywał lewy siłomierz. Siły wskazywane przez siłomierze są siłami wzajemnego oddziaływania, stąd ich wartości są równe.

Trzecia zasada dynamiki nazywana jest często **zasadą akcji i reakcji**. Wówczas jest sformułowana w nieco inny, ale równoważny sposób.



Gdy ciało A działa na ciało B pewną siłą, którą możemy nazwać siłą akcji, to ciało B działa na ciało A siłą o tej samej wartości, tym samym kierunku, lecz przeciwnym zwrocie, którą możemy nazwać siłą reakcji.

To, którą siłę nazywamy siłą akcji, a którą reakcji, zależy od naszego wyboru.

Dowiedz się więcej!

Dlaczego samolot lata?

Na samolot podczas lotu działa kilka sił. W kierunku poziomym działają: siła ciągu pochodząca od silników samolotu oraz siła oporów ruchu. Pionowo w dół na samolot działa siła ciężkości, a pionowo w górę – siła nośna. Siła nośna jest wynikiem wzajemnego oddziaływania samolotu i powietrza. Kształt skrzydeł i ich ustawienie względem powietrza powodują, że skrzydła naciskają na powietrze siłą $\vec{F}_s$ i kierują je w dół. Powietrze działa wówczas na samolot siłą $\vec{F}_p$ skierowaną przeciwnie, czyli w górę.

Gdy siła nośna ma taką samą wartość jak ciężar samolotu, samolot pozostaje na określonej wysokości. Siła nośna działa na samolot wyłącznie podczas jego ruchu względem powietrza.

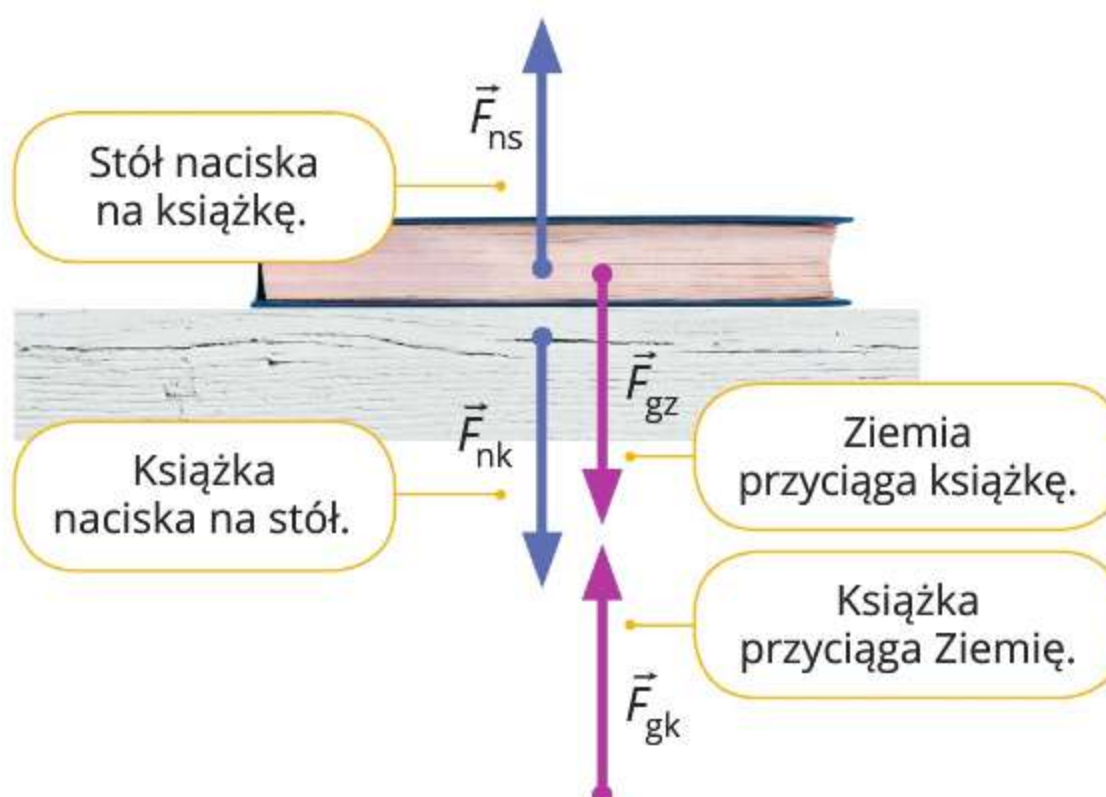


Zobacz, jak to zrobić!

Szukamy sił wzajemnego oddziaływania

Na stole leży książka. Jakie siły na nią działają? Jakie siły tworzą pary sił wzajemnego oddziaływania z siłami działającymi na książkę?

Ziemia przyciąga książkę siłą ciężkości $\vec{F}_{gz}$. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki również książka przyciąga Ziemię siłą $\vec{F}_{gk}$. Książka leżąca na stole naciska na jego powierzchnię siłą $\vec{F}_{nk}$. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki również stół naciska na książkę siłą $\vec{F}_{ns}$.



Podsumujmy!

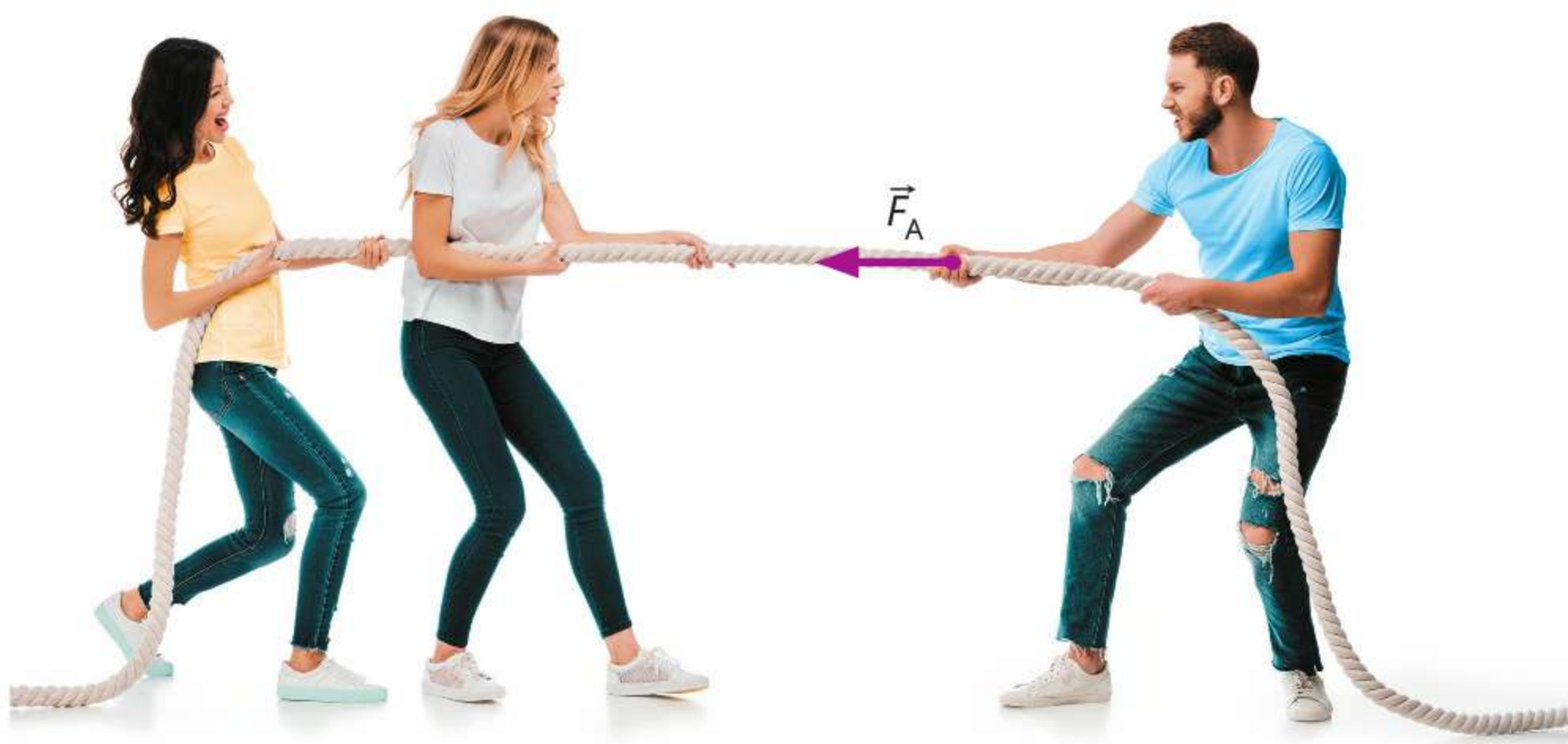
- ▶ **Trzecia zasada dynamiki:** wszystkie oddziaływania są wzajemne. Dwa ciała oddziałują na siebie siłami o tej samej wartości i tym samym kierunku, lecz przeciwnych zwrotach.
- ▶ Siły wzajemnego oddziaływania **nie** równoważą się, bo są przyłożone do dwóch różnych ciał.

Sprawdź się!

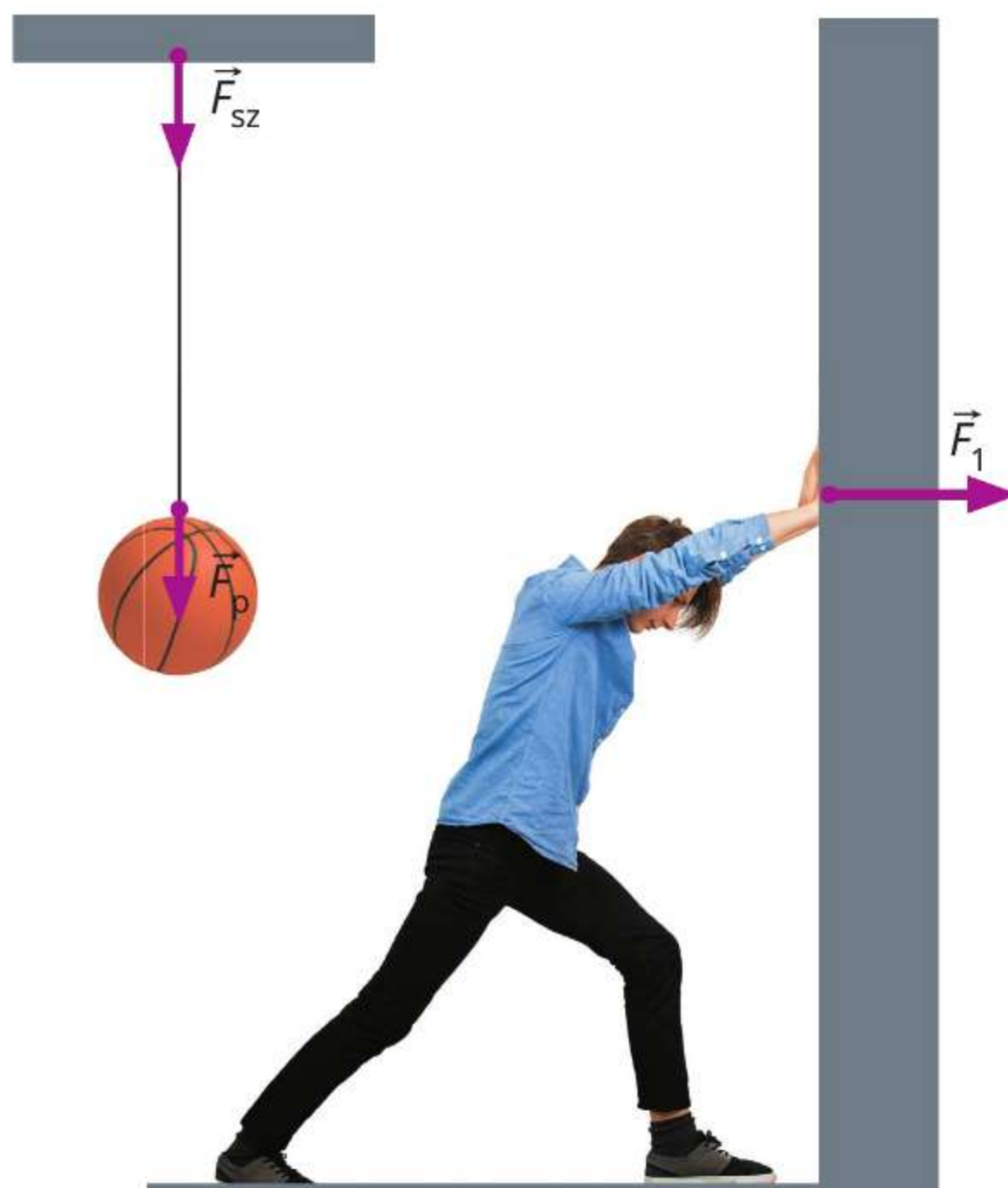
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Wszystkie siły występują parami.	P	F
2.	Siły wzajemnego oddziaływania się równoważą.	P	F
3.	Księżyc przyciąga Ziemię siłą o takiej samej wartości, jaką Ziemia przyciąga Księżyc.	P	F
4.	Zwroty sił, o których mówi trzecia zasada dynamiki, są przeciwne.	P	F

2. Na fotografii przedstawiono zabawę w przeciąganie liny. Zaznaczono na niej tylko siłę $\vec{F}_A$, jaką dziewczyny ciągną chłopaka. Jaka jest wartość siły, którą chłopak ciągnie dziewczyny?

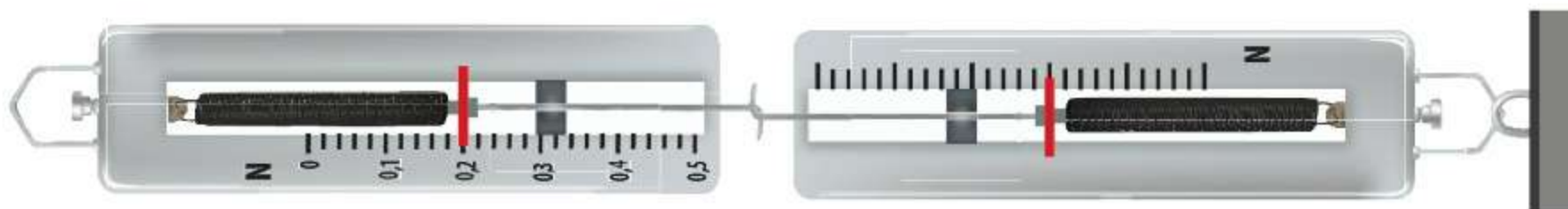


3. Na sznurku wisi piłka. Przerysuj rysunek do zeszytu z zaznaczonymi dwiema siłami. Siła $\vec{F}_{sz}$ to siła, jaką sznurek działa na sufit, siła $\vec{F}_p$ to siła, jaką piłka działa na sznurek. Uzupełnij rysunek o brakujące siły wzajemnego oddziaływania.



4. Chłopiec naciska na ścianę siłą 45 N. Przerysuj sytuację do zeszytu i zaznacz siłę, jaką ściana naciska na chłopca. Jaka jest wartość tej siły?

5. Dwa siłomierze przyczeplone są do siebie, a jeden z nich jest przymocowany do ściany. Gdy ciągniemy za drugi siłomierz, wskazuje on siłę o wartości 0,2 N. Jaką wartość siły wskazuje siłomierz przymocowany do ściany?



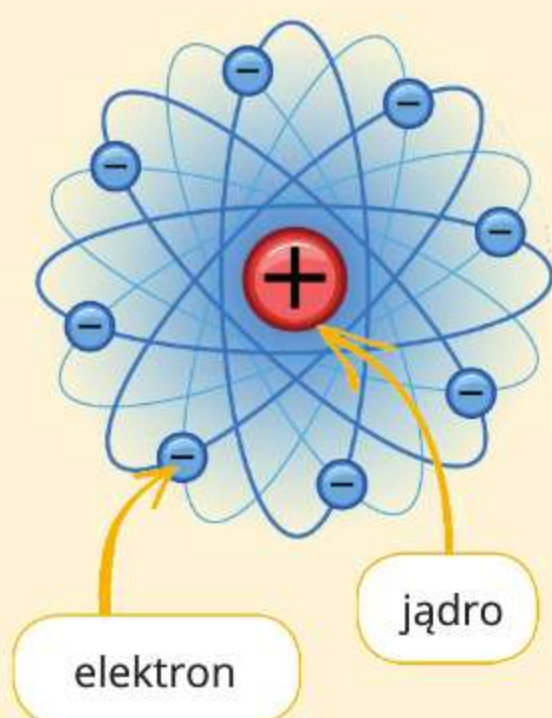
6. Ściśnięty dziadek do orzechów naciska na orzech. Czy orzech także naciska na przyrząd? Uzasadnij odpowiedź.



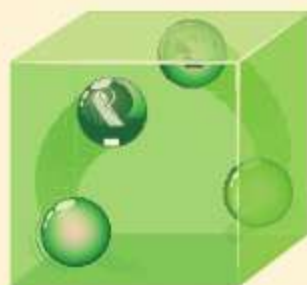
POWTÓRZENIE

Oddziaływania

Wszystkie ciała zbudowane są z atomów.

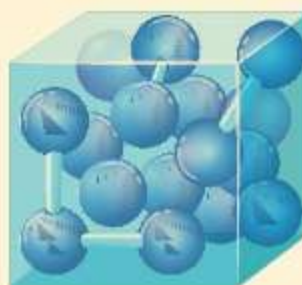


Trzy stany skupienia substancji



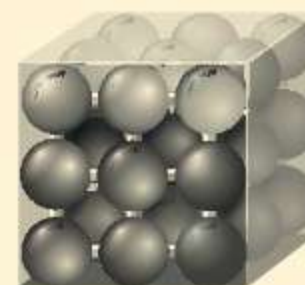
gazowy

Cząsteczki gazów prawie nie oddziałują ze sobą.



ciekły

Cząsteczki cieczy oddziałują ze sobą i przemieszczają się względem siebie.



stały

Cząsteczki ciał stałych oddziałują ze sobą i nie przemieszczają się względem siebie.

Rodzaje oddziaływań

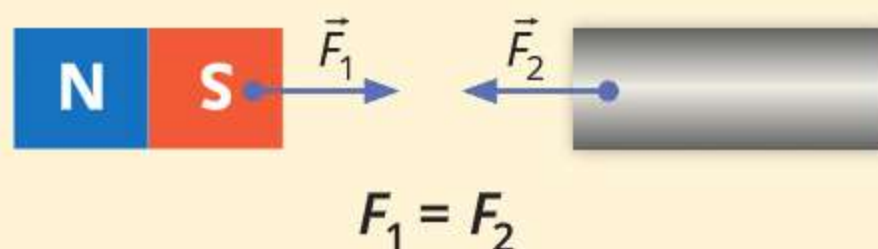
sprężyste

Wymaga bezpośredniego kontaktu między ciałami. Pod wpływem tego oddziaływania ciało zmienia swój kształt.



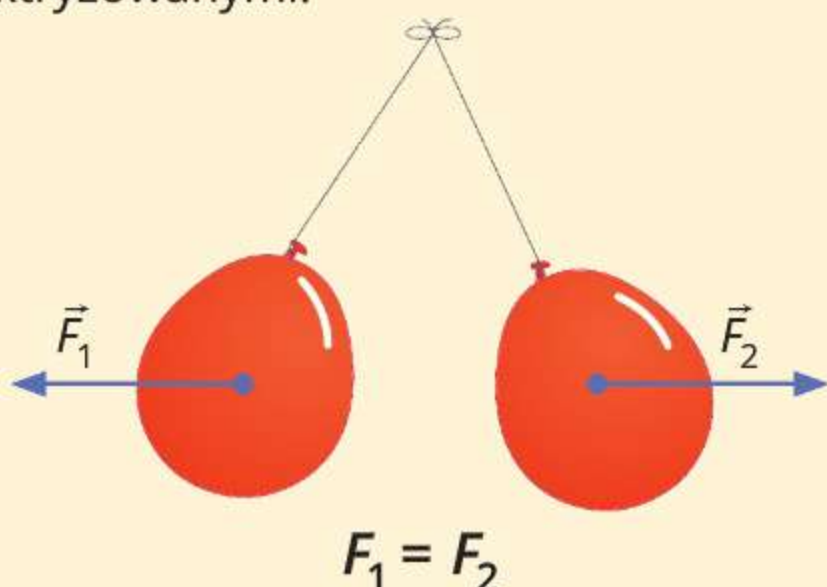
magnetyczne

Powoduje przyciąganie magnesu i stali.



elektryczne

Występuje między ciałami naelektryzowanymi.



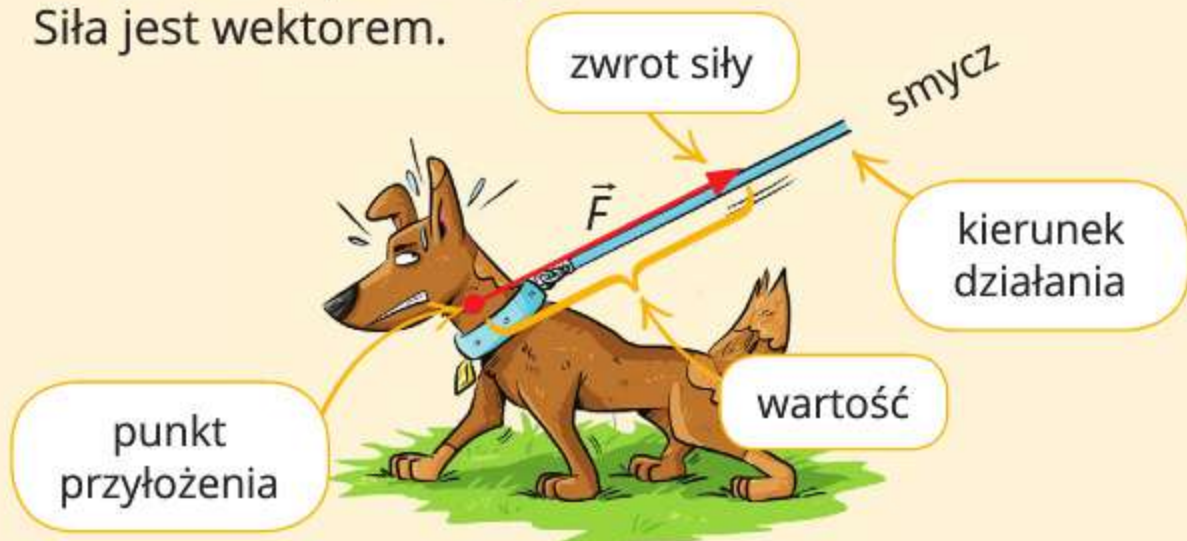
grawitacyjne

Powoduje przyciąganie ciał przez Ziemię.

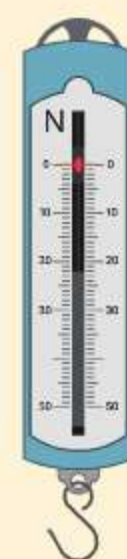


Siła w oddziaływaniach

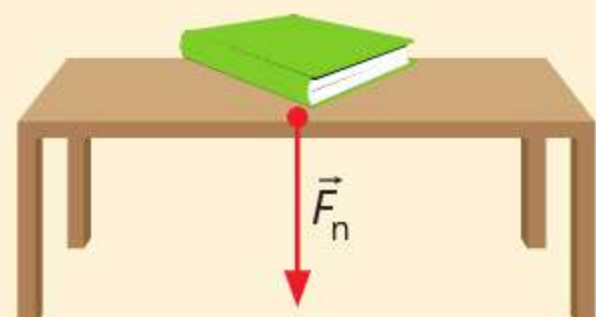
Siła jest miarą oddziaływania.
Siła jest wektorem.



Jednostką siły jest niuton (N), a do pomiaru wartości siły służy siłomierz.



Rodzaje sił



siła nacisku

Siła, jaką jedno ciało naciska na powierzchnię drugiego.



siła oporu

Siła, która przeciwdziała ruchowi – hamująca.



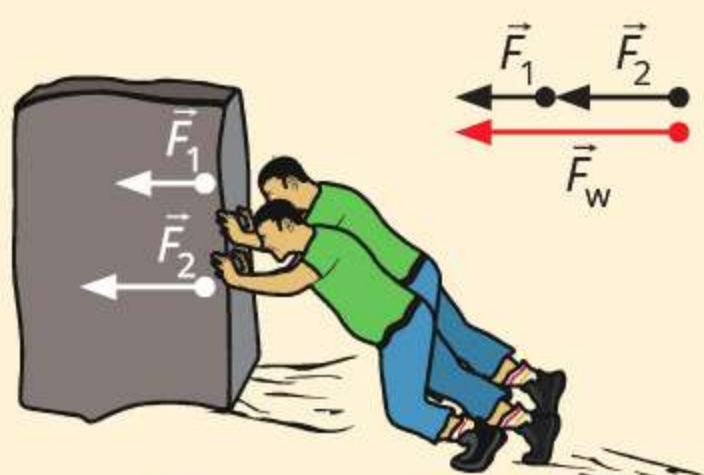
masa ciała

$$F_g = m \cdot g$$

przyspieszenie ziemskie

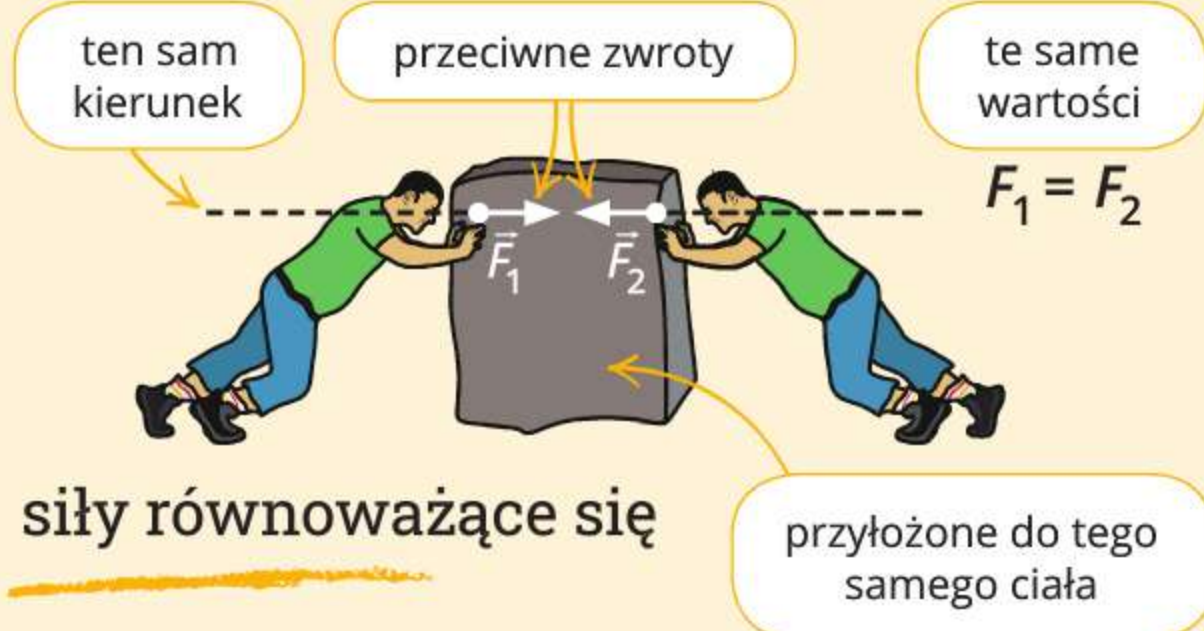
siła ciężkości

Siła, jaką Ziemia przyciąga ciało.



siła wypadkowa

Jest wynikiem wektorowego dodawania sił działających na ciało.

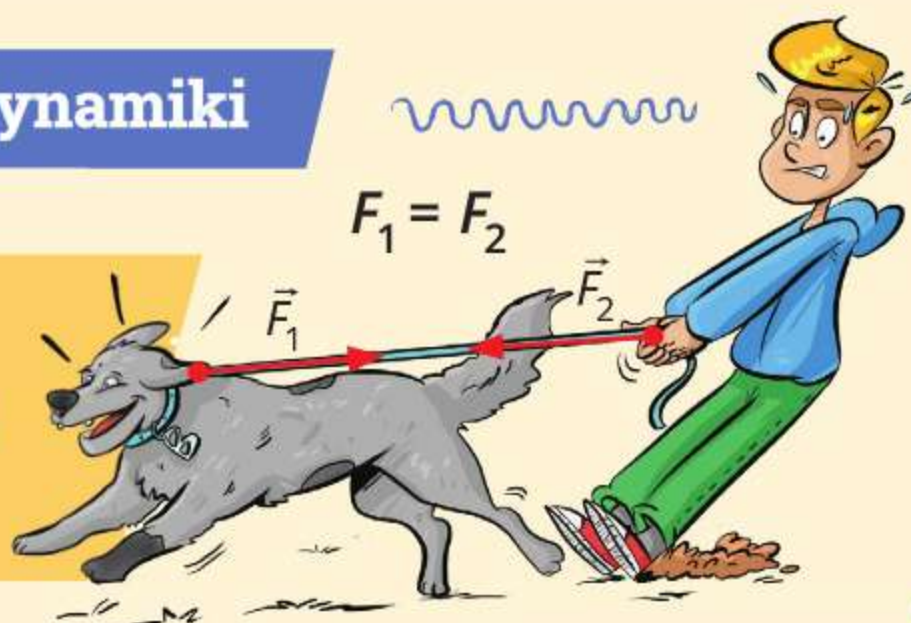


siły równoważące się

Wypadkowa tych sił jest równa zero.

Trzecia zasada dynamiki

- Oddziaływania ciał są zawsze wzajemne.
- Dwa ciała oddziałują na siebie siłami o tej samej wartości i kierunku, lecz przeciwnych zwrotach.



Sprawdź się!

Do obliczeń przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego równą $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, chyba że w treści zadania podano inaczej.

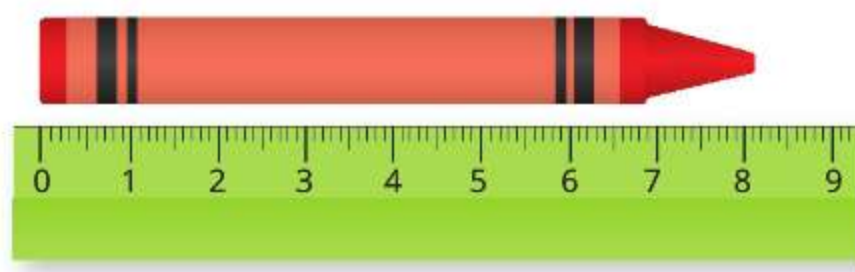
- 1.** Jaja kurze sprzedawane w Polsce są dzielone ze względu na masę. XL to jajka bardzo duże, o masie większej niż 73 g; L to jajka duże, o masie większej od 63 g, maksymalnie równej 73 g; M to jajka średnie, ważące od 53 g do 63 g włącznie; S to jajka małe, o masie poniżej 53 g.

- a.** Przerysuj do zeszytu tabelę i uzupełnij ją o informacje dotyczące kategorii jaj.

Oznaczenie jajka	S	M	L	XL
Masa jajka (g)			63–73	> 73

- b.** Zważ jedno z jajek znajdujących się w twojej lodówce (jeśli nie masz w domu wagi, zrób to w szkole) i porównaj wynik z oznaczeniem na jajku (jeśli takie się tam znajduje). Wynik pomiaru zapisz z uwzględnieniem dokładności wagi.
- c.** Zapisz dowolną masę jajka klasy M z podaniem trzech cyfr znaczących.
- d.** W pojemniku jest sześć jajek, a ich łączna masa jest równa 0,392 kg. Oblicz średnią masę jednego jajka. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Do której klasy (ze względu na masę) należy to jajko?

- 2.** Linijką zmierzono długość kredki, a pomiar przedstawiono na ilustracji. Zapisz wynik pomiaru wraz z niepewnością.



- 3.** Wynik pomiaru masy pierścionka odczytany z wyświetlacza wagi był równy 14,25 g. Podana przez producenta dokładność wagi wynosiła 0,1 g. Zapisz wynik pomiaru z uwzględnieniem niepewności pomiarowej.

- 4.** Przepisz do zeszytu poniższe zdania i uzupełnij je nazwami odpowiednich rodzajów oddziaływań.

- a.** Magnesy są przyciągane do drzwi lodówki dzięki oddziaływaniu .
- b.** Potarte o wełniany sweter balony odpychają się dzięki oddziaływaniu .
- c.** Ziemia i Słońce przyciągają się wzajemnie dzięki oddziaływaniu .
- d.** Lina podczas skoku na bungee rozciąga się dzięki oddziaływaniu .

5. Oblicz siłę, jaką Ziemia przyciąga jajko o masie 80 g. Podaj nazwę tej siły.

6. Dwa żuki gnojowe pchają jednocześnie tę samą kulkę pożywienia siłami o tym samym kierunku, przeciwnych zwrotach i wartościach odpowiednio $F_1 = 0,5 \text{ N}$ i $F_2 = 0,3 \text{ N}$. Narysuj w zeszycie obie siły działające na kulkę. Wyznacz graficznie siłę wypadkową i oblicz jej wartość.

7. Bloczek nieruchomy jest stosowany na przykład do wciągania materiałów budowlanych na pewną wysokość. Bloczek umożliwia zmianę zwrotu działania siły, ale nie zmienia jej kierunku i wartości. Siła, jaką lina działa na wiadro, skierowana jest w górę, a siła, jaką człowiek działa na linę, jest skierowana w dół. Przyjmijmy, że siła, jaką człowiek działa na linę, jest równa sile ciężkości działającej na wiadro.

a. Oblicz, jaką siłą należy ciągnąć za linę, jeśli zawieszono na niej wiadro (wraz z zawartością) o masie 12 kg.

b. Przerysuj do zeszytu wiadro i narysuj siły działające na nie w opisanej sytuacji. Ile wynosi siła wypadkowa?

c. Oblicz siłę działającą na hak.

8. Gdy dziewczynka weszła na wagę, waga wskazała 57 kg. Oblicz wartość siły, jaką waga działała na dziewczynkę. W którą stronę zwrócona była ta siła?



9. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

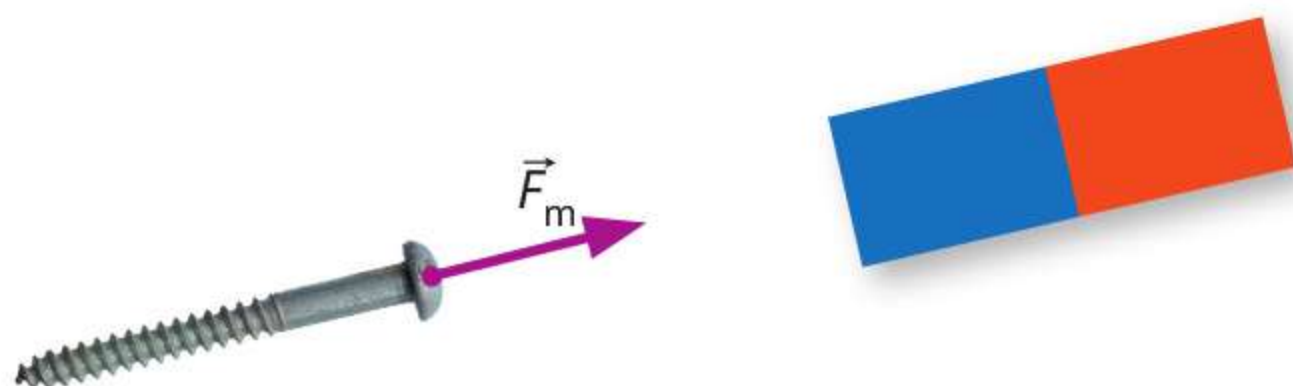
1.	Skutki oddziaływania grawitacyjnego są widoczne wyłącznie wtedy, gdy oddziałujące ciała są daleko od siebie.	P	F
2.	Oddziaływania elektryczne zachodzą tylko wtedy, gdy oddziałujące ciała są ze sobą w bezpośrednim kontakcie.	P	F
3.	Wszystkie oddziaływania w przyrodzie są wzajemne.	P	F
4.	Oddziaływanie sprężyste jest oddziaływaniem bezpośrednim.	P	F

10. Wypełniony helem balon wzniósł się i zatrzymał pod sufitem. Czy sufit działa na balon i czy balon działa na sufit? Uzasadnij odpowiedź.

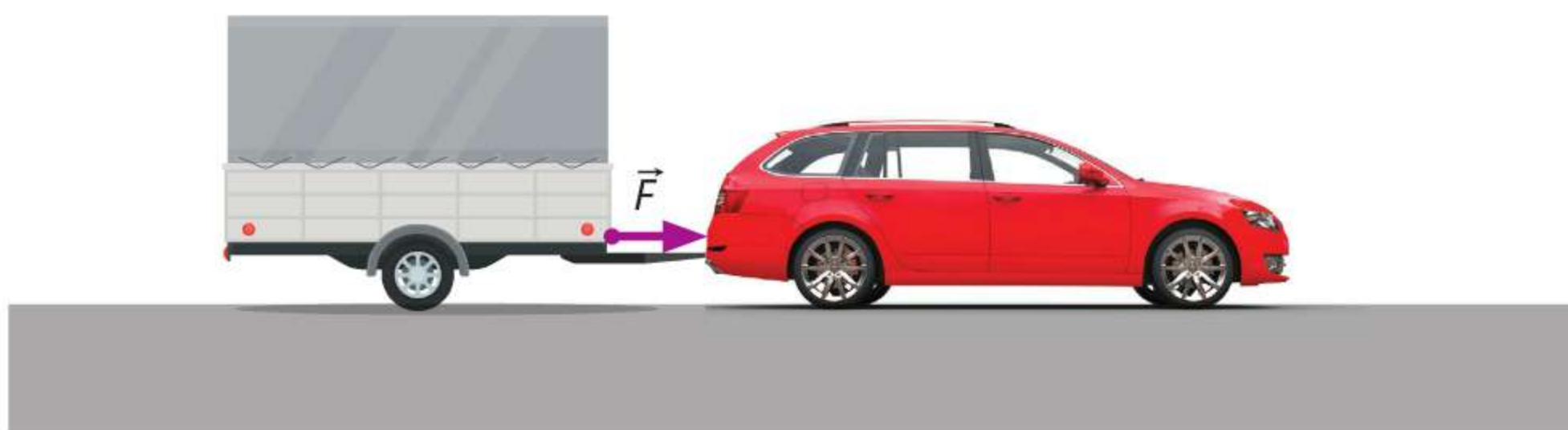
11. Dwa konie ciągną bryczkę. Siły, którymi zwierzęta działają na bryczkę, mają kierunek poziomy, ten sam zwrot i wartości 240 N oraz 254 N. Narysuj schematycznie w zeszycie opisaną sytuację, a następnie przedstaw graficzne dodawanie wektorów tych sił i oblicz wartość siły wypadkowej.

12. Muzyk trzyma w ręce futerał z gitarą. Siły działające na futerał się równoważą. Przerysuj futerał do zeszytu i zaznacz działające na niego siły.

13. Magnes o masie 100 g przyciąga stalową śrubę o masie 20 g siłą o wartości 0,2 N. Czy śruba także przyciąga magnes? Uzasadnij odpowiedź.

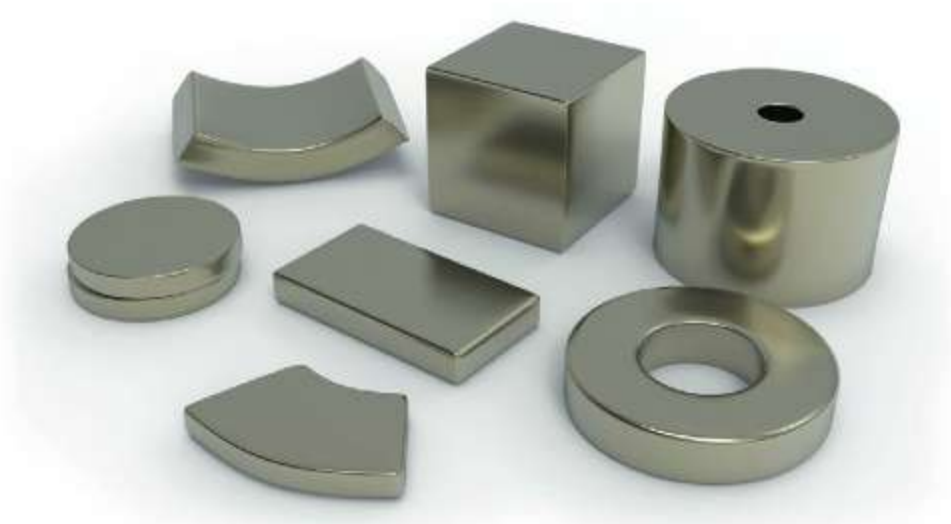


14. Samochód ciągnie przyczepę siłą o wartości 420 N. Wyznacz wartość siły, jaką przyczepa działa na samochód. Określ jej kierunek, zwrot i to, do którego ciała jest ona przyłożona (czyli punkt przyłożenia).



Magnesy neodymowe

Magnesy neodymowe to ciała stałe zbudowane z neodymu, żelaza i boru. Połączenie tych pierwiastków w odpowiednich proporcjach oraz poddanie złożonemu procesowi technologicznemu sprawia, że magnesy te są wyjątkowo silne. Ich wadą jest podatność na korozję i uszkodzenia mechaniczne, np. ukruszenie. Te wady eliminuje się poprzez pokrycie gotowego magnesu dodatkową powłoką. Magnesy neodymowe mogą mieć różne kształty. Są one powszechnie wykorzystywane w życiu codziennym, m.in. w zatrzaskach magnetycznych w torebkach, w zamknięciach drzwi szafek, uchwytach na stalowe narzędzia, a także w konstrukcji słuchawek i silników elektrycznych.



W tabeli poniżej znajdują się informacje o wartości siły $\vec{F}$, jaką należy działać, aby rozdzielić dwa prostopadłościenne magnesy o wysokości 5 mm i podstawie kwadratu o boku a (dla różnych długości tego boku). Jak widać, nawet niewielkie magnesy neodymowe oddziałują ze sobą dużą siłą. Z tego powodu należy korzystać z nich ostrożnie, by na przykład nie spowodować uszczypnięcia lub wręcz stłuczenia ciała, oraz przechowywać je w miejscach niedostępnych dla małych dzieci (połknięcie magnesu może być groźne dla zdrowia). Nie należy ich także używać w pobliżu niektórych urządzeń elektrycznych, bankowych kart magnetycznych oraz nośników danych, bo oddziaływanie magnetyczne może spowodować uszkodzenie takich przedmiotów.

a (mm)	5	10	13	15	20	25
F (N)	3,5	32	47	57	82	101

Sprawdź się!

1. Opisz w zeszycie przebieg doświadczenia, w wyniku którego można otrzymać dane zawarte w tabeli. Zapisz, co jest potrzebne do wykonania tego doświadczenia.
2. Dwa magnesy neodymowe w kształcie prostopadłościanu o wysokości 5 mm i boku podstawy równym 10 mm ustawiono tak, że odpychają się od siebie. Jaka minimalna siła jest niezbędna do tego, aby złączyć ze sobą te magnesy?

- 3.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Dwa magnesy neodymowe mogą się przyciągać lub odpychać.	P	F
2.	Uszkodzenie mechaniczne magnesu nie wymaga bezpośredniego kontaktu z magnesem.	P	F
3.	Siła, jaką magnesy neodymowe oddziałują magnetycznie, zależy od pola ich powierzchni.	P	F
4.	Dwa magnesy, które mają różne kształty, nie oddziałują ze sobą.	P	F
5.	Bankową kartę magnetyczną można bezpiecznie przechowywać blisko magnesu neodymowego.	P	F

- 4.** Trzy magnesy ustawiono obok siebie. Środkowy magnes jest przyciągany przez magnes z lewej strony, a odpychany przez ten z prawej strony. Przerysuj środkowy magnes do zeszytu, zaznacz działające na niego siły i wyznacz graficznie siłę wypadkową.



- 5.** Oblicz masę odważnika, który należy zawiesić na jednym z dwóch prostokątnych magnesów o wysokości 5 mm i boku podstawy równym 25 mm, aby siła oddziaływania grawitacyjnego między odważnikiem i Ziemią miała wartość umożliwiającą rozdzielenie magnesów. Sporządź rysunek ilustrujący tę sytuację i zaznacz siłę, jaką odważnik działa na magnes.

DZIAŁ



WŁAŚCIWOŚCI MATERII

Od czego zależy ciśnienie?

Dlaczego ciała pływają?

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!



7. Ciecze i gazy

- ▶ Jakie właściwości mają ciecze i gazy?
- ▶ Co to jest napięcie powierzchniowe?



Każda substancja w otaczającym nas świecie ma swoje charakterystyczne właściwości. To one pozwalają nam odróżniać od siebie poszczególne ciecze, gazy czy ciała stałe, a także wykorzystywać je do konkretnych celów. Niektóre z tych właściwości zostały opisane poniżej.

Ściśliwość wskazuje nam, jak bardzo można ścisnąć ciało, czyli na ile da się zmienić jego objętość pod wpływem siły. Ściśliwość jest związana z siłami wzajemnego oddziaływania między atomami lub cząsteczkami substancji. Największą ściśliwość wykazują gazy (ponieważ w normalnych warunkach odległości między ich cząsteczkami są dosyć duże), natomiast ciecze i ciała stałe są niemal nieściśliwe. Ściśliwość gazów pozwala zgromadzić dużą ich ilość w małej objętości, czyli na przykład zamknąć w niewielkim pojemniku dwutlenek węgla (gaz) wystarczający do napompowania koła rowerowego lub powietrze do czyszczenia klawiatury (ryc. 7.1.).

Ryc. 7.1. Pompka rowerowa na naboje z dwutlenkiem węgla oraz pojemnik ze sprężonym powietrzem do czyszczenia klawiatury



Badamy ściśliwość powietrza i wody

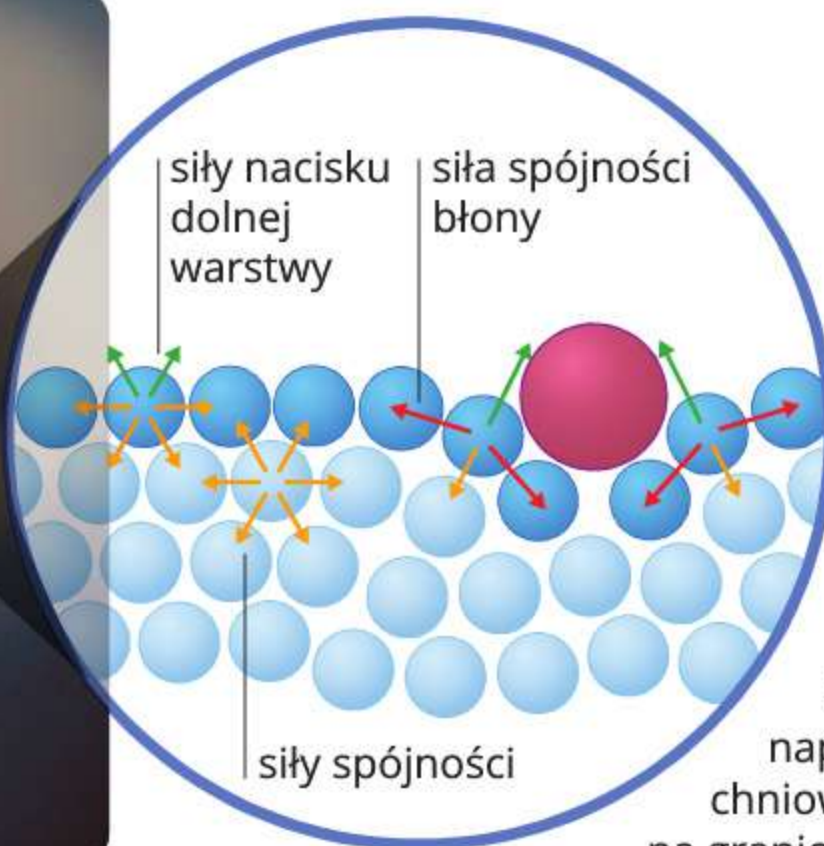
1. Do doświadczenia będą potrzebne: strzykawka lekarska, woda i gumka do ścierania.
2. Przesuń tłok tak, żeby znajdował się w połowie objętości strzykawki.
3. Wbij wylot strzykawki w gumkę, aby szczelnie go zatkać.
4. Naciskaj na tłok, a następnie go puszczaj.
5. Ciągnij za tłok strzykawki, a następnie go puszczaj.
6. Wypełnij strzykawkę wodą do połowy objętości. Powtórz czynności od 3 do 5.
7. Porównaj wyniki swoich obserwacji dla powietrza i wody oraz zapisz je w zeszycie.

Siły spójności to siły przyciągania między cząsteczkami tej samej substancji. Siły te są odpowiedzialne m.in. za powstawanie i kształt kropli. Wzajemnie przyciągające się cząsteczki wody nadają spadającej kropli kształt kuli (ryc. 7.2.).

Skutkiem działania sił spójności jest także **napięcie powierzchniowe**, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak sprężysta błona. Zjawisko to możemy obserwować na przykład na powierzchni wody. Wszystkie sąsiadujące ze sobą cząsteczki wody przyciągają się wzajemnie, ale te, które znajdują się na granicy z powietrzem, przyciągane są tylko przez cząsteczki znajdujące się po bokach oraz tuż pod nimi (ryc. 7.3.). Nie mogą się jednak za bardzo do nich zbliżyć, ponieważ ciecze są nieściśliwe.



Ryc. 7.2. Krople wody powstają dzięki działaniu sił spójności.



Ryc. 7.3. Zjawisko napięcia powierzchniowego powstaje na granicy cieczy i gazu.



Ryc. 7.4. Na zdjęciu uchwycono cienką warstwę wody opływającą sportowca.

I właśnie dlatego tworzą sprężystą błonę utrzymującą na powierzchni wody inne ciała lub opływającą ciała wynurzające się z wody (ryc. 7.4.).

Napięcie powierzchniowe utrudnia wnikanie wody między włókna tkanin, więc usuwanie niektórych zanieczyszczeń samą wodą nie jest dostatecznie skuteczne. Dlatego do prania ubrań używamy detergentów, które zmniejszają napięcie powierzchniowe. Podobnie działa mydło, więc używanie go podczas mycia rąk pozwala skuteczniej usuwać zanieczyszczenia.

Zbadaj to sam!

Badamy zjawisko napięcia powierzchniowego

1. Do doświadczenia będą potrzebne: szklanka wypełniona wodą, kilka spinaczy biurowych oraz detergent (mydło w płynie lub płyn do zmywania naczyń).
2. Jeden ze spinaczy rozegnij i uformuj z niego uchwyt ułatwiający położenie na powierzchni wody pozostałych spinaczy.
3. Połóż powoli spinacze na powierzchni wody (jest to możliwe, choć wymaga treningu).
4. Przyjrzyj się powierzchni wody w miejscach kontaktu ze spinaczami. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.
5. Do wody, na której powierzchni znajdują się spinacze, dodaj ostrożnie kilka kropli detergentu, najlepiej po ścianie naczynia.
6. Zapisz w zeszycie, jakie były skutki dodania detergentu.

Badamy siły przylegania

1. Do doświadczenia będą potrzebne: liść sałaty, liść białej kapusty, zakraplacz oraz woda.
2. Za pomocą zakraplacza nanieś po kilka kropli wody na powierzchnię liści.
3. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia dotyczące kształtu kropli na liściach.



Ryc. 7.5. Unoszenie się wody w wąskiej rurce jest spowodowane istnieniem sił przylegania.

Woda, podobnie jak inne ciecze, oddziałuje również z ciałami stałymi, z którymi się styka. Oddziaływanie to nazywamy przyleganiem.

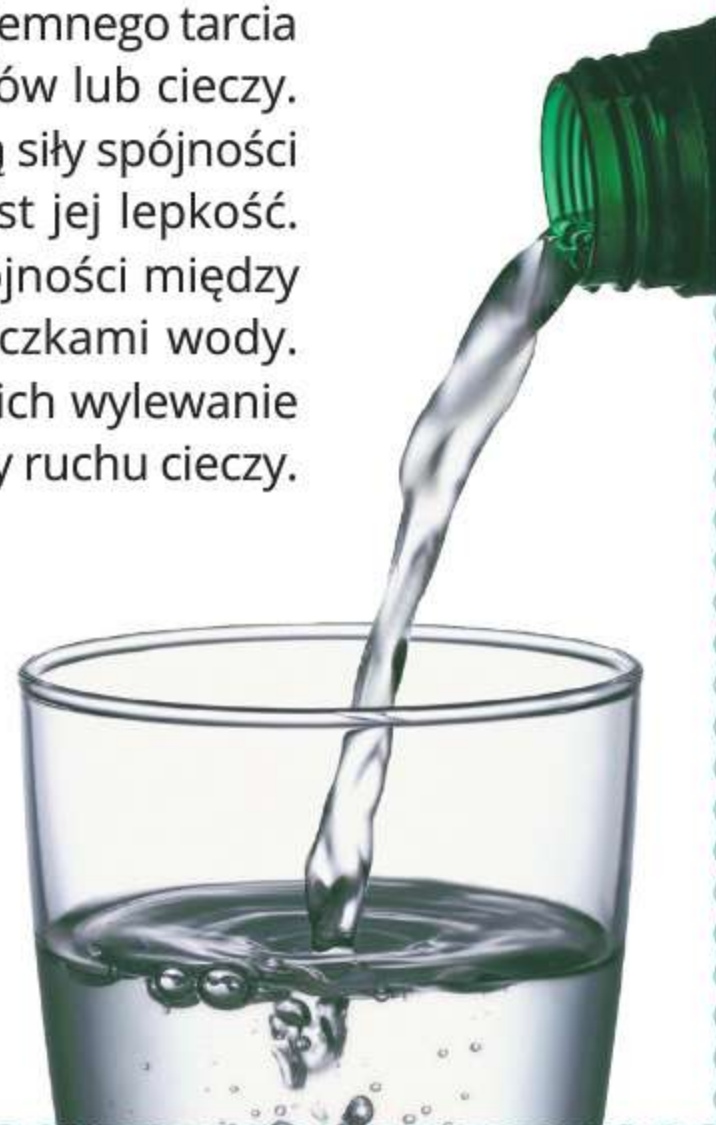
Siły przylegania między cząsteczkami wody i szkła są większe niż siły spójności między cząsteczkami wody, dlatego tuż przy ścianie szklanego naczynia można zauważyć unoszenie się powierzchni cieczy*. Podnoszenie się poziomu wody w tym miejscu jest wyraźnie widoczne zwłaszcza w bardzo wąskich naczyniach (ryc. 7.5.). Obserwowany tu efekt jest jednym z mechanizmów odpowiedzialnych za transport wody w górę roślin (woda ma takie właściwości w kontakcie nie tylko ze szkłem, ale także z materiałem kanalików wewnątrz roślin). W ten sposób rośliny czerpią wodę (a wraz z nią substancje odżywcze) i dostarczają ją nawet do najwyższych znajdujących się liści.

Dowiedz się więcej!

Lepkość

Lepkość i gęstość cieczy to dwie różne cechy, który bywają mylone. Na przykład olej jest bardziej lepki od wody, ale jego gęstość jest mniejsza od gęstości wody.

Lepkość to właściwość substancji wynikająca z wzajemnego tarcia przesuwających się względem siebie warstw gazów lub cieczy. Właściwość ta wynika z sił spójności. Im większe są siły spójności między cząsteczkami substancji, tym większa jest jej lepkość. Kisiel ma większą lepkość niż woda, gdyż siły spójności między jego cząsteczkami są większe niż między cząsteczkami wody. Im większą lepkość mają ciecze, tym dłużej trwa ich wylewanie z naczynia (fot.). Ze wzrostem lepkości rosną opory ruchu cieczy.



* Kształt powierzchni cieczy w miejscu stykania się z naczyniem nazywamy meniskiem. Menisk może być wypukły, gdy siły spójności są większe niż siły przylegania, lub wklęsły, gdy jest odwrotnie.

Powierzchnie hydrofobowe



Powierzchnia hydrofobowa (czyli „niełubiąca wody”) charakteryzuje się tym, że siły przylegania do niej wody są dużo mniejsze niż siły spójności między cząsteczkami wody w kropli. Woda nie zwilża takiej powierzchni, czyli nie rozplywa się po niej, lecz tworzy zwarte krople*.



Tkaniny zabezpieczone powłoką hydrofobową nie nasiakają wodą. Wykorzystuje się je m.in. do produkcji kurtek, butów i namiotów.



Z hydrofobowej powierzchni liścia lotosu woda z łatwością usuwa zanieczyszczenia. Tak zwany efekt lotosu stał się inspiracją do zaprojektowania i wyprodukowania powierzchni samoczyszczącej.

Na szybie pokrytej powłoką hydrofobową tworzą się większe krople wody niż na zwykłej szybie. Takie duże krople zabierają ze sobą więcej drobin zanieczyszczeń, a tym samym oczyszczają powierzchnię skuteczniej niż małe. Powierzchnie z powłoką hydrofobową nazywa się samoczyszczącymi.



* Przeciwnie właściwości ma powierzchnia hydrofilowa (czyli „wodolubna”).

Hydrofobowy piasek, zwany „magicznym”, jest atrakcyjną zabawką. Otrzymuje się go ze zwykłego piasku po odpowiedniej obróbce chemicznej.



Podsumujmy!

F

- ▶ **Siły spójności** to siły oddziaływania między cząsteczkami tej samej substancji. Są one odpowiedzialne m.in. za tworzenie się kropli i napięcie powierzchniowe.
- ▶ **Napięcie powierzchniowe** to zjawisko, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak sprężysta błona.
- ▶ **Siły przylegania** to siły oddziaływania cieczy z ciałem stałym.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Gazy są ściśliwe.	P	F
2.	Siły spójności to siły odpychania między cząsteczkami różnych substancji.	P	F
3.	Krople wody powstają w wyniku oddziaływania cząsteczek wody na siebie nawzajem.	P	F
4.	Woda przenosi się z korzeni do liści dlatego, że wewnątrz roślin nie ma grawitacji.	P	F

2. Przygotuj dwa równe kawałki sztywnego, gładkiego plastiku (np. linijki). Zwilż je niewielką ilością wody i połącz ze sobą. Dlaczego dość trudno jest rozdzielić te kawałki?

3. Wyjaśnij, dlaczego pranie bez detergentu jest dużo trudniejsze niż z użyciem proszku.

4. Na patelni umieść kroplę oleju oraz kroplę wody. Przyjrzyj się obu kroplom. W którym przypadku wzajemne oddziaływanie cząsteczek cieczy jest większe od oddziaływania cząsteczek cieczy z cząsteczkami ciała stałego?

5. Wykonaj z drutu ramkę w kształcie okręgu. Wybierz dwa punkty wyznaczające średnicę tego okręgu i w każdym z nich przywiąż jeden koniec nitki, dłuższej od średnicy mniej więcej o 1 cm (po zamocowaniu). Zanurz tak przygotowaną ramkę w płynie do robienia baniek mydlanych. Po wyjęciu z płynu na ramce powinna powstać błona składająca się z dwóch części przedzielonych nitką. Zaobserwuj, co się stanie, gdy przebijesz jedną z części tej błony. Wyjaśnij zachowanie nitki.

8. Gęstość materii

- ▶ Jaką wielkość fizyczną nazywamy gęstością?
- ▶ Od czego zależy gęstość substancji?



Kuchnia to miejsce, w którym przygotowujemy i jemy posiłki, ale z łatwością zaobserwujemy w niej też zjawiska fizyczne oraz znajdziemy substancje w różnych stanach skupienia i o różnych właściwościach.

Mleko mieszczące się w szklance ma masę 230 g, cukier trzcinowy w tej samej szklance – 200 g, a mąka pszenna – 170 g (ryc. 8.1.). Identyczne objętości różnych produktów spożywczych mają różne masy. Właściwością fizyczną, która o tym decyduje, jest gęstość.



Ryc. 8.1. Te same objętości różnych produktów mają różne masy.

Gęstość to wielkość fizyczna, która charakteryzuje każdą substancję. Informuje nas ona, jaka jest masa danej substancji o jednostkowej objętości. Na przykład woda ma gęstość $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a to oznacza, że 1 m^3 wody ma masę 1000 kg; powietrze ma gęstość zaledwie $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, czyli 1 m^3 powietrza ma masę 1,2 kg.

Zobacz, jak to zrobić!

Sos winegret z produktów o różnej gęstości

Winegret to sos, dodatek do sałat. Przyrządza się go najczęściej z oliwy i soku z cytryny lub octu winnego, doprawia solą i pieprzem. Już starożytni Rzymianie używali tych składników do wzbogania smaku surowych warzyw. Można stworzyć różne wersje sosu winegret. Na przykład miodowo-musztardowy składa się z:

- 8 łyżek oliwy,
- 3 łyżek świeżo wyciśniętego soku z cytryny,
- 1 łyżki musztardy,
- 1 łyżki jasnego miodu,
- po ¼ łyżeczki soli i świeżo mielonego pieprzu.

1. Składniki sosu umieszczamy w słoiku. Miód, musztarda oraz sól opadają na dno słoika, tuż nad nimi znajduje się sok z cytryny. Na wierzchu widać warstwę oliwy, a na jej powierzchni dzięki napięciu powierzchni-

wemu unosi się część pieprzu. Pozostała część pieprzu tonie w oliwie (ryc. a). Okazuje się, że kolejność dodawania składników nie ma wpływu na ułożenie warstw.

2. Zamykamy szczelnie słoik i energicznie nim potrząsamy – aż do uzyskania mieszaniny o jednolitej konsystencji (ryc. b). Uzyskany sos jest zawiesiną. Składają się na nią ciecze, ciała stałe oraz gazy (powietrze), które zostały zmieszane podczas przyrządzania sosu.

3. Sos winegret przyrządza się tuż przed jego podaniem. Jeśli pozostawimy go w słoiku na dłużej, to składniki tworzące zawiesinę samoistnie się rozdzielą. Znowu pojawi się warstwa oliwy, a pod nią sok z cytryny, musztarda, miód i drobiny pieprzu. Oliwa wypływa na wierzch, ponieważ ma najmniejszą gęstość (ryc. c).



Jeśli gęstość substancji oznaczmy symbolem d , masę symbolem m , a objętość symbolem V , to zależność pozwalającą obliczyć gęstość substancji zapiszemy następująco:



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

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

Jeżeli jakieś ciało (np. sos winegret) wykonane jest z substancji o różnych gęstościach, możemy obliczyć jego **gęstość średnią**, czyli dzielimy masę całego ciała przez jego objętość.

Podstawową jednostką gęstości jest $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (kilogram na metr sześcienny). Na co dzień możemy spotkać również inne jednostki gęstości: $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ (gram na centymetr sześcienny), $\frac{\text{g}}{\text{ml}}$ (gram na mililitr) lub $\frac{\text{kg}}{\text{l}}$ (kilogram na litr) – zawsze jest to jednostka masy dzielona przez jednostkę objętości.

Zobacz, jak to zrobić!

W słoiku znajduje się przecier pomidorowy o objętości 300 cm^3 i masie 312 g.

Obliczmy gęstość tego przecieru. Wynik wyrażmy w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Dane: $m = 312 \text{ g}$, $V = 300 \text{ cm}^3$

Szukane: d

Rozwiązanie:

Gęstość, masę oraz objętość łączy zależność:

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

Podstawiamy dane do wzoru i obliczamy:

$$d = \frac{312 \text{ g}}{300 \text{ cm}^3} = 1,04 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Odpowiedź: Gęstość przecieru pomidorowego jest równa $1,04 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.



Tabela 8.1. Gęstość niektórych składników sosu winegret w temperaturze pokojowej

Substancja	Wartość liczbową gęstości	Jednostka gęstości
oliwa	920	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
ocet 10 %	1,01	$\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
miód	1,38–1,45	$\frac{\text{g}}{\text{ml}}$
syrop klonowy	1,38	$\frac{\text{kg}}{\text{l}}$
sól kamienna (nierozdrobniona)	2,16	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
pieprz	1,67–6,37	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Gęstość substancji zależy od jej składu oraz stanu skupienia. W tabeli 8.1. znajdują się informacje o gęstości składników, z których można zrobić sos winegret, podane w różnych jednostkach (istnieją różne rodzaje miodu i pieprzu, stąd ich gęstości zawarte są w pewnych przedziałach). Aby móc porównać gęstości substancji, należy je zapisać w takich samych jednostkach.

W naszym przepisie na sos winegret objętość składników została podana w łyżkach lub łyżeczkach (jedna łyżka ma zazwyczaj pojemność 15 ml, a jedna łyżeczka – 5 ml). Ponieważ składniki sosu mają różną gęstość, ta sama objętość różnych substancji ma różną masę. Inna jest zatem masa łyżki oliwy, łyżki soku z cytryny czy łyżki miodu.

Rozglądaj się wokół!

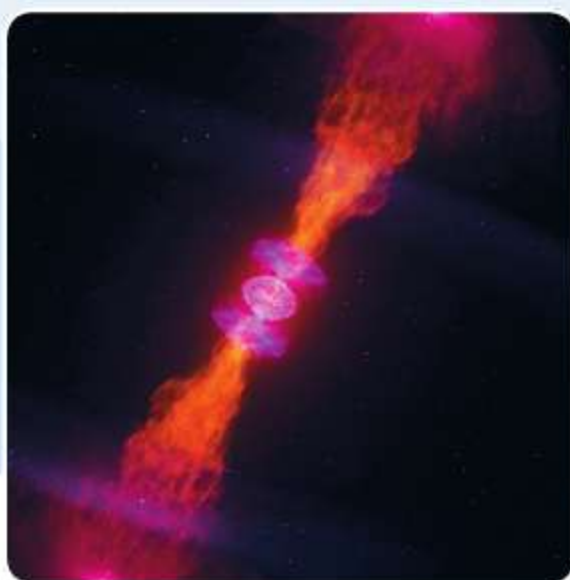
Gęstość substancji wokół nas

W zależności od przeznaczenia przedmiotu do jego wykonania używane są materiały o odpowiednich właściwościach, np. o określonej gęstości. We Wszechświecie istnieją obiekty o niewyobrażalnej gęstości.



Styropian, którego gęstość wynosi zaledwie $12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, może być wykorzystywany do wypełniania kamizelek ratunkowych.

Materia wewnątrz gwiazdy neutronowej jest tak ściśnięta, że jej gęstość jest ogromna – wynosi ponad 100 000 000 000 000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Do napełniania balonów powszechnie używa się helu, którego gęstość w zwykłych warunkach wynosi $0,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Aluminium wykorzystuje się do budowy elementów pojazdów mechanicznych, gdy zależy nam na tym, by ich masa była jak najmniejsza. Gęstość aluminium wynosi $2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a gęstość stali $7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, jednak wyższa cena aluminium powoduje, że powszechnie nie produkuje się aut w całości z aluminium, lecz głównie ze stali.



Złoto w porównaniu z innymi metalami ma bardzo dużą gęstość, bo aż $19\,300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Zobacz, jak to zrobić!

- 1.** Miód rzepakowy ma gęstość $1,4 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$. Wyrażmy tę gęstość w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Aby zamienić jednostki gęstości, należy gramy (g) zamienić na kilogramy (kg), a mililitry (ml) na metry sześcienne (m^3).

$$1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg}, 1 \text{ ml} = \frac{1}{1000} \text{ litra}, 1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3, 1 \text{ dm} = \frac{1}{10} \text{ m}, \text{ zatem } 1 \text{ dm}^3 = \frac{1}{1000} \text{ m}^3.$$

Oznacza to, że $1 \text{ ml} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ m}^3$. Przeliczamy jednostki gęstości miodu:

$$1,4 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,4 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ kg}}{\frac{1}{1\,000\,000} \text{ m}^3} = 1,4 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1\,000\,000}{1} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,4 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Odpowiedź: Gęstość miodu rzepakowego jest równa $1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- 2.** Oliwa ma gęstość $920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Wyrażmy tę gęstość w $\frac{\text{g}}{\text{ml}}$.

$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ litrów}$, $1 \text{ liter} = 1000 \text{ ml}$. Oznacza to, że $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ ml}$.

Przeliczamy jednostki gęstości oliwy:

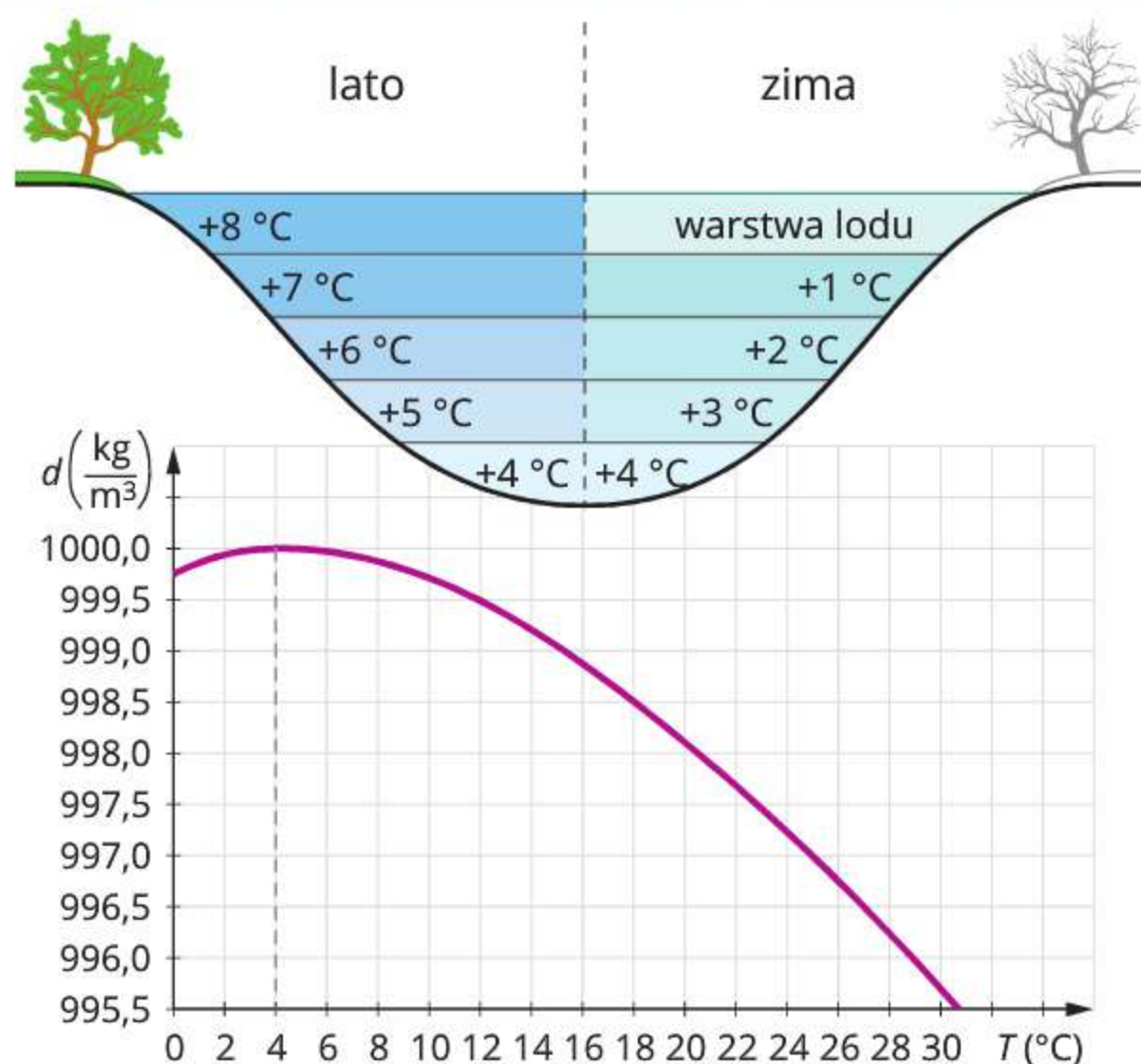
$$920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 920 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1\,000\,000 \text{ ml}} = 920 \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 0,92 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Odpowiedź: Gęstość oliwy wynosi $0,92 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$.

Dowiedz się więcej!

Gęstość wody

Gęstość substancji zależy od różnych czynników, m.in. od temperatury. Przyjrzyjmy się wodzie – najważniejszej i najbardziej rozpowszechnionej cieczy. Z wykresu zależności gęstości wody od jej temperatury wynika, że gęstość wody zmienia się wraz z temperaturą, a największa jest w temperaturze 4°C . W zbiornikach wodnych woda o największej gęstości znajduje się przy dnie (podobnie jak miód w rozwarstwowanym sosie winegret). Dzięki temu nawet w trakcie silnych mrozów przy dnie rzek lub jezior są warunki do życia zwierząt i roślin wodnych.



Podsumujmy!

► **Gęstość** jest wielkością fizyczną, która informuje nas, jaką masę ma dana substancja o jednostkowej objętości.

► Gęstość danej substancji o masie m i objętości V możemy obliczyć ze wzoru:

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

► **Jednostkę gęstości** wyrażamy jako iloraz jednostki masy i jednostki objętości, np. $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Jednostką gęstości jest na przykład $\frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$.	P	F
2.	Jeżeli ściśniemy watę cukrową, dzięki czemu zmniejszymy jej objętość, to jej gęstość również zmaleje.	P	F
3.	Aby wyznaczyć gęstość danego ciała, można zmierzyć jego masę oraz wyznaczyć objętość.	P	F
4.	W temperaturze pokojowej gęstość wody jest mniejsza od gęstości miodu.	P	F

2. Jogurt o masie 400 g zajmuje objętość 360 cm³. Oblicz gęstość tego jogurtu.

3. W płaskiej łyżce stołowej mieści się 15 g wody albo 9 g mąki. Oblicz, ile razy gęstość wody jest większa od gęstości mąki.

4. Lód i śnieg to woda w stanie stałym. Dlaczego świeży śnieg o objętości 2 litrów ma mniejszą masę niż 2 litry lodu?

5. Pusta aluminiowa puszka po herbatnikach ma masę 135 g i objętość 500 ml.

a. Oblicz gęstość średnią tej puszki.

b. Oblicz, ile razy gęstość średnia puszki jest mniejsza od gęstości materiału, z którego została wykonana.

Przyjmij, że gęstość aluminium jest równa $2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

9. Wyznaczanie gęstości

- ▶ Jak wyznacza się gęstość?
- ▶ Czy ciała o tej samej masie mogą mieć różne objętości?



Z pewnością niejedną raz widzieliście na półkach sklepowych identyczne słoiki z różnymi produktami. Mimo że miały one taką samą pojemność, prawie na pewno różniły się masą, ponieważ wypełnione były produktami o różnych gęstościach.

Zbadaj to sam!

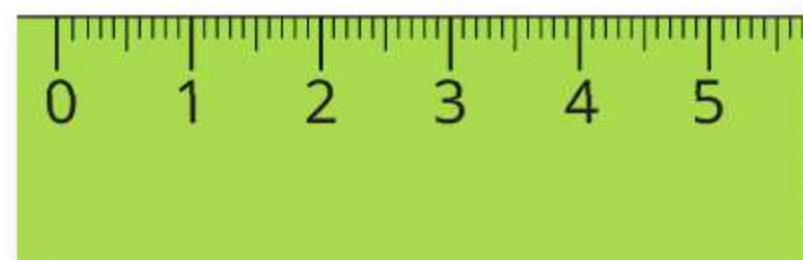
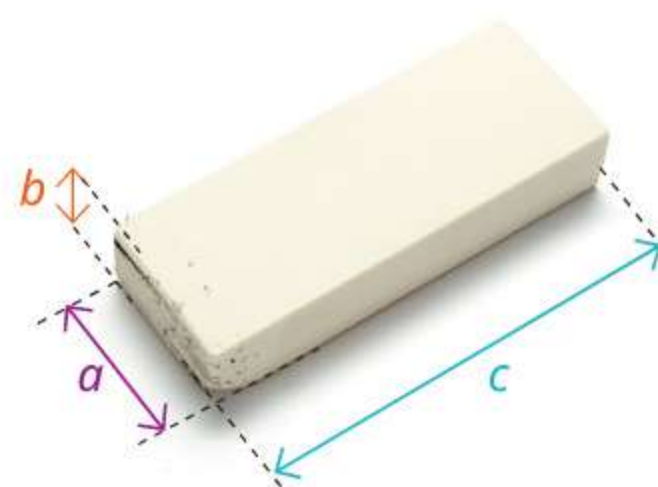
Wyznaczamy gęstość gumki do ścierania (ciała o regularnym kształcie)

1. Do doświadczenia będą potrzebne: prostopadłościenna gumka do ścierania, linijka, waga kuchenna lub laboratoryjna.
2. Zmierz szerokość (a), wysokość (b) i długość (c) gumki za pomocą linijki. Zapisz w zeszycie wyniki pomiarów wraz z niepewnościami pomiarowymi.
3. Oblicz objętość gumki. W tym celu skorzystaj ze wzoru na objętość prostopadłościanu:

$$V = a \cdot b \cdot c$$

4. Wyznacz masę gumki za pomocą wagi. Zapisz w zeszycie wynik pomiaru wraz z niepewnością pomiarową.
5. Oblicz gęstość gumki ze wzoru:

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



Zbadaj to sam!

Wyznaczamy gęstość ziemniaka (ciała o nieregularnym kształcie)

1. Do doświadczenia będą potrzebne: waga, strzykawka ze skalą pojemności, szklanka, woda, pisak, mały ziemniak. Jeżeli cały ziemniak nie mieści się w szklance, to odkrój jego część.
2. Zważ ziemniaka (lub tę jego część, którą umieścisz w szklance). Zapisz wynik pomiaru.
3. Włóż ziemniaka do szklanki i zalej go wodą tak, aby był całkowicie zanurzony. Zaznacz poziom wody na ścianie szklanki. Następnie wyciągnij ostrożnie ziemniaka ze szklanki – cała woda powinna pozostać w naczyniu.
4. Za pomocą strzykawki dolej do szklanki tyle wody, aby osiągnąć uprzednio zaznaczony poziom. Zanotuj objętość dolanej wody. Objętość tej wody jest równa objętości ziemniaka.
5. Gdy znasz już masę oraz objętość ziemniaka, oblicz jego gęstość.



Ryc. 9.1. Masy kostek o takich samych objętościach, ale wykonanych z różnych metali

aluminium



cynk



żelazo



mosiądz



miedź



ołów



Gęstość to wielkość charakterystyczna dla danej substancji. Przedmioty o takich samych objętościach, lecz wykonane z materiałów o różnych gęstościach, mają różne masy (ryc. 9.1.). Ciała o tej samej masie, lecz wykonane z różnych substancji, mają różne objętości. Im mniejsza jest gęstość substancji, tym większa jest objętość przedmiotu o danej masie, który został z tej substancji wykonany (ryc. 9.2.).

Ryc. 9.2. Przedmioty o tej samej masie, wykonane z substancji o różnych gęstościach

Dowiedz się więcej!

Jak obliczyć niepewność pomiaru gęstości gumki do ścierania?

Każdy wynik pomiaru bezpośredniego (takiego jak pomiar masy lub pomiar długości) ma jakąś niepewność pomiaru. Jeśli do obliczeń pewnej wielkości fizycznej (np. gęstości) wykorzystujemy wyniki pomiarów innych wielkości (np. masy i objętości), obliczana wielkość też jest obarczona niepewnością pomiarową.

Prześledźmy sposób, w jaki można obliczyć niepewność pomiaru gęstości gumki. Objętość gumki wyznaczona za pomocą cylindra miarowego wynosi 14 cm^3 , a masa zmierzona za pomocą wagi kuchennej to 22 g . Najmniejsza działka użytego cylindra miarowego (takiego jak na fotografii) to 1 ml , zatem niepewność pomiaru objętości gumki wynosi $\pm 1 \text{ cm}^3$. Oznacza to, że rzeczywista objętość gumki zawiera się w przedziale od $V_{\min} = 13 \text{ cm}^3$ do $V_{\max} = 15 \text{ cm}^3$. Pomiaru masy dokonano z dokładnością $\pm 1 \text{ g}$, więc rzeczywista masa gumki zawiera się w przedziale od $m_{\min} = 21 \text{ g}$ do $m_{\max} = 23 \text{ g}$.

Gęstość gumki obliczona na podstawie wyników pomiarów to:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{22 \text{ g}}{14 \text{ cm}^3} \approx 1,57 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

A teraz podstawmy do wzoru na gęstość odpowiednie masy i objętości z krańców przedziałów, tak by obliczyć możliwą maksymalną i minimalną gęstość gumki:

$$d_{\max} = \frac{m_{\max}}{V_{\min}} = \frac{23 \text{ g}}{13 \text{ cm}^3} \approx 1,77 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

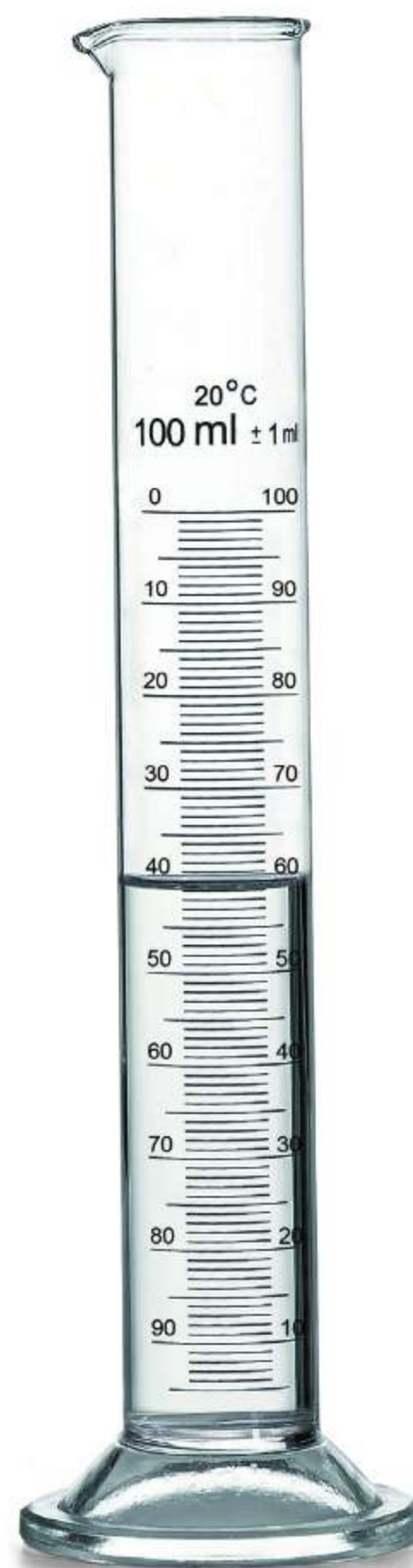
$$d_{\min} = \frac{m_{\min}}{V_{\max}} = \frac{21 \text{ g}}{15 \text{ cm}^3} = 1,40 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Jako niepewność pomiaru gęstości przyjmujemy największą różnicę między gęstością d a gęstością maksymalną $d_{\max}$ lub minimalną $d_{\min}$.

$$1,77 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 1,57 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,20 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wobec tego gęstość gumki zapisana wraz z niepewnością pomiarową to:

$$d = (1,57 \pm 0,20) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$



Podsumujmy!

- ▶ Aby doświadczalnie wyznaczyć gęstość ciała, należy zmierzyć jego **objętość i masę**.
- ▶ Każdy pomiar wykonujemy zawsze z określoną **dokładnością**. Wynik pomiaru zawsze obarczony jest **niepewnością pomiarową**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Jednostką gęstości jest $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.	P	F
2.	Spośród ciał o takiej samej masie mniejszą objętość ma to, którego gęstość jest mniejsza.	P	F
3.	Im większa jest gęstość substancji, z której wykonane jest ciało, tym mniejsza jest masa ciała o danej objętości.	P	F
4.	Aby wyznaczyć gęstość cieczy, wystarczy zmierzyć jej masę i ciężar.	P	F

2. Sześcienna kostka wykonana ze stali ma masę 61,3 g. Długość krawędzi tej kostki jest równa 2 cm. Oblicz gęstość stali, z której wykonano kostkę.

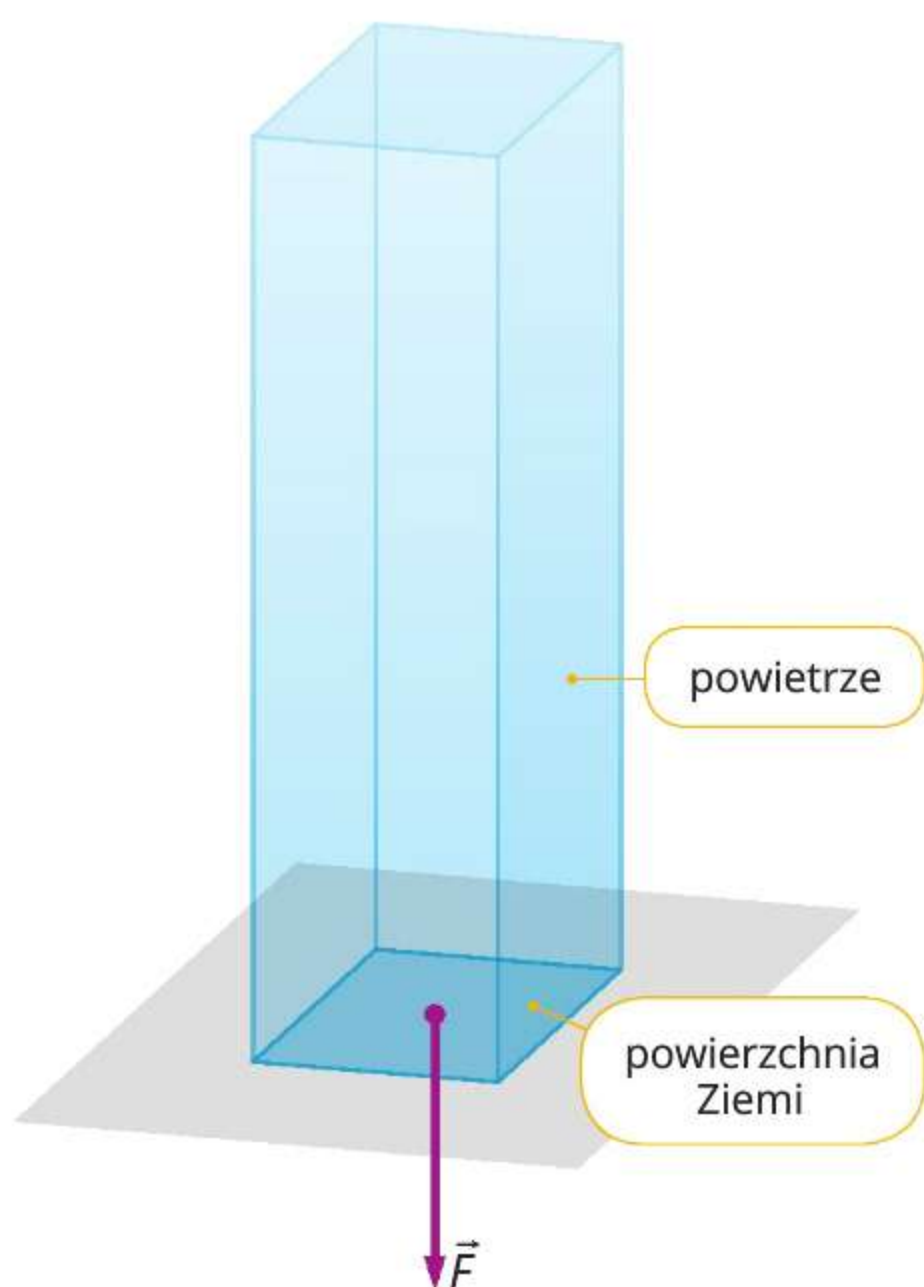
3. Podzielcie się na zespoły i zrealizujcie projekt grupowy polegający na samodzielnym wyznaczeniu gęstości jednego z ciał, np. jabłka, książki, klucza, mydła. Porównajcie uzyskane przez siebie wyniki z wartościami, które można odszukać w różnych źródłach.

4. W filmie *Złoto dla zuchwałych* (z 1970 roku) grupa amerykańskich żołnierzy zdobyła hitlerowskie zapasy złota. Jedna sztaba tego złota miała wymiary 25 cm × 7 cm × 3,5 cm, a w skrzynce mieściło się 10 sztab. Oblicz masę zawartości takiej skrzynki. Gęstość złota jest równa $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

- 5*. Uczniowie planują wyznaczyć gęstość miedzi z jak największą dokładnością. Wyjaśnij, dlaczego do pomiaru długości boku prostopadłościennego kawałka miedzi powinni użyć przyrządu o jak największej dokładności. Wskazówka: przeczytaj *Dowiedz się więcej!* i skorzystaj z informacji.

10. Siła parcia i ciśnienie

- ▶ Czym jest siła parcia?
- ▶ Jaką wielkość fizyczną nazywamy ciśnieniem?



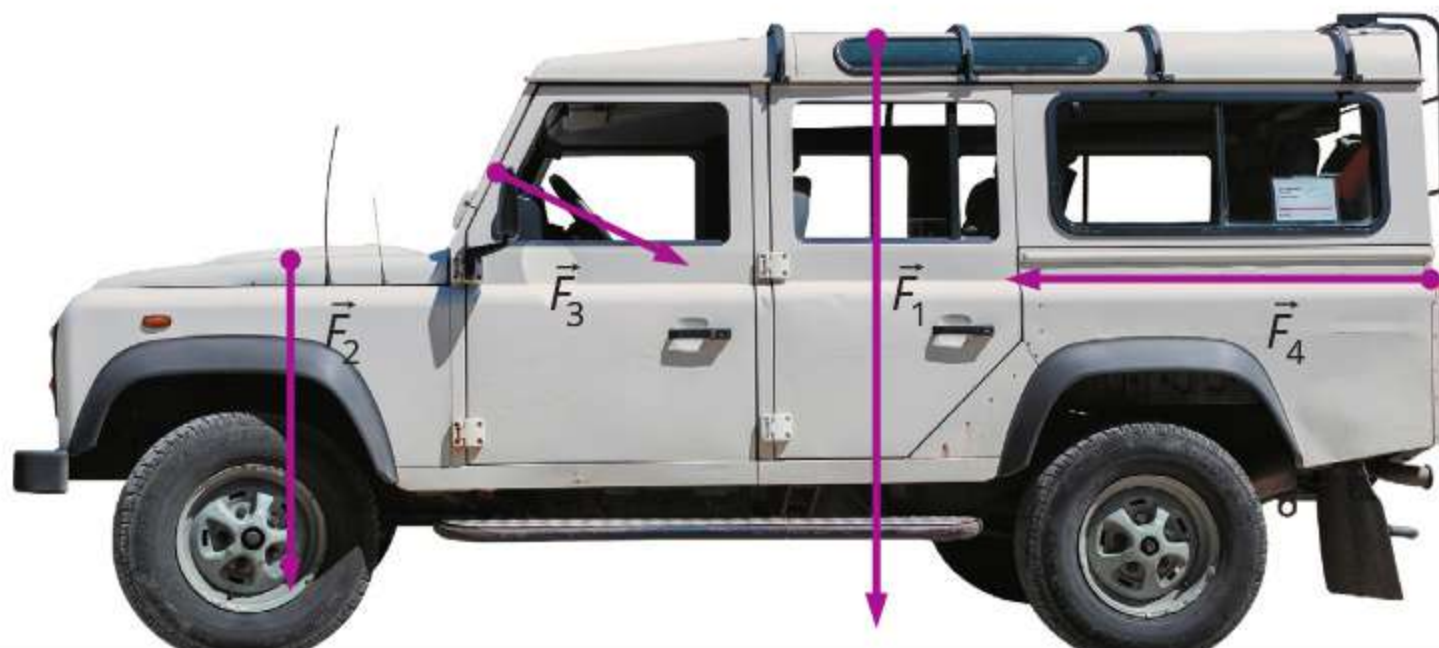
Ryc. 10.1. Słup powietrza atmosferycznego działa siłą nacisku na powierzchnię Ziemi.

Ziemia jest otoczona atmosferą, którą tworzy mieszanina gazów. Gazy te mają masę, zatem utrzymuje je wokół Ziemi siła ciężkości. Atmosfera rozciąga się do 150 km nad powierzchnią naszej planety. Gdy chcemy opisać pogodę, odczytujemy z przyrządów pomiarowych takie właściwości atmosfery, jak temperatura powietrza i ciśnienie atmosferyczne.

Powietrze otaczające Ziemię naciska na jej powierzchnię. Aby obliczyć siłę tego nacisku, warto wyobrazić sobie słup powietrza (np. w kształcie prostopadłościanu) znajdujący się nad wybranym fragmentem powierzchni Ziemi (ryc. 10.1.). W tym przypadku wartość siły nacisku jest równa ciężarowi tego słupa powietrza, a jej kierunek i zwrot są zgodne z kierunkiem i zwrotem ciężaru słupa. Siła nacisku jest wywierana na Ziemię i jest prostopadła do jej powierzchni.

Powietrze atmosferyczne naciska nie tylko na Ziemię, ale także na wszystkie ciała, które otacza. Podobnie woda oddziałuje na każde ciało, które jest w niej zanurzone. I zawsze ten nacisk jest prostopadły do powierzchni ciała (ryc. 10.2.). Każdą siłę nacisku wywieranego przez gaz lub ciecz prostopadle do powierzchni ciała nazywamy **siłą parcia**. Z tego powodu określenia „siła nacisku” i „siła parcia” często stosuje się wymiennie.

Ryc. 10.2. Siły nacisku (parcia) atmosfery działające na różne powierzchnie nadwozia samochodu



Zbadaj to sam!

Obserwujemy skutki działania siły nacisku powietrza

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa takie same przedmioty z przyssawkami, np. przyrządy do przenoszenia szyb, gumowe przepychacze do kanalizacji lub zabawki.
2. Ustaw oba przedmioty tak, żeby stykały się przyssawkami.
3. Przyciśnij do siebie gumowe przyssawki (w przyrządzie do przenoszenia szyb wystarczy zamknąć uchwyt) – w ten sposób usuniesz z przestrzeni między nimi część powietrza.
4. Następnie spróbuj oderwać przyssawki od siebie.
5. Wyjaśnij, co jest przyczyną trudności odczuwanych podczas odrywania od siebie przyssawek.



Przyleganie przyssawek jest konsekwencją nacisku powietrza atmosferycznego na powierzchnię, pod którą powietrze jest rozrzedzone. Podobny efekt przynosi pasteryzacja przetworów. Podczas ogrzewania z wnętrza słoika wydostaje się część powietrza. Po ochłodzeniu, podczas którego powietrze nie dostaje się do środka (ze względu na konstrukcję pokrywki i słoika), powietrze z zewnątrz działa na pokrywkę większą siłą nacisku niż powietrze znajdujące się wewnątrz słoika. Dlatego pokrywka staje się wklęsła, a pojemnik szczelnie zamknięty (ryc. 10.3.).

Ciśnienie atmosferyczne, o którym słyszymy w prognozie pogody, to wielkość fizyczna informująca nas o tym, jaka siła nacisku powietrza działa na 1 m^2 powierzchni Ziemi. Jednak o ciśnieniu mówimy nie tylko w odniesieniu do atmosfery ziemskiej, ale także wówczas, gdy źródłem siły nacisku są inne gazy, ciecze i ciała stałe. **Ciśnienie wskazuje, jaka siła nacisku (parcia) działa na 1 m^2 powierzchni.** Ciśnienie oznaczamy literą p .



Ryc. 10.3. Zagłębienie powierzchni pokrywki jest konsekwencją różnicy sił nacisku.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy siłę nacisku słupa powietrza o wysokości 10 km, działającą na twarz człowieka leżącego na plaży. Słup powietrza o tej wysokości stanowi tylko część grubości atmosfery. Przyjmijmy, że powierzchnia twarzy jest równa $0,025 \text{ m}^2$, a gęstość powietrza jest stała i wynosi $1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane: $h = 10 \text{ km}$, $S = 0,025 \text{ m}^2$, $d = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Szukane: F

Rozwiązanie:

Obliczmy masę słupa powietrza w kształcie prostopadłościanu o polu podstawy $0,025 \text{ m}^2$ i wysokości 10 km. W tym celu korzystamy ze wzoru na gęstość:

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

Po obustronnym pomnożeniu przez V , a następnie zamianie równania stronami otrzymujemy:

$$m = d \cdot V$$

Objętość prostopadłościanu jest równa iloczynowi pola podstawy oraz wysokości:

$$V = S \cdot h$$

Wobec tego masa powietrza:

$$m = d \cdot S \cdot h$$

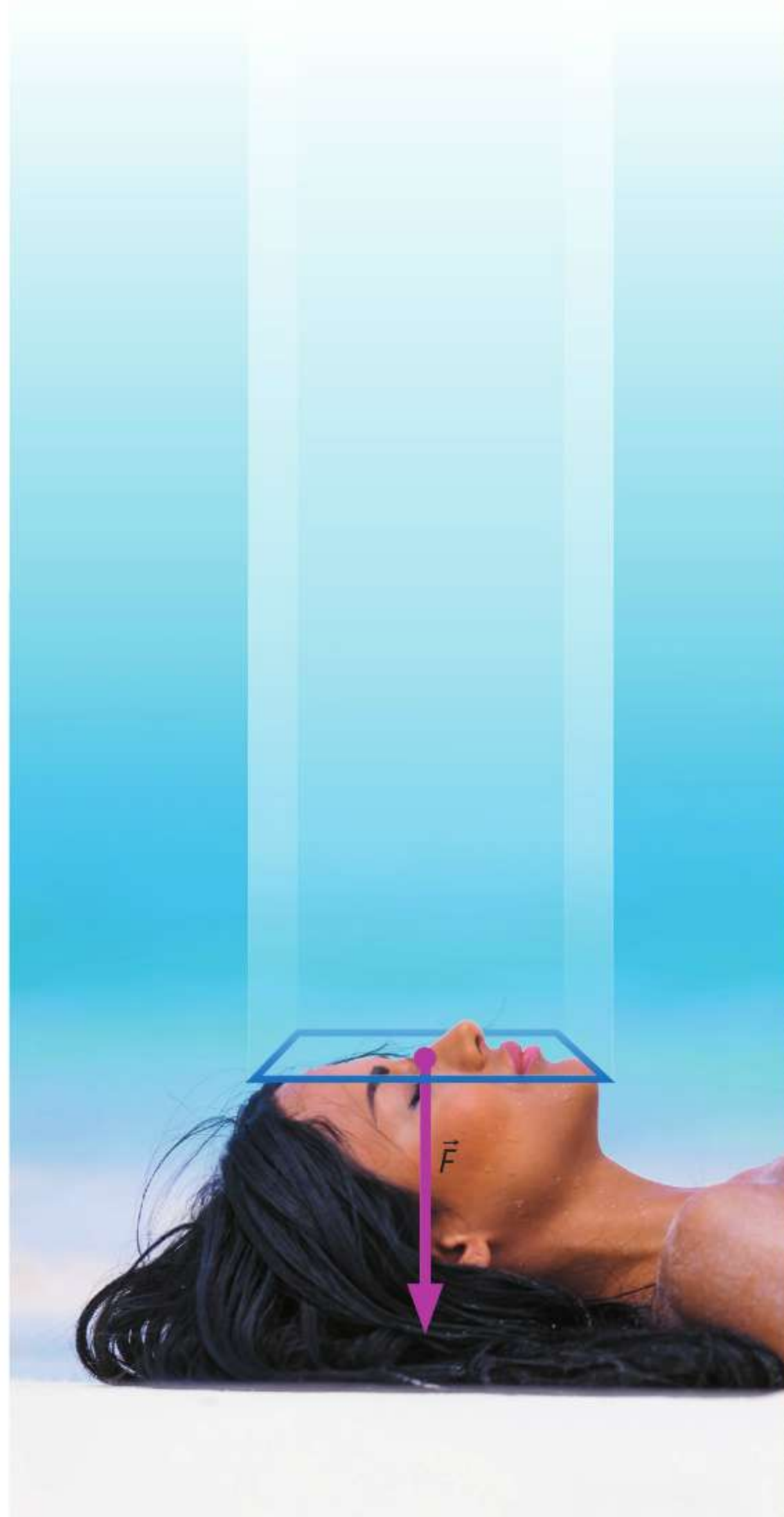
Po wstawieniu danych do wzoru otrzymamy:

$$m = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,025 \text{ m}^2 \cdot 10\,000 \text{ m} = 250 \text{ kg}$$

Siła nacisku powietrza ma taką samą wartość jak ciężar tego słupa powietrza:

$$F_g = m \cdot g = 250 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 2500 \text{ N}$$

Odpowiedź: Siła nacisku tego słupa powietrza wynosi 2500 N. Oznacza to, że na powierzchnię twarzy człowieka działa siła nacisku, której wartość jest równa co najmniej ciężarowi przedmiotu o masie 250 kg. Nasz organizm jest przystosowany do życia w takich warunkach, dlatego nie odczuwamy tej siły.



Dowiedz się więcej!

Atmosfera Ziemi

Atmosfera ziemską rozciąga się wprawdzie do 150 km nad powierzchnią Ziemi, ale gęstość powietrza maleje wraz z wysokością. Powyżej 50 km nad powierzchnią Ziemi znajdziemy mniej niż 1 % całej masy atmosfery ziemskiej, a ok. 90 % masy atmosfery zawiera się w warstwie o grubości 15 km – i to w tym obszarze odbywa się ruch wszelkich statków powietrznych. Im mniejsza gęstość powietrza, tym mniejsze opory ruchu, ale niestety, mniejsza jest również ilość tlenu niezbędnego do wydajnej pracy silników samolotów. Samoloty pokonują trasy międzykontynentalne na wysokości ok. 11–13 km, ponieważ tam właśnie panują najbardziej optymalne warunki do latania.



grubość atmosfery
150 km

promień Ziemi
6400 km

Aby obliczyć ciśnienie p , dzielimy wartość siły nacisku F przez pole powierzchni S , na którą działa ta siła:



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

Jednostką ciśnienia jest **paskal (Pa)**. Jeśli na powierzchnię 1 m^2 działa siła nacisku o wartości 1 N , to ciśnienie wynosi 1 Pa .

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$

Do określania ciśnienia atmosferycznego zazwyczaj używa się innej jednostki, zwanej **hektopaskalem (hPa)** i będącej wielokrotnością paskala: $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$. Ciśnienie atmosferyczne równe $1013,25 \text{ hPa}$ – nazywane **ciśnieniem normalnym** – oznacza, że na każdy 1 m^2 powierzchni Ziemi powietrze działa siłą nacisku o wartości $101\,325 \text{ N}$. Ciśnienie atmosferyczne jest jednym z podstawowych parametrów prognozy pogody. Na mapach przedstawia się obszary o różnych wartościach tego ciśnienia. Obszar wysokiego ciśnienia nazywamy wyżem, a niskiego – niżem. Wiatr to ruch powietrza między obszarami atmosfery o różnej wartości ciśnienia. Zmianom tego parametru mogą towarzyszyć intensywne zjawiska atmosferyczne (np. burze, huragany). Do pomiaru ciśnienia atmosferycznego służy **barometr**.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy ciśnienie wywierane przez powietrze znajdujące się nad twarzą człowieka leżącego na plaży. Załóżmy, że słup powietrza ma wysokość 10 km i naciska na powierzchnię twarzy równą $0,025 \text{ m}^2$ siłą 2500 N . Wynik zapiszmy w hektopaskalach.

Dane: $h = 10 \text{ km}$, $S = 0,025 \text{ m}^2$, $F = 2500 \text{ N}$

Szukane: p

Rozwiązanie:

Ciśnienie wywierane przez słup powietrza obliczamy ze wzoru:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2500 \text{ N}}{0,025 \text{ m}^2} = 100\,000 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}$$

Odpowiedź: Ciśnienie wywierane przez powietrze na twarz tego człowieka wynosi 1000 hPa .

Podsumujmy!

- ▶ **Siłą parcia** nazywamy każdą siłę nacisku wywieraną przez gaz lub ciecz prostopadle do powierzchni ciała.
- ▶ **Ciśnienie** jest wielkością fizyczną wskazującą, jaka siła nacisku działa na 1 m^2 powierzchni.
- ▶ Jednostką ciśnienia jest **paskal (Pa)**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Im większa siła nacisku działa na daną powierzchnię, tym większe jest ciśnienie.	P	F
2.	Im większa jest powierzchnia, na którą działa określona siła nacisku, tym większe jest ciśnienie.	P	F
3.	Siła nacisku wywieranego przez powietrze na pole o powierzchni 1 km^2 jest taka sama jak siła nacisku wywieranego przez powietrze na pole o powierzchni 100 km^2 .	P	F
4.	Atmosfera ziemską sięga do wysokości $8,5 \text{ km}$ nad powierzchnię Ziemi.	P	F

2. Jakie ciśnienie wywiera ciecz o masie 5 kg na dno butelki o powierzchni 160 cm^2 ? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

3. Atmosfera Marsa to mieszanina gazów, a jej głównym składnikiem (95 %) jest dwutlenek węgla. Ciśnienie atmosfery marsjańskiej jest równe ok. 600 Pa . Oblicz siłę nacisku wywieraną przez atmosferę Marsa na powierzchnię $1,5 \text{ m}^2$.

4. W tabeli podano średnie ciśnienie atmosferyczne w Krakowie w dziewięciu kolejnych miesiącach 2021 roku. Strzałka w górę oznacza, że średnie ciśnienie atmosferyczne w danym miesiącu było wyższe niż średnia wieloletnia, strzałka w dół oznacza ciśnienie niższe od średniej wieloletniej.

Miesiąc	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień
Średnie ciśnienie atmosferyczne (hPa)	1011,4 ↓	1021,8 ↑	1020,6 ↑	1016,6 ↑	1012,2 ↓	1016,8 ↑	1013,6 ↓	1014,1 ↓	1019,2 ↑

- a. W którym miesiącu średnie ciśnienie było najwyższe, a w którym najniższe?
- b. Pomędzy którymi kolejnymi miesiącami różnica średniego ciśnienia atmosferycznego była najmniejsza?

5. Poszukaj w dostępnych źródłach informacji o tym, czym były półkule magdeburskie. Sporządź w zeszycie notatkę na temat doświadczenia z tymi półkulami oraz przedstaw jego związek z doświadczeniem ze s. 69.

11. Ciśnienie a pole powierzchni

- ▶ Jak ciśnienie zależy od pola powierzchni?
- ▶ Jak zmienia się ciśnienie, gdy zmienia się pole powierzchni?



Ryc. 11.1. Fat bike ma szerokie opony, żeby można było jeździć nim po piasku.

Na plażę nie warto wkładać szpilek, bo łatwo zapadają się w piasku. Trudno jest też po niej jeździć rowerem szosowym. Po piasku chodzimy w obuwiu na płaskiej podeszwie i jeździmy rowerem o jak najszerzych oponach (typu *fat bike*, czyt. fat bajk). Siła działająca na małą powierzchnię wywołuje większe ciśnienie niż taka sama siła działająca na dużą powierzchnię.

Wielkość powierzchni podeszew butów wpływa na ciśnienie wywierane na podłoże przez osobę mającą te buty na nogach. Duże ciśnienie może uszkodzić niektóre rodzaje powierzchni. Z tego powodu przed wejściem na boisko lub halę sportową umieszcza się znaki informujące o zakazie noszenia niektórych rodzajów obuwia.



Ryc. 11.2. Znaki zakazu wejścia w szpiłkach lub butach piłkarskich z korkami

Siła nacisku i powierzchnia



Siła nacisku działająca na powierzchnie o różnych polach wywiera różne ciśnienia.

Duża powierzchnia główki pinezki umożliwia wbicie jej w podłoże bez zranienia palca. Ta sama siła działająca na ostrze pinezki wywiera duże ciśnienie, dzięki czemu z łatwością wbija się ono w podłoże. Taka sama siła działająca na powierzchnie o różnych polach wywołuje różne skutki.



Nóż powinien mieć jak najcieńsze ostrze, żeby wywierać jak największe ciśnienie, co ułatwia krojenie.



Największe ciężarówki świata, przewożące ogromne ładunki, mają bardzo szerokie opony, aby mimo dużej siły nacisku wywierać jak najmniejsze ciśnienie na podłoże. Zbyt duże ciśnienie powoduje szybsze niszczenie nawierzchni drogi.



Zbadaj to sam!

Badamy związek ciśnienia z powierzchnią

1. Do doświadczenia będą potrzebne: bateria 9 V (może być zużyta), talerzyk, linijka oraz mąka.
2. Wysyp grubą warstwę mąki na talerzyk i wyrównaj jej powierzchnię linijką.
3. Połóż baterię na mące, a potem delikatnie ją podnieś, tak aby nie poruszyć mąki.
4. Powtórz czynności jeszcze dwukrotnie – za każdym razem połóż baterię na mące na innym boku. W ten sposób otrzymasz w warstwie mąki trzy różne wgłębienia po baterii, o różnych polach powierzchni.
5. Porównaj głębokości śladów, jakie pozostawiła bateria ułożona na różnych bokach.
6. Zapisz w zeszycie wynik doświadczenia i wnioski z obserwacji.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy ciśnienie wywierane na podłoże przez obcasy szpilek noszonych przez kobietę o masie 60 kg. Obcasy szpilek mają powierzchnię 1 cm^2 każdy. Przyjmijmy, że 30 % nacisku kobiety na podłoże wywierane jest przez obcasy butów, a reszta – przez przednią część podeszwy.

Dane: $m = 60 \text{ kg}$, $S_1 = 1 \text{ cm}^2$, $k = 30 \% = 0,3$

Szukane: p

Rozwiązanie:

Siła nacisku obcasów na podłoże jest w tym przypadku równa 0,3 ciężaru kobiety:

$$F = 0,3 \cdot m \cdot g$$

Łączna powierzchnia dwóch obcasów jest równa:

$$S = 2S_1 = 2 \text{ cm}^2 = 0,0002 \text{ m}^2$$

Podstawiamy dane do wzoru i obliczamy ciśnienie:

$$p = \frac{F}{S}$$
$$p = \frac{0,3 \cdot 60 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{0,0002 \text{ m}^2} = 900\,000 \text{ Pa} = 900 \text{ kPa}$$

Odpowiedź: Obcasy szpilek wywierają ciśnienie 900 kPa. Ponieważ ciśnienie atmosferyczne to ok. 1000 hPa (100 kPa), obliczone ciśnienie jest aż dziewięć razy większe od atmosferycznego.



Ryc. 11.3. Sanie lodowe zwiększają bezpieczeństwo podczas akcji ratowniczych przeprowadzanych na lodzie.



Ryc. 11.4. Rakiety śnieżne



Zależność ciśnienia od pola powierzchni, na którą działa siła nacisku, wykorzystuje się w wielu codziennych sytuacjach. Do bezpiecznego chodzenia po śniegu używa się rakiet śnieżnych (ryc. 11.4.), mających dużo większą powierzchnię niż buty. Podczas ratowania człowieka, pod którym załamał się lód, ratownicy kładą na powierzchni lodu specjalne sanie lodowe, pozwalające na zbliżenie się do tonącego (ryc. 11.3.). Takie sanie zwiększają bezpieczeństwo podczas akcji ratowniczych.

Jeśli będziemy działać taką samą siłą na dwie powierzchnie, ciśnienie wywierane na mniejszą z nich będzie większe od ciśnienia wywieranego na większą. Łatwiej jest wbić w drewnianą deskę ostro zakończony gwoźdź niż śrubę, której koniec ma dużo większą powierzchnię. Jednak łączna powierzchnia 100 gwoździ ustawionych blisko siebie ostrzami do góry jest już tak duża, że człowiek może na nich bezpiecznie stać. I wówczas ciśnienie wywierane na gwoździe nie powoduje wbijania się ich w stopy (ryc. 11.5.).

Ryc. 11.5. Osoba bezpiecznie stojąca na gwoździach

Dowiedz się więcej!

Różne jednostki ciśnienia

Pierwszą jednostką, w której podawano ciśnienie atmosferyczne, był mmHg, czyli **milimetr słupa rtęci**. Wynikało to z konstrukcji barometru rtęciowego, w którym zmiana ciśnienia powodowała zmianę wysokości słupa rtęci. Do dzisiaj w tej jednostce wyrażamy ciśnienie tętnicze krwi. W przypadku zdrowego dorosłego człowieka to ciśnienie wynosi ok. 120/80 mmHg. Co oznaczają te wartości?

120 mmHg – o tyle ciśnienie krwi w dużych tętnicach w momencie skurczu serca jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego.

80 mmHg – o tyle ciśnienie krwi w dużych tętnicach w momencie rozkurczu serca jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego.

1 mmHg odpowiada ciśnieniu 133 Pa, zatem 120 mmHg to ok. 16 000 Pa, czyli 160 hPa.

Atmosfera fizyczna jest jednostką ciśnienia odpowiadającą ciśnieniu normalnemu.

$$1 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg}$$

W technice czasami używa się **atmosfery technicznej**.

$$1 \text{ at} \approx 980,7 \text{ hPa} \approx 736 \text{ mmHg}$$

Jednostką służącą do opisu ciśnienia w oponach pojazdów – kilka razy większego od ciśnienia atmosferycznego – jest **bar**. Ciśnienie w oponach samochodów osobowych ma 2–3 bary. Związek tej jednostki ciśnienia z pozostałymi podano poniżej.

$$1 \text{ bar} = 1000 \text{ hPa} \approx 750 \text{ mmHg} = 0,987 \text{ atm}$$



Podsumujmy!

- **Ciśnienie p** zależy od siły nacisku F oraz od pola powierzchni S , na którą działa ta siła:

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

- Im większe jest pole powierzchni, na którą działa dana siła nacisku, tym mniejsze jest ciśnienie wywierane na tę powierzchnię.

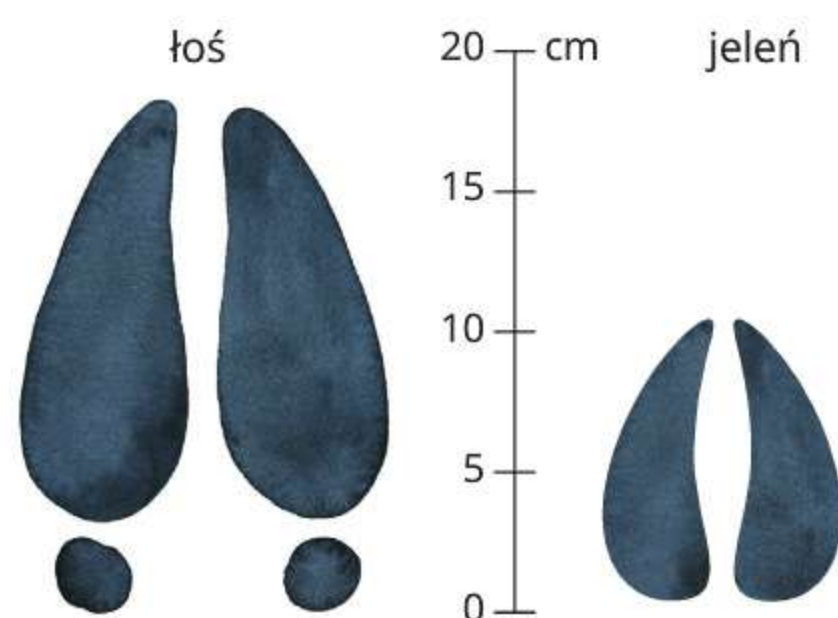
Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Im mniejsze jest pole powierzchni, na którą działa siła nacisku, tym większe jest ciśnienie.	P	F
2.	Jednostką ciśnienia jest $\frac{\text{N}}{\text{m}}$.	P	F
3.	Opony kół o dużym polu powierzchni ułatwiają poruszanie się pojazdów po piasku.	P	F
4.	Człowiek poruszający się po śniegu w rakietach nie zapada się, bo ich masa jest mniejsza od masy butów.	P	F

2. Dorosły łoś ma masę 500 kg, a dorosły jeleń 220 kg. Na rysunku przedstawiono tropy obu zwierząt.

Które z nich lepiej poradzi sobie podczas przechodzenia przez bagna? Uzasadnij odpowiedź – w tym celu oszacuj ciśnienie wywierane na podłoże przez każde z tych zwierząt.



3. Oblicz masę kamiennego bloku, który wywiera na podłoże ciśnienie 20 kPa. Powierzchnia boku, na którym leży, jest równa 0,8 m².
4. Narciarz o masie 80 kg wraz z ekwipunkiem stoi na nartach. Powierzchnia śniegu, na którą naciskają narty, jest równa 0,11 m². Oblicz ciśnienie wywierane przez narciarza na śnieg.
5. Napisz instrukcję doświadczenia, dzięki któremu dowiesz się, jakie ciśnienie wywierasz na podłogę, gdy stoisz na jednej nodze. Wykonaj zaplanowane przez siebie doświadczenie. Zapisz w zeszycie wyniki pomiarów oraz niezbędne obliczenia.

12. Ciśnienie hydrostatyczne

- ▶ Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?
- ▶ Czego dotyczy prawo Pascala?

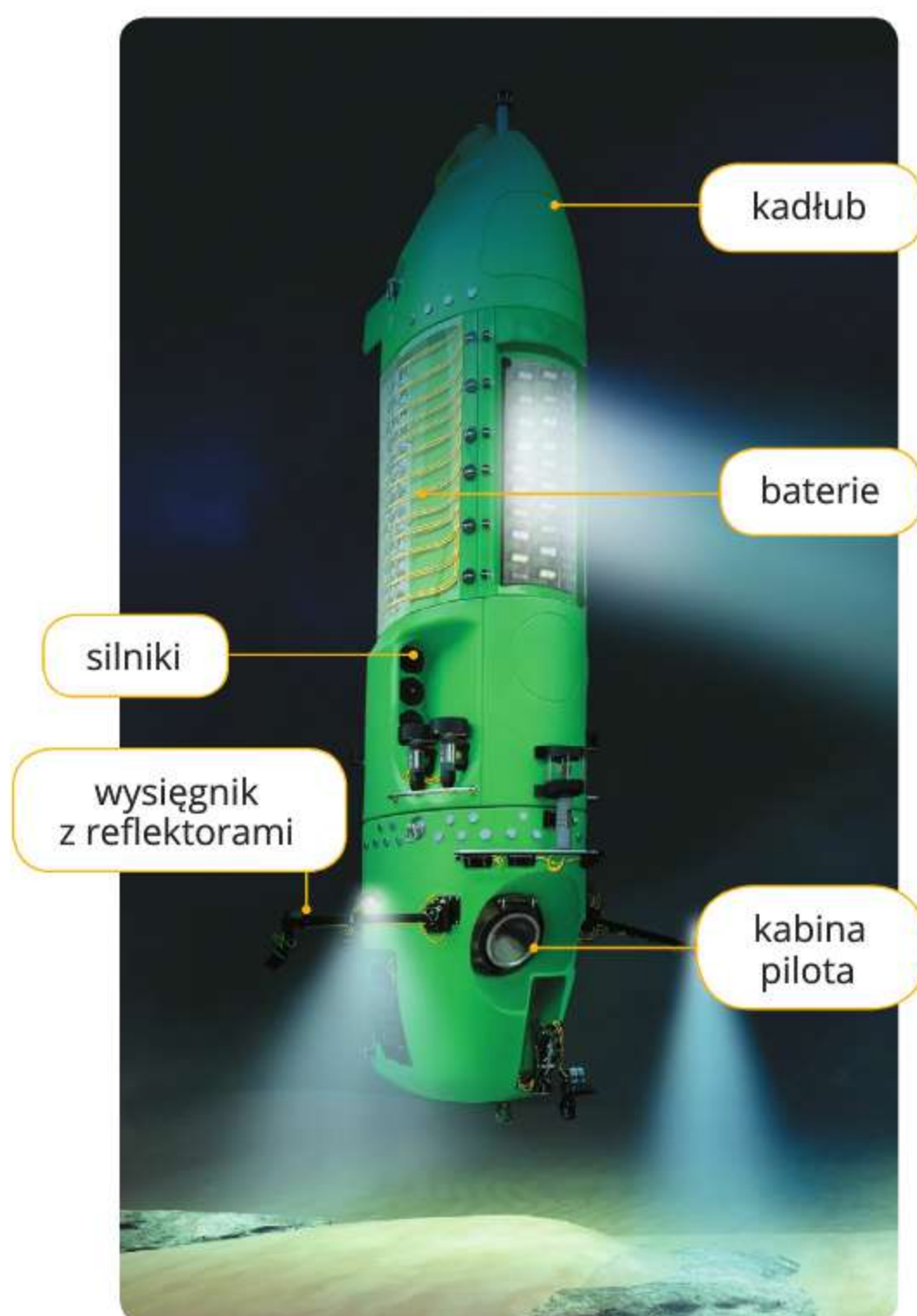


W 2012 roku spełniło się marzenie reżysera i odkrywcy Jamesa Camerona (czyt. dżejmsa kamerona). W specjalnie zaprojektowanym batyskafie (czyli statku podwodnym przeznaczonym do badań) opuścił się on na dno Rowu Mariańskiego, czyli najgłębszego rowu oceanicznego na Ziemi. Batyskaf Camerona nosił nazwę Deepsea Challenger (czyt. dipsi czelendź). Proces projektowania, budowy i testowania tego podwodnego statku zajął siedem lat. Batyskaf musiał wytrzymać ogromną siłę nacisku wody wywieraną na głębokości 11 tysięcy metrów pod powierzchnią.

Na ciało zanurzone w cieczy oprócz ciśnienia atmosferycznego działa też ciśnienie wynikające z ciężaru cieczy znajdującej się powyżej. Nazywamy je ciśnieniem hydrostatycznym. Całkowite ciśnienie p_c wywierane na zanurzony obiekt jest sumą ciśnienia atmosferycznego p_a oraz ciśnienia hydrostatycznego p_h .



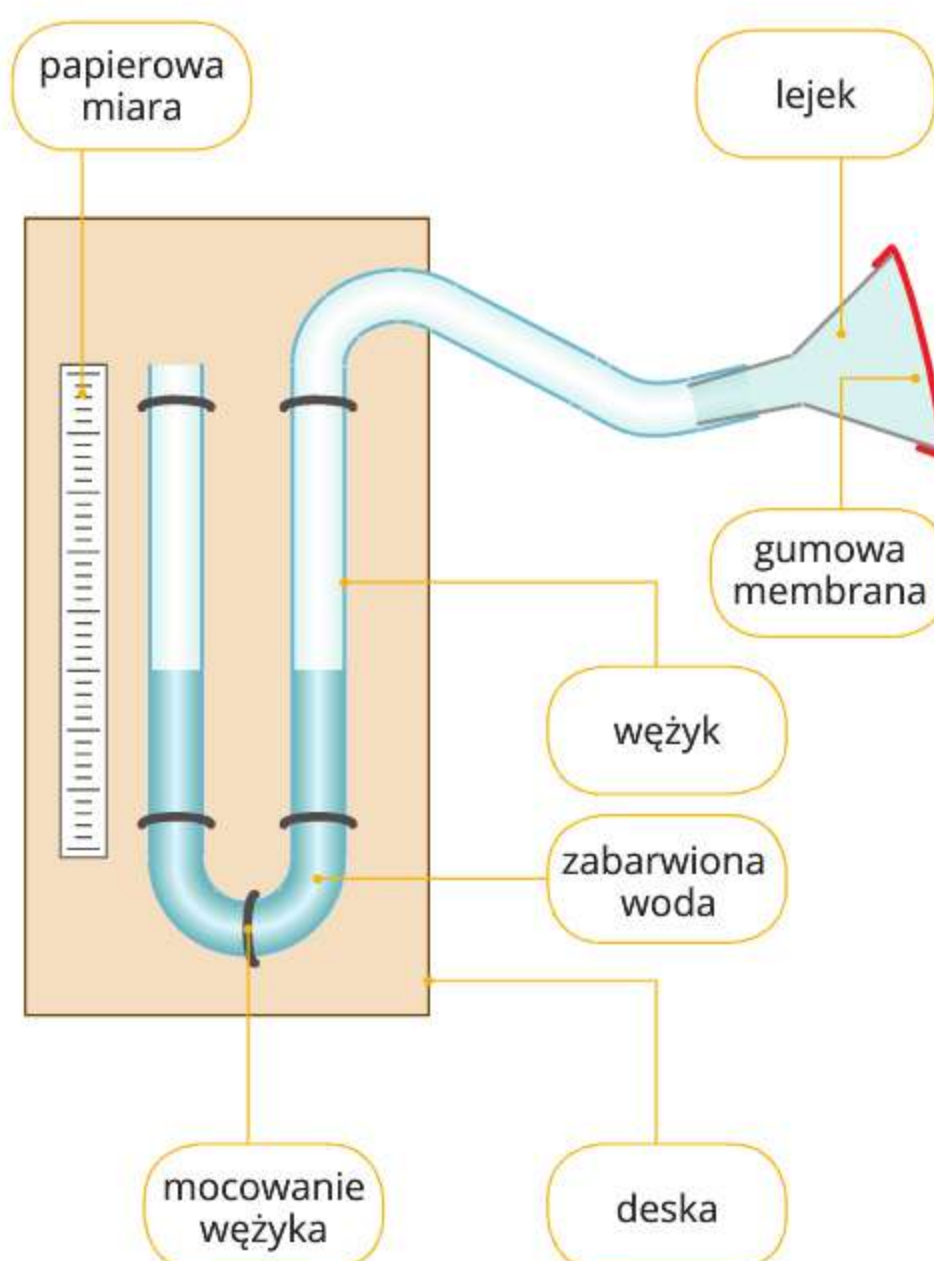
$$p_c = p_a + p_h$$



Ryc. 12.1. Batyskaf J. Camerona z zaznaczonymi najważniejszymi elementami

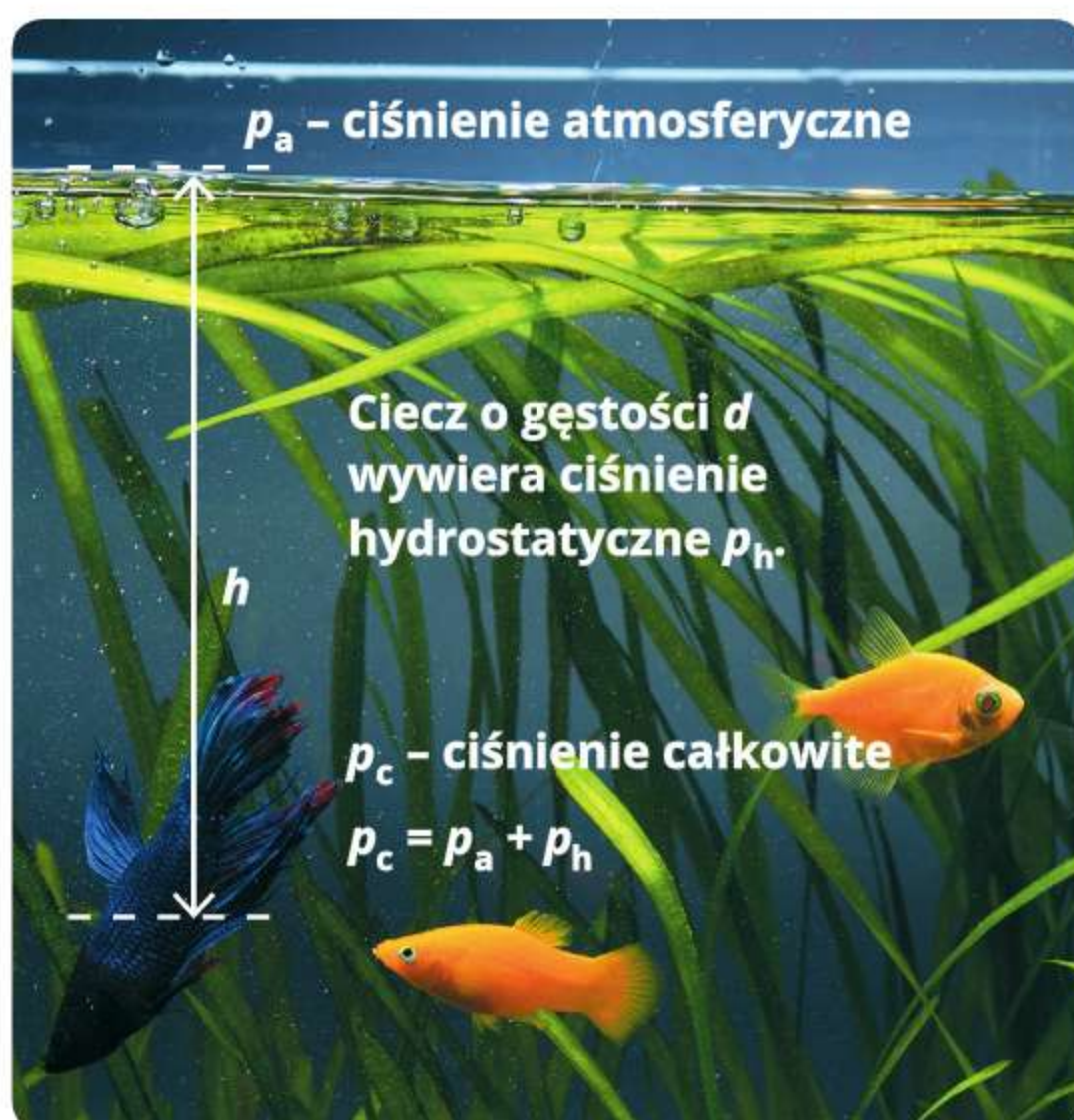
Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?

1. Do doświadczenia będą potrzebne: lejek, gumowy balonik, elastyczny przezroczysty wężyk o długości co najmniej 1 m, zabarwiona woda, deseczka, taśma dwustronna, papierowa miarka, trzy jak najgłębsze naczynia (np. szerokie cylindry miarowe lub wazony o wysokości minimum 30 cm, takie, by w każdym zmieścił się lejek) z trzema różnymi cieczami (np. wodą, olejem i denaturatem).
2. Jeden z końców wężyka uformuj w kształt litery U o wysokości każdego z ramion ok. 20 cm. Wężyk przyklej taśmą dwustronną do deseczki ustawionej pionowo. Obok niego przyklej papierową miarę (jak na ilustracji).
3. Wlej zabarwioną wodę do wężyka tak, żeby sięgała mniej więcej do $\frac{1}{3}$ wysokości ramion zagiętych w kształt U.
4. Węższy koniec lejka połącz szczelnie z drugim końcem wężyka (np. na wcisk). Na szerszy koniec lejka naciągnij gumowy balonik.



Za pomocą tak skonstruowanego przyrządu można zbadać, od czego zależy ciśnienie w cieczy. Odształcenie gumowej membrany będzie różne w zależności od ciśnienia cieczy, w której zanurzysz lejek. Wciśnięcie membrany do wnętrza lejka zwiększa ciśnienie powietrza zamkniętego w wężyku, co zmienia poziom słupa cieczy w U-rurce.

- Badamy zależność ciśnienia hydrostatycznego od głębokości zanurzenia.
 1. Lejek z membraną umieść w naczyniu z wodą. Zaznacz na miarce poziom zabarwionej wody w lewym ramieniu U-rurki (dla układu jak na ilustracji), odpowiadający danej głębokości zanurzenia lejka w wodzie.
 2. Powtórz pomiar dla różnych głębokości zanurzenia lejka.
 3. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.
- Badamy zależność ciśnienia hydrostatycznego od gęstości cieczy.
 1. Lejek z membraną zanurz kolejno w każdej z trzech cieczy. Głębokość zanurzenia h za każdym razem powinna być jednakowa.
 2. Po zanurzeniu lejka w danej cieczy zaznacz na miarce poziom zabarwionej wody w lewym ramieniu U-rurki. Powtórz tę czynność dla każdej cieczy.
 3. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.



Ciśnienie hydrostatyczne zależy zarówno od głębokości zanurzenia, jak i od gęstości cieczy, w której je mierzymy. Ciśnienie jest tym większe, im większa jest głębokość lub im większa jest gęstość cieczy. Wartość ciśnienia hydrostatycznego p_h na pewnej głębokości h w cieczy o gęstości d obliczamy ze wzoru:



$$p_h = h \cdot d \cdot g$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie.

Ryc. 12.2. Ciśnienie całkowite wywierane na rybę to suma ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia atmosferycznego.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy całkowite ciśnienie na głębokości 10 m pod powierzchnią wody w jeziorze. Przyjmijmy, że gęstość wody jest równa $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa.

Dane: $h = 10 \text{ m}$, $d = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, $p_a = 1000 \text{ hPa}$

Szukane: p_c

Rozwiązanie:

Ciśnienie całkowite jest równe sumie ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia atmosferycznego. Ciśnienie hydrostatyczne obliczamy ze wzoru:

$$p_h = h \cdot d \cdot g$$

Podstawiamy dane i otrzymujemy:

$$p_h = 10 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 100\,000 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}$$

Całkowite ciśnienie jest równe:

$$p_c = p_a + p_h$$

$$p_c = 1000 \text{ hPa} + 1000 \text{ hPa} = 2000 \text{ hPa}$$

Odpowiedź: Całkowite ciśnienie na głębokości 10 m pod powierzchnią wody wynosi 2000 hPa, czyli jest dwa razy większe niż ciśnienie atmosferyczne.

Naczynia połączone



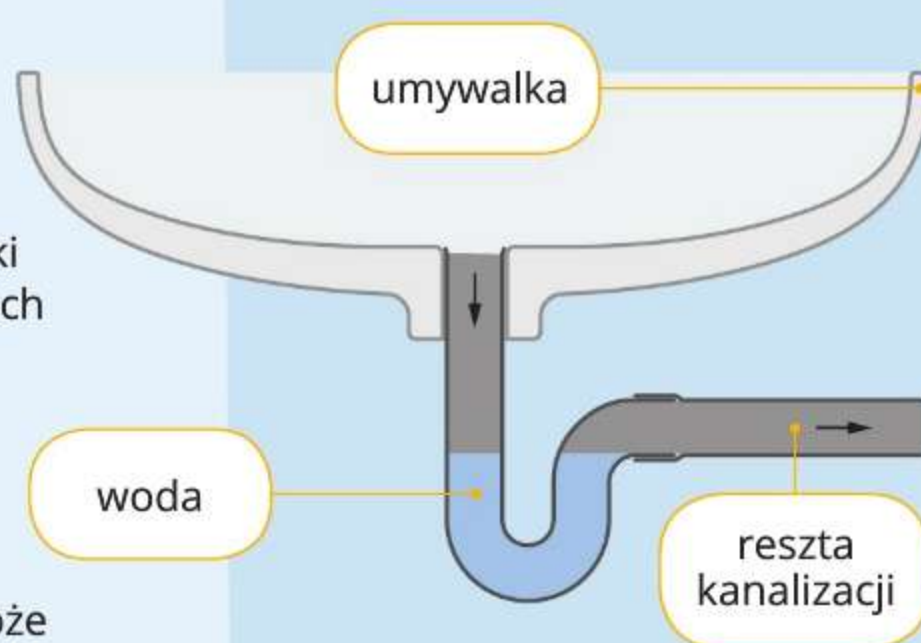
Co najmniej dwa naczynia połączone tak, że ciecz może swobodnie przepływać między nimi, nazywamy naczyniami połączonymi. Poziom cieczy w tych naczyniach jest taki sam, jeżeli jest w nich ta sama ciecz.



Poziom cieczy w czajniku i wskaźniku jego napełnienia jest taki sam, bo są to naczynia połączone (takie wskaźniki występują w wielu modelach czajników).



Syfon umywalkowy jest elementem instalacji wodno-kanalizacyjnej. To naczynia połączone w kształcie U-rurki. Dzięki temu, że w obu ramionach U-rurki pozostaje woda, do pomieszczenia nie dostają się przykre zapachy z rur kanalizacyjnych, a jednocześnie woda może wypływać z umywalki.



Syfon w toalecie działa w taki sam sposób jak syfon umywalkowy.



Badamy prawo Pascala

1. Do doświadczenia będą potrzebne: plastikowa strzykawka, pinezka lub gwoździak do zrobienia otworów w ścianie strzykawki, woda.
2. W bocznych ściankach strzykawki zrób kilka identycznych otworów, oddalonych od siebie i rozmieszczonych na różnych poziomach.
3. Doświadczenie wykonaj nad zlewem. Napełnij strzykawkę wodą. Naciskaj powoli tłok i obserwuj, w jaki sposób woda wylatuje z otworów.
4. Powtórz doświadczenie, ale zmień siłę, jaką naciskasz tłok. Powtórz doświadczenie jeszcze raz dla innego ułożenia strzykawki.
5. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.

Wynik powyższego doświadczenia pokazuje pewną prawidłowość. Po raz pierwszy została ona opisana przez Blaise'a Pascala (czyt. bleza paskala) i stąd jest nazywana prawem Pascala.

Prawo Pascala



Jeżeli na gaz lub ciecz znajdujące się w zbiorniku zamkniętym wywierane jest dodatkowe ciśnienie zewnętrzne, to wewnątrz zbiornika ciśnienie rośnie – wszędzie o wartość ciśnienia zewnętrznego. Ciśnienie wywierane na ciecz lub gaz rozchodzi się w całej objętości cieczy lub gazu jednakowo w każdym kierunku.



Ryc. 12.3. Dodatkowe ciśnienie wywierane na balon rozchodzi się równomiernie w całej jego objętości.

Jeśli ściśniemy balon wypełniony gazem, to wywierane przez nas dodatkowe ciśnienie będzie rozchodzić się w jego wnętrzu jednakowo w każdym kierunku (ryc. 12.3.). Rozchodzenie się tego dodatkowego ciśnienia w całej objętości jest wykorzystywane w wielu codziennych sytuacjach. Na przykład podczas wyciskania pasty do zębów wystarczy nacisnąć tubkę w dowolnym miejscu, aby pasta się z niej wydostała. Prawo Pascala znalazło zastosowanie także w rowerowym hamulcu hydraulicznym i ręcznym podnośniku hydraulicznym.

Zobacz, jak to zrobić!

Rowerowy hamulec hydrauliczny składa się z połączonych rurką cylindrów wypełnionych płynem hamulcowym. Tłok znajdujący się przy ręczce hamulca ma mniejszą powierzchnię niż tłoki dociskające klocki hamulcowe. Rysunek a po prawej stronie przedstawia schemat takiego układu hamulcowego.

Obliczmy siłę, jaką duży tłok będzie naciskał na klocek hamulcowy, gdy na mały tłok przy dźwigni hamulca zadziała siła o wartości 20 N. Tłok z lewej i tłok z prawej strony dociskają klocek hamulcowy do tarczy siłą o tej samej wartości, dlatego wystarczy obliczyć siłę działającą na jeden z tłoków (uproszczony schemat znajdziesz na rysunku b). Duży tłok ma powierzchnię 8 cm^2 , a mały tłok 1 cm^2 .

Dane: $F_1 = 20 \text{ N}$, $S_1 = 1 \text{ cm}^2$, $S_2 = 8 \text{ cm}^2$

Szukane: F_2

Rozwiązanie:

Po naciśnięciu ręczki hamulca ciśnienie w całej objętości cieczy wzrośnie o tyle samo. Zapiszmy wzór na ciśnienie pod małym tłokiem:

$$p = \frac{F_1}{S_1}$$

Zgodnie z prawem Pascala ciśnienie pod dużym tłokiem będzie takie samo:

$$p = \frac{F_2}{S_2}$$

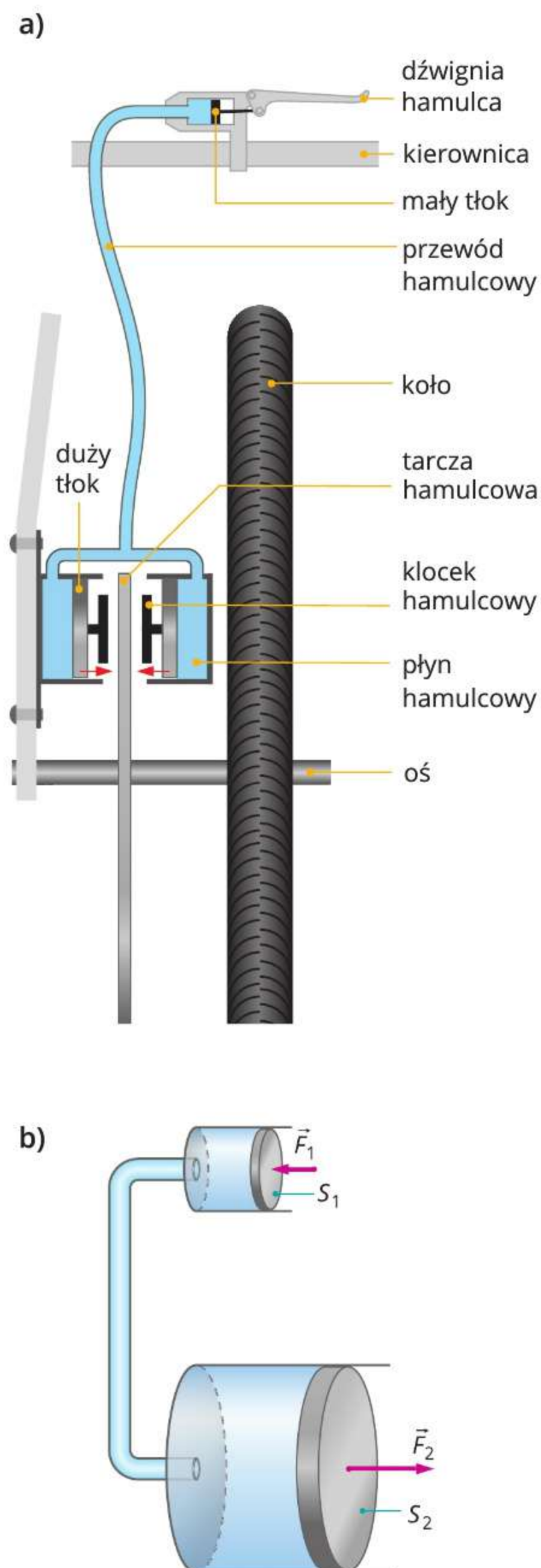
Otrzymujemy:

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

Stąd szukaną siłę obliczamy ze wzoru:

$$F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = 20 \text{ N} \cdot \frac{8 \text{ cm}^2}{1 \text{ cm}^2} = 160 \text{ N}$$

Odpowiedź: Siła działająca na duży tłok jest równa 160 N, a zatem jest osiem razy większa od siły działającej na mały tłok.



Dowiedz się więcej!



Bezpieczne nurkowanie

Podczas nurkowania na dużych głębokościach organizm człowieka znajduje się w otoczeniu o bardzo wysokim ciśnieniu zewnętrznym. Najtrudniejsze dla niego jest przystosowanie się do szybkich zmian ciśnienia podczas wynurzenia. Jeżeli nurek będzie przemieszczał się ku powierzchni szybciej niż 10 metrów na minutę, może zachorować na chorobę dekompresyjną, związaną z wydzielaniem się pęcherzyków azotu i dwutlenku węgla we krwi (i nie tylko). Ich powstawanie jest uwarunkowane tym, że podczas wynurzenia maleje ciśnienie hydrostatyczne na zewnątrz, a tym samym ciśnienie wewnątrz ciała. Im szybciej zmienia się to ciśnienie, tym szybciej powiększają się pęcherzyki. Gdy osiągną one znaczne rozmiary (np. we krwi), powodują zawroty i ból głowy, a także ból mięśni i kości. W skrajnych przypadkach choroba dekompresyjna może prowadzić do śmierci.

Rekord głębokości podczas nurkowania należy do Ahmeda Gabra (fot.), który zanurkował z butlą z tlenem w Morzu Czerwonym na głębokość 332,5 m (2014 r.). Na tej głębokości ciśnienie hydrostatyczne miało wartość ok. 3,3 MPa, a ciśnienie całkowite – ok. 3,4 MPa (MPa to megapaskal, czyli 1 000 000 Pa). Bezpieczne wynurzenie trwało ponad 13 godzin.

Podsumujmy!

- ▶ **Ciśnienie hydrostatyczne** to ciśnienie wywierane przez ciecz. Zależy ono od głębokości h pod powierzchnią cieczy oraz od gęstości cieczy d :

$$p_h = h \cdot d \cdot g$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie.

- ▶ **Ciśnienie całkowite** wywierane na zanurzony w cieczy obiekt jest równe sumie ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego:

$$p_c = p_a + p_h$$

- ▶ **Prawo Pascala**: jeżeli na ciecz lub gaz znajdujące się w zamkniętym zbiorniku wywieramy ciśnienie zewnętrzne, to całkowite ciśnienie zwiększa się o wartość tego wywieranego ciśnienia zewnętrznego. To dodatkowe ciśnienie rozchodzi się w całej objętości cieczy lub gazu jednakowo w każdym kierunku.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Ciśnienie wody jest tym większe, im głębiej znajdujemy się pod jej powierzchnią.	P	F
2.	Ciśnienie na głębokości 2 m pod powierzchnią najbardziej zasolonego morza – Morza Martwego – jest większe niż na głębokości 2 m pod powierzchnią jeziora Mamry.	P	F
3.	Ciśnienie zewnętrzne wywierane na ciecz znajdującą się w zamkniętym zbiorniku rozchodzi się w niej jednakowo w każdym kierunku.	P	F
4.	Ciśnienie panujące na dnie jeziora jest różnicą ciśnienia hydrostatycznego oraz ciśnienia atmosferycznego.	P	F

2. Zbuduj model uproszczonego hydraulicznego układu hamulcowego. Wykorzystaj w tym celu dwie strzykawki o różnej średnicy tłoka oraz wąż.

3. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne panujące na głębokości, na którą zanurzył się batyskaf Deepsea Challenger. Potrzebne informacje wyszukaj w treści rozdziału. Przyjmij, że gęstość wody morskiej jest równa $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

4. Naczynie połączono z długą elastyczną rurką i wleto do niego wodę do poziomu zaznaczonego na rysunku.

Wskaż, na którym z poziomów – A, B czy C – ustabilizuje się powierzchnia wody w rurce. Uzasadnij odpowiedź.



5. Na jakiej głębokości pod powierzchnią słonej wody o gęstości $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ należy umieścić ciało, aby całkowite ciśnienie wywierane na to ciało było równe 2400 hPa? Przyjmij, że ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa.

13. Siła wyporu. Pływanie ciał

- ▶ Czym jest siła wyporu?
- ▶ Kiedy ciała pływają częściowo zanurzone?



Osobę, którą trudno podnieść, gdy stoi na brzegu, bez problemu można nosić na rękach, gdy jest zanurzona w wodzie. Pod wodą jesteśmy w stanie podnieść ciężar większy niż w powietrzu. Wynika to stąd, że na zanurzone w wodzie ciało działa dodatkowa siła, którą nazywamy **siłą wyporu**. Siła ta działa pionowo w górę.

Ryc. 13.1. Wojciech Sobierajski w trakcie bicia rekordu wielokrotnego podnoszenia sztangi pod wodą

Zbadaj to sam!

Pływający ziemniak

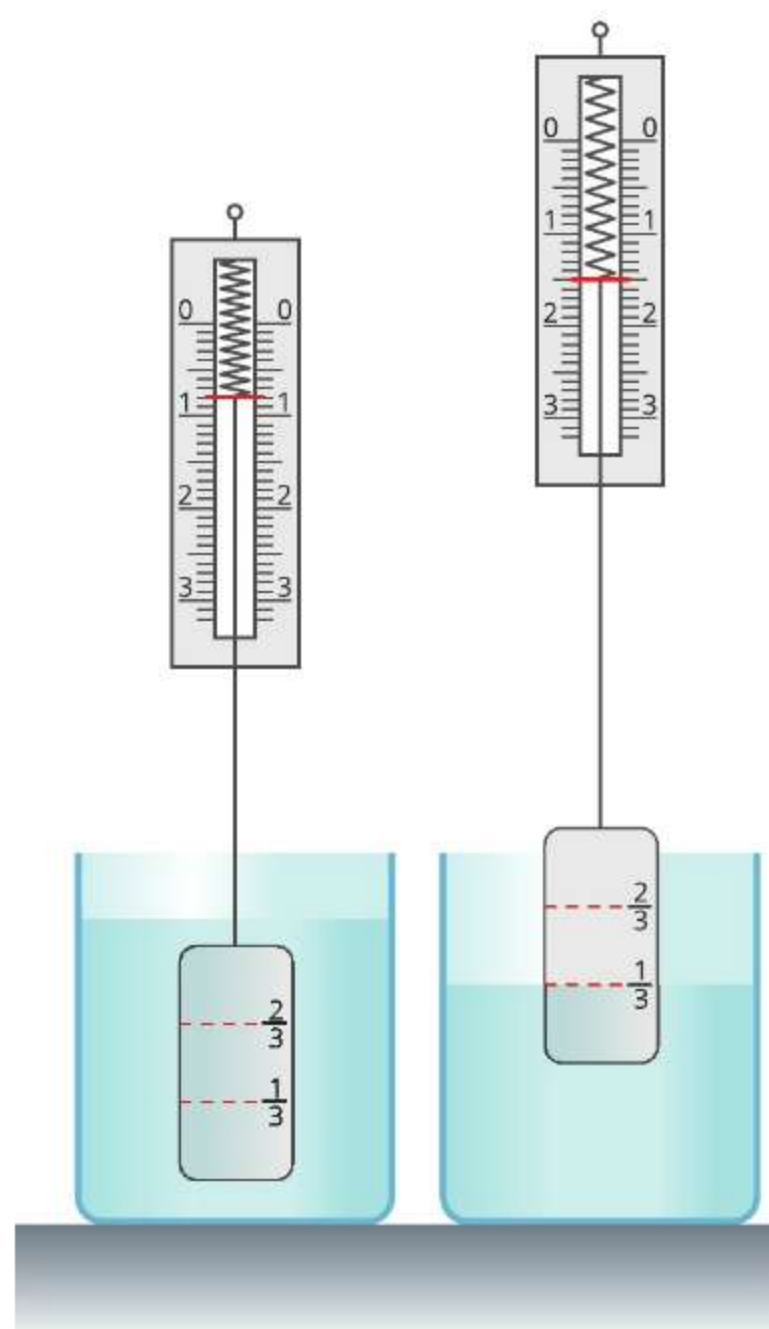
1. Do doświadczenia będą potrzebne: niewielki ziemniak, który z łatwością zmieści się w szklance, trzy identyczne szklanki, łyżka, woda oraz sól.
2. Napełnij każdą ze szklanek wodą do $\frac{3}{4}$ objętości.
3. Do pierwszej szklanki nie dosypuj niczego.
4. Do drugiej szklanki wsyp łyżkę soli i dokładnie wymieszaj, żeby całkowicie się rozpuściła.



5. Do trzeciej szklanki wsyp trzy łyżki soli i także dokładnie wymieszaj. Może się okazać, że woda jest już tak słona, że niemożliwe będzie rozpuszczenie soli w całości. Nie będzie to jednak miało wpływu na wynik doświadczenia.
6. Umieść ziemniak w szklance z wodą bez soli. Następnie przenieś go do pierwszej szklanki z osoloną wodą, a potem do kolejnej. Za każdym razem obserwuj, jak ziemniak się zachowuje.
7. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.

Od czego zależy siła wyporu?

1. Do doświadczenia będą potrzebne: piasek, sól, pojemnik do odmierzania objętości tych substancji, dwa jednakowe szczelne woreczki foliowe, nić, flamaster, siłomierz oraz naczynie z wodą.
2. Do jednego woreczka wsyp piasek, a do drugiego sól o takiej samej objętości. Zawiąż nicią każdy woreczek tak, aby szczelnie przylegał do zawartości (żeby wokół piasku i soli nie było powietrza). Zaznacz na każdym z nich poziom odpowiadający mniej więcej $\frac{1}{3}$ oraz $\frac{2}{3}$ ich objętości.
3. Zawieś woreczek z solą na siłomierzu, odczytaj i zapisz jego wskazanie.
4. Następnie zanurz woreczek w wodzie do poziomu $\frac{1}{3}$ jego objętości. Odczytaj i zapisz wskazanie siłomierza. Oblicz wartość, o jaką zmieniło się wskazanie siłomierza po zanurzeniu tej części woreczka w wodzie.
5. Powtórz pomiary i obliczenia dla woreczka zanurzonego w $\frac{2}{3}$ objętości oraz zanurzonego całkowicie.
6. Powtórz czynności od 3. do 5. dla woreczka z piaskiem.
7. Porównaj wyniki pomiarów dla soli i piasku. Sformułuj i zapisz w zeszycie wnioski umożliwiające odpowiedź na pytanie postawione w tytule doświadczenia.



Siłomierz wskazuje ciężar zawieszonego na nim ciała. Jeżeli zanurzymy ciało w wodzie, wskazania siłomierza będą mniejsze. Różnica między wskazaniem siłomierza w powietrzu i w wodzie jest równa wartości siły wyporu. Im większa jest objętość części ciała znajdującej się pod powierzchnią wody, tym większa jest wartość siły wyporu. W przypadku ciał o różnej masie, zanurzonych w tym samym stopniu, różnica wskazań siłomierza jest identyczna. Oznacza to, że **wartość siły wyporu zależy od objętości zanurzonej części ciała, ale nie zależy od jej masy.**



Ryc. 13.2. Siły działające na łódkę równoważą się, dlatego łódka unosi się na powierzchni wody.

Siłę wyporu oznaczamy* symbolem $\vec{F}_A$. Zwrot tej siły jest zawsze przeciwny do zwrotu siły ciężkości – jest skierowana pionowo do góry. Wartość siły wyporu obliczamy ze wzoru:



$$F_A = V_z \cdot d \cdot g$$

gdzie:

V_z – objętość zanurzonej części ciała,
 d – gęstość cieczy,
 g – przyspieszenie ziemskie.

Iloczyn objętości zanurzonej części ciała V_z , gęstości cieczy d i przyspieszenia ziemskiego g to ciężar wody o objętości takiej samej jak objętość zanurzonej części ciała.

$$m_w = V_z \cdot d$$

$$F_g = m_w \cdot g = V_z \cdot d \cdot g$$

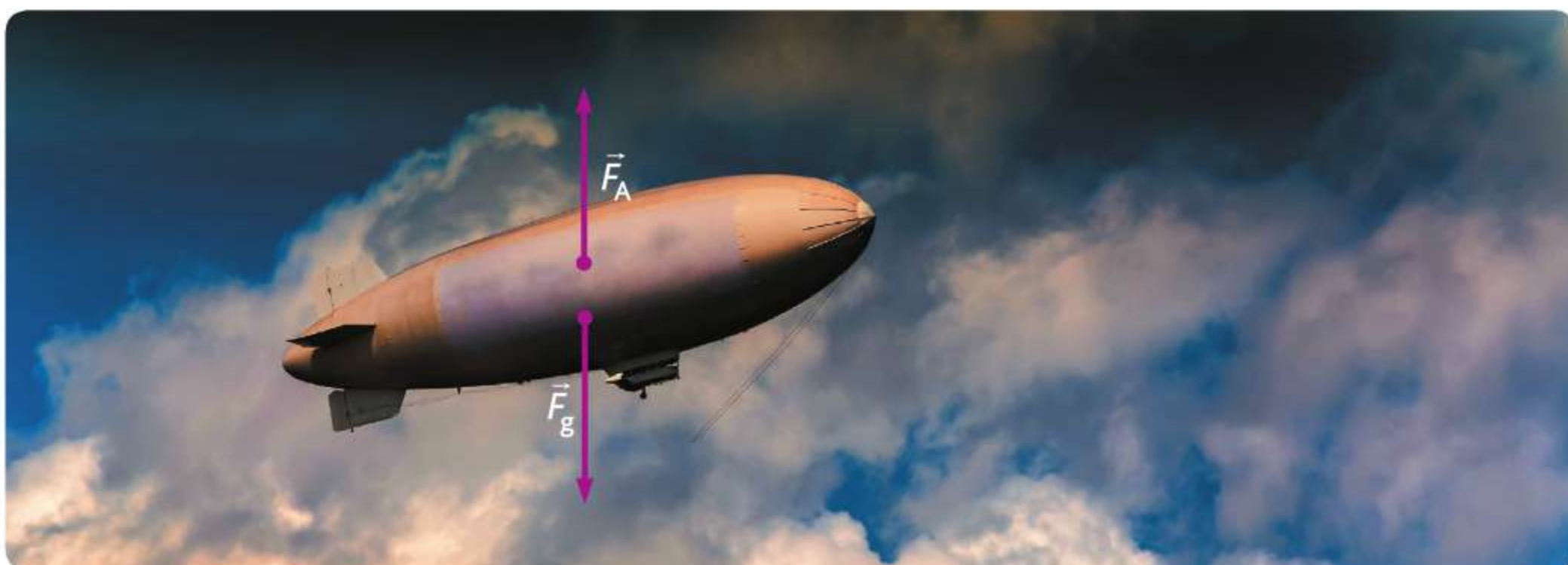
Działanie siły wyporu na ciało zanurzone w cieczy zostało opisane przez Archimedesesa.

Prawo Archimedesesa



Na każde ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu skierowana pionowo do góry, której wartość jest równa ciężarowi cieczy o objętości takiej samej jak objętość zanurzonej części ciała.

Siła wyporu działa nie tylko na ciała zanurzone w cieczy, ale także na ciała znajdujące się w gazie. Do wyznaczenia wartości siły wyporu w gazach także stosuje się prawo Archimedesesa.



Ryc. 13.3. Na sterowiec poruszający się w powietrzu także działa siła wyporu.

* Siłę wyporu będziemy oznaczać symbolem z indeksem A od pierwszej litery imienia Archimedesesa – odkrywcy prawa, które opisuje tę siłę.

Zbadaj to sam!

Nurek Kartezjusza

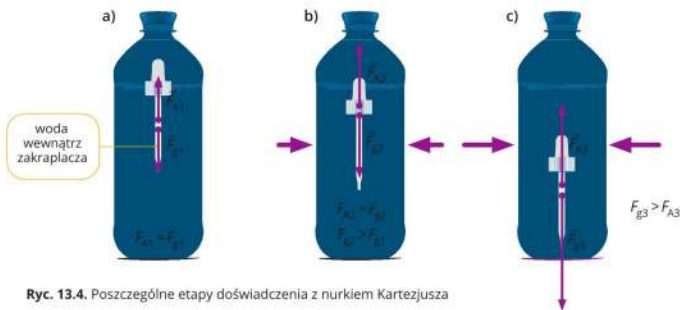
1. Do doświadczenia będą potrzebne: plastikowa butelka o pojemności 1,5 l wraz z zakrętką, szklany zakraplacz do oczu (do kupienia w aptece), woda.
2. Wypełnij butelkę wodą tak, by jej poziom sięgał ok. 4 cm poniżej górnej krawędzi butelki.
3. Napełnij zakraplacz wodą z butelki mniej więcej do $\frac{3}{4}$ jego pojemności.
4. Wrzuć zakraplacz do butelki – powinien pływać tylko częściowo zanurzony.
5. Zakręć butelkę, a następnie ją ściśnij.
6. Obserwuj, jak zmienia się położenie zakraplacza. Zwróć uwagę na poziom wody wewnątrz zakraplacza podczas jego ruchu.



Na zanurzonego w cieczy „nurka” (zakraplacz z wodą) zawsze działają dwie siły o tym samym kierunku, ale o przeciwnych zwrotach: to siła wyporu skierowana do góry oraz siła ciężkości skierowana do dołu. Początkowo nurek pływa tylko częściowo zanurzony, a pod wodą znajduje się taka jego część, że siła wyporu równoważy jego ciężar (ryc. 13.4.a). W tym przypadku średnia gęstość nurka jest mniejsza od gęstości wody.

Gdy naciskamy butelkę, rośnie ciśnienie w całej jej objętości (zgodnie z prawem Pascala). Wtedy do wnętrza nurka przedostaje się więcej wody i jego masa, a zatem i średnia gęstość się zwiększają. To dlatego nurek stopniowo zanurza się coraz bardziej (ryc. 13.4.b).

Dalsze ściskanie butelki, prowadzące do wlewania wody do wnętrza zakraplacza, powoduje, że średnia gęstość nurka nadal rośnie, czyli osiąga wartość większą od gęstości wody. Dzieje się tak dlatego, że szkło, z którego wykonany jest zakraplacz, ma gęstość większą niż woda. W rezultacie nurek tonie i osiada na dnie (ryc. 13.4.c). Z chwilą, gdy nurek zanurzy się całkowicie, siła wyporu osiąga maksymalną możliwą wartość.



Ryc. 13.4. Poszczególne etapy doświadczenia z nurkiem Kartezjusza

Zobacz, jak to zrobić!

Góra lodowa o całkowitej objętości 1000 m^3 dryfuje po morzu. Obliczmy, jaka objętość tej góry wystaje nad powierzchnię wody. Przyjmijmy, że gęstość lodu i śniegu tworzącego górę lodową wynosi $850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a gęstość wody morskiej jest równa $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Dane: $V = 1000 \text{ m}^3$, $d_w = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $d_l = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Szukane: V_p

Rozwiązanie:

Jeśli znamy gęstość i objętość góry lodowej, to możemy wyznaczyć jej masę:

$$m = d_l \cdot V$$

$$m = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \text{ m}^3 = 850\,000 \text{ kg}$$

Ciężar góry lodowej to:

$$F_g = m \cdot g$$

$$F_g = 850\,000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 8\,500\,000 \text{ N}$$

Góra lodowa zanurzona jest w takiej części, że siła wyporu równoważy ciężar całej góry:

$$F_g = F_A$$

$$F_A = V_z \cdot d_w \cdot g$$

Stąd obliczamy objętość zanurzonej części góry:

$$V_z = \frac{F_A}{d_w \cdot g} = \frac{F_g}{d_w \cdot g}$$

$$V_z = \frac{8\,500\,000 \text{ N}}{1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} \approx 833,3 \text{ m}^3$$

Objętość części góry wystającej nad powierzchnię wody jest równa:

$$V_p = V - V_z$$

$$V_p = 1000 \text{ m}^3 - 833,3 \text{ m}^3 = 166,7 \text{ m}^3$$

Odpowiedź: Ponad powierzchnię wody wystaje część góry lodowej o objętości $166,7 \text{ m}^3$. Cała góra lodowa ma objętość 1000 m^3 , czyli ponad wodę wystaje tylko jej wierzchołek.

Rozglądaj się wokół!

Pływanie ciał



Ciała mogą pływać w cieczy zanurzone częściowo lub całkowicie. Zależy to od gęstości ciała w porównaniu z gęstością cieczy.



Objętość zanurzonej części kontenerowca jest tak duża, że siła wyporu równoważy ciężar statku wraz z ładunkiem. Średnia gęstość statku jest znacznie mniejsza od gęstości wody.



Dzięki zwiększaniu lub zmniejszaniu masy ciała przy stałej objętości można zmieniać jego gęstość, co umożliwia zmianę głębokości zanurzenia. W ten sposób reguluje się średnią gęstość okrętów podwodnych – przez nabieranie wody do zbiorników balastowych lub jej wypompowywanie. Po zakończeniu procedury zmiany głębokości zanurzenia średnią gęstość okrętu trzeba wyrównać z gęstością wody.

Ryby również zmieniają głębokość zanurzenia dzięki zmianie swojej średniej gęstości. Pozwala im na to obecność pęcherza pławnego (w którym znajduje się mieszanina gazów). Zmiana objętości pęcherza powoduje zmianę objętości ciała przy niemal niezminionej masie.



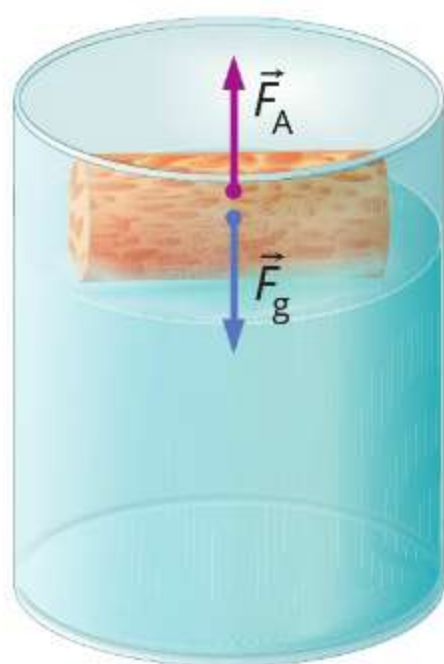
Unoszenie się ciał w powietrzu można traktować tak, jak pływanie ciał zanurzonych całkowicie w gazie. Balony wypełnione ogrzanim powietrzem o gęstości mniejszej niż gęstość powietrza na zewnątrz się unoszą.



Warunki pływania ciała

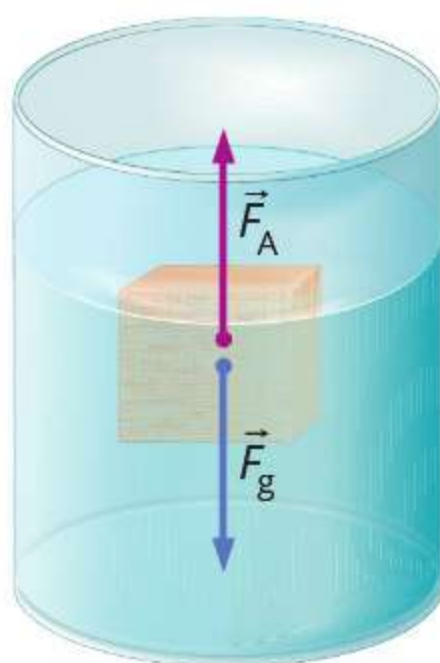
Ciało pływa częściowo zanurzone.

Gęstość ciała jest mniejsza od gęstości cieczy.
Ciężar ciała jest równoważony przez siłę wyporu zanurzonej części.



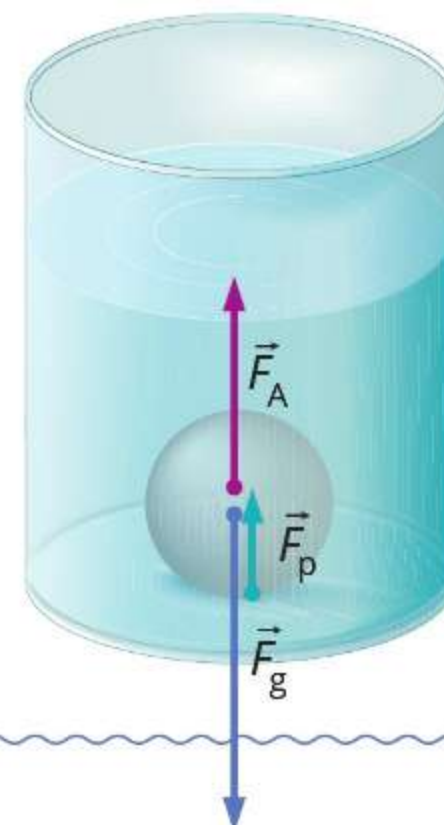
Ciało pływa całkowicie zanurzone.

Gęstość ciała jest równa gęstości cieczy.
Ciężar ciała jest równoważony przez siłę wyporu, która w tym przypadku ma maksymalną wartość.



Ciało tonie i spoczywa na dnie.

Gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy.
Ciężar ciała jest równoważony przez siłę wyporu (która ma maksymalną wartość) oraz siłę nacisku podłoża.



Podsumujmy!

- ▶ **Prawo Archimedesza:** na każde ciało zanurzone w cieczy (lub gazie) działa siła wyporu skierowana pionowo do góry. Wartość tej siły jest równa ciężarowi cieczy (lub gazu) o objętości takiej samej jak objętość zanurzonej części ciała.
- ▶ **Siła wyporu** zależy od objętości zanurzonej części ciała V_z oraz gęstości d cieczy, w której jest ono zanurzone:

$$F_A = V_z \cdot d \cdot g$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie.

- ▶ Ciało pływa częściowo zanurzone, gdy jego gęstość jest mniejsza od gęstości cieczy, a całkowicie zanurzone, gdy gęstości ciała i cieczy są równe. Ciało tonie, gdy jego gęstość jest większa od gęstości cieczy.

Sprawdź się!

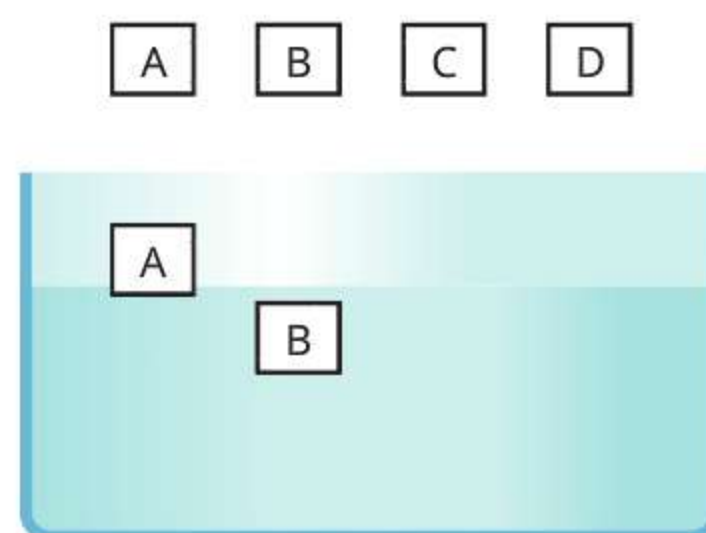
- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Na nieruchomego, całkowicie zanurzonego w wodzie nurka nie działa siła wyporu.	P	F
2.	Im większa jest objętość zanurzonej części ciała, tym większa siła wyporu działa na to ciało.	P	F
3.	Siła wyporu działająca na pływającą po powierzchni wody piłkę jest równa jej ciężarowi.	P	F
4.	Siła wyporu działająca na wynurzoną łódź podwodną jest mniejsza od jej ciężaru.	P	F

- 2.** Turystyczna łódź podwodna do obserwacji rafy koralowej pływa całkowicie zanurzona. Masa łodzi wynosi 35 ton. Oblicz jej objętość. Przyjmij, że gęstość wody morskiej wynosi $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- 3.** Ciało o objętości 10 cm^3 jest całkowicie zanurzone w wodzie o gęstości $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Oblicz wartość siły wyporu działającej na to ciało.

- 4.** Na rysunku przedstawiono cztery ciała (A, B, C i D) o jednakowej objętości, których masy spełniają warunek zapisany pod rysunkiem. Ciała A i B umieszczono w naczyniu z cieczą, jak na rysunku – ciało A pływa częściowo zanurzone, ciało B pływa całkowicie zanurzone. Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj położenia pozostałych dwóch ciał.



$$m_A < m_B < m_C < m_D$$

- 5*.** Gdy statek wpływa z morza do portu znajdującego się u ujścia rzeki, zmienia się poziom jego zanurzenia.

- Czy zanurzenie to się zwiększy czy zmniejszy, jeżeli wiadomo, że woda w morzu jest słona, a w ujściu rzeki nie?
- Czy oznacza to zmianę wartości siły wyporu działającej na statek? Uzasadnij odpowiedź.

POWTÓRZENIE

Właściwości materii

F Siły spójności i przylegania

siły spójności

Są to siły przyciągania między cząsteczkami tej samej substancji.

Za formowanie kropli odpowiedzialne są siły spójności między cząsteczkami wody.



siły przylegania

Są to siły przyciągania między cząsteczkami różnych substancji.

Siły przylegania między cząsteczkami puszki i wody są większe niż siły spójności między cząsteczkami wody, więc woda zwilża puszkę.

Gęstość

Gęstość informuje nas, jaka jest masa danej substancji o określonej objętości.

Jednostką gęstości jest na przykład $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

gęstość

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

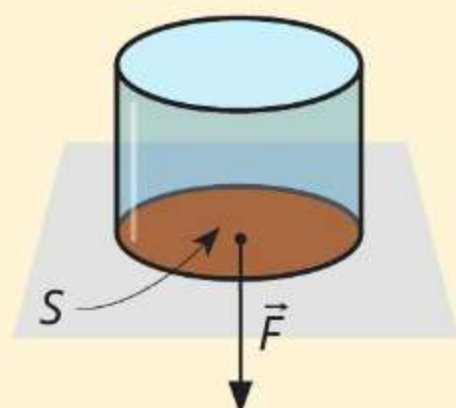
masa

objętość

Ciśnienie

Ciśnienie wskazuje, jaka siła nacisku działa na powierzchnię. Jednostką ciśnienia jest paskal.

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$



ciśnienie

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

siła nacisku

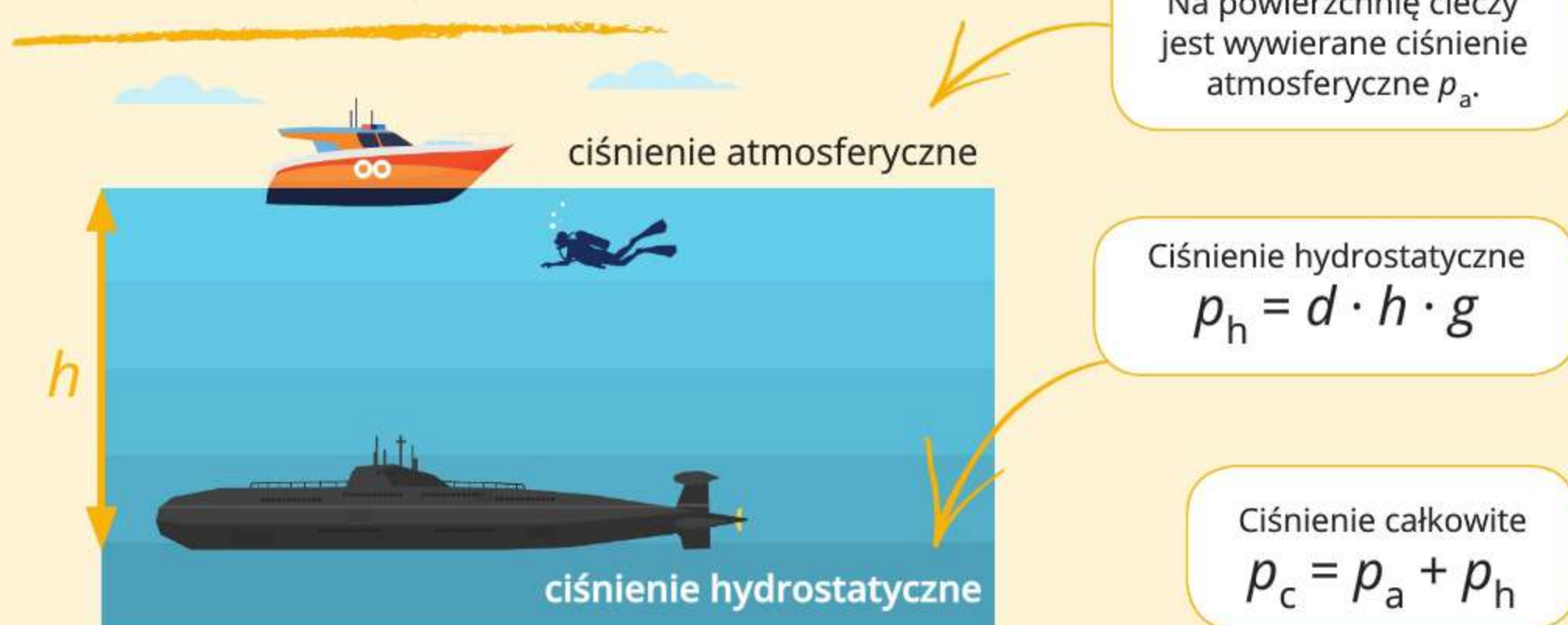
pole powierzchni

Prawo Pascala

Dodatkowe ciśnienie wywierane na ciecz lub gaz rozchodzi się w całej objętości cieczy lub gazu jednakowo w każdym kierunku.



ciśnienie w cieczy



Prawo Archimedesesa

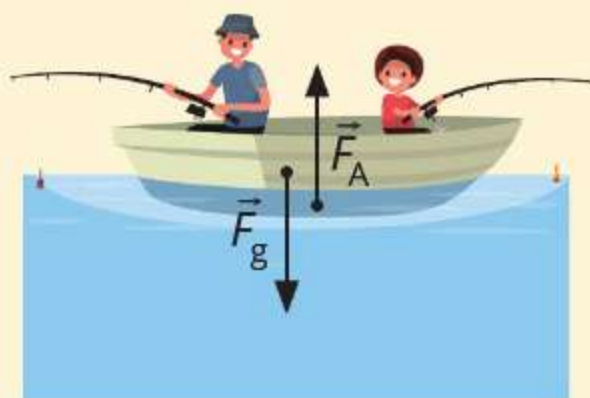
Na każde ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu skierowana pionowo do góry, której wartość jest równa ciężarowi cieczy o objętości takiej samej jak objętość zanurzonej części ciała.



warunki pływania ciał

Ciało pływa częściowo zanurzone w cieczy, gdy jego gęstość jest mniejsza od gęstości cieczy.

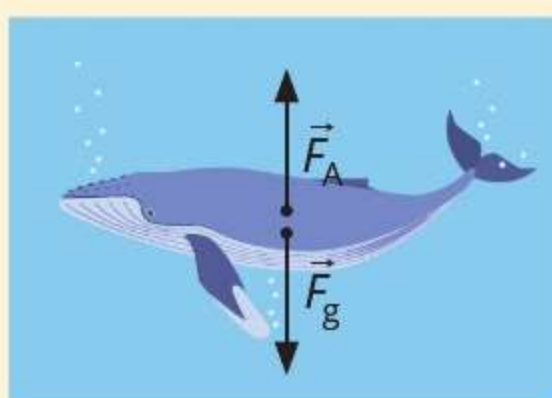
$$d_{\text{ciała}} < d_{\text{cieczy}}$$



$$F_g = F_A$$

Ciało pływa pod powierzchnią cieczy, gdy jego gęstość jest równa gęstości cieczy.

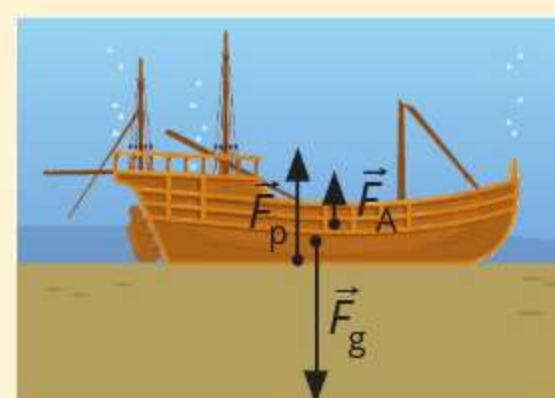
$$d_{\text{ciała}} = d_{\text{cieczy}}$$



$$F_g = F_A$$

Ciało tonie i spoczywa na dnie, gdy jego gęstość jest większa od gęstości cieczy.

$$d_{\text{ciała}} > d_{\text{cieczy}}$$



$$F_g = F_A + F_p$$

Sprawdź się!

Do obliczeń przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego równą $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, chyba że w treści zadania podano inaczej.

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

F

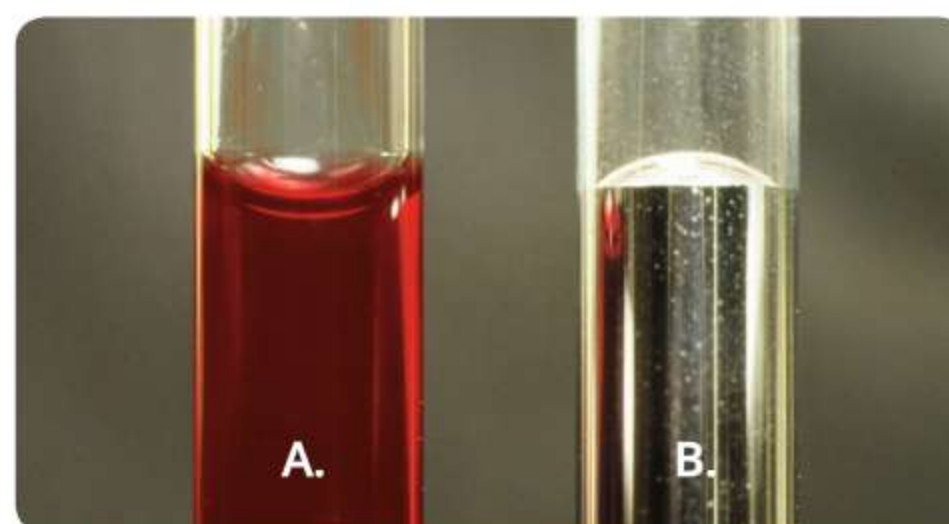
1.	Przyleganie to oddziaływanie, jakie obserwujemy na przykład między wodą a szkłem.	P	F
2.	Siłę, jaką płyn w butelce naciska na jej dno, nazywamy siłą parcia.	P	F
3.	Im mniejsza jest powierzchnia, na którą działa określona siła nacisku, tym większe jest ciśnienie.	P	F
4.	Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia <u>nie</u> zależy od gęstości cieczy znajdującej się w tym naczyniu.	P	F

- F 2. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Transport wody w cienkich kanalikach roślin – z korzeni do liści – odbywa się m.in. dzięki siłom przylegania, występującym

- A. między cząsteczkami różnych substancji.
- B. tylko między cząsteczkami tej samej substancji.
- C. między cząsteczkami wszystkich substancji.

3. Na fotografiach przedstawiono dwie różne ciecze w probówkach. Wskaż, w którym przypadku siły przylegania są większe niż siły spójności, a w którym jest odwrotnie.



4. Gęstość złota wynosi $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Oblicz objętość, jaką zajmuje 1 kg złota.

5. Pewien rodzaj styropianu ma gęstość $32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oblicz masę styropianu wypełniającego przestrzeń ładunkową samochodu ciężarowego, jeżeli jej objętość wynosi 60 m^3 .

6. W słoiku znajduje się słona woda o objętości $1,00 \text{ dm}^3$ i gęstości $1,02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Oblicz ciężar wody. Przyjmij, że wartość przyspieszenia ziemskiego to $9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Wynik zapisz z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

7. Baletnica o masie 44 kg stoi na jednym czubku pointy (czyt. puenty; to rodzaj twardej baletki). Powierzchnia czubka wynosi $0,0004 \text{ m}^2$.

- a. Oblicz ciśnienie wywierane przez baletnicę na podłogę w tej sytuacji. Wynik podaj w hPa.
b. Ile razy to ciśnienie jest większe od ciśnienia atmosferycznego (wynoszącego ok. 1000 hPa)?

8. Trudno jest wyjąć korek z wanny pełnej wody.

- a. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne działające na korek, jeśli wannę napełniono wodą do wysokości 50 cm . Wynik podaj w hPa. Przyjmij gęstość wody równą $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
b. Oblicz całkowite ciśnienie wywierane na dno wanny, jeśli ciśnienie atmosferyczne wynosi 980 hPa .

9. W tabeli przedstawiono gęstości różnych substancji w stanie stałym i ciekłym.

Substancja	suche drewno dębowe	suche drewno sosnowe	rtęć	granit	alkohol metylowy	woda	lód	benzyna
Gęstość $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$	0,93	0,49	13,5	2,7	0,79	1,0	0,92	0,75

Skorzystaj z danych zawartych w tabeli i odpowiedz na pytania.

- a. Czy klocek dębowy pływa w alkoholu metylowym, czy w nim tonie?
b. Które z wymienionych ciał stałych pływa w rtęci, a które w niej tonie?
c. Czy benzyna, która nie miesza się z wodą, pływa po jej powierzchni?
d. Czy lód pływa po powierzchni benzyny?
e. Ile razy gęstość rtęci jest większa od gęstości benzyny?

10. Kamień o masie 35 g i objętości 10 cm^3 zawieszono na siłomierzu, a następnie całkowicie zanurzono w wodzie. Oblicz, o ile zmieniło się wskazanie siłomierza po całkowitym zanurzeniu kamienia w wodzie, jeżeli jej gęstość wynosiła $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- 11.** Piłkę kauczukową o gęstości $0,93 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ i objętości $3,1 \text{ cm}^3$ zanurzono w wodzie o gęstości $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
- a.** Ile wynosi objętość części piłki wystającej ponad powierzchnię wody?
 - b.** Jaka byłaby objętość części piłki zanurzonej w oleju o gęstości $0,91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$? Co oznacza taki wynik?

- 12.** Uzupełnij zdania. Wybierz odpowiednie litery przyporządkowane rysunkom tak, aby zdania były prawdziwe.

Do czajników o identycznej objętości, ale o różnie zamocowanych dzióbkach, wiano wodę.

A.



B.

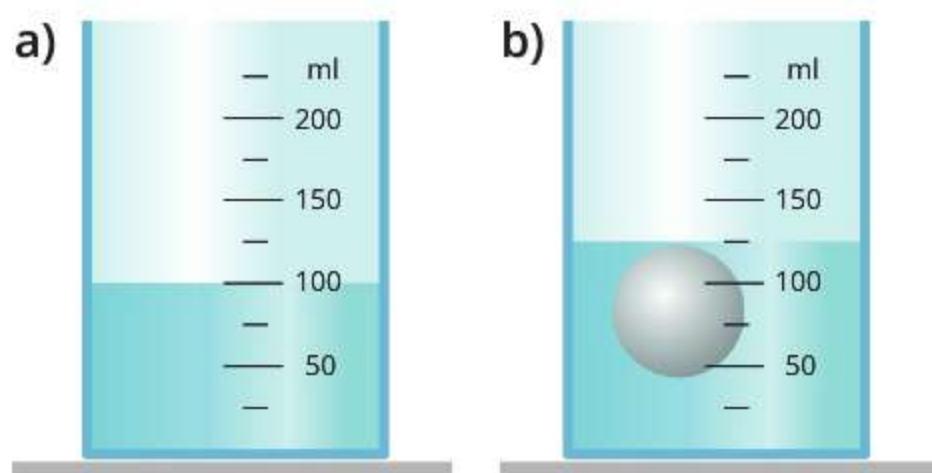


C.



- a.** Poziom wody poprawnie zaznaczono w czajniku A / B / C.
- b.** Najwięcej wody można wlać do czajnika A / B / C.

- 13.** Cylinder miarowy wypełniono częściowo wodą (ryc. a). Następnie umieszczono w nim przedmiot pływający tuż pod powierzchnią wody (ryc. b). Oblicz siłę wyporu działającą na zanurzony w wodzie przedmiot. Przyjmij, że gęstość wody jest równa $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

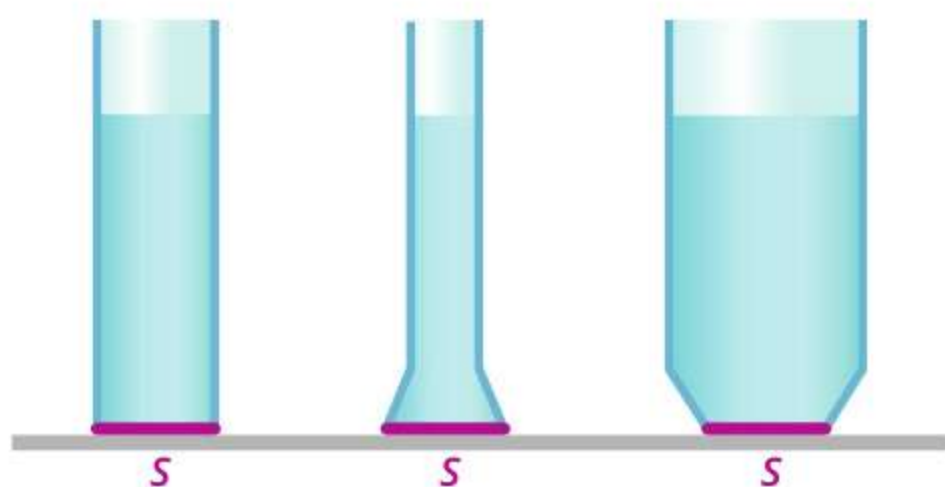


- 14.** Złotnik wykonał dwie korony. Na pierwszą z nich zużył $1,2 \text{ kg}$ złota, a drugą wykonał z $0,1 \text{ kg}$ złota oraz $1,1 \text{ kg}$ ołowiu. Gęstość złota jest równa $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, a gęstość ołowiu wynosi $11,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
- a.** Oblicz, o ile objętość drugiej korony jest większa od objętości korony wykonanej tylko ze złota.
 - b.** Znajdź i przeczytaj legendę o Archimedesie. Wyjaśnij znaczenie słowa *eureka*.

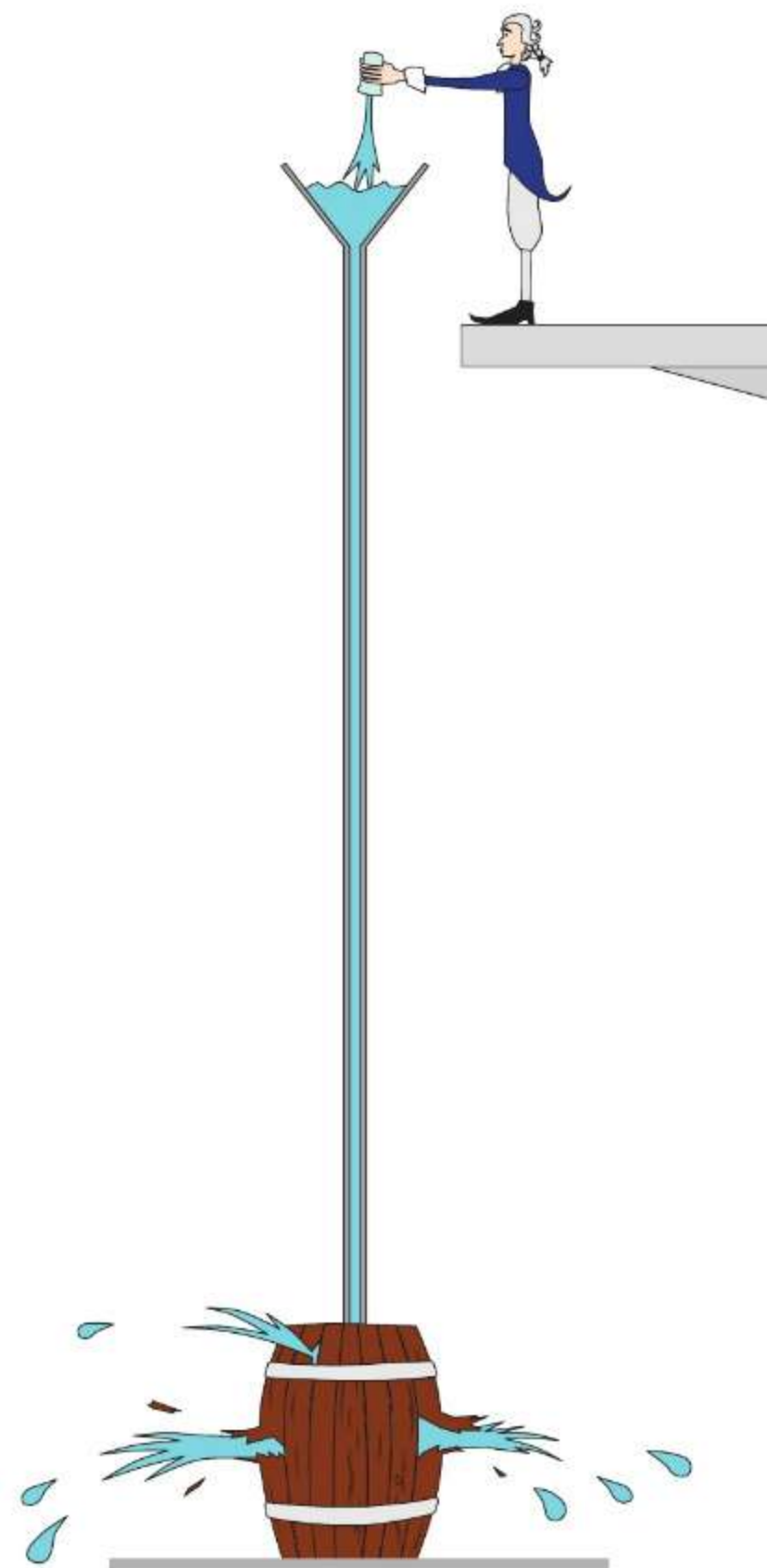
Paradoks hydrostatyczny

W 1648 roku Blaise Pascal, francuski badacz przyrody i matematyk, przeprowadził publiczny pokaz, którym zadziwił obserwatorów. Wynik przeprowadzonego doświadczenia był tak zaskakujący, że eksperyment został nazwany paradoksem hydrostatycznym. Pascal rozszczelnił beczkę pełną wody przez dolanie do niej jeszcze niewielkiej ilości wody przez bardzo długą i wąską rurkę (ryc. 1.). Wydawało się to niewiarygodne, bo powszechnie uważano, że ciśnienie zależy od ciężaru wody. Eksperyment pokazał, że jest inaczej. Ciśnienie wywierane na dno naczynia zależy od wysokości słupa cieczy, a nie zależy od ciężaru cieczy zawartej w naczyniu.

Prace kolejnych badaczy doprowadziły do odkrycia, że siła parcia, jaką ciecz działa na dno naczynia, zależy od pola powierzchni tego dna, wysokości słupa cieczy i jej gęstości. Oznacza to, że w naczyniach o różnych kształtach, ale o tym samym polu powierzchni dna i wypełnionych tą samą cieczą do tej samej wysokości, siła parcia cieczy na dno jest wszędzie jednakowa. Ciśnienie przy dnie tych naczyń także jest takie samo (ryc. 2.).



Ryc. 2. Siła parcia na dno tych naczyń jest taka sama, jednakowe jest również ciśnienie przy dnie.



Ryc. 1. Doświadczenie Pascala

W naczyniach o różnych kształtach i różnych polach powierzchni dna, ale wypełnionych tą samą cieczą do tej samej wysokości, siła parcia na dno każdego z nich jest inna (ryc. 3.). Z kolei ciśnienie we wszystkich naczyniach na tej samej wysokości jest jednakowe.



Ryc. 3. Ciśnienie wywierane na dno tych naczyń jest jednakowe, choć siły parcia na dno są różne.

Sprawdź się!

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Ciśnienie wywierane przez ciecz na dno naczynia zależy od ciężaru tej cieczy.	P	F
2.	Całkowite ciśnienie na dnie beczki z wodą jest równe sumie ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego.	P	F
3.	Parcie cieczy na dno naczynia zależy od pola powierzchni tego dna.	P	F
4.	Ciśnienie hydrostatyczne na dnie naczynia nie zależy od wysokości słupa cieczy w tym naczyniu.	P	F

- 2.** Do wieka beczki przymocowano pionowo rurę. Beczkę oraz rurę całkowicie wypełniono wodą. Odpowiedz w zeszycie na pytania i uzasadnij odpowiedzi.

- a.** Czy ciśnienie wywierane na beczkę zależy od wysokości rury?
b. Czy ciśnienie zmieni się, gdy zamocujemy rurę o tej samej długości, ale większej średnicy?

- 3.** Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A–C** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1–3**.

Aby powtórzyć doświadczenie Pascala, do wieka beczki zamocowano rurę o długości cztery razy większej niż wysokość beczki. Następnie rurę wypełniono taką samą cieczą, jaka znajdowała się w beczce. Ciśnienie hydrostatyczne na dnie beczki było

A.	cztery razy większe niż	przed zamocowaniem i wypełnieniem rury cieczą, ponieważ	1.	gęstość cieczy jest stała.
B.	takie samo jak		2.	powierzchnia beczki nie uległa zmianie.
C.	pięć razy większe niż		3.	poziom cieczy uległ zwiększeniu.

- 4. a.** Oblicz ciśnienie hydrostatyczne, jakie panuje na dnie beczki o wysokości 1,2 m, wypełnionej wodą o gęstości $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
b. Do wieka beczki (opisanej w punkcie a) przymocowano pionową rurkę i wypełniono ją wodą. Jaką długość powinna mieć rurka, aby ciśnienie hydrostatyczne na dnie beczki wzrosło czterokrotnie?

DZIAŁ



RUCH

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!



Jakie są rodzaje ruchu?

Jak zmierzyć prędkość?



14. Czas i droga

- ▶ Po co nam pojęcie czasu?
- ▶ Czym jest tor, a czym droga?



Zjawiska przyrodnicze wokół nas się powtarzają. Codziennie rano słońce wschodzi, a wieczorem zachodzi (ryc. 14.1.). Po wiosnie przychodzi lato, po lecie jesień. Żeby opisać, kiedy ma miejsce dane zdarzenie i jak długo trwa, wprowadzono pojęcie czasu. **Czas** to wielkość fizyczna, która określa kolejność zdarzeń oraz odstępy między zdarzeniami. Czas w fizyce oznaczamy literą t (od ang. *time* – czyt. tajm – czas).

Czas, który mija między kolejnymi zdarzeniami, które zaszły w chwili t_1 i następującej po niej chwili t_2 , obliczamy ze wzoru:



$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Grecka litera Δ (czyt. delta) oznacza zmianę pewnej wielkości fizycznej. W tym przypadku Δt oznacza zmianę czasu lub przedział czasu.

Na przykład lekcja, która zaczęła się o godzinie 8.00 (czyli w chwili t_1) i skończyła o godzinie 8.45 (w chwili t_2), trwała 45 minut (przedział czasu Δt).

Czas wyrażamy w jednostkach takich jak: sekunda, godzina, dzień, rok.

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

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

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

$$1 \text{ doba} = 24 \text{ h} = 24 \cdot 60 \text{ min} = 24 \cdot 3600 \text{ s} = 86\,400 \text{ s}$$

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

Do pomiaru czasu używamy zegarów lub stopera, czyli zegara, który mierzy czas między włączeniem go i wyłączeniem.



Ryc. 14.1. Wschód słońca w letni poranek i zachód słońca w zimie

Zobacz, jak to zrobić!

1. Lekcja trwa 45 minut. Obliczmy, ile to sekund.

$$45 \text{ min} = 45 \cdot 60 \text{ s} = 2700 \text{ s}$$

2. Czas spędzony w szkole to 6 godzin. Obliczmy, jaka to część doby.

$$6 \text{ h} = 6 \cdot \frac{1}{24} \text{ doby} = \frac{1}{4} \text{ doby} = 0,25 \text{ doby}$$

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczanie czasu podróży

Na ilustracji przedstawiono fragment rozkładu jazdy linii tramwajowej nr 3 w Bydgoszczy. Pasażer przyszedł na przystanek Łoskoń o godz. 8.15. Obliczmy, po ilu minutach od przybycia na przystanek wysiądzie on na przystanku Dworzec Wschód. Zakładamy, że tramwaj jechał zgodnie z rozkładem jazdy.

Rozwiązanie:

Najbliższy odjazd tramwaju z przystanku Łoskoń jest przewidziany na 8.21, czyli 6 minut po przybyciu pasażera na ten przystanek. Tramwaj według rozkładu jedzie 17 minut. Oznacza to, że na przystanku Dworzec Wschód pasażer wysiądzie po 23 minutach od chwili przyścia na przystanek Łoskoń.

Przystanek: Łoskoń		Czas podróży	
KIERUNEK: WILCZAK		0	Łoskoń
Dzień powszedni		1	Andersa / Gieryna
Godzina	Minuty	3	Niepodległości
4	26 47	4	Andersa / Wolna
5	03 22 41	6	Bajka
6	01 21 42	7	Andersa / Kleeberga
7	01 21 42	9	Akademicka / Igrzyskowa
8	02 21 41	10	Akademicka / Kaliskiego
9	02 22 41	11	Przylesie P + R
10	02 22 41	12	Akademicka / Romanowskiego
11	02 22 41	14	Akademicka / Rejewskiego
12	02 22 41	17	Dworzec Wschód
13	02 22 41		

Rozglądaj się wokół!

Zegary dawniej i dziś



Czas mierzymy z wykorzystaniem zegarów o różnej konstrukcji.

Zegar słoneczny

Odmierza czas od świtu do zmierzchu i działa tylko w słoneczne dni. Cień na tarczy zegara zmienia swoje położenie w zależności od pory dnia. Wskazówka zegara jest ustawiona do poziomu pod kątem, który odpowiada szerokości geograficznej miejsca ustawienia zegara.



Zegary wodne oraz ogniowe

Zegar wodny to naczynie z podziałką na ścianie i z otworem w dnie, przez który wypływa woda. Zegar ogniowy to świeca z podziałką. Wypływająca woda i spalająca się świeca pokazują upływ czasu o dowolnej porze dnia lub nocy.



Zegar wahadłowy

W zegarze tego typu do odmierzania czasu wykorzystuje się wahadło, które porusza się cyklicznie.

Zegar pulsarowy

Ten zegar mierzy czas przez zliczanie impulsów radiowych wysyłanych w bardzo regularnych odstępach czasu przez pulsary (to rodzaj gwiazd). Przedstawione na zdjęciu odbiorniki impulsów radiowych (czyli anteny) zegara znajdują się na kościele św. Katarzyny w Gdańsku. Zegary tego typu należą do najdokładniejszych na świecie.



Sportowy zegarek kwarcowy

W takim zegarku wykorzystuje się zjawisko drgań kryształu kwarcu, który znajduje się wewnątrz. Wymaga on zasilania z baterii. Często mierzy także tętno, stopień natlenienia krwi oraz określa lokalizację za pomocą GPS.

Niektóre z otaczających nas ciał z upływem czasu zmieniają miejsce, w którym się znajdują, np. zbliżają się do nas lub się od nas oddalają. Mówimy, że ciała te zmieniają swoje **położenie**. Jednym ze sposobów obserwacji, jak zmienia się położenie ciała w czasie, jest filmowanie jego ruchu, a następnie analizowanie filmów. Film to seria zdjęć robionych jedno po drugim w równych, ustalonych odstępach czasu (ryc. 14.2.).

W przypadku ciał, które poruszają się dostatecznie wolno, możliwe jest rejestrowanie ich położenia także za pomocą aparatu fotograficznego. Gdy nałożymy na siebie zdjęcia Księżyca wykonywane co godzinę, zauważymy, że zmienia on swoje położenie na niebie (ryc. 14.3.). Dzięki temu z łatwością zobaczymy, po jakiej linii poruszał się Księżyc. Taką linię nazywamy torem.



Ryc. 14.2. Wyświetlone jednocześnie kolejne klatki filmu przedstawiające poruszającą się piłkę



Ryc. 14.3. Fotografie Księżyca wykonywane co godzinę i nałożone na siebie

Tor to linia zakreślana przez dowolny punkt ciała, które się porusza.

Ruch, którego torem jest linia prosta, nazywamy **ruchem prostoliniowym** (ryc. 14.4.a). Ruch, którego torem nie jest linia prosta, lecz krzywa, nazywamy **ruchem krzywoliniowym** (ryc. 14.4.b).

a)



b)



Ryc. 14.4. Tor ruchu łodzi motorowej: prostoliniowy (a) i krzywoliniowy (b)

Tory ruchu ciał



Ślad na polu pozostawiony przez pług wskazuje, że ciągnik porusza się ruchem prostoliniowym.

Tor ruchu skoczka narciarskiego na znacznej części rozbiegu jest linią prostą – narciarz porusza się wówczas ruchem prostoliniowym.



Kolorowe smugi, zostawiane przez samoloty, pokazują, po jakich torach się one poruszały. To przykład ruchu krzywoliniowego.



Ślad na śniegu wskazuje, że narciarz porusza się ruchem krzywoliniowym.



Długość toru, po jakim porusza się ciało, nazywamy **drogą**. Drogę oznaczamy literą s , a wyrażamy ją w jednostkach długości, czyli na przykład w metrach, kilometrach, centymetrach. Drogę mierzą przykładowo liczniki w rowerach i samochodach. Licznik taki rejestruje liczbę obrotów koła pojazdu podczas ruchu. Na podobnej zasadzie działają urządzenia do pomiaru drogi hamowania (ryc. 14.5.). Dzięki temu, że obwód koła przyrządu jest znany, można zmierzyć długość śladu hamującego samochodu.



Ryc. 14.5. Pomiar drogi hamowania pojazdu uczestniczącego w kolizji

Dowiedz się więcej!

Tor ruchu różnych punktów ciała

W zależności od tego, jaki punkt ciała wybierzemy do analizy ruchu, możemy otrzymać różne kształty toru. Zazwyczaj wybieramy punkt, który pozwala na jak najprostszy opis ruchu ciała.

W przypadku rowerzysty poruszającego się po poziomej drodze inny jest na przykład tor ruchu osi tylnego koła, a inny wentyla tego koła. Torem ruchu osi koła jest linia prosta, natomiast wentyl porusza się po torze krzywoliniowym. Tory te przedstawiono na ilustracji.

Do opisu ruchu roweru najwygodniej przyjąć, że jego torem jest linia prosta, podobnie jak w przypadku osi koła.



Podsumujmy!

- ▶ **Czas t** jest wielkością fizyczną, która określa kolejność zdarzeń oraz odstępy między zdarzeniami.
- ▶ **Tor** to linia zakreślana przez wybrany punkt poruszającego się ciała.
- ▶ W zależności od kształtu toru wyróżniamy **ruchy prostoliniowe** i **krzywoliniowe**.
- ▶ **Droga s** to długość toru. Jej jednostką może być na przykład metr, kilometr.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

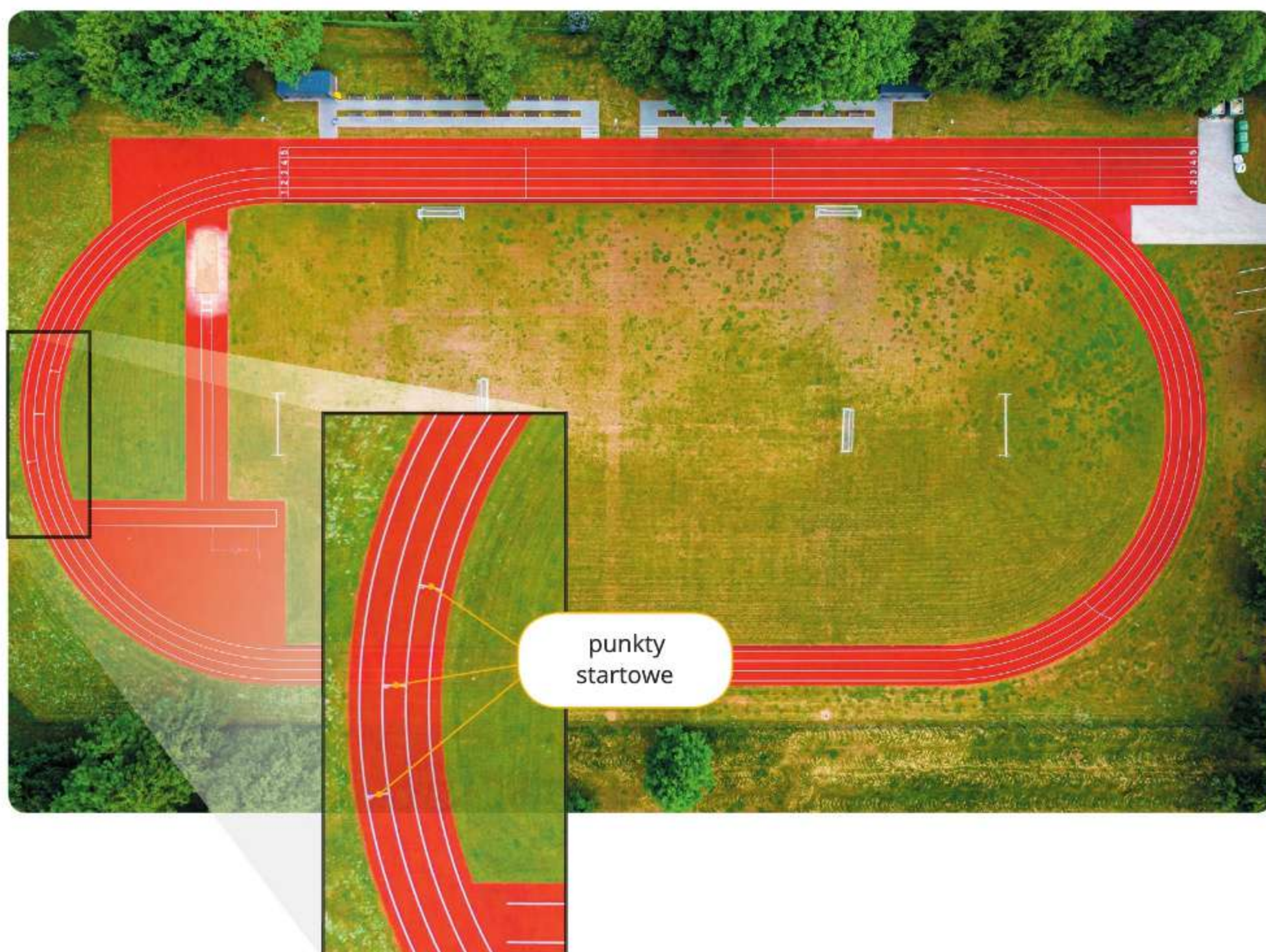
1.	W zegarach wykorzystuje się zjawiska, które powtarzają się cyklicznie.	P	F
2.	Torem ruchu samochodu poruszającego się po rondzie jest linia prosta.	P	F
3.	Aby wyznaczyć drogę przebytą przez ciało, musimy zmierzyć długość toru zakreślonego przez to ciało.	P	F
4.	Jednostką drogi może być decymetr.	P	F

2. W tabeli przedstawiono fragment rozkładu jazdy Szybkiej Kolei Miejskiej w Trójmieście. Między którymi sąsiadującymi ze sobą stacjami czas przejazdu jest najkrótszy, a między którymi najdłuższy?

Stacja	Czas odjazdu	Odległość (km)
GDAŃSK OLIWA	17.32	0
Gdańsk Żabianka-AWFIS	17.33	1
Sopot Wyścigi	17.35	2
SOPOT	17.37	4
Sopot Kamienny Potok	17.41	5
Gdynia Orłowo	17.44	8
Gdynia Redłowo	17.46	10
Gdynia Wzgórze św. Maksymiliana	17.49	11
GDYNIA GŁÓWNA	17.51	13



- 3.** Podaj po dwa inne niż w treści rozdziału przykłady ruchu prostoliniowego i krzywoliniowego, obserwowane na co dzień.
-
- 4.** Autobus wyruszył z przystanku początkowego o godzinie 13.54. Podróż trwała 164 minuty. O której godzinie autobus dotarł do przystanku końcowego?
-
- 5.** Punkty startowe zawodników uczestniczących w biegu na dystansie 200 m i 400 m w zawodach na bieżni nie są rozmieszczone na jednej prostej (prostopadłej do krawędzi bieżni). Wyjaśnij dlaczego.



15. Względność ruchu

- ▶ Czym jest układ odniesienia?
- ▶ Co to znaczy, że ruch jest względny?



Ciało przemieszcza się wtedy, gdy zmienia swoje położenie w czasie. Jednak to samo ciało może poruszać się względem jednego obserwatora, a względem drugiego – nie. Gdy jedziemy wagonikiem kolejki w parku rozrywki, nasz współpasażer nie zmienia swojego położenia, czyli względem nas spoczywa. Jednak osoba stojąca obok toru kolejki widzi, że nasz współpasażer porusza się wraz z wagonikiem. Dlatego do opisu ruchu potrzebne jest wskazanie, względem czego opisujemy ten ruch. Taki obiekt lub miejsce nazywamy **układem odniesienia**. W przypadkach, gdy nie jest podany układ odniesienia, przyjmujemy, że jest nim Ziemia.

Ruch ciała to zmiana jego położenia w czasie, odbywająca się względem przyjętego przez nas układu odniesienia. Mówimy, że jedno ciało porusza się względem drugiego lub że jest względem niego w spoczynku.



Ruch jest **względny**, co oznacza, że jego opis zależy od wybranego układu odniesienia.



Ryc. 15.1. Wagonik kolejki wraz z pasażerami widziany przez osobę stojącą obok toru

Przeanalizujemy sytuację przedstawioną na ilustracji 15.2. Dwie osoby znajdujące się w jadącym tramwaju oznaczono literami A i B, natomiast osobę stojącą na chodniku – literą C.

- ▶ W układzie odniesienia związanym z tramwajem osoby A i B pozostają w spoczynku, natomiast osoba C w tym układzie się porusza.
- ▶ W układzie odniesienia związanym z osobą C zarówno tramwaj, jak i osoby A i B, które się w nim znajdują, są w ruchu.

Ryc. 15.2. Pasażerowie tramwaju są w ruchu albo w spoczynku w zależności od przyjętego układu odniesienia.



Do precyzyjnego opisu położenia obiektu poruszającego się ruchem prostoliniowym wykorzystujemy oś liczbową. Zazwyczaj oznaczamy ją symbolem x . Oś tę rysujemy tak, aby obiekt poruszał się wzdłuż niej (ryc. 15.3.). Początek osi umieszczamy w punkcie, względem którego chcemy analizować ruch. Oś ta tworzy **jednowymiarowy układ odniesienia**. Po zaznaczeniu początku osi i jej jednostki położeniu obiektu w tym układzie odpowiada współrzędna odczytana na osi.



Ryc. 15.3. Pociąg poruszający się wzdłuż prostej

Rozglądaj się wokół!

Przykłady względności ruchu

Ruch opisujemy względem wybranego układu odniesienia. To samo ciało może być nieruchome względem jednego układu odniesienia i jednocześnie poruszać się względem innego.



Biegacz na bieżni w układzie odniesienia związanym z podłogą nie przemieszcza się, natomiast względem przesuwającej się taśmy bieżni jest w ruchu.

Dzieci na kręcącej się karuzeli są w spoczynku względem siebie nawzajem, ale poruszają się w układzie odniesienia związanym z Ziemią.



Skoczkowie spadochronowi są w ruchu względem Ziemi, ale względem siebie się nie poruszają.



Względem astronauty znajdującego się na Księżycu Ziemia się porusza, a Księżyc pozostaje w spoczynku. Według obserwatora na Ziemi to Księżyc się porusza, a Ziemia jest nieruchoma.



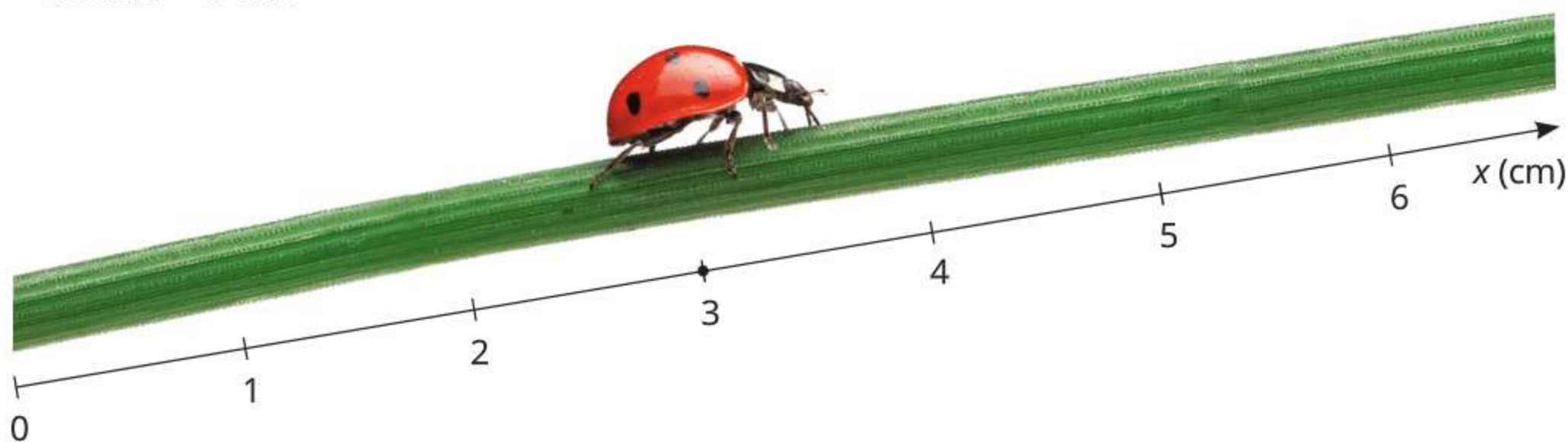
Czapla nie porusza się względem pływającego krokodyla, ale porusza się względem wody.

Zobacz, jak to zrobić!

Opisujemy położenie biedronki

Biedronki wspinają się po źdźbłach trawy, a gdy dotrą do najwyższego punktu, startują do lotu. Opiszmy położenie takiej biedronki.

1. Najpierw rysujemy oś liczbową wzdłuż toru ruchu biedronki, czyli wzdłuż źdźbła trawy. Początek osi to punkt 0 i względem niego będziemy określać położenie biedronki. Zwrot osi wskazuje, w którą stronę porusza się biedronka.
2. Na osi zaznaczamy podziałkę, czyli prostopadłe do osi kreski w równych odległościach od siebie, np. co 1 cm.
3. Opisujemy oś: oznaczamy ją jako „ x (cm)”, bo będzie ona przedstawiać położenie x w centymetrach. Przy podziałce wstawiamy odpowiednie liczby.
4. W wybranym układzie odniesienia, który stanowi nasza oś, biedronka znajduje się w położeniu $x = 3$ cm.



Do opisanego położenia samochodu, który porusza się po parkingu lub innej płaskiej powierzchni (czyli płaszczyźnie), nie wystarczy tylko jedna oś liczbowa. Potrzebujemy do tego dwóch osi, które są do siebie prostopadłe i mają wspólny początek. Oś te będą naszym **dwuwymiarowym układem odniesienia**. Po wyskalowaniu i opisanu każdej osi położenie samochodu w tym układzie odniesienia będą opisywać dwie współrzędne – jedną odczytujemy na osi x , a drugą – na osi y (ryc. 15.4.).

Ryc. 15.4. Położenie samochodu znajdującego się na parkingu można opisać za pomocą współrzędnych $x = 5$ m i $y = 3$ m.





Żyjemy w świecie trójwymiarowym, więc niektóre ciała (np. ptaki, ryby) poruszają się we wszystkich możliwych kierunkach. Do precyzyjnego opisanie ich położenia potrzebujemy wówczas już trzech osi liczbowych (prostopadłych do siebie i o wspólnym początku). W takim trójwymiarowym układzie odniesienia położenie ciała będą opisywać trzy współrzędne – jedną odczytujemy na osi x , drugą – na osi y , a trzecią – na osi z (ryc. 15.5.).

Ryc. 15.5. Ryby mają możliwość poruszania się we wszystkich kierunkach. Współrzędne zaznaczonej na zdjęciu ryby to $x = 10$ cm, $y = 30$ cm i $z = 10$ cm.

Podsumujmy!

- ▶ **Układ odniesienia** to obiekt lub miejsce, względem którego opisujemy ruch.
- ▶ **Ruch jest względny**, gdyż to samo ciało względem jednego układu odniesienia może być w spoczynku, a względem innego – w ruchu.

Sprawdź się!

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Podczas jazdy na rowerze stacjonarnym <u>nie</u> przemieszczamy się względem podłogi.	P	F
2.	Człowiek idący w poruszającym się wolno pociągu może być w spoczynku względem peronu.	P	F
3.	Położenie delfina pływającego w morzu można opisać za pomocą układu trzech prostopadłych do siebie osi liczbowych.	P	F
4.	Każdy układ odniesienia musi być związany z Ziemią.	P	F

- 2.** Uczeń jedzie do szkoły autobusem. Wymień dwa obiekty, które są nieruchome względem ucznia, oraz dwa, które względem niego się poruszają.

- 3.** W centrum handlowym znajdują się ruchome chodniki umożliwiające przemieszczanie się między piętrami. Chodnik po prawej stronie (jak na fotografii) służy do ruchu w górę, a chodnik po lewej – do ruchu w dół.

W jaki sposób należy poruszać się po chodniku znajdującym się po lewej stronie, aby być w spoczynku względem budynku?



- 4.** Człowiek podczas górskiej wycieczki wchodzi na szczyt. Tę sytuację przedstawiono na fotografii obok.

Jaka jest minimalna liczba osi liczbowych niezbędnych do precyzyjnego opisu ruchu turysty wzdłuż prostego zbocza – jednej, dwóch czy trzech? Uzasadnij odpowiedź.



- 5.** Naprzeciw siebie po szosie jadą samochód oraz ciągnik z przyczepą. Obok szosy rośnie drzewo. Zapisz w zeszycie, względem którego z ciał:

- a.** ciągnik jest nieruchomy,
- b.** samochód się porusza,
- c.** drzewo jest nieruchome.

W odpowiedzi uwzględnij obiekty takie jak: szosa, drzewo, przyczepa, ciągnik, samochód.



16. Rodzaje ruchu. Prędkość ciała

- ▶ Jaki ruch nazywamy jednostajnym, a jaki zmiennym?
- ▶ Czym jest prędkość?



Na co dzień przemieszczamy się z jednego miejsca do drugiego. Nasz ruch może składać się z wielu etapów. Na każdym z tych etapów możemy się rozpędzać, zatrzymywać, ponownie ruszać. W każdym, nawet najbardziej złożonym ruchu znajdziemy etapy przynajmniej jednego z dwóch podstawowych rodzajów ruchu: jednostajnego lub zmiennego (ryc. 16.1.).

Ruchem jednostajnym porusza się ciało, które w równych odstępach czasu pokonuje takie same odcinki drogi. Jeśli człowiek jedzie takim ruchem na hulajnodze (ryc. 16.2.), to gdy zmierzmy odległości pokonywane przez niego w ciągu każdych przykładowych 2 sekund, będą one takie same, np. równe 8 metrów.



Ryc. 16.1. Podczas podróży autostradą poruszamy się zarówno ruchem jednostajnym, jak i zmiennym.



Ryc. 16.2. Człowiek jadący na hulajnodze ruchem jednostajnym

Ruchem zmiennym porusza się ciało, które w równych odstępach czasu pokonuje różne odcinki drogi. Takim ruchem porusza się przykładowo spadający z drzewa kasztan (ryc. 16.3.). Odległości, które przebywa w kolejnych takich samych przedziałach czasu (np. trwających po 0,2 sekundy), są coraz dłuższe.

Do opisu ruchu używamy pojęcia prędkości. **Prędkość** informuje nas, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu. Jeśli turysta porusza się z prędkością na przykład 6 km/h, to w czasie jednej godziny marszu przebędzie drogę 6 km. Prędkość jest wielkością wektorową i oznaczamy ją symbolem $\vec{v}$ (od ang. *velocity* – czyt. welositi – prędkość).

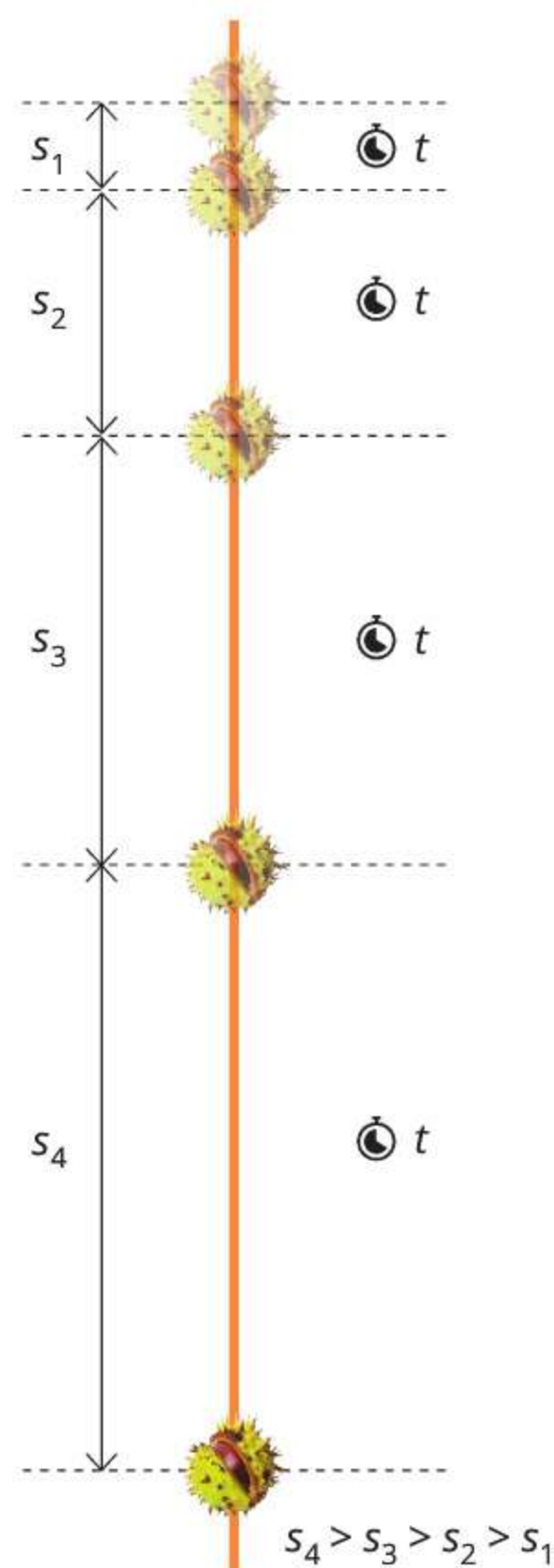
Aby obliczyć prędkość, należy podzielić drogę przez czas potrzebny na jej przebycie.



$$\text{prędkość} = \frac{\text{droga}}{\text{czas potrzebny na przebycie tej drogi}}$$

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

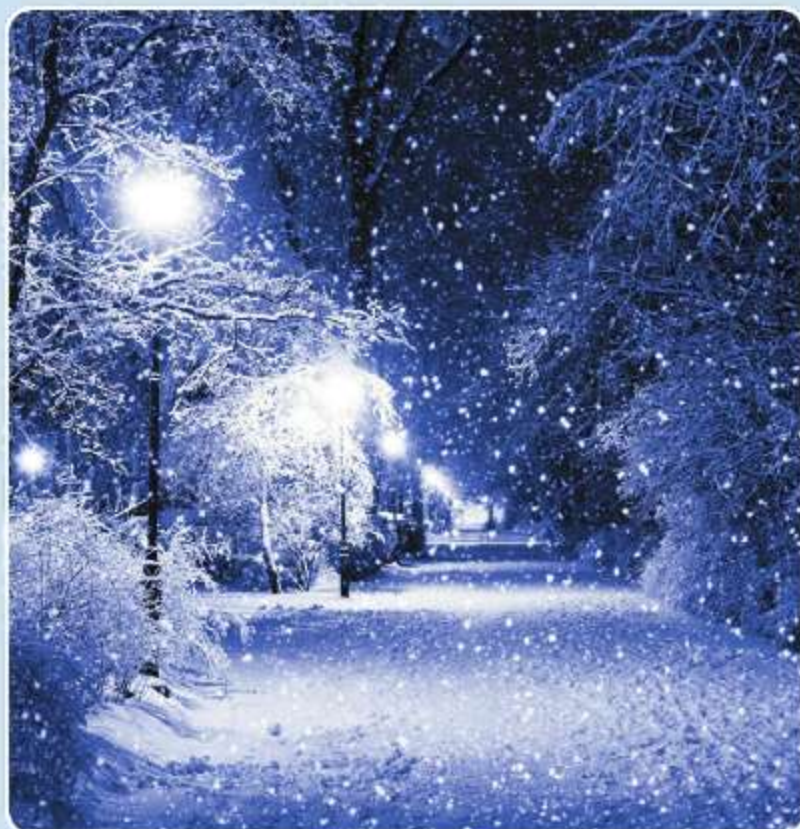
Podstawową jednostką prędkości jest m/s (metr na sekundę). Na co dzień posługujemy się również innymi jednostkami prędkości, np. km/h, mm/min. Zawsze jest to jednostka drogi podzielona przez jednostkę czasu.



Ryc. 16.3. Kasztan poruszający się ruchem zmiennym

Rozglądaj się wokół!

Ruch jednostajny i ruch zmienny wokół nas



Wagonik kolei gondolowej na odcinkach między słupami podtrzymującymi liny porusza się ruchem jednostajnym.

Ruch jest najpowszechniejszym zjawiskiem w przyrodzie. Ciała wokół nas poruszają się przynajmniej jednym z dwóch podstawowych rodzajów ruchu: jednostajnym lub zmiennym.

Spadające z nieba płatki śniegu przez znaczną część drogi poruszają się ruchem jednostajnym.



Zatrzymujący się na przystanku autobus lub ruszający z miejsca rowerzysta to przykłady ciał poruszających się ruchem zmiennym.



Zobacz, jak to zrobić!

Wiemy, że 1 km to 1000 m, 1 h to 3600 s. Odpowiednio 1 m to $\frac{1}{1000}$ km, a 1 s to $\frac{1}{3600}$ h.

1. Autobus jedzie z prędkością 45 km/h. Jaka jest jego prędkość w m/s? Jaką drogę pokonuje autobus w ciągu sekundy?

$$45 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 45 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{45000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Autobus porusza się z prędkością 12,5 m/s. W czasie 1 s pokonuje drogę 12,5 m.

2. Tramwaj jedzie z prędkością 17 m/s. Jaką drogę pokonuje tramwaj w ciągu sekundy? Jaka jest jego prędkość w km/h?

$$17 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 17 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 17 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 61,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Tramwaj poruszający się z prędkością 17 m/s w czasie 1 s pokonuje drogę 17 m. Jego prędkość to 61,2 km/h.

3. Na podstawie rozkładu jazdy obliczmy prędkość autobusu między przystankami Lelów i Koniecpol Przysieka. Wynik zapiszmy w km/h.

Odległość między przystankami Lelów i Koniecpol Przysieka wynosi 7 km, a czas przejazdu to 8 min. Aby obliczyć prędkość autobusu, dzielimy przebytą drogę przez czas potrzebny na jej pokonanie:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{7 \text{ km}}{8 \text{ min}} = \frac{7 \text{ km}}{\frac{8}{60} \text{ h}} = \frac{7 \cdot 60}{8} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 52,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Autobus poruszał się z prędkością 52,5 km/h.

Przystanki	Odległość (km)	Czas odjazdu
Lelów	0	7.10
Zbyczyce	0,9	7.11
Drochlin I	2,4	7.13
Drochlin II	4,4	7.15
Koniecpol Przysieka	7	7.18
Koniecpol Rynek	9,4	7.21
Koniecpol Armii Krajowej	10,4	7.23

Gdy w jednakowych odstępach czasu pokonywana jest taka sama droga, to ciało ma stałą prędkość. Wobec tego **ruch jednostajny to ruch, w którym prędkość jest stała**. Gdy droga pokonywana w jednakowych odstępach czasu się zmienia, to zmianie ulega również prędkość ciała. Wobec tego **ruch zmienny to ruch, w którym prędkość się zmienia** (rośnie lub maleje).

Tabela 16.1. Porównanie ruchu jednostajnego i ruchu zmiennego

Ruch jednostajny	W równych odstępach czasu pokonywane są jednakowe odcinki drogi.	Prędkość jest stała.
Ruch zmienny	W równych odstępach czasu pokonywane są różne odcinki drogi.	Prędkość się zmienia – rośnie lub maleje.

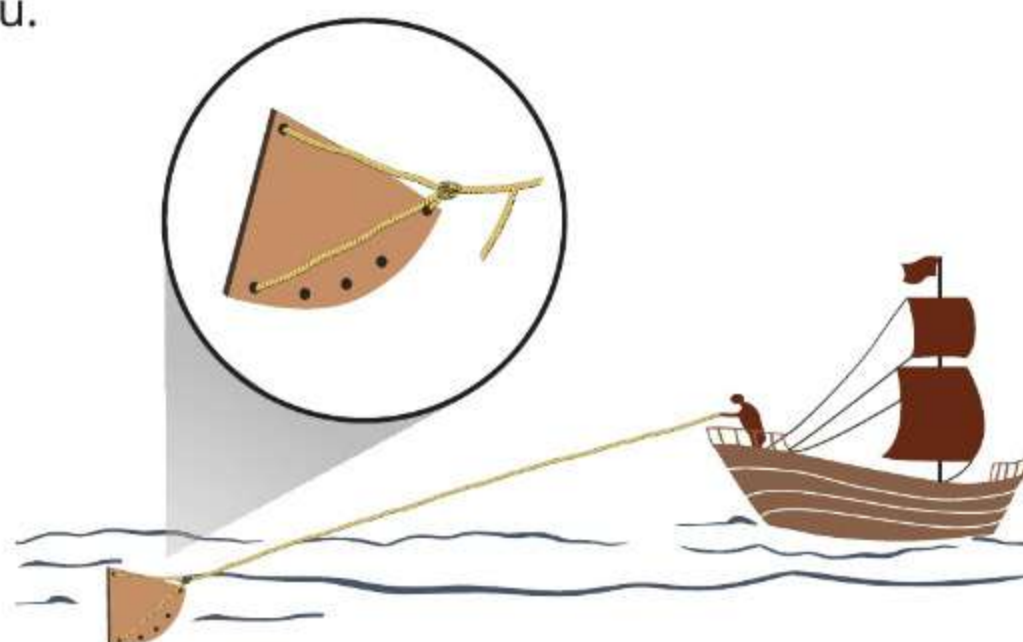
Dowiedz się więcej!

Pomiar prędkości na morzu

W czasach wielkich odkryć geograficznych, czyli na przełomie XV i XVI wieku, prędkość statków określano za pomocą węzłów. Za burtę wyrzucano do morza deskę obciążoną tak, że w zasadzie nie przemieszczała się względem wody. Do deski zamocowana była lina z węzłami zawiązanymi na niej w równych odległościach. Marynarz wypuszczał linę między palcami w tempie płynącego statku i liczył liczbę węzłów w określonym czasie. Jeśli przez palce marynarza przeszło 5 węzłów, to oznaczało, że statek płynie z prędkością 5 węzłów. Węzły na linie były zawiązane w takich odległościach, że odpowiadało to prędkości statku równej 5 milom morskim na godzinę. Stąd wzięła się stosowana do dziś jednostka prędkości „węzeł”: 1 węzeł to 1 mila morska na godzinę.

$$1 \text{ węzeł} = 1 \frac{\text{Mm}}{\text{h}} = 1,852 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Deska i sznurek z węzłami to przyrząd, który nazywano logiem. Log o takiej konstrukcji był powszechnie używany jeszcze na początku XX wieku.



Podsumujmy!

- ▶ **Prędkość** jest wielkością fizyczną informującą nas o pokonywanej przez ciało drodze w jednostce czasu. Prędkość obliczamy ze wzoru:

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

- ▶ **Ruch jednostajny** to taki, w którym ciało ma stałą prędkość, czyli w równych odstępach czasu pokonuje ono jednakowe odcinki drogi.
- ▶ **Ruch zmienny** to taki, w którym prędkość ciała się zmienia, czyli w równych odstępach czasu pokonuje ono różne odcinki drogi.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Jednostką prędkości może być km/s.	P	F
2.	W ruchu jednostajnym ciało przebywa kolejne jednakowe odcinki drogi w coraz dłuższym czasie.	P	F
3.	Spośród dwóch ciał większą prędkość ma to, które w tym samym czasie pokona dłuższą drogę.	P	F
4.	Podczas ruchu zmiennego prędkość ciała może maleć.	P	F

2. Rowerzysta w czasie 28 minut przejechał drogę 9,5 km. Oblicz prędkość tego rowerzysty w km/h.

3. Który pojazd ma większą prędkość: motocykl jadący 34 m/s czy pociąg jadący 110 km/h? Wykonaj odpowiednie obliczenia.

4. Na podstawie rozkładu jazdy na s. 121 podręcznika oblicz prędkość autobusu między przystankami Koniecpol Przysieka i Koniecpol Rynek. Wynik podaj w km/h.

5. W tabeli przedstawiono fragment rozkładu jazdy pociągu jadącego z Poznania do Warszawy.

Stacja	Odległość	Przyjazd	Odjazd
Kutno	0	17.08	17.09
Łowicz Główny	45 km	17.39	17.41
Skierniewice	67 km	17.59	18.01
Żyrardów	90 km	18.12	18.13
Warszawa Zachodnia	130 km	18.35	18.38
Warszawa Centralna	133 km	18.44	18.49

- a. Oblicz prędkość pociągu na trasie Kutno–Warszawa Centralna.
- b. Wykonaj odpowiednie obliczenia i sprawdź, czy prędkość pociągu między stacjami Skierniewice i Żyrardów jest taka sama jak prędkość między stacjami Kutno i Łowicz Główny.

17. Wyznaczanie prędkości

- ▶ Jakie wielkości należy zmierzyć, aby wyznaczyć prędkość?
- ▶ Czym jest prędkość średnia?



Prędkość pojazdu wpływa na bezpieczeństwo na drodze. Zależą od niej m.in. droga hamowania i konsekwencje wypadków. Dlatego należy przestrzegać ograniczeń określonych przepisami oraz bezwzględnie dopasowywać prędkość do warunków panujących na drodze. Każdy pojazd wyposażony jest w prędkościomierz, który informuje kierowcę o prędkości, z jaką przemieszcza się w danej chwili.

Aby obliczyć prędkość, dzielimy drogę, którą przebyło ciało, przez czas potrzebny na jej pokonanie:

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

Gdy czas ruchu jest dość długi – np. są to minuty albo godziny – obliczoną w ten sposób prędkość nazywamy **prędkością średnią**. Jeśli na przykład na wycieczce rowerowej pokonaliśmy trasę 24 km w ciągu 2 godzin, to powiemy, że jechaliśmy z prędkością średnią 12 km/h.

Prędkościomierz samochodowy wskazuje prędkość na podstawie pomiaru drogi przebytej przez pojazd w określonym czasie. W tym przypadku czas pomiaru jest bardzo krótki, bo krótszy niż sekunda. Wyznaczona w danym momencie prędkość to **prędkość chwilowa** pojazdu (ryc. 17.2.a).

PL	≤3,5t	>3,5t
	50	50
	90	70
	100	80
	120	
	140	

Ryc. 17.1. Znak informujący o dopuszczalnych na terenie Polski prędkościach w ruchu drogowym

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy prędkość samochodu zabawki

1. Do doświadczenia będą potrzebne: samochód zabawka (np. elektryczny albo napędzany sprężyną), taśma miernicza, stoper, kolorowa taśma klejąca.
2. Taśmą mierniczą odmierzasz na podłodze odcinek jednego metra. Zaznacz taśmą klejącą jego początek i koniec.
3. Zmierz stoperem czas przejazdu zabawki pomiędzy zaznaczonymi punktami. Pomiar powtórz pięciokrotnie.
4. Dla każdego przejazdu oblicz prędkość, z jaką poruszał się samochodzik.
5. Zapisz w zeszycie, jakie czynniki mogły mieć wpływ na różnice między wynikami poszczególnych pomiarów.

a)



b)



Ryc. 17.2. Prędkościomierz wskazuje prędkość chwilową (a). Znak drogowy informuje o pomiarze prędkości średniej (b).

Jeśli ciało porusza się ruchem jednostajnym, jego prędkość chwilowa jest cały czas taka sama i równa prędkości średniej. Ruch ciała może jednak składać się z etapów, podczas których porusza się ono ruchem jednostajnym, ale z różnymi prędkościami, lub ruchem zmiennym, w którym prędkość chwilowa się zmienia, tzn. maleje lub wzrasta. Przez pewien czas ciało może się nawet nie poruszać. W przypadku takiego ruchu również można obliczyć prędkość średnią.



Aby obliczyć **prędkość średnią** ciała podczas całego ruchu, należy podzielić całkowitą drogę, którą ciało przebyło, przez czas potrzebny na jej przebycie, bez względu na rodzaj ruchu, jakim się poruszało.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy prędkość średnią hulajnogi elektrycznej, która przez minutę poruszała się z prędkością 2 m/s, a przez kolejne dwie minuty – z prędkością 5 m/s.

Dane: $t_1 = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$, $t_2 = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$, $v_1 = 2 \text{ m/s}$, $v_2 = 5 \text{ m/s}$

Szukane: v_{sr}

Uwaga: obliczenie prędkości średniej nie polega na dodaniu poszczególnych prędkości na kolejnych etapach ruchu i podzieleniu uzyskanego wyniku przez liczbę etapów (czyli na obliczeniu średniej arytmetycznej). Prędkość średnia w opisanym przykładzie nie wynosi zatem 3,5 m/s.

Rozwiązanie:

Aby obliczyć prędkość średnią hulajnogi na całej trasie, najpierw musimy obliczyć długość tej trasy. Drogę pokonaną przez hulajnogę z prędkością v_1 obliczymy z przekształconego wzoru:

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1}$$

Mnożymy ten wzór obustronnie przez t_1 i otrzymujemy wzór na szukaną drogę:

$$s_1 = t_1 \cdot v_1 = 60 \text{ s} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 120 \text{ m}$$

Podobnie obliczamy drogę przebytą przez pojazd, gdy poruszał się z prędkością v_2 :

$$s_2 = t_2 \cdot v_2 = 120 \text{ s} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 600 \text{ m}$$

Wobec tego całkowita droga przebyta przez hulajnogę w czasie podróży to:

$$s = s_1 + s_2 = 120 \text{ m} + 600 \text{ m} = 720 \text{ m}$$

Całkowity czas ruchu wyniósł:

$$t = t_1 + t_2 = 60 \text{ s} + 120 \text{ s} = 180 \text{ s}$$

Aby obliczyć prędkość średnią, dzielimy całkowitą drogę przez czas potrzebny na jej przebycie:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s}{t} = \frac{720 \text{ m}}{180 \text{ s}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość średnia hulajnogi na całej trasie była równa 4 m/s.

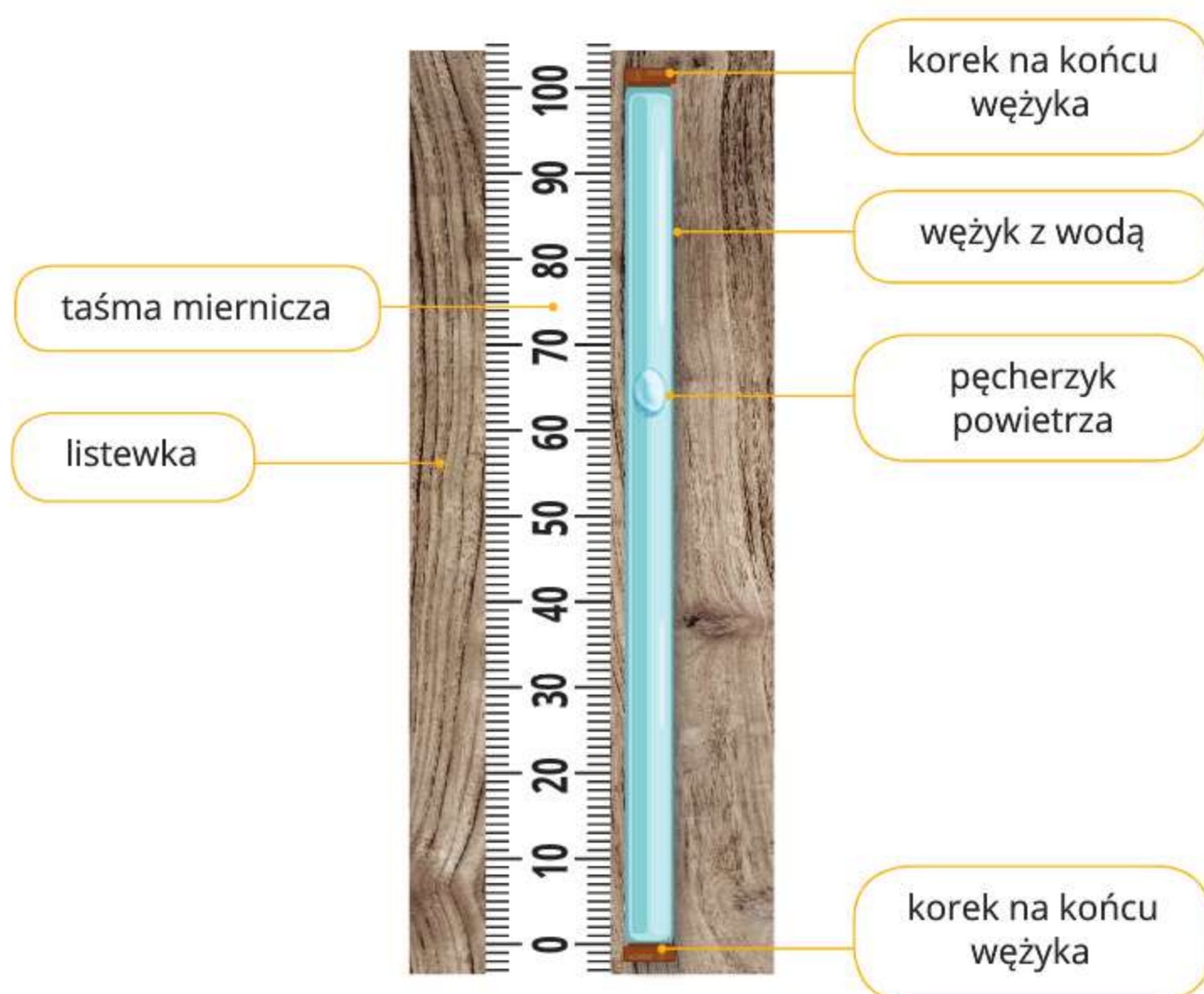
Zbadaj to sam!

Rejestrujemy ruch w drodze do szkoły

1. Do doświadczenia będą potrzebne: urządzenie z czujnikiem GPS (np. telefon komórkowy) oraz aplikacja korzystająca z możliwości lokalizowania urządzenia i rejestrowania położenia (np. Phyphox).
2. Podziel trasę z domu do szkoły na kilka etapów ruchu. Odczytaj w aplikacji, jaka droga została przebyta podczas poszczególnych etapów ruchu i ile czasu trwał każdy z nich.
3. Oblicz prędkość na kolejnych etapach swojej drogi do szkoły.

Badamy ruch pęcherzyka powietrza

1. Do doświadczenia będą potrzebne: przezroczysty wężyk gumowy o długości 1 m i średnicy wewnętrznej ok. 1 cm, dwa korki (lub plastelina), którymi można szczelnie zamknąć wężyk, listewka o długości 1 m, bezbarwna taśma klejąca, papierowa taśma miernicza, woda, barwnik, lejek oraz kamera (np. w smartfonie).
2. Napełnij wężyk zabarwioną wodą, tak by po zamknięciu go z obu stron woda nie wydostawała się na zewnątrz i by w wężyku oprócz cieczy znajdował się niewielkich rozmiarów pęcherzyk powietrza.
3. Za pomocą taśmy klejącej przymocuj wężyk wzdłuż listewki. Równoległe do wężyka zamocuj taśmę mierniczą.



4. Nieznaczne pochylenie listewki z wężykiem sprawia, że pęcherzyk powietrza się przemieszcza.
5. Zarejestruj na filmie ruch pęcherzyka powietrza w rurce. Podczas nagrywania filmu kamera powinna być nieruchoma i obejmować całą długość rurki.
6. Odczytaj położenie pęcherzyka na tle taśmy mierniczej na przykład na co dziesiątej klatce filmu. Czas, jaki upływa między dziesięcioma klatkami, oblicz na podstawie szybkości rejestracji filmu. Na przykład dla szybkości 25 klatek na sekundę czas co dziesiątej klatki filmu wynosi $10 : 25 = 0,4$ s. Szybkość rejestrowania filmu należy odczytać w ustawieniach kamery lub we właściwościach zarejestrowanego nią pliku (filmu).
7. Wyniki pomiarów drogi i czasu potrzebnego na jej pokonanie zapisz w odpowiedniej tabeli.
8. Oblicz prędkość pęcherzyka na każdym odcinku pokonywanym w czasie trwania dziesięciu klatek filmu.

Dowiedz się więcej!

Odcinkowy pomiar prędkości

Jedną z metod walki z kierowcami jeżdżącymi ze zbyt dużą prędkością jest pomiar prędkości za pomocą fotoradaru. Jak pokazują badania, samo ustawienie znaku informującego o fotoradarze mierzącym prędkość w danym miejscu nie wystarcza – sprawia tylko, że kierowcy zwalniają tuż przed punktem kontroli. Istnieje jednak skuteczniejsza metoda – odcinkowy pomiar prędkości.

System odcinkowego pomiaru prędkości mierzy czas, który upłynął od chwili minięcia przez samochód pierwszej bramki rejestrującej do chwili minięcia drugiej bramki. Na tej podstawie oblicza się prędkość przejazdu na monitorowanym odcinku. Kierujący pojazdem, którego średnia prędkość przekracza wartość dopuszczalną, jest karany mandatem. Pomiar prędkości na wyznaczonym odcinku powoduje, że pojazdy jadą z mniejszą prędkością na znacznie dłuższej trasie.



Podsumujmy!

- ▶ Aby wyznaczyć prędkość, należy zmierzyć czas i drogę, jaka w tym czasie została przebyta.

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

Gdy czas pomiaru jest bardzo mały, mówimy o prędkości chwilowej, a gdy duży – o prędkości średniej.

- ▶ Aby obliczyć **prędkość średnią**, należy podzielić całkowitą drogę przebytą przez ciało przez całkowity czas ruchu, bez względu na to, jakim rodzajem ruchu poruszało się ciało.
- ▶ **Prędkość chwilowa** to prędkość ciała w danej chwili.

Sprawdź się!

1. Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij. Wpisz brakujące wartości przebytej drogi, czasu oraz prędkości średniej dla różnych ciał.

$s \text{ (m)}$	10		60	9		120
$t \text{ (s)}$	5	2		3	5	
$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$		12	5		20	24

- 2.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Prędkość chwilowa ciała to prędkość wyznaczona dla bardzo krótkiego czasu ruchu.	P	F
2.	Prędkość średnia to zawsze średnia arytmetyczna wszystkich prędkości na poszczególnych etapach ruchu.	P	F
3.	Prędkościomierz rowerowy pokazuje prędkość chwilową roweru.	P	F
4.	Jeśli ciało porusza się ruchem jednostajnym, jego prędkość chwilowa jest w każdym momencie równa prędkości średniej.	P	F

- 3.** Aplikacje używane przez biegaczy podczas treningu podają czas potrzebny na przebycie dystansu 1 km. Oblicz i wyraż w km/h prędkość, z jaką porusza się biegacz, jeśli na pokonanie 1 km trasy potrzebuje 5 minut.

- 4.** Z jaką prędkością średnią poruszał się biegacz, który pierwszą połowę trasy przebył z prędkością 12 km/h, a drugą – z prędkością 10 km/h? Długość całej trasy była równa 10 km.



- 5*.** Samochód osobowy, jadący z Łodzi do Gdańska, pokonał odcinek między Łodzią a Toruniem z prędkością średnią 120 km/h. Na wjazd na następny odcinek autostrady musiał czekać niedaleko Torunia przez 15 minut. Resztę trasy pokonał w czasie 1 h 40 min. Odległość z Łodzi do Torunia jest równa 180 km, a z Torunia do Gdańska 160 km. Oblicz prędkość średnią przejazdu tego samochodu na trasie z Łodzi do Gdańska.

18. Pierwsza zasada dynamiki.

Siły oporu ruchu

- ▶ Co opisuje pierwsza zasada dynamiki?
- ▶ Czym są siły oporu ruchu?



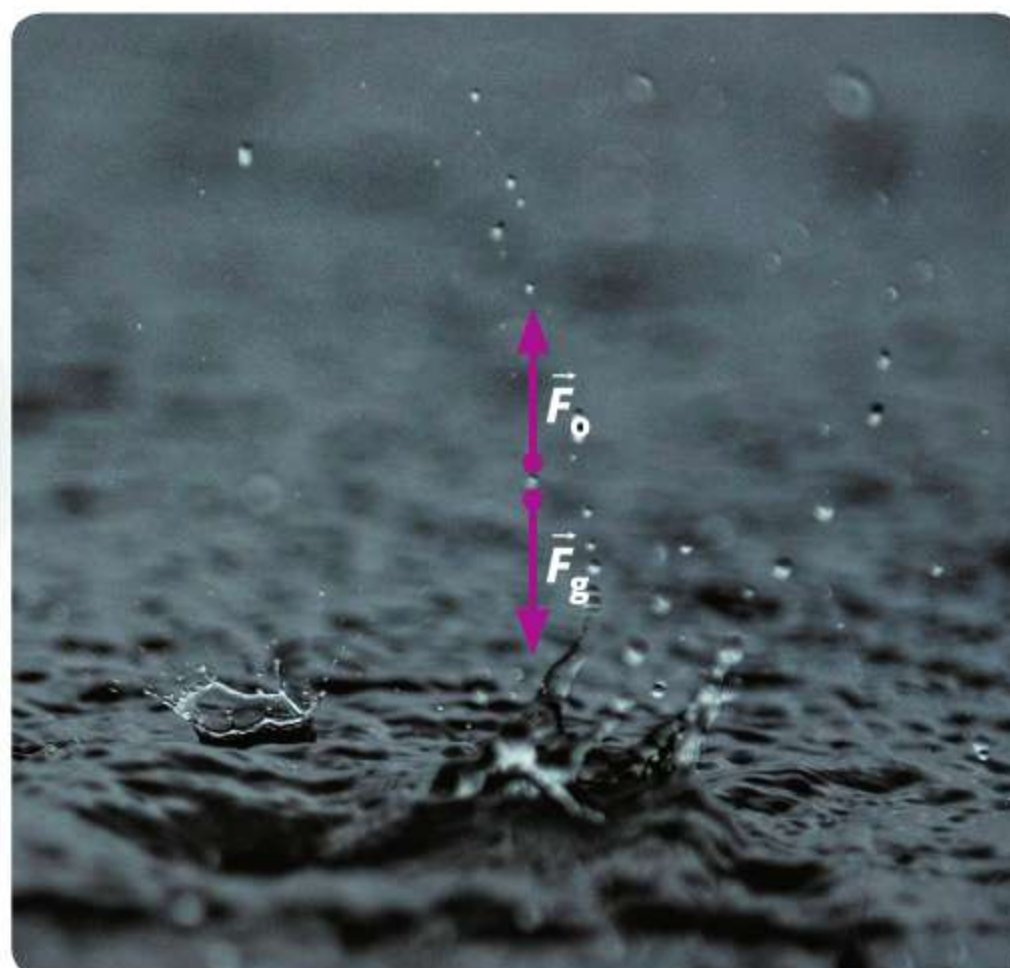
Na książkę leżącą na półce działają: siła ciężkości i siła nacisku podłoża. Książka pozostaje w spoczynku, ponieważ siły te się równoważą, czyli ich wypadkowa wynosi zero (ryc. 18.1.).

Zdarzają się także sytuacje, w których siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zero, a ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Na przykład na spadającą kroplę deszczu działają siła ciężkości i siła oporu ruchu, które przez znaczną część ruchu kropli się równoważą. Kropla spada wówczas ze stałą prędkością (ryc. 18.2.).

Zarówno zachowanie spoczywającej książki, jak i poruszającej się ruchem jednostajnym kropli deszczu można wyjaśnić na podstawie prawa, które nazywamy pierwszą zasadą dynamiki Newtona.



Ryc. 18.1. Książki spoczywające na półce



Ryc. 18.2. Ruch jednostajny kropli deszczu

Pierwsza zasada dynamiki Newtona



Jeżeli na ciało działają siły, które się równoważą (czyli ich wypadkowa jest równa zeru), to ciało, które spoczywało, nadal pozostanie w spoczynku, a ciało, które było w ruchu, będzie się poruszało ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Czasami mówimy też, że jeśli działające na ciało siły się równoważą, to ciało zachowuje swój stan spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej. Tę „niechęć” ciała do zmiany swojego stanu nazywamy **bezwładnością**. Dlatego pierwszą zasadę dynamiki nazywa się także **zasadą bezwładności**.

Jeśli jakieś ciało się nie porusza lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, to na podstawie pierwszej zasady dynamiki możemy wyciągnąć również wniosek dotyczący sił działających na to ciało – na pewno się one równoważą.

W wielu sytuacjach równoważenie się sił, którego rezultatem jest ruch jednostajny, jest związane z **siłami oporu ruchu**. Towarzyszą one poruszaniu się ciała na przykład w powietrzu lub w wodzie. Są to siły hamujące, gdyż działają w stronę przeciwną do ruchu ciała. Dlatego konstruktorzy pojazdów tak dobierają ich kształt, żeby zmniejszyć siły oporu ośrodka, w którym pojazdy się poruszają. Siły oporu ruchu wynikają ze zderzania się ciała z ośrodkiem, czyli z oddziaływania między cząsteczkami ciała i cząsteczkami ośrodka. Im szybciej porusza się ciało, tym większe są siły oporu ruchu.



Ryc. 18.3. Kształt samochodów (a) i statków (b) ma wpływ na opory ruchu.

Zobacz, jak to zrobić!

Na samochód jadący ruchem jednostajnym z prędkością 40 km/h działa siła oporu ruchu o wartości 3000 N. Obliczmy wartość siły napędzającej, jaką silnik działa na samochód.

Dane: $F_o = 3000 \text{ N}$

Szukane: F_{nap}

Rozwiązanie:

Samochód porusza się ruchem jednostajnym, zatem – zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki – działające na niego siły się równoważą. Siły $\vec{F}_{\text{nap}}$ i $\vec{F}_o$ mają przeciwne zwroty, ale będą się równoważyły, gdy ich wartość będzie taka sama. Oznacza to, że $F_{\text{nap}} = 3000 \text{ N}$.

Odpowiedź: Siła napędzająca, której źródłem jest silnik, ma wartość 3000 N.

Pierwsza zasada dynamiki wokół nas

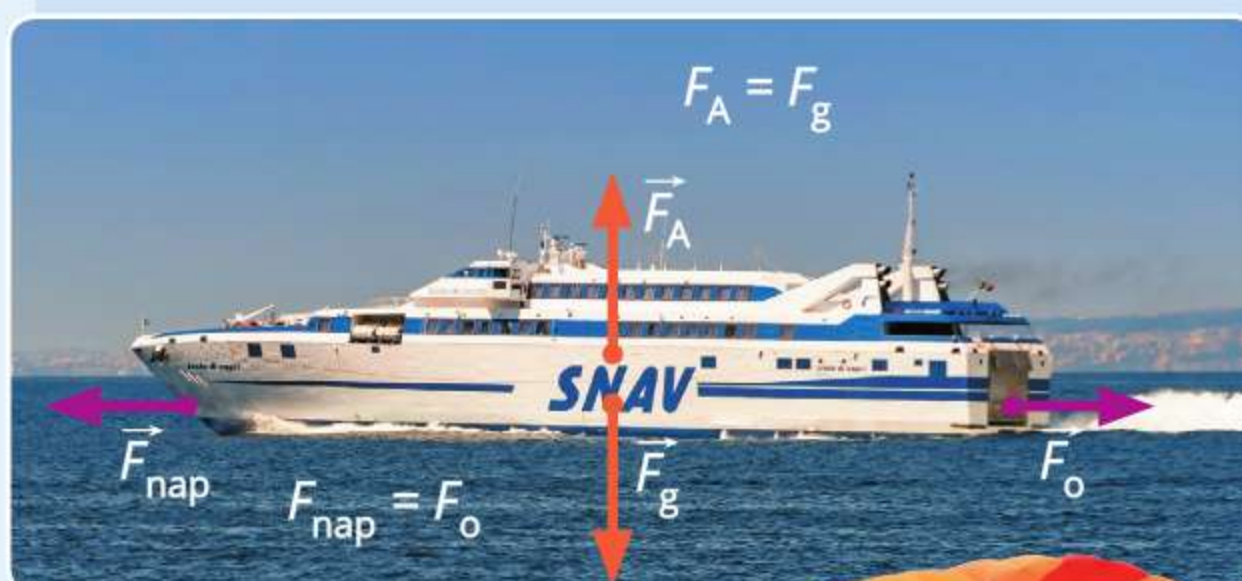


W każdej sytuacji, gdy ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, działające na nie siły się równoważą.

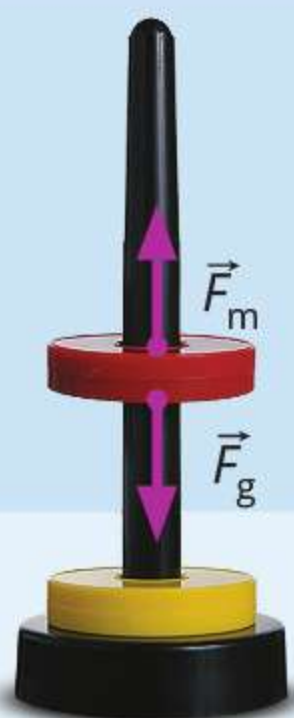


Samochód jest nieruchomy tak długo, jak długo siła $\vec{F}_{\text{nap}}$, jaką jest ciągnięty przez ciągnik, oraz siła oporu ruchu $\vec{F}_0$ się równoważą.

Statek płynie ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdy działające na niego siły się równoważą. W kierunku poziomym na statek działa siła napędzająca $\vec{F}_{\text{nap}}$ oraz siła oporu ruchu $\vec{F}_0$. Wypadkowa tych sił jest równa zero. W kierunku pionowym na statek działają dwie inne siły: siła ciężkości $\vec{F}_g$ oraz siła wyporu $\vec{F}_A$. Ich wypadkowa również jest równa zero i w tym kierunku statek się nie porusza.



Skoczek spadochronowy na pewnym etapie skoku opada ruchem jednostajnym, ponieważ działająca na niego siła wypadkowa jest równa zero. Siła ciężkości skoczka wraz ze sprzętem $\vec{F}_g$ jest wtedy równoważona przez siłę oporu ruchu $\vec{F}_0$.



Górny magnes unosi się nad dolnym, gdyż jest przez niego odpychany siłą $\vec{F}_m$, która równoważy siłę ciężkości $\vec{F}_g$. Siła wypadkowa działająca na górny magnes jest równa zero, dlatego pozostaje on w spoczynku.

Dowiedz się więcej!

Tunel aerodynamiczny

Do obserwowania i badania, jak kształt samochodu wpływa na wartość siły oporu ruchu, wykorzystywane są tunele aerodynamiczne. W tunelach wytwarza się strumień powietrza poruszający się ruchem jednostajnym. Powietrze często jest dodatkowo zabarwione, tak by łatwiej było obserwować, jak opływa ono badany obiekt. Badania prowadzone w tunelach aerodynamicznych pozwoliły stwierdzić, że siła oporu powietrza zależy od jego prędkości względem samochodu, a także od kształtu karoserii i jej powierzchni.



Podsumujmy!

- ▶ **Pierwsza zasada dynamiki:** jeżeli na ciało działają siły, które się równoważą, to ciało, które spoczywało, nadal pozostanie w spoczynku, a ciało, które było w ruchu, będzie się poruszało ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- ▶ **Siły oporu ruchu** to siły hamujące, gdyż działają w stronę przeciwną do ruchu ciała.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Siła wypadkowa działająca na bociana stojącego nieruchomo na jednej nodze jest równa zero.	P	F
2.	Siła wypadkowa działająca na pojazd, który w równych odstępach czasu pokonuje takie same odcinki drogi, jest różna od zera i ma kierunek zgodny z kierunkiem ruchu pojazdu.	P	F
3.	Siła oporu ruchu działa w tę samą stronę, w którą porusza się ciało.	P	F
4.	Im szybciej porusza się ciało, tym większa siła oporu ruchu na nie działa.	P	F

2. Dziewczyna chce przesunąć ciężką szafę. Działa na nią siłą 250 N, ale szafa pozostaje nieruchoma. Oblicz siłę przeciwdziałającą poruszeniu się szafy. Jaki jest zwrot tej siły?



3. Chłopiec trzyma w ręku siatkę z zakupami o masie 8 kg. Oblicz, jaką siłą działa on na siatkę, jeżeli siatka pozostaje w spoczynku.

4. Rowerzysta naciska na pedały i powoduje, że rower jest napędzany siłą 190 N. Jednocześnie podczas jazdy na rowerzystę działa siła oporu powietrza o wartości 190 N. Jakim ruchem porusza się rowerzysta?

5. Na piórko spadające ruchem jednostajnym prostoliniowym działa siła oporu ruchu o wartości 0,003 N. Oblicz ciężar tego piórka.



19. Tworzenie wykresów ruchu

- ▶ Jak sporządzić wykresy ilustrujące ruch?
- ▶ Jakie informacje można odczytać z takiego wykresu?



Podobno Napoleon Bonaparte mawiał, że „dobry szkic jest lepszy niż długa mowa”. I rzeczywiście – przedstawianie informacji w postaci rysunków, schematów, wykresów czy tabel pomaga w ich interpretacji.

Wyobraźmy sobie, że uczeń obserwujący makietę modelarską kolejki co 2 sekundy mierzy drogę przebytą przez lokomotywę. Zebrane dane przedstawiono w tabeli 19.1.

Tabela 19.1. Wyniki pomiarów czasu i drogi poruszającej się lokomotywy

t (s)	0	2	4	6	8
s (cm)	0	20	40	60	80

Z tabeli wynika, że droga, którą przebyła lokomotywa, zmieniała się z upływem czasu. Jednak nie tak łatwo wyciągnąć wnioski na temat ruchu tylko na podstawie tabeli. W takiej sytuacji dane warto przedstawić na wykresie.

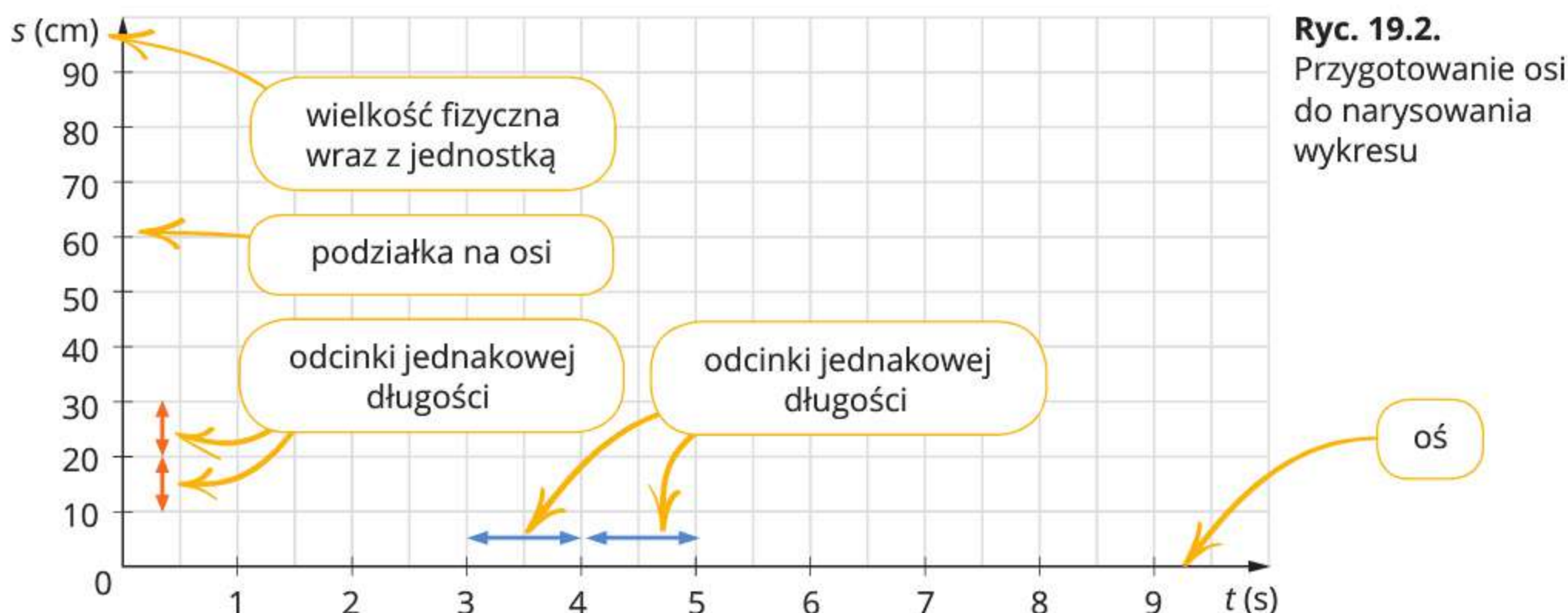
Aby dane z naszej tabeli przedstawić w postaci wykresu, rysujemy dwie prostopadłe do siebie osie. Na osi poziomej zaznaczamy czas, a na pionowej – drogę. Osie opisujemy, czyli przy każdej z nich zapisujemy symbol wielkości fizycznej, która będzie na niej przedstawiona, wraz z jej jednostką, czyli t (s) oraz s (cm). Na każdej z osi zaznaczamy podziałkę, czyli odcinki o równych długościach. Odcinki na jednej



Ryc. 19.1. Lokomotywy na makiecie modelarskiej

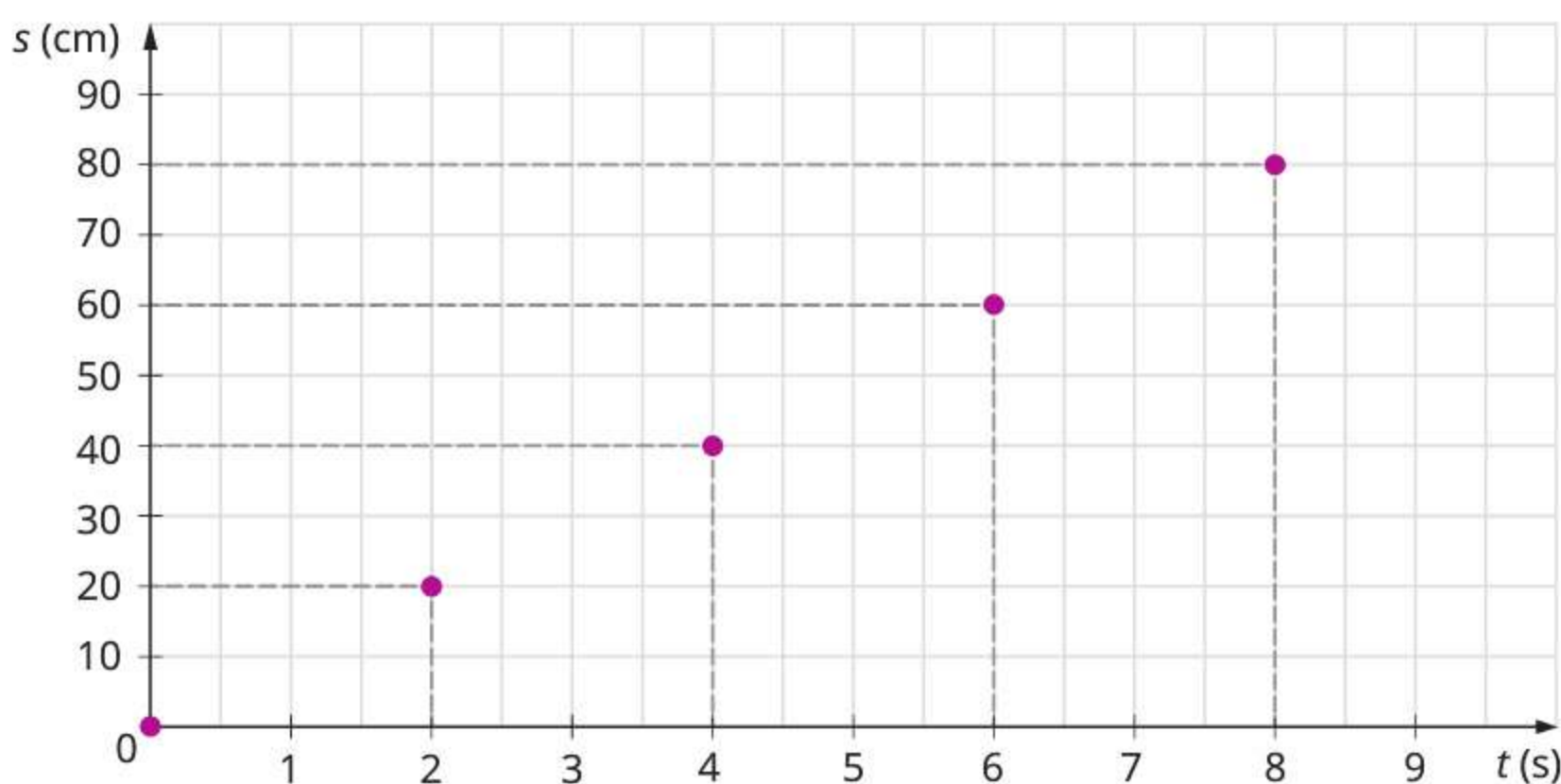
osi powinny mieć taką długość, aby wykres zajmował przeznaczone na niego miejsce i by zmieściły się na nim wszystkie dane z tabeli. Na przykład jedna kratka na wykresie może odpowiadać czasowi równemu 0,5 sekundy (oś pozioma) oraz drodze równej 10 cm (oś pionowa).

Dla danych z tabeli 19.1. osie do narysowania wykresu wyglądają następująco:



Ryc. 19.2.
Przygotowanie osi do narysowania wykresu

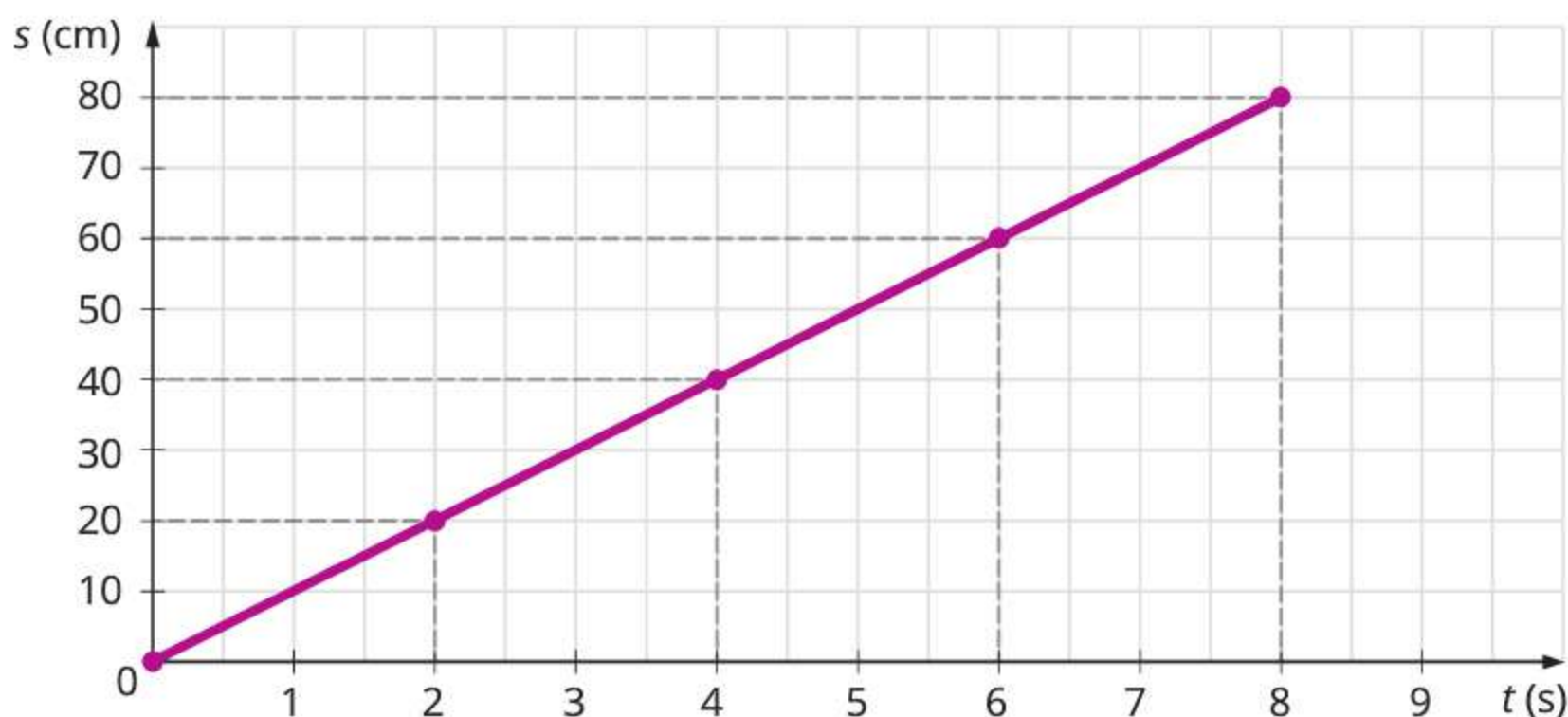
Na tak przygotowany układ osi (zwany układem współrzędnych) nanosimy tzw. **punkty pomiarowe**. W tym celu z tabeli odczytujemy czas t i odpowiadającą mu drogę s , np. dla czasu $t = 2$ s droga $s = 20$ cm. Następnie rysujemy dwie linie pomocnicze – jedną prostą do osi czasu i przecinającą ją w punkcie $t = 2$ s oraz drugą prostą do osi drogi i przecinającą ją w punkcie $s = 20$ cm. W miejscu, w którym przecinają się te linie, zaznaczamy punkt odpowiadający odczytanym danym. Podobnie postępujemy z pozostałymi punktami pomiarowymi (ryc. 19.3.). Tak zaznaczone punkty stanowią **wykres punktowy**. W tym przypadku jest to wykres ilustrujący, jak zmieniała się w czasie droga przebywana przez lokomotywę. Wykres taki nazywamy wykresem zależności drogi od czasu.



Ryc. 19.3. Dane z tabeli 19.1. zaznaczone w postaci punktów pomiarowych tworzą punktowy wykres zależności drogi od czasu.

Jeżeli punkty połączymy linią półprostą* (ryc. 19.4.), to z powstałego **wykresu liniowego** będziemy mogli odczytać także drogę przebytą w dowolnym czasie (od 0 do 8 s). Możemy odczytać, że na przykład dla $t = 5$ s lokomotywa przebyła drogę $s = 50$ cm.

* Często nie wszystkie punkty pomiarowe układają się idealnie wzdłuż linii prostej. Wówczas należy narysować taką półprostą, która będzie przechodziła przez możliwie największą liczbę punktów, a po obu jej stronach pozostanie mniej więcej po tyle samo punktów niepołączonych (nie należy łączyć takich punktów odcinkami).



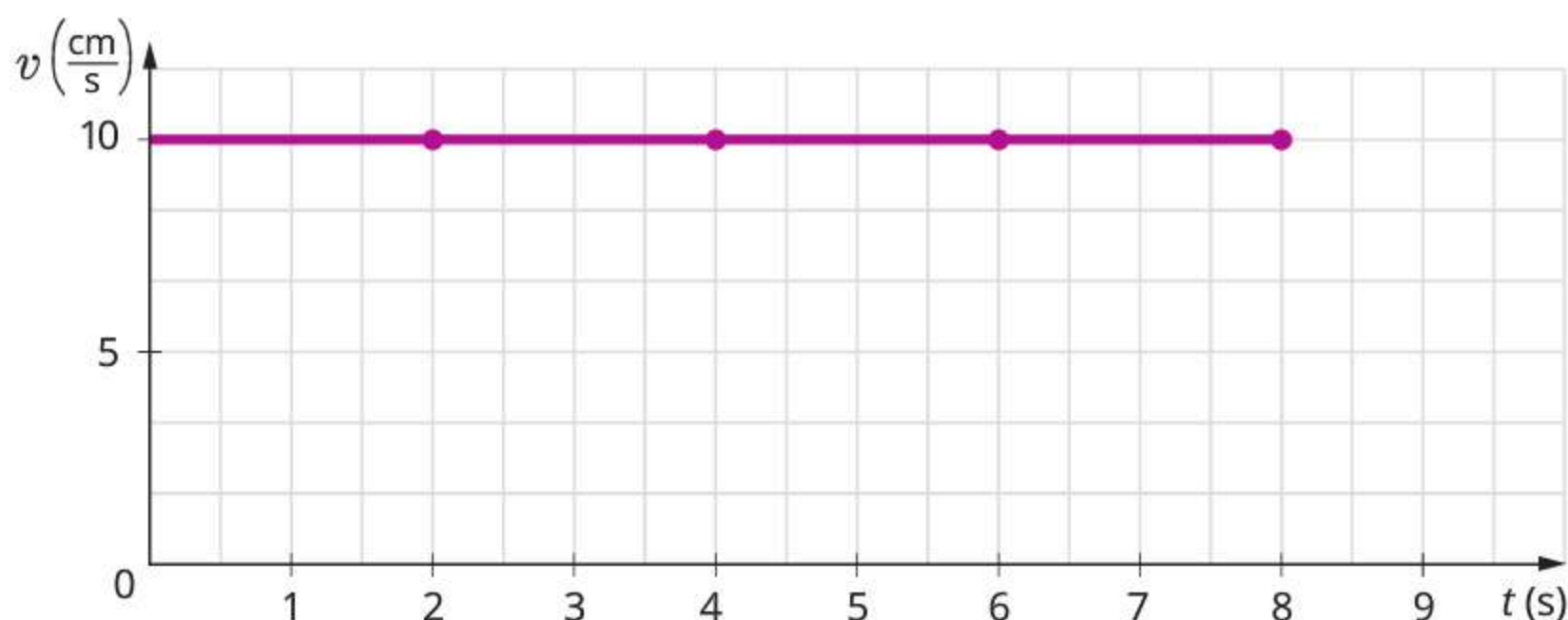
Ryc. 19.4. Półprosta przechodząca przez punkty tworzy liniowy wykres zależności drogi od czasu.

Na wykresie dobrze widać, że w ciągu każdej sekundy lokomotywa pokonywała 10 cm, czyli poruszała się ruchem jednostajnym z prędkością 10 cm/s. Prędkość tę otrzymamy także, gdy podzielimy dowolny odcinek drogi przebyty przez lokomotywę przez czas potrzebny na jego pokonanie. Potrzebne wielkości możemy odczytać z wykresu, np. $\frac{50 \text{ cm}}{5 \text{ s}} = 10 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$.



Wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym zawsze jest półprosta nachylona pod pewnym kątem do osi czasu.

Dla analizowanego ruchu lokomotywy możemy także sporządzić wykres zależności prędkości od czasu. W tym celu także przygotowujemy układ dwóch osi, ale tym razem na osi pionowej zaznaczamy prędkość (pozioma oś czasu będzie taka sama jak poprzednio). Odpowiednio opisujemy osie (ryc. 19.5.). Lokomotywa poruszała się ze stałą prędkością równą 10 cm/s, czyli dla dowolnej chwili możemy zaznaczyć w naszym układzie osi tę właśnie wartość. Na wykresie 19.5. zaznaczone są odpowiednie punkty dla czasów: 2 s, 4 s, 6 s i 8 s. Następnie przez punkty te prowadzimy półprostą, gdyż lokomotywa poruszała się z prędkością 10 cm/s cały czas (czyli także pomiędzy chwilami, kiedy wykonywaliśmy pomiar).



Ryc. 19.5. Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnym



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

Na jednym wykresie można również przedstawiać zależność drogi od czasu dla wielu etapów ruchu. Podobnie na jednym wykresie można przedstawić zależność prędkości od czasu dla kilku etapów ruchu.

Zobacz, jak to zrobić!

Analizujemy ruch składający się z kilku etapów

Grupa turystów wyruszyła na wycieczkę w góry. Przez pierwsze 2 godziny turyści przeszli 6 km z pewną stałą prędkością. Następnie przez godzinę wypoczywali, a po przerwie ruszyli w dalszą drogę. Tym razem przez 4 godziny pokonali 4 km, również z pewną stałą prędkością.

Na podstawie opisu wędrówki narysujmy wykres zależności drogi od czasu.

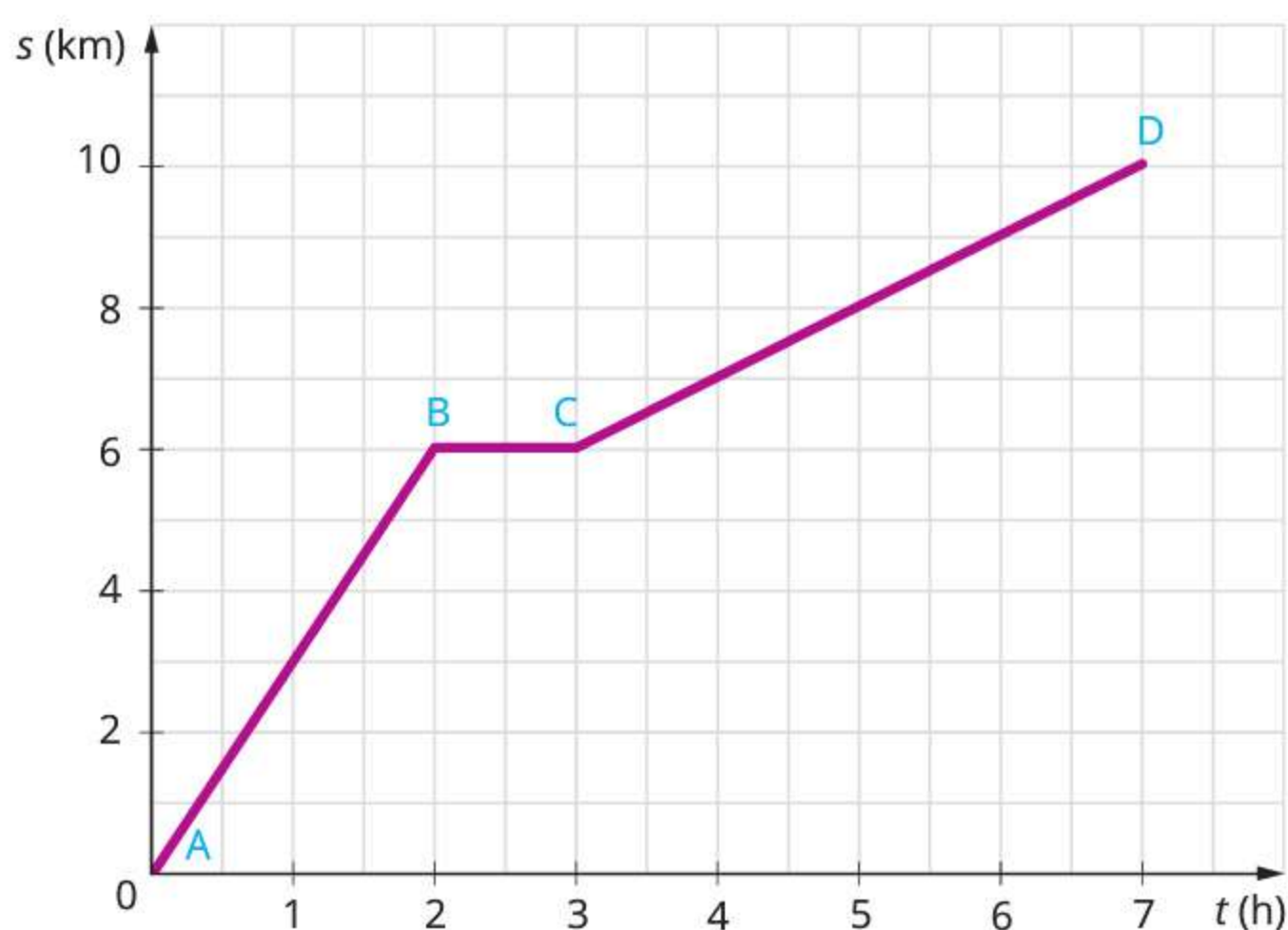
Rozwiązanie:

Etap I. Turyści w czasie 2 godzin przebyli drogę 6 km – na wykresie odpowiada to etapowi od punktu A do punktu B. Ruch był jednostajny, zatem punkty A i B na wykresie połączono linią prostą.

Etap II. Przez następną godzinę turyści odpoczywali. Przez ten czas nie pokonali żadnej drogi, dlatego punkty B i C na wykresie połączono poziomą linią.

Etap III. Przez następne 4 godziny, czyli do siódmej godziny wędrówki (punkt D na wykresie), turyści pokonali 4 km. Łącznie przeszli więc 10 km. Podczas ostatniego etapu wędrówki ruch znowu był jednostajny, zatem punkty C i D na wykresie połączono linią prostą.

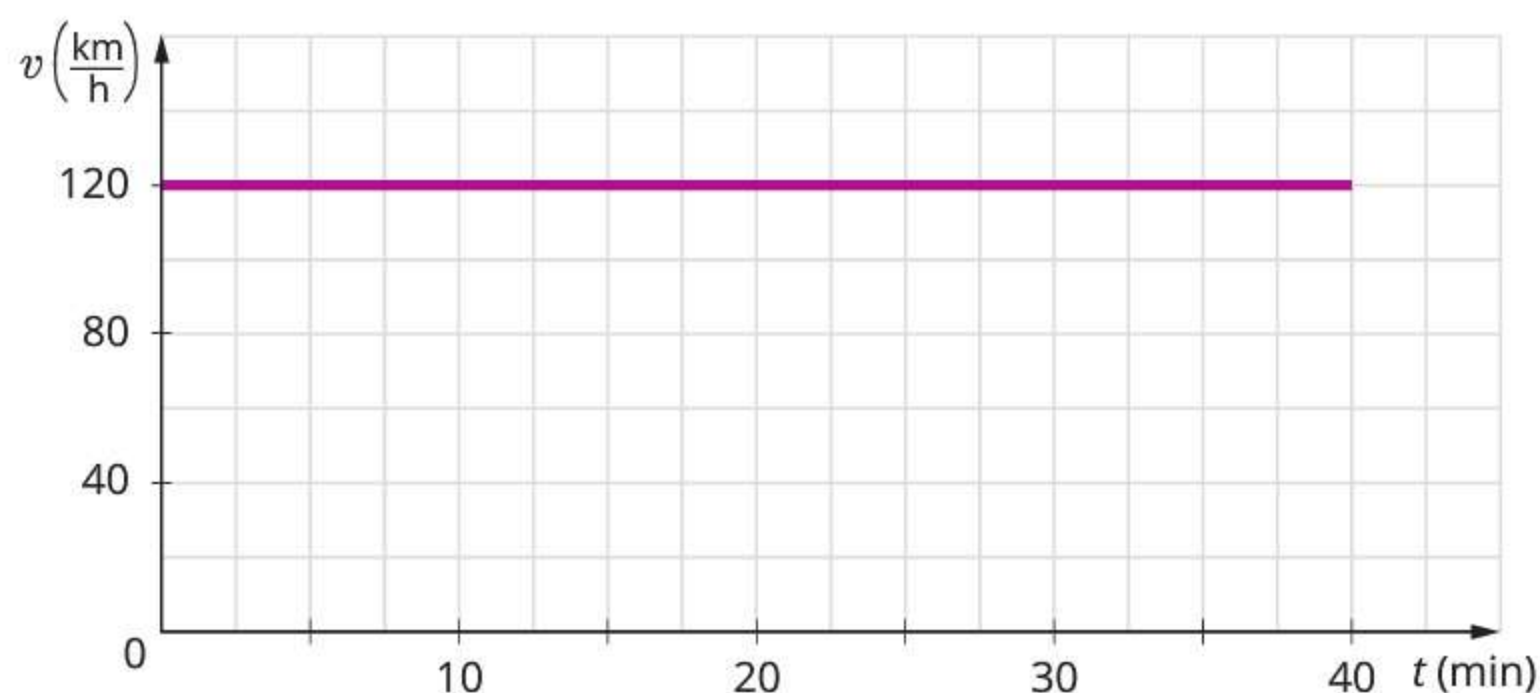
Na etapach I i III turyści poruszali się ruchem jednostajnym, ale na każdym z nich z inną prędkością – prędkość piechurów na etapie I wynosiła 3 km/h, a na etapie III była równa 1 km/h.



Dowiedz się więcej!

Jak obliczyć drogę z wykresu zależności prędkości od czasu?

Na wykresie przedstawiono zależność prędkości pociągu Pendolino od czasu. Obliczmy, jaką drogę pokonał ten pociąg podczas 40 minut jazdy.



Dane: $t = 40 \text{ min} = \frac{40}{60} \text{ h}$

Z wykresu odczytujemy, że prędkość pociągu była stała i równa 120 km/h .

Szukane: s

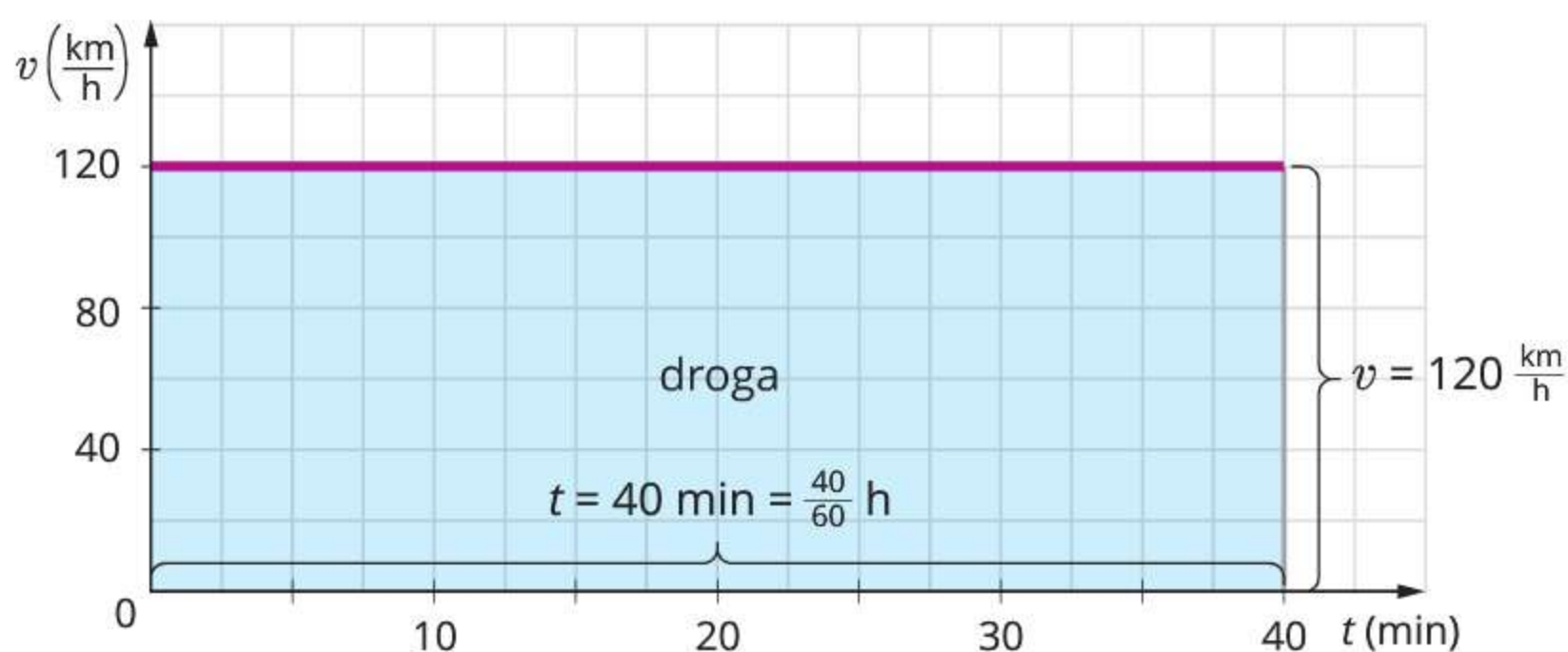
Rozwiązanie:

Drogę w ruchu jednostajnym obliczymy z odpowiedniego wzoru i z wykorzystaniem danych odczytanych z wykresu.

Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$s = v \cdot t = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{40}{60} \text{ h} = 80 \text{ km}$$

Można zauważyć, że droga ta jest równa polu powierzchni figury ograniczonej wykresem prędkości (linią poziomą) i osią czasu. W naszym przypadku droga jest równa polu prostokąta.



Podsumujmy!

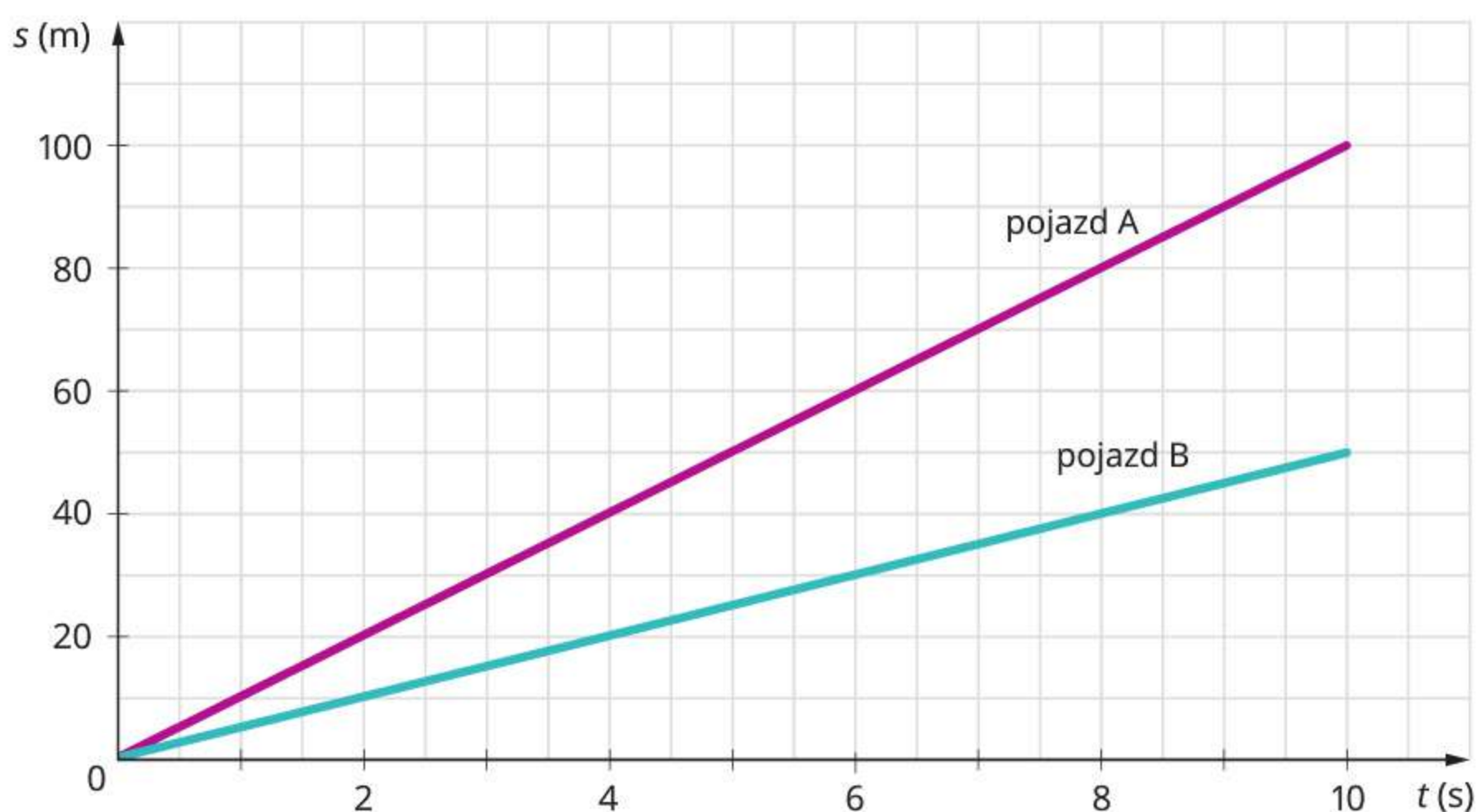
- ▶ **Wykres zależności drogi od czasu** w ruchu jednostajnym jest półprostą nachyloną pod pewnym kątem do osi czasu.
- ▶ **Wykres zależności prędkości od czasu** w ruchu jednostajnym jest poziomą półprostą – równoległą do osi czasu.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Podczas tworzenia wykresu na każdej z osi zaznaczamy podziałkę, czyli odcinki o równych długościach.	P	F
2.	Jeśli chcemy narysować wykres zależności drogi od czasu, na osi poziomej powinniśmy zaznaczyć drogę, a na pionowej czas.	P	F
3.	Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnym jest linią półprostą zawsze nachyloną pod pewnym kątem do osi czasu.	P	F
4.	Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym jest linią półprostą prostopadłą do osi czasu.	P	F

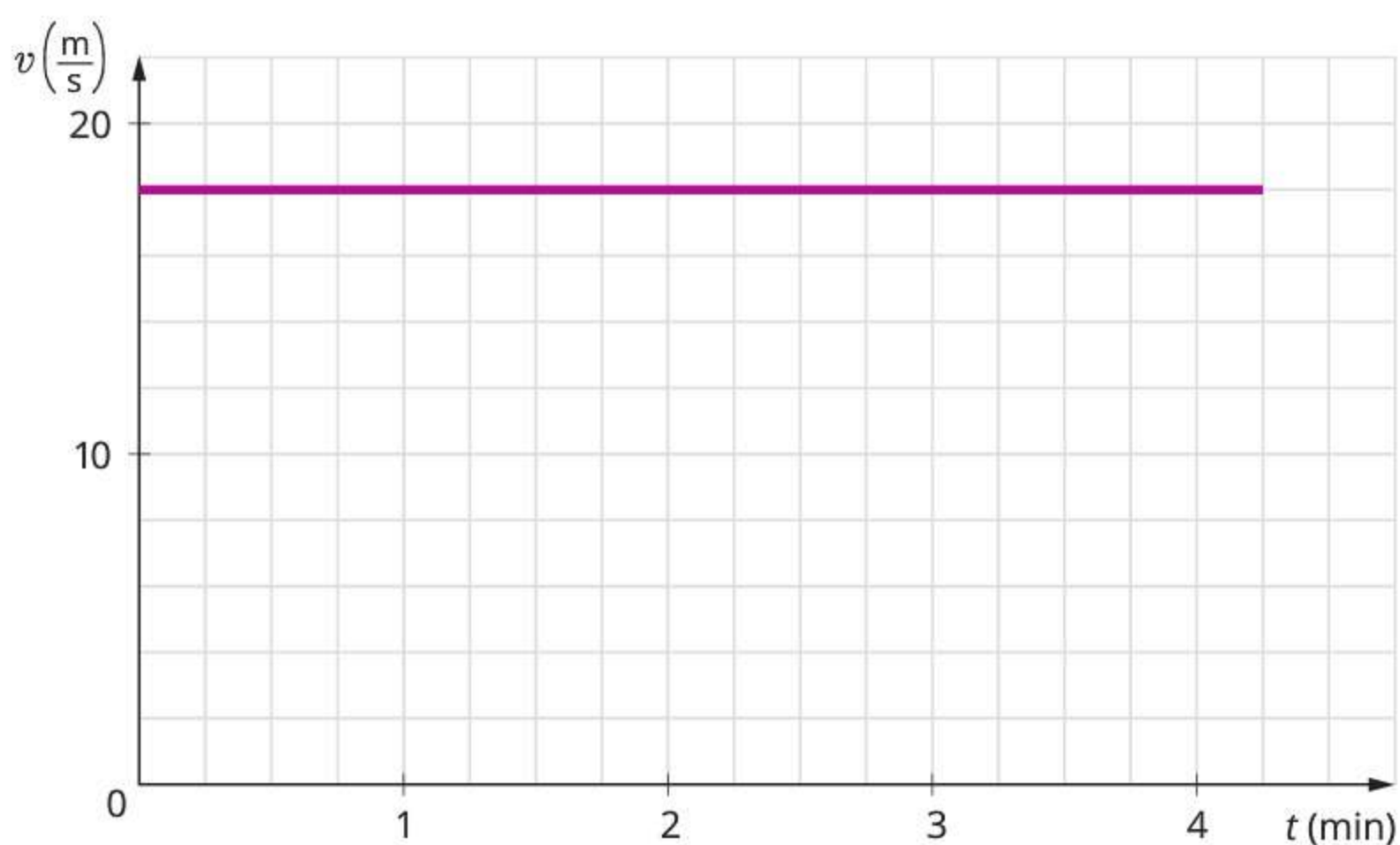
2. Na wykresie przedstawiono zależność drogi od czasu dla dwóch pojazdów. Oblicz prędkość każdego z nich.



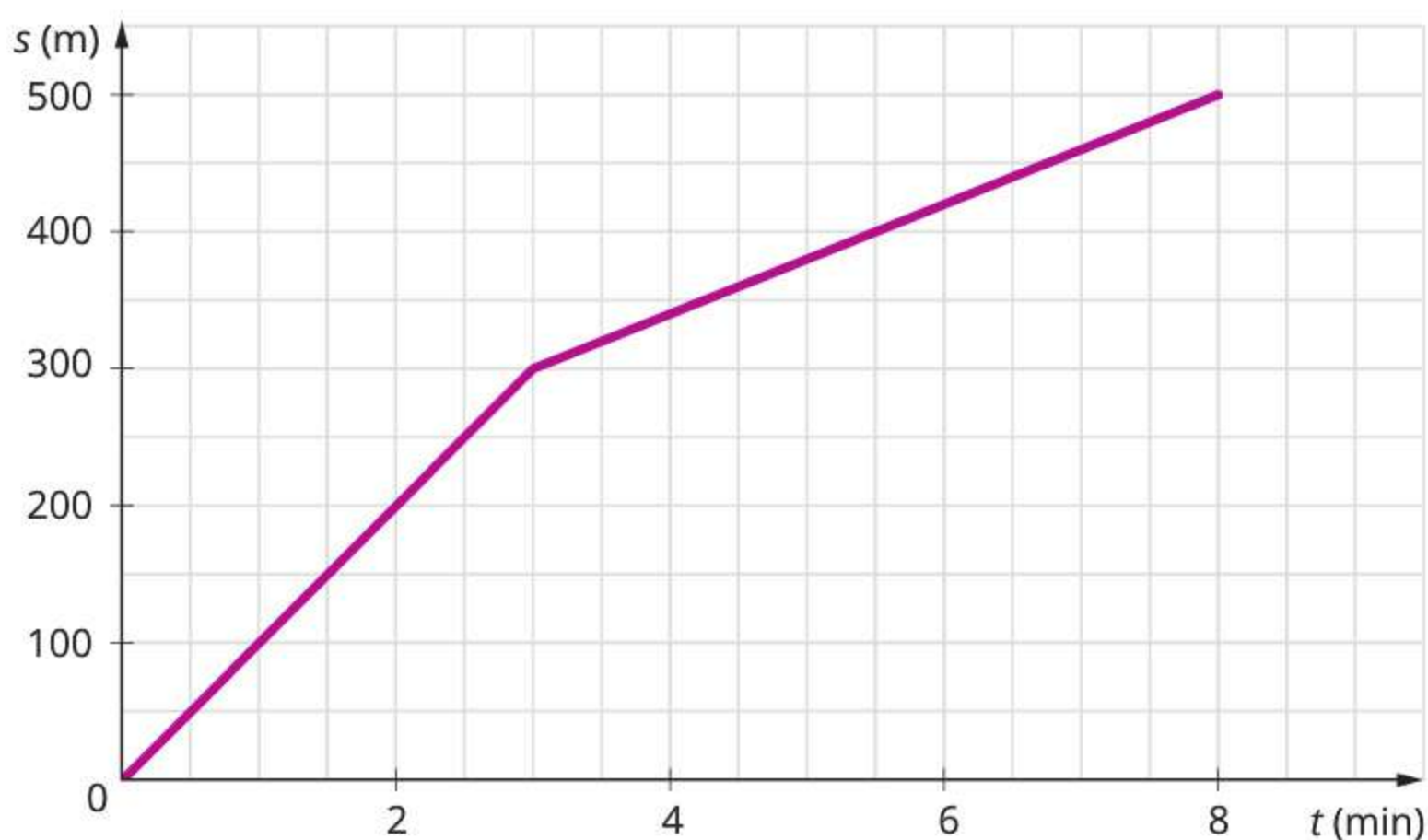
3. W tabeli przedstawiono zależność drogi przebytej przez rowerzystę od czasu. Na podstawie tej tabeli sporządź wykres zależności drogi od czasu.

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70
s (km)	0	3,5	7	7	10	13	16	19

4. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości samochodu od czasu. Odczytaj dane z wykresu i na ich podstawie oblicz drogę przebytą przez ten samochód w czasie 4 minut.



5. Na wykresie przedstawiono zależność drogi od czasu podczas pierwszych kilku minut ruchu narciarza na nartach biegowych.



- a. Oblicz prędkość narciarza w czasie pierwszych 2 minut ruchu. Wynik zapisz w km/h.
- b. Jaka była prędkość narciarza w chwili $t = 1,5$ min?
- c. Jakim ruchem poruszał się narciarz od 4 do 6 minuty? Uzasadnij odpowiedź.

POWTÓRZENIE

Ruch

Czas i tor ruchu

Tor to linia zakreślana przez poruszające się ciało.
Droga s to długość toru.

W ruchu prostoliniowym torem jest linia prosta.



W ruchu krzywoliniowym torem jest linia krzywa.

Czas to wielkość fizyczna, która określa kolejność zdarzeń oraz odstępy między zdarzeniami.

układ odniesienia

Układ odniesienia to obiekt lub miejsce, względem którego opisujemy ruch.

Człowiek porusza się względem drzewa,



względność ruchu

Ruch jest względny, gdyż względem jednego układu odniesienia ciało może być w spoczynku, a względem innego – w ruchu.

ale spoczywa względem skutera.

Prędkość

Prędkość informuje nas, jaką drogę przebywa ciało w jednostce czasu.

Jednostką prędkości jest na przykład $\frac{m}{s}$ lub $\frac{km}{h}$.

prędkość

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

droga

czas

ruch jednostajny

To ruch, w którym prędkość jest stała.



tramwaj jadący między przystankami ze stałą prędkością

ruch zmienny

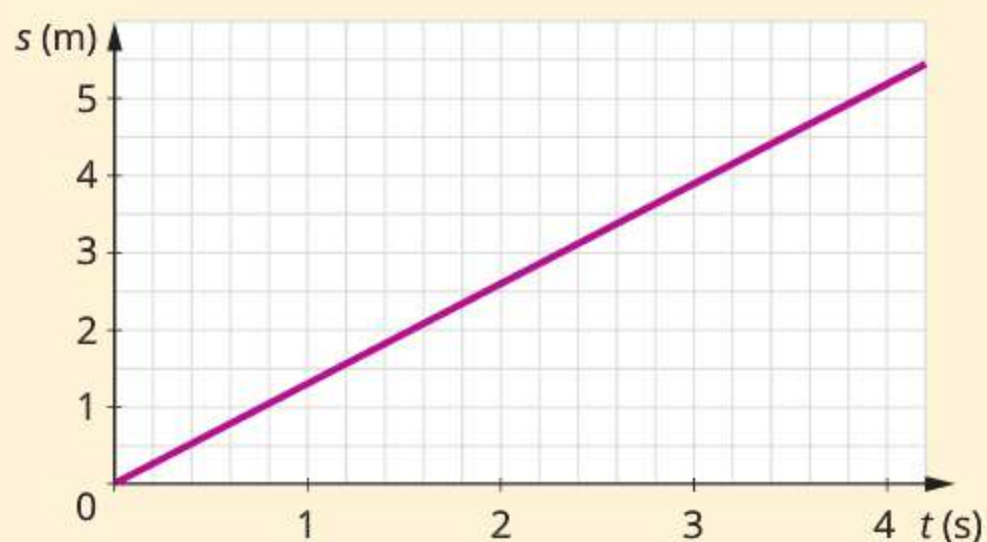
To ruch, w którym prędkość się zmienia.



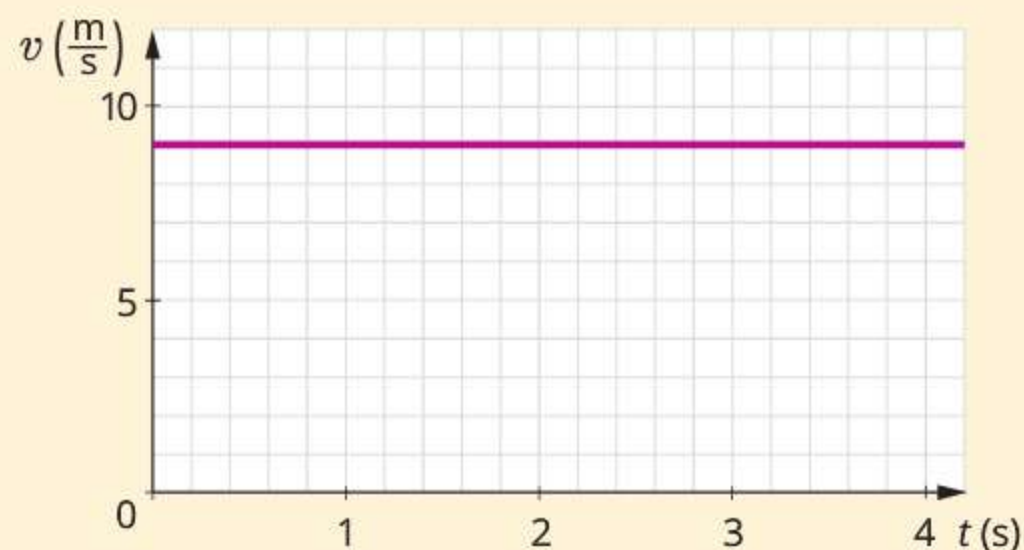
skoczek rozpędzający się na skoczni narciarskiej

wykresy w ruchu jednostajnym

Wykresem zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym jest półprosta nachylona pod pewnym kątem do osi czasu.



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



Pierwsza zasada dynamiki

Jeżeli na ciało działają siły, które się równoważą, to:

- ▶ ciało, które spoczywało, nadal pozostanie w spoczynku;
- ▶ ciało, które było w ruchu, będzie się poruszało ruchem jednostajnym prostoliniowym.

spoczynek



$$F_n = F_g$$

ruch jednostajny



$$F_{nap} = F_o$$

Sprawdź się!

1. W pociągu poruszającym się z prędkością 5 km/h względem peronu przemieszcza się w stronę ostatniego wagonu pasażer z plecakiem. Prędkość pasażera względem wagonu wynosi 5 km/h. Wskaż wszystkie zdania prawdziwe.

- A. Pasażer nie porusza się względem pociągu.
- B. Plecak porusza się względem pociągu.
- C. Pociąg porusza się względem peronu.
- D. Pasażer nie porusza się względem peronu.
- E. Plecak nie porusza się względem pasażera.
- F. Pociąg porusza się względem plecaka.

2. Na ilustracjach przedstawiono dyscypliny sportowe o różnych torach ruchu sportowców. W których dyscyplinach sportowcy poruszają się ruchem prostoliniowym, a w których ruchem krzywoliniowym?

a) bieg na 100 metrów



b) kolarstwo torowe



c) wioślarstwo



d) skok wzwyż



- 3.** Turysta wyruszył na pieszą wędrówkę o godzinie 10.04 i dotarł do celu o godzinie 12.56. Oblicz, ile czasu zajęła mu podróż. Wynik podaj w sekundach, w minutach oraz w godzinach.

- 4.** Samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Podczas ruchu działają na niego siły oporu ruchu oraz siła napędzająca, której źródłem jest silnik.

Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A–C** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1–3**.

Samochód pokonuje w równych odstępach czasu

A.	coraz krótsze odcinki drogi,	ponieważ siła go napędzająca ma wartość	1.	taką samą jak siły oporu ruchu.
B.	takie same odcinki drogi,		2.	większą od sił oporu ruchu.
C.	coraz dłuższe odcinki drogi,		3.	mniejszą od sił oporu ruchu.

- 5.** Na ilustracjach przedstawiono ciała pozostające w spoczynku (jabłko i doniczka). Przerysuj je do zeszytu, dorysuj siły działające na te ciała i podaj ich nazwy.

a)



b)



- 6.** 25 września 2022 roku Kenijczyk Eliud Kipchoge ustanowił podczas maratonu w Berlinie rekord świata – przebiegł dystans 42 km 195 m w czasie 2 h 1 min 9 s. Oblicz prędkość średnią tego zawodnika. Wynik wyraż w km/h i zapisz z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

- 7.** Robert Kubica podczas przedsezonowych testów Formuły 1 w 2018 roku na torze Circuit de Barcelona-Catalunya w Hiszpanii uzyskał prędkość 327,2 km/h. Oblicz, w jakim czasie poruszający się z taką prędkością bolid pokonałby odległość między twoim domem a szkołą. Wynik podaj w sekundach.

8. Tesla Roadster, za której kierownicą siedzi Starman (manekin ubrany w skafander kosmiczny), po wystrzeleniu rakiety Falcon Heavy krąży obecnie wokół Słońca z prędkością $21\,000\text{ km/s}$. Oblicz, ile czasu trwałaby podróż z Ziemi na Księżyc z taką prędkością, jeżeli droga do pokonania to $384\,000\text{ km}$. Wynik zapisz w sekundach z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



9. Samochód porusza się z prędkością 72 km/h . W pewnej chwili na jezdnię wbiega łoś. Przyjmij, że czas reakcji kierowcy wynosi 1 s . Oblicz, ile metrów przejedzie samochód, zanim kierowca zdąży nacisnąć hamulec.

10. Silnik elektryczny hulajnogi jest źródłem siły o wartości 95 N , a hulajnoga porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Oblicz wartość sił oporu ruchu w tym przypadku.

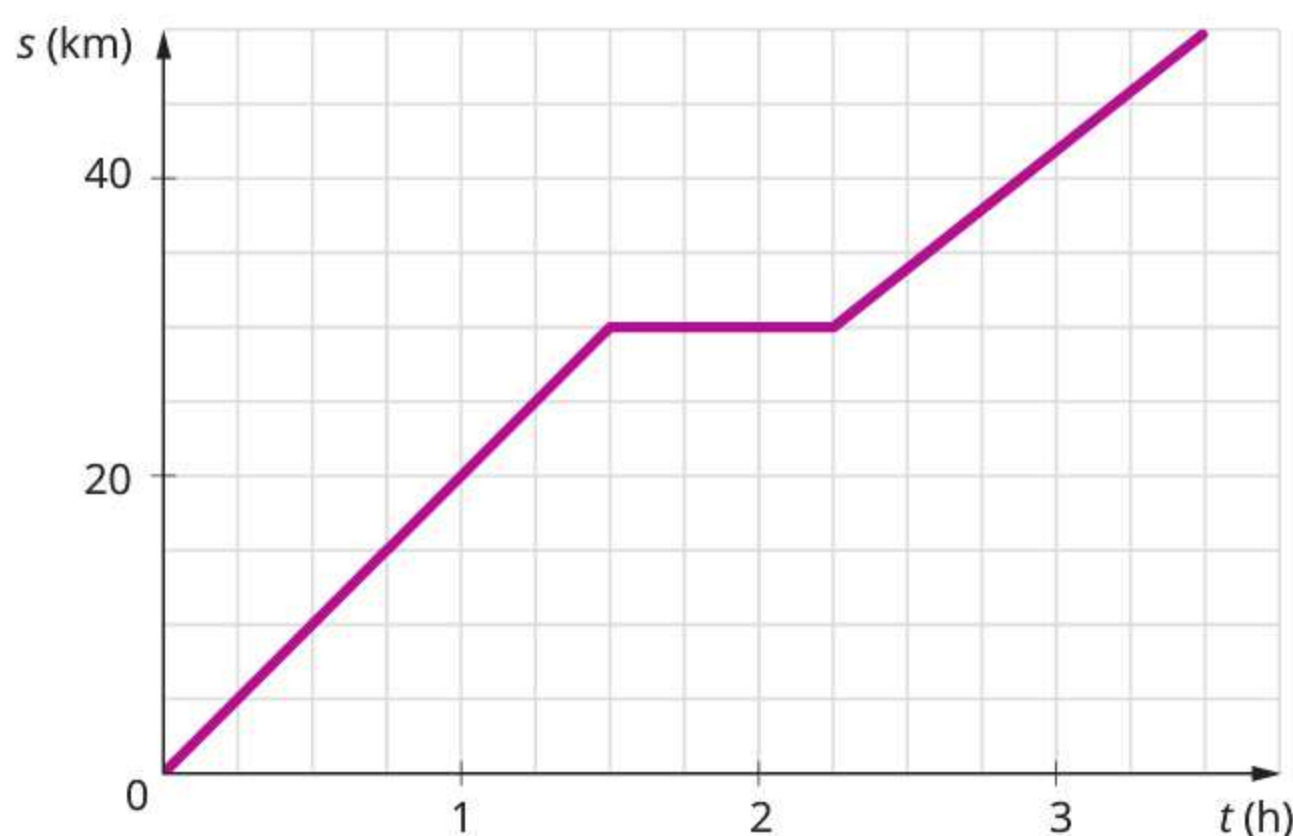
11. Autostradą A1 jadą: samochód z prędkością 140 km/h oraz motocykl z prędkością 100 km/h . Odległość pomiędzy węzłami Rusocin i Lubicz jest równa 148 km . Oblicz, o ile minut dłużej będzie tę odległość pokonywał motocykl niż samochód.

12. Uczniowie mierzyli odcinki drogi przebywanej w równych odstępach czasu przez pęcherzyk powietrza poruszający się w rurce z wodą. Wyniki pomiarów zapisali w tabeli.

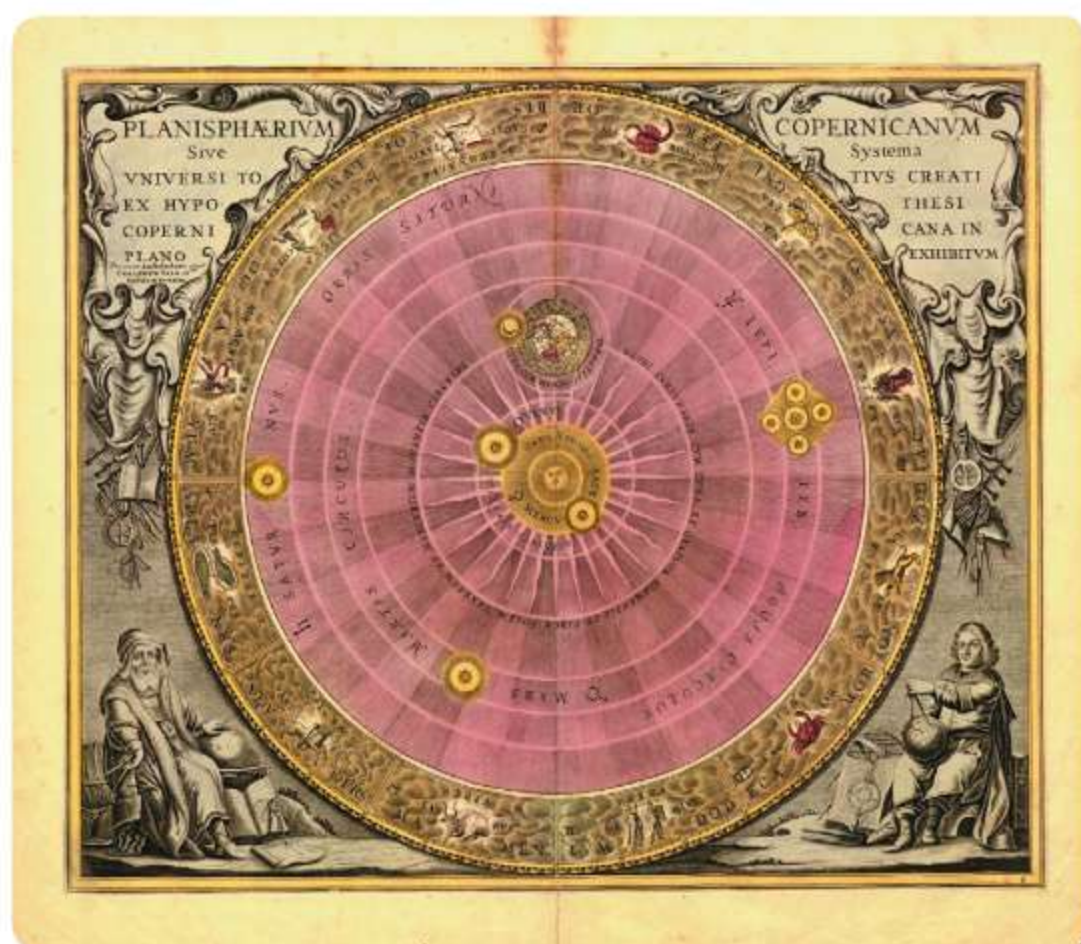
Na podstawie tabeli sporządź wykres zależności drogi przebytej przez pęcherzyk od czasu.

$t\text{ (s)}$	0	1	2	3	4	5
$s\text{ (cm)}$	0	2,1	4,0	6,0	8,1	10,1

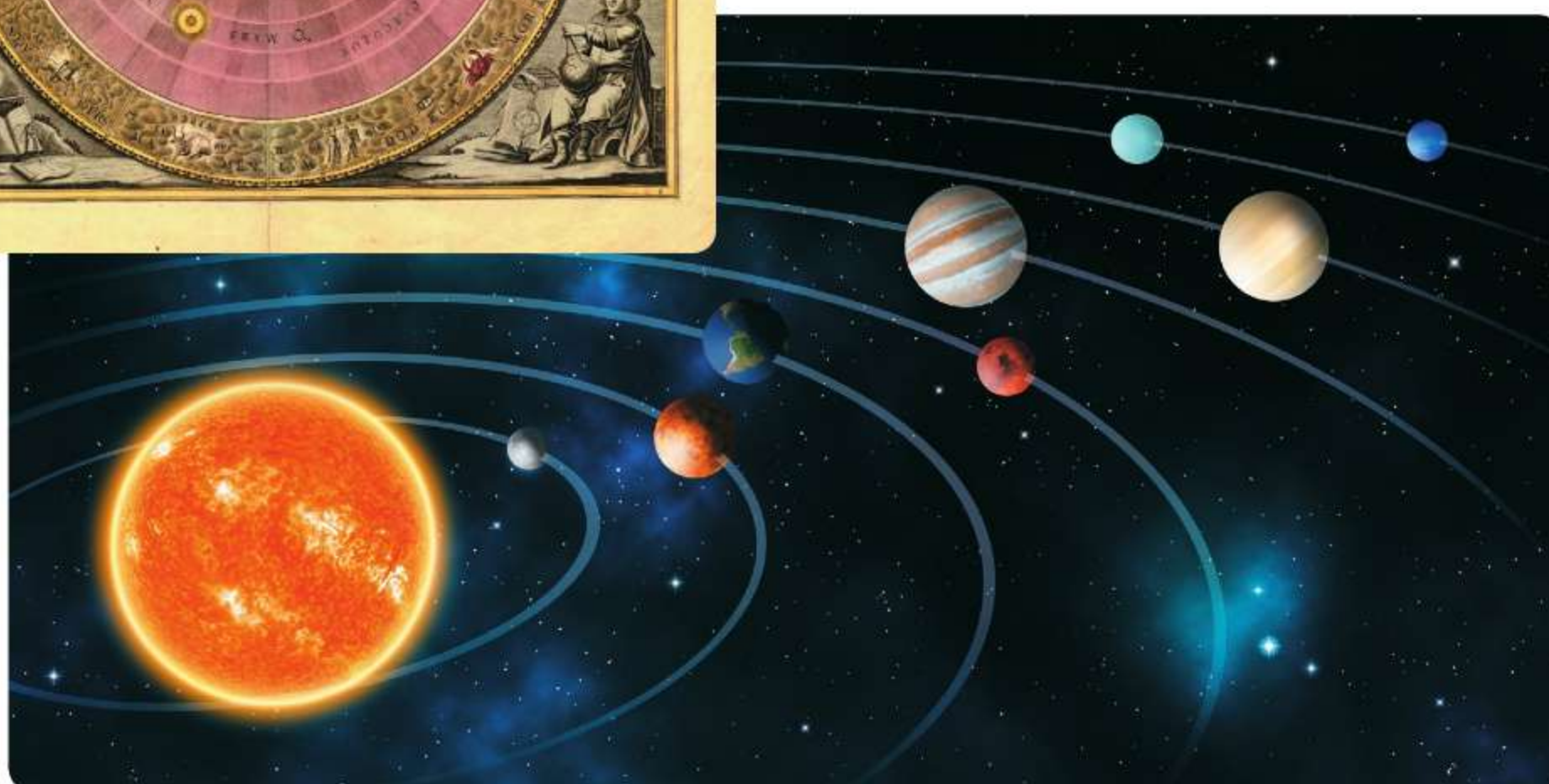
13. Na wykresie przedstawiono zależność drogi przebytej przez rowerzystę od czasu. Na podstawie wykresu oblicz prędkość średnią rowerzysty w czasie $3,5$ godziny.



Przewrót kopernikański



Historyczny i współczesny obraz Układu Słonecznego (na obu rysunkach nie zachowano skali odległości i wielkości).



W połowie XVI wieku wydano dzieło Mikołaja Kopernika zatytułowane *O obrotach sfer niebieskich*. Astronom podważał w nim ówczesny pogląd, że Ziemia znajduje się w centrum Wszechświata i jest nieruchoma. Zaproponował też heliocentryczny model Układu Słonecznego, w którym Ziemia i inne planety krążą wokół centralnie położonego Słońca. Merkury i Wenus to planety położone bliżej Słońca niż Ziemia, natomiast Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun poruszają się wokół Słońca po orbitach dłuższych niż orbita Ziemi (ilustracje powyżej).

Zaproponowany przez Kopernika model heliocentryczny ułatwił m.in. wyjaśnienie torów ruchu planet, które widzimy na ziemskim niebie. Jednak dopiero dwa wieki później heliocentryzm został powszechnie uznany przez świat nauki. Ten wieloletni proces potwierdzania tezy postawionej w pracy naukowej w oparciu o obserwacje zyskał miano przewrotu kopernikańskiego.

Przewrót zapoczątkowany przez Mikołaja Kopernika był możliwy dzięki odwadze myślenia i przeciwstawianiu się powszechnie obowiązującym poglądom. Uważa się, że Kopernik jest jednym z ojców nowożytnej nauki, w której nie ma miejsca na niepodważalne stwierdzenia – dogmaty. Współcześnie stwierdzenia naukowo wartościowe weryfikuje się za pomocą metody naukowej.

Obecnie wiemy, że prędkość ruchu Ziemi wokół Słońca to ok. 30 km/s. Ziemia obraca się także wokół własnej osi, a punkt znajdujący się na równiku porusza się wokół osi obrotu z prędkością ok. 1670 km/h.

Sprawdź się!

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Słońce jest nieruchome względem Ziemi.	P	F
2.	W heliocentrycznym modelu Układu Słonecznego Słońce krąży wokół Ziemi.	P	F
3.	Przewrót kopernikański miał miejsce w połowie XVI wieku.	P	F
4.	Tor ruchu planet widoczny z Ziemi zmienił się po przewrocie kopernikańskim.	P	F
5.	Sformułowanie tezy jest elementem metody naukowej.	P	F

- 2.** Jaki dystans w przestrzeni kosmicznej pokonuje Ziemia w czasie jednego obiegu wokół Słońca?

- 3.** Jaką drogę wokół osi obrotu pokonuje w czasie jednej doby obiekt znajdujący się na równiku?

- 4.** Która z prędkości jest większa: ruchu Ziemi wokół Słońca czy ruchu punktu na równiku wokół osi obrotu? Wskazówka: najpierw wyraż obie prędkości w tych samych jednostkach.

- 5.** Odszukaj w dostępnych źródłach i zapisz w zeszycie przykład stwierdzenia, które było dogmatem.

DZIAŁ IV

DYNAMIKA

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

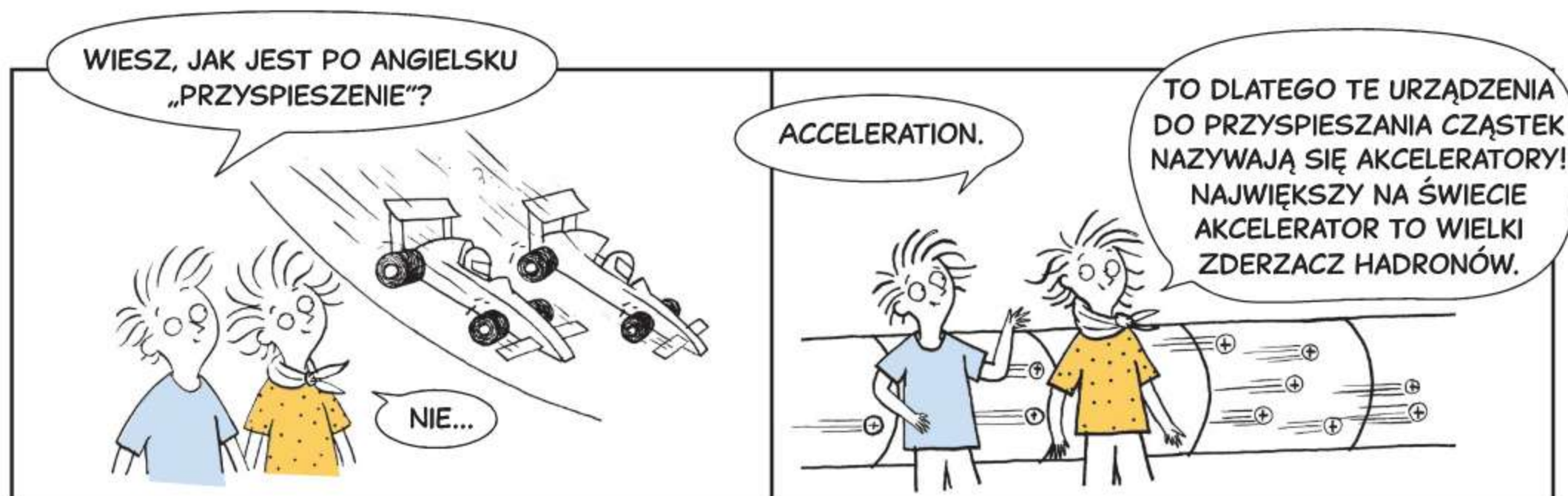
Jak wprowadzić ciało w ruch?

Czym jest przyspieszenie?



20. Ruch przyspieszony

- ▶ Co to znaczy, że ruch jest jednostajnie przyspieszony?
- ▶ Czym jest przyspieszenie?



Jednym z podstawowych parametrów technicznych aut, które producenci umieszczają w katalogach, jest czas potrzebny na rozpędzenie samochodu od spoczynku do prędkości 100 km/h – dla większości pojazdów osobowych mieści się on w przedziale od kilku do kilkunastu sekund. W fizyce do opisu ruchu, w którym wzrasta prędkość – ruchu przyspieszonego – wykorzystujemy przyspieszenie. Jest to wielkość fizyczna, która opisuje, jak zmienia się prędkość ciała w czasie.

a)



b)



Ryc. 20.1. Samochody, które zgodnie z opisem technicznym osiągają prędkość 100 km/h w czasie ok. 16 sekund (a) i ok. 3 sekund (b).

Zmianę prędkości oznaczamy symbolem Δv . Jeżeli prędkość początkową ciała oznaczmy jako v_1 , a jego prędkość końcową jako v_2 , to zmiana prędkości Δv wynosi:

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

Zmianę prędkości i czas, w którym ona nastąpiła, łączy właśnie przyspieszenie. Przyspieszenie jest wielkością wektorową i oznaczamy je symbolem $\vec{a}$ (od ang. *acceleration* – czyt. akselerejszyn – przyspieszenie). Przyspieszenie informuje nas, o ile zmieniła się prędkość w jednostce czasu.

Jeśli prędkość spadającego kamienia w każdej sekundzie wzrasta o $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, oznacza to, że jego przyspieszenie jest równe $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Im większe są zmiany prędkości ciała w jednakowych odstępach czasu, tym większe jest jego przyspieszenie.

Aby obliczyć wartość przyspieszenia, należy podzielić zmianę prędkości przez czas, w którym ta zmiana nastąpiła.



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

Najczęściej stosowaną jednostką przyspieszenia jest $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Otrzymujemy ją z podzielenia jednostki prędkości $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ przez jednostkę czasu s:

$$\frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Do pomiaru wartości przyspieszenia wykorzystywany jest przyrząd o nazwie akcelerometr.

Zobacz, jak to zrobić!

Zmiana prędkości w ruchu przyspieszonym

Dwaj pasażerowie zarejestrowali, jak zmieniała się prędkość autobusów linii A i linii B, gdy ruszały z przystanku. Każdy z nich mierzył prędkość swojego autobusu przez pierwsze 5 sekund ruchu, a wyniki umieścili w tabeli. Jak zmieniała się prędkość każdego z autobusów?

t (s)	0	1	2	3	4	5
$v_A \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	0	4,5	9	12,5	14	15
$v_B \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	0	3	6	9	12	15

Rozwiązanie:

Prędkość obu autobusów zwiększała się wraz z upływem czasu. Każdy z nich przyspieszał i po czasie 5 sekund osiągnął prędkość 15 m/s.

Żeby ocenić, jak zmieniała się prędkość każdego z autobusów, możemy wyznaczyć zmiany prędkości w kolejnych sekundach ruchu, a potem je porównać.

Prędkość autobusu linii A w czasie pierwszej sekundy ruchu wzrosła o 4,5 m/s, w czasie drugiej sekundy – o 4,5 m/s, w czasie trzeciej sekundy – o 3,5 m/s, w czasie czwartej sekundy – o 1,5 m/s i w czasie piątej sekundy – o 1 m/s.

Prędkość autobusu linii B w ciągu pierwszej sekundy wzrosła o 3 m/s, w czasie drugiej sekundy – także o 3 m/s, w czasie trzeciej i kolejnych sekund – również o 3 m/s.

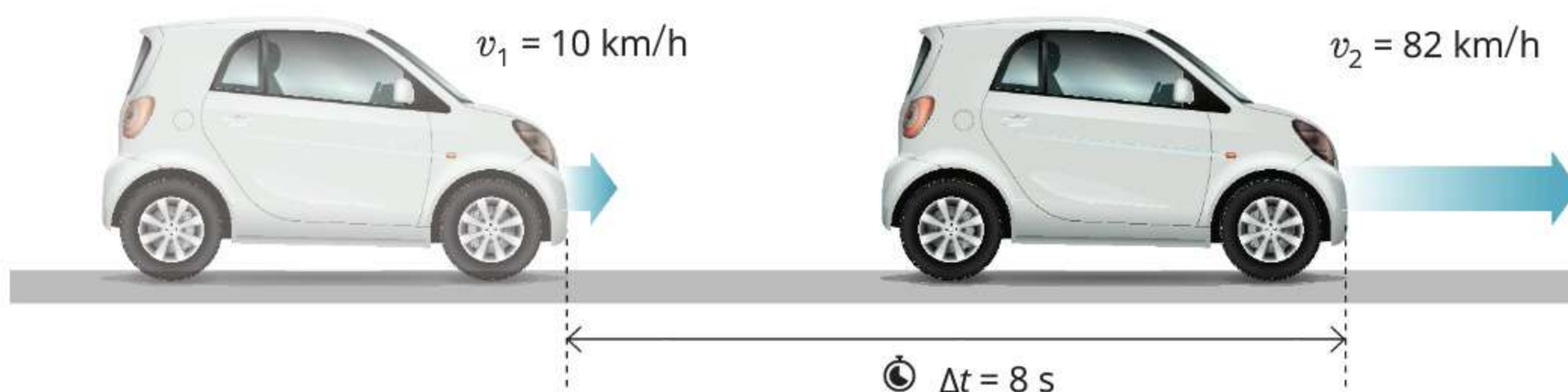
Odpowiedź: Zmiany prędkości autobusu linii A w kolejnych sekundach ruchu były różne, natomiast zmiany prędkości autobusu linii B były w każdej sekundzie jednakowe i wynosiły 3 m/s.

Ruch zmienny, w którym prędkość ciała rośnie, to **ruch przyspieszony**. W tym ruchu w jednakowych odstępach czasu ciało pokonuje coraz dłuższe odcinki drogi. Takim ruchem porusza się każde ciało, które rozpoczyna ruch, np. ruszająca winda, oraz każde ciało zwiększające swoją prędkość, np. samochód przyspieszający po wjechaniu na autostradę.

Jeżeli w każdej sekundzie ruchu prędkość ciała rośnie o tę samą wartość, to taki ruch nazywamy ruchem **jednostajnie przyspieszonym**. W ruchu jednostajnie przyspieszonym przyspieszenie ciała jest stałe.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy przyspieszenie samochodu, który porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym i w czasie 8 sekund rozpędza się od prędkości 10 km/h do prędkości 82 km/h.



Dane: $v_1 = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 82 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $\Delta t = 8 \text{ s}$

Szukane: a

Rozwiązanie:

Najpierw obliczmy, o ile zmieniła się prędkość samochodu w czasie tego ruchu.

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 82 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 10 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Przyspieszenie zazwyczaj podajemy w $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, dlatego przed podstawieniem danych do wzoru czas powinien być wyrażony w sekundach, a zmiana prędkości w m/s. Zamieniamy zatem km/h na m/s.

$$\Delta v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Podstawiamy dane do wzoru na przyspieszenie:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{8 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Samochód poruszał się z przyspieszeniem $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (czyli w każdej sekundzie ruchu jego prędkość zwiększała się o 2,5 m/s).

Rozglądaj się wokół!

Różne wartości przyspieszenia



Ciała o zmieniającej się prędkości mogą mieć różne przyspieszenia. W niektórych sytuacjach ciała osiągają duże prędkości w bardzo krótkim czasie, czyli poruszają się z bardzo dużymi przyspieszeniami.



Podczas startu samolot Boeing 777 o masie ok. 300 ton przyspiesza do prędkości 300 km/h w czasie 30 sekund, a więc ma przyspieszenie ok. $2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Motocykl żużlowy ma masę co najmniej 77 kg. Podczas startu żużlowcy osiągają prędkość 100 km/h w czasie ok. 3 sekund, czyli ich przyspieszenie wynosi ok. $9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Wzbijający się do lotu łabędź niemy – jeden z najcięższych latających ptaków – rozpędza się do prędkości 22 km/h w czasie 5 sekund, więc osiąga przyspieszenie ok. $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Pojazdy kosmiczne napędzane silnikami jonowymi bardzo wolno się rozpędzają. Na przykład silnik jonowy X3 rozpędza sondę kosmiczną do prędkości 90 000 m/s w czasie 10 000 godzin, czyli jego przyspieszenie ma wartość ok. $0,0025 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy przyspieszenie roweru podczas ruszania

(Doświadczenie należy wykonać w grupie).

1. Do doświadczenia będą potrzebne: stoper oraz rower wyposażony w prędkościomierz. Doświadczenie należy wykonać w bezpiecznym miejscu, np. na boisku szkolnym.
2. Jedna osoba wykonuje przejazd testowy na rowerze – ustala podczas niego pewną bezpieczną prędkość, do której będzie się rozpędzać (np. 15 km/h). Za bezpieczną prędkość można uznać prędkość dopasowaną do umiejętności rowerzysty oraz warunków na drodze.
3. Przystąpcie do wykonywania pomiarów. Na komendę „start” jeden z członków grupy uruchamia stoper, a osoba na rowerze rozpoczyna jazdę po linii prostej i sygnalizuje moment, w którym osiągnęła ustaloną wcześniej prędkość. Wówczas należy zatrzymać stoper i odczytać czas, po którym ta prędkość została osiągnięta.
4. Obliczcie przyspieszenie roweru.

Zobacz, jak to zrobić!

Rakieta kosmiczna podczas startu porusza się z przyspieszeniem $18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ przez 180 s. Obliczmy prędkość rakiety po tym czasie.

Dane: $\Delta t = 180 \text{ s}$, $a = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $v_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane: v_2

Rozwiązanie:

Aby obliczyć prędkość rakiety po rozpędzeniu, należy najpierw wyznaczyć zmianę jej prędkości w tym czasie. W tym celu należy przekształcić wzór na przyspieszenie.

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

Mnożymy ten wzór obustronnie przez Δt i po zamianie stron otrzymujemy:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$

$$\Delta v = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 180 \text{ s} = 3240 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Skoro rakieta startowała, oznacza to, że jej prędkość początkowa miała wartość 0 m/s. Zmiana prędkości rakiety podczas startu była zatem równa jej prędkości końcowej.

$$\Delta v = v_2 - v_1 = v_2 - 0 = v_2$$

Odpowiedź: Prędkość rakiety po starcie była równa ok. 3,2 km/s.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy prędkość końcową motocyklisty, który początkowo poruszał się z prędkością 54 km/h, a następnie przez 4 sekundy jechał ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane: $v_1 = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $\Delta t = 4 \text{ s}$, $a = 2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: v_2

Rozwiązanie:

Najpierw obliczmy, o ile zmieniła się prędkość motocyklisty w czasie ruchu jednostajnie przyspieszonego. Z przekształconego wzoru na przyspieszenie otrzymujemy:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$

$$\Delta v = 2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ s} = 8,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ponieważ prędkość początkową motocyklisty mamy podaną w km/h, to zmianę prędkości również należy wyrazić w km/h.

$$\Delta v = 8,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8,4 \cdot \frac{1}{\frac{1}{3600} \text{ h}} \frac{\text{km}}{1000} = 8,4 \cdot \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 30,24 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Teraz obliczamy prędkość końcową.

$$v_2 = v_1 + \Delta v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 84 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Prędkość końcowa motocyklisty była równa ok. 84 km/h.

Podsumujmy!

- **Przyspieszenie** informuje nas, o ile zmieniła się prędkość w jednostce czasu. Aby obliczyć przyspieszenie ciała, należy podzielić zmianę prędkości ciała przez czas, w którym ta zmiana nastąpiła.

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

- **Ruch jednostajnie przyspieszony** to taki ruch, w którym w każdej sekundzie prędkość rośnie o taką samą wartość, czyli przyspieszenie jest stałe.
- Najczęściej używaną jednostką przyspieszenia jest $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Ruch, w którym rośnie prędkość ciała, nazywamy ruchem przyspieszonym.	P	F
2.	Spośród dwóch ciał większe przyspieszenie ma to, dla którego zmiany prędkości w tym samym czasie są większe.	P	F
3.	W ruchu jednostajnym w równych odstępach czasu prędkość rośnie o tyle samo.	P	F
4.	Przyspieszenie mierzymy za pomocą prędkościomierza.	P	F

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Ruch jednostajnie przyspieszony to ruch, w którym

- A.** w równych odstępach czasu prędkość rośnie o coraz większe wartości.
- B.** przyspieszenie ma stałą wartość.
- C.** w równych odstępach czasu przyspieszenie rośnie o tę samą wartość.
- D.** prędkość ciała się nie zmienia.

3. Niektóre bolidy Formuły 1 podczas startu osiągają prędkość 100 km/h w czasie 2,5 s. Oblicz przyspieszenie takiego bolidu. Przyjmij, że pojazd porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

4. Samochód przez 3 sekundy poruszał się z przyspieszeniem $1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- a.** Oblicz, o ile zmieniła się jego prędkość w tym czasie.
- b.** Jaką prędkość osiągnął po tych 3 sekundach, jeżeli początkowo jechał z prędkością 14 m/s?

5. Pewien rowerzysta ruszył z miejsca ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ i osiągnął prędkość 8,5 m/s. Oblicz, jak długo się rozpędzał.

21. Ruch opóźniony

- ▶ Jaki ruch nazywamy ruchem jednostajnie opóźnionym?
- ▶ Jak obliczyć przyspieszenie podczas hamowania?



Podczas jazdy na nartach zjazd z góry z dużą prędkością sprawia nam przyjemność. Warto jednak pamiętać, że na końcu każdego stoku musimy zahamować, czyli zmniejszyć swoją prędkość, a na to potrzebny jest czas.

Ciało, które zwalnia, zmniejsza swoją prędkość. Ruch zmienny, w którym prędkość ciała maleje, nazywamy **ruchem opóźnionym**. W tym ruchu w jednakowych odstępach czasu ciało pokonuje coraz krótsze odcinki drogi. Takim ruchem porusza się na przykład zatrzymująca się na piętrze winda, ale również samochód zwalniający przed skrzyżowaniem.

Do opisu ruchu opóźnionego – podobnie jak do opisu ruchu, w którym prędkość ciała rośnie – używamy pojęcia przyspieszenia. Przyspieszenie w ruchu opóźnionym obliczamy podobnie jak dla ruchu przyspieszonego, z tą różnicą, że wzór ma postać:



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

gdzie $|\Delta v|$ oznacza wartość bezwzględną zmiany prędkości.



Ryc. 21.1. Podczas hamowania prędkość narciarza maleje.

W ruchu opóźnionym prędkość na końcu ruchu v_2 jest mniejsza niż prędkość na początku v_1 , wobec tego zmiana prędkości ciała:

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

podczas zwalniania jest ujemna. Wartość bezwzględna tej zmiany prędkości jest jednak dodatnia i stąd wartość przyspieszenia jest również dodatnia.

Im bardziej ciało zwalnia w określonym czasie, tym większe jest jego przyspieszenie. Gdy na przykład jeden narciarz zwalnia z prędkości 50 km/h do prędkości 10 km/h (czyli zmienia swoją prędkość o 40 km/h), a drugi – w tym samym czasie – zwalnia z prędkości 50 km/h do 30 km/h (czyli zmienia prędkość o 20 km/h), to przyspieszenie pierwszego narciarza jest większe.

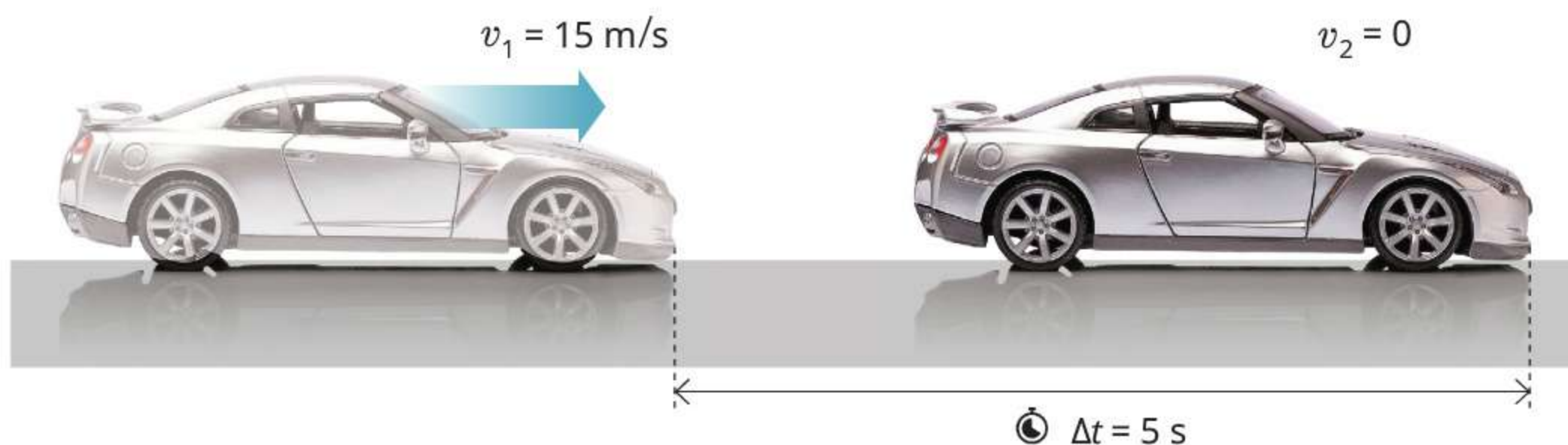
Jeśli w jednakowych odstępach czasu prędkość ciała maleje o taką samą wartość, to mówimy o ruchu **jednostajnie opóźnionym**. W ruchu jednostajnie opóźnionym przyspieszenie ciała jest stałe.

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas gwałtownego hamowania samochód poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym. Przed rozpoczęciem hamowania prędkość samochodu była równa 15 m/s. Hamowanie trwało 5 s, po tym czasie auto się zatrzymało. Obliczmy przyspieszenie samochodu w czasie tego ruchu.

Dane: $v_1 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (samochód się zatrzymał), $\Delta t = 5 \text{ s}$

Szukane: a



Rozwiązanie:

Najpierw obliczamy zmianę prędkości samochodu i jej wartość bezwzględną:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$|\Delta v| = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Podstawiamy dane do wzoru na przyspieszenie samochodu:

$$a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Przyspieszenie samochodu podczas hamowania było równe $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Jak wyhamować samolot?



Tuż po wylądowaniu samoloty nadal poruszają się ze znaczną prędkością. W zależności od miejsca lądowania oraz typu samolotu wykorzystuje się różne sposoby na zmniejszenie ich prędkości.



Podczas lotu silniki odrzutowe samolotów wyrzucają gorące gazy za siebie, dzięki czemu powstaje siła napędzająca. Z kolei podczas lądowania specjalny system kieruje te gazy w przeciwną stronę, co wspomaga hamowanie. Przyspieszenie podczas takiego hamowania ma wartość podobną jak podczas startu.

Po wylądowaniu na pokładzie lotniskowca (czyli okrętu, na którym samoloty mają swoją bazę) samolot zaczepia hakiem o stalową linę, która pomaga go zatrzymać. Przyspieszenie podczas hamowania osiąga wartość nawet $30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Niektóre samoloty wojskowe wyposażone są w specjalne spadochrony hamujące, otwierane tuż po wylądowaniu. Spadochrony zwiększają przyspieszenie podczas zatrzymywania.

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy przyspieszenie roweru podczas hamowania

(Doświadczenie należy wykonać w grupie).

1. Do doświadczenia będą potrzebne: stoper oraz rower wyposażony w prędkościomierz. Doświadczenie należy wykonać w bezpiecznym miejscu, np. na boisku szkolnym.
2. Jedna osoba wykonuje przejazd testowy na rowerze – ustala podczas niego pewną bezpieczną prędkość, z którą będzie się poruszać (np. 15 km/h). Za bezpieczną prędkość można uznać prędkość dopasowaną do umiejętności rowerzysty oraz warunków na drodze.
3. Przystąpcie do wykonywania pomiarów. Osoba na rowerze rozpoczyna jazdę po linii prostej i sygnalizuje moment, w którym osiągnęła ustaloną wcześniej prędkość. Na komendę „hamuj” jeden z członków grupy uruchamia stoper, a osoba na rowerze zaczyna hamować aż do chwili zatrzymania się. Wówczas należy zatrzymać stoper i odczytać czas hamowania.
4. Obliczcie przyspieszenie roweru.

Dowiedz się więcej!

Od czego zależy droga hamowania pojazdu?

Bardzo często dla ustalenia przyczyn wypadku drogowego konieczne jest wyznaczenie prędkości, z jaką poruszał się samochód, zanim rozpoczął hamowanie (czyli jego prędkości początkowej). Prędkość tę można wyznaczyć poprzez pomiar drogi hamowania (czyli drogi, jaką pokonuje pojazd poruszający się ruchem opóźnionym do momentu zatrzymania się), choćby na podstawie śladów pozostawionych przez hamujący pojazd. Droga hamowania zależy jednak nie tylko od prędkości początkowej pojazdu, ale także od przyspieszenia w trakcie hamowania, na które wpływ mają warunki panujące na jezdni. Im są trudniejsze (np. opady deszczu, śnieg), tym pojazd ma mniejsze przyspieszenie podczas hamowania i tym dłuższą drogę pokonuje, zanim się zatrzyma. Bardzo ważne jest więc dopasowanie prędkości jazdy do warunków atmosferycznych i drogowych.

Droga hamowania w metrach



Bardzo dobre warunki drogowe:
• sucha nawierzchnia,
• dobra przyczepność opon do drogi.

30

13 m

50

26 m

90

66 m



Średnie warunki drogowe:
• mokra nawierzchnia,
• średnia przyczepność opon do drogi.

30

18 m

50

40 m

90

108 m



Bardzo trudne warunki drogowe:
• śliska nawierzchnia,
• słaba przyczepność opon do drogi.

30

48 m

50

110 m

90

345 m

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy, jak długo hamował pociąg, który zmienił swoją prędkość z 40 km/h do 4 km/h. Przyjmijmy, że pociąg poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym. Przyspieszenie podczas tego ruchu było równe $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane: $v_1 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $a = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: Δt

Rozwiązanie:

Zmiana prędkości w czasie tego ruchu wynosiła:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 4 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = -36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Przyspieszenie podajemy w $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, dlatego przed podstawieniem do wzoru zmiana prędkości powinna być wyrażona w m/s.

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

$$|\Delta v| = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zapiszmy wzór na przyspieszenie:

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

Mnożymy to równanie obustronnie przez Δt i otrzymujemy:

$$a \cdot \Delta t = |\Delta v|$$

Następnie dzielimy obie strony równania przez a i otrzymujemy:

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

$$\Delta t = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 20 \text{ s}$$

Odpowiedź: Pociąg hamował przez 20 s.

Podsumujmy!

► **Przyspieszenie** podczas hamowania obliczamy ze wzoru:

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

► **Ruchem jednostajnie opóźnionym** nazywamy ruch, w którym w każdej sekundzie prędkość ciała maleje o taką samą wartość, czyli jego przyspieszenie jest stałe.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	W ruchu jednostajnie opóźnionym przyspieszenie ciała jest stałe.	P	F
2.	Im dłużej trwa ruch opóźniony, tym mniejszą prędkość ma ciało.	P	F
3.	Jednostką przyspieszenia w ruchu opóźnionym może być $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.	P	F
4.	Zmiana prędkości ciała może być ujemna.	P	F

2. Wybierz wszystkie zdania fałszywe.

- A. Ruch jednostajnie opóźniony to ruch, w którym w równych odstępach czasu prędkość ciała maleje o coraz większe wartości.
- B. Ruch jednostajnie opóźniony to ruch, w którym prędkość ciała rośnie.
- C. Ruch jednostajnie opóźniony to ruch, w którym w równych odstępach czasu przyspieszenie ciała maleje o tę samą wartość.
- D. Ruch jednostajnie opóźniony to ruch, w którym prędkość ciała się zmienia.

3. Jak długo trwało zatrzymywanie się samolotu, który po wylądowaniu na pasie startowym poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym z przyspieszeniem $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$? Prędkość samolotu tuż po dotknięciu pasa startowego była równa 80 m/s.

4. Rowerzysta jadący z prędkością 6 m/s zaczął hamować i zatrzymał się po czasie 2,5 sekundy. Podczas hamowania poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym. Oblicz przyspieszenie rowerzysty podczas hamowania.

5. Barka płynęła po rzece ruchem jednostajnie opóźnionym z przyspieszeniem $0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Czas hamowania wynosił 120 sekund.

- a. Oblicz zmianę prędkości barki w tym czasie.
- b. Jaką prędkość osiągnęła barka na skutek hamowania, jeżeli jej prędkość początkowa była równa 7,2 m/s?

22. Siła tarcia i ruch

- ▶ Czym jest siła tarcia?
- ▶ Jak siła tarcia działająca na ciało zmienia jego prędkość?



Żadna powierzchnia nie jest idealnie gładka. Nierówności na powierzchniach stykających się ciał zaczepiają o siebie, a to utrudnia ich wzajemne przemieszczanie się. Podczas przesuwania lub próby przesunięcia jednego ciała po drugim pojawia się siła tarcia, która jest równoległa do powierzchni stykających się ciał. Siła ta przeciwdziała ruchowi – działa w stronę przeciwną do prędkości ciała. Siłę tarcia, podobnie jak siłę oporu powietrza, zaliczamy do sił oporu ruchu.

Gdy próbujemy przesunąć na przykład ciężką skrzynię (ryc. 22.1.), działamy na nią siłą $\vec{F}$ (czyli ją popychamy). Jeśli jednak skrzynia się nie porusza (bo jest bardzo ciężka), to zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki musi występować siła, która równoważy siłę $\vec{F}$. Jest to **siła tarcia statycznego $\vec{F}_{ts}$** . Skrzynia pozostaje w bezruchu, jeśli $F = F_{ts}$ (siły działające w kierunku pionowym równoważą się, więc je zazwyczaj pomijamy). Siła tarcia statycznego nie ma stałej wartości. Im większa jest siła $\vec{F}$, jaką próbujemy ruszyć z miejsca skrzynię, tym większa jest siła tarcia statycznego $\vec{F}_{ts}$. Jednak wartość siły tarcia statycznego rośnie tylko do pewnej maksymalnej wartości, charakterystycznej dla stykających się powierzchni. Z codziennego doświadczenia wiemy, że jeśli popchniemy szafę dostatecznie dużą siłą, to zacznie się ona poruszać, gdyż siły przestaną się równoważyć.



Ryc. 22.1. Gdy skrzynia jest nieruchoma, to siła, jaką pcha ją robotnik, jest równoważona przez siłę tarcia statycznego.

Zbadaj to sam!

Jak zmienia się siła tarcia, gdy ciało spoczywa?

1. Do doświadczenia będą potrzebne: sznurek, siłomierz, garnek z rączką, do której można przymocować siłomierz, piasek.
2. Wypełnij garnek piaskiem do $\frac{3}{4}$ jego objętości. Zaczep siłomierz do rączki garnka (za pomocą sznurka).
3. Trzymaj siłomierz poziomo i zacznij ciągnąć za niego garnek – działaj stałą siłą o niewielkiej wartości (np. 1 N). Odczytaj i zanotuj wartość tej siły (czyli wartość siły wskazywanej przez siłomierz).



4. Zwiększ siłę, jaką ciągniesz garnek, o niewielką wartość (np. o 1 N). Odczytaj i zanotuj wartość.
5. Powtarzaj czynność z punktu 4., stopniowo zwiększając siłę, aż do sytuacji, w której garnek zacznie się przesuwac.
6. Sformułuj wnioski dotyczące sił działających na garnek podczas prób jego przesuwania. Jaka maksymalna siła tarcia statycznego działała na garnek?

Gdy stykające się ciała poruszają się względem siebie, zamiast tarcia statycznego pojawia się **siła tarcia kinetycznego $\vec{F}_{tk}$** . Siła ta jest jedną z sił oporu ruchu – działa w stronę przeciwną do prędkości ciała (ryc. 22.2.). Jest ona przyłożona do poruszającego się ciała i ma kierunek równoległy do stykających się powierzchni.



Ryc. 22.2. Biegaczka narciarska podczas ruchu pokonuje m.in. siłę tarcia kinetycznego opony o podłoże.

Rozglądaj się wokół!

Siła tarcia wokół nas



Posypywanie oblodzonych chodników czy jezdni piaskiem powoduje, że jest na nich więcej nierówności, więc siła tarcia działająca na obuwiu rośnie.



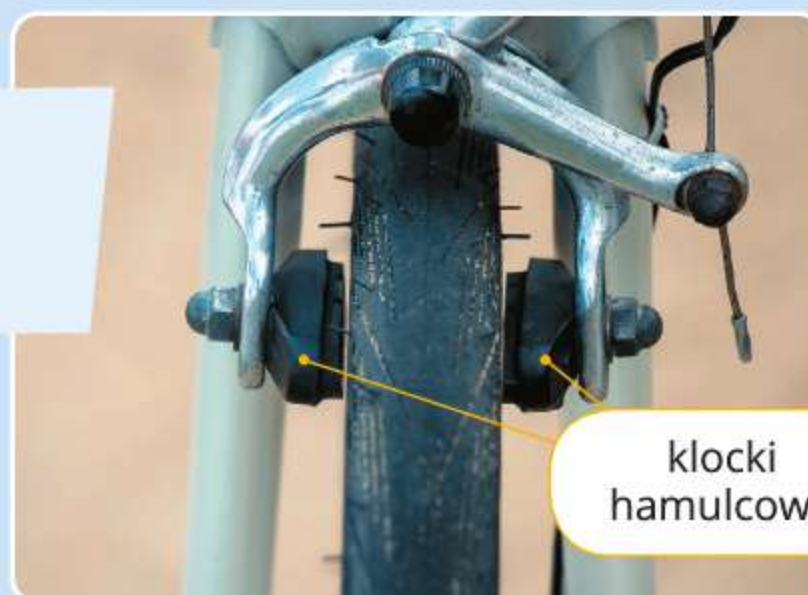
Powierzchnię podeszew butów (kształt bieżnika oraz materiał) projektuje się tak, żeby zwiększyć siłę tarcia statycznego, co zapobiegne ślizganiu się obuwia po podłożu.



Rodzaj materiału, z którego wykonuje się klocki hamulcowe do roweru, dobiera się tak, żeby siła tarcia kinetycznego była możliwie duża.



Powierzchnie nart pokrywa się specjalnymi smarami, aby tarcie między nartami a śniegiem było optymalne.



klocki hamulcowe

Woda na powierzchni zjeżdżalni (ślizgu wodnego) zmniejsza tarcie, dzięki czemu możliwa jest zabawa.



Wartość siły tarcia – zarówno statycznego, jak i kinetycznego – zależy od rodzaju trących o siebie powierzchni. Na przykład siła tarcia kinetycznego występująca podczas przesuwania drewnianego klocka po lodzie jest mniejsza niż ta występująca podczas przesuwania go po żwirze czy papierze ściernym.



Ryc. 22.3. Siła tarcia kinetycznego działająca na poruszający się kamień podczas gry w curling

Jeżeli na przykład podczas gry w curling (czyt. karling) popchnięty przez zawodnika kamień porusza się po lodowej tafli (ryc. 22.3.), to jego powierzchnia styka się z powierzchnią lodu i pojawia się siła tarcia kinetycznego $\vec{F}_{tk}$. Siła tarcia jest w tym przypadku jedyną siłą, która działa w kierunku poziomym. Popchnięty kamień po pewnym czasie się zatrzymuje i to siła tarcia jest przyczyną zmiany jego prędkości. Gdyby nie było siły przeciwdziałającej ruchowi, prędkość kamienia nie ulegałaby zmianie. Podczas gry zawodnicy starają się zmieniać wartość siły tarcia kinetycznego, aby kamień zatrzymał się w odpowiednim miejscu. W tym celu specjalną szczotką energicznie polerują powierzchnię tuż przed kamieniem. Szczotkowanie usuwa nierówności z powierzchni lodu i zmniejsza tarcie. Im mniejsza siła tarcia, tym dalej przemieści się kamień, zanim się zatrzyma.

Siła tarcia kinetycznego powoduje, że wiele poruszających się ciał zmniejsza swoją prędkość lub się zatrzymuje. Gdy biegaczka przedstawiona na ryc. 22.2. działa na oponę siłą o takiej samej wartości co siła tarcia kinetycznego, to – zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki – prędkość opony będzie stała. Jej ruch jest wówczas ruchem jednostajnym. Natomiast gdy biegaczka przestanie ciągnąć oponę, to jedyną siłą działającą na tę oponę będzie siła tarcia kinetycznego. Wówczas prędkość opony będzie maleć, więc będzie się ona poruszać ruchem opóźnionym.

Podsumujmy!

- ▶ **Siła tarcia statycznego** występuje, gdy próbujemy ruszyć ciało z miejsca, ale pozostaje ono w spoczynku.
- ▶ **Siła tarcia kinetycznego** występuje, gdy ciało przesuwa się po powierzchni.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Siła tarcia statycznego występuje, gdy ciała oddziałują bezpośrednio.	P	F
2.	Siła tarcia kinetycznego występuje, gdy stykające się ciała przemieszczają się względem siebie.	P	F
3.	Podczas próby przesunięcia sofy po podłodze siła tarcia statycznego może mieć różne wartości.	P	F
4.	Siła tarcia działająca na poruszające się sanki może spowodować zwiększenie ich prędkości.	P	F

2. Kartonowe pudełko popchnięto po gładkim stole. Przesuwa się ono tak, jak pokazano na rysunku. Przerysuj do zeszytu szkic tej sytuacji i zaznacz na nim siłę tarcia kinetycznego.



3. Mężczyzna usiłuje ruszyć z miejsca ciężką szafkę, ale szafka pozostaje nieruchoma. Przerysuj do zeszytu szkic tej sytuacji i narysuj na nim siłę tarcia statycznego działającą na szafkę.



4. Chłopiec działa poziomo siłą na skrzynię stojącą na podłodze. Maksymalna siła tarcia statycznego między skrzynią a podłogą jest równa 35 N. Jaką wartość może mieć siła, którą chłopiec działa na skrzynię, jeżeli skrzynia pozostaje nieruchoma? Uzasadnij odpowiedź.
5. Sanki zsuwają się z góry ze stałą prędkością 1,5 m/s. Na sanki działa m.in. siła o wartości 55 N, która powoduje, że się zsuwają. Jaka jest wartość siły tarcia kinetycznego podczas jazdy sanek ze stałą prędkością?

23. Druga zasada dynamiki

- ▶ Co opisuje druga zasada dynamiki Newtona?
- ▶ Od czego zależy bezwładność ciała?

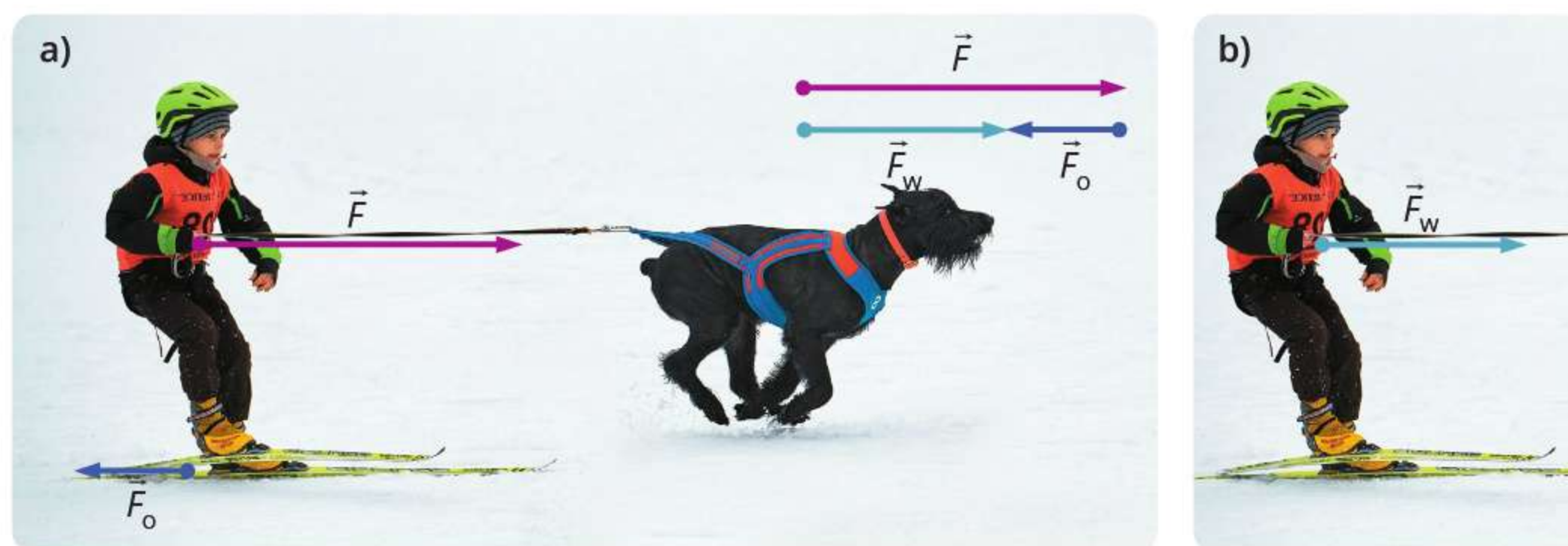


Gwałtownie rozpędzający się bądź hamujący samochód pozostawia na drodze ślady. Ślady oznaczają, że na nawierzchnię drogi oraz powierzchnię opony działają siły. Zmiana prędkości ciała wymaga działania siły. Jeśli na ciało działa więcej niż jedna siła, o rodzaju ruchu, jakim to ciało się porusza, decyduje siła wypadkowa.

Jeżeli chcemy ruszyć z miejsca jakieś ciało, np. dziecko na nartach stojące na śniegu, należy sprawić, by wypadkowa działających na nie sił była różna od zera. Wówczas ciało zacznie poruszać się w tę stronę, w którą zwrócona jest siła wypadkowa (ryc. 23.2.).



Ryc. 23.1. Ślady na drodze powstałe podczas hamowania bądź przyspieszania samochodu



Ryc. 23.2. Na narciarza działają dwie siły (a), a ich wypadkowa powoduje wzrost jego prędkości (b).

Zobacz, jak to zrobić!

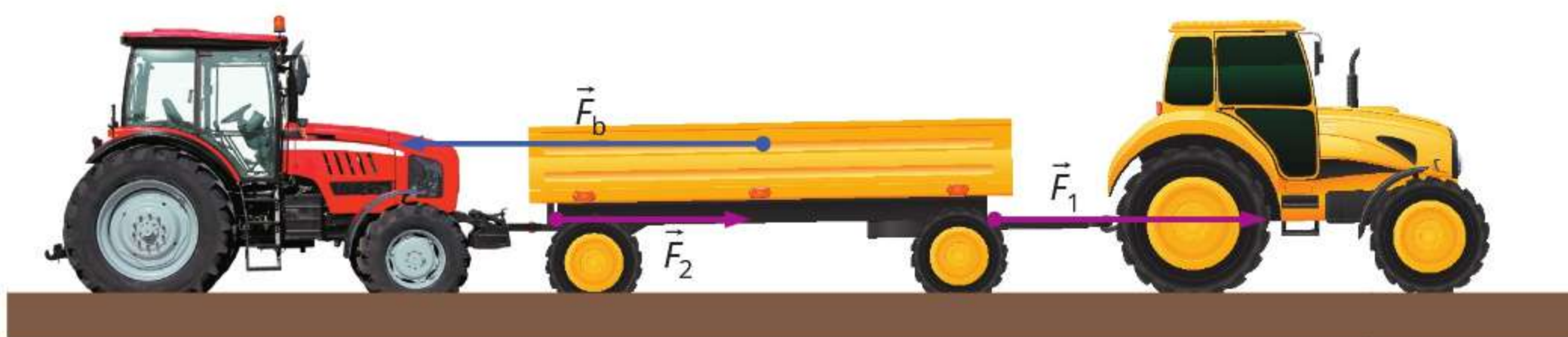
Do wyciągnięcia przyczepy z błota użyto dwóch ciągników. Jeden z nich ciągnął przyczepę siłą 2,5 kN, a drugi pchał ją siłą 1,8 kN. Siła, jaką błoto działało na przyczepę, była równa 3,9 kN. Wyznamy siłę wypadkową. Jaki był skutek działania tej siły?

Dane: $F_1 = 2,5 \text{ kN}$, $F_2 = 1,8 \text{ kN}$, $F_b = 3,9 \text{ kN}$

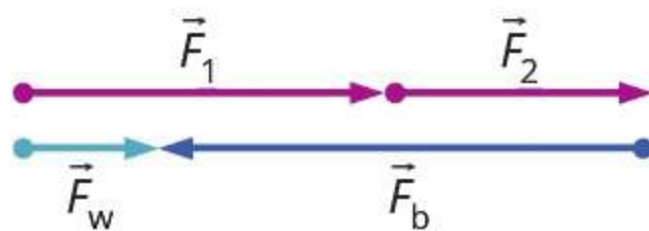
Szukane: F_w

Rozwiązanie:

Opisaną sytuację przedstawiono na ilustracji.



Aby wyznaczyć siłę wypadkową, dodajemy wektorowo siły działające na przyczepę:



Z rysunku wynika, że wartość siły wypadkowej jest równa:

$$F_w = F_1 + F_2 - F_b$$

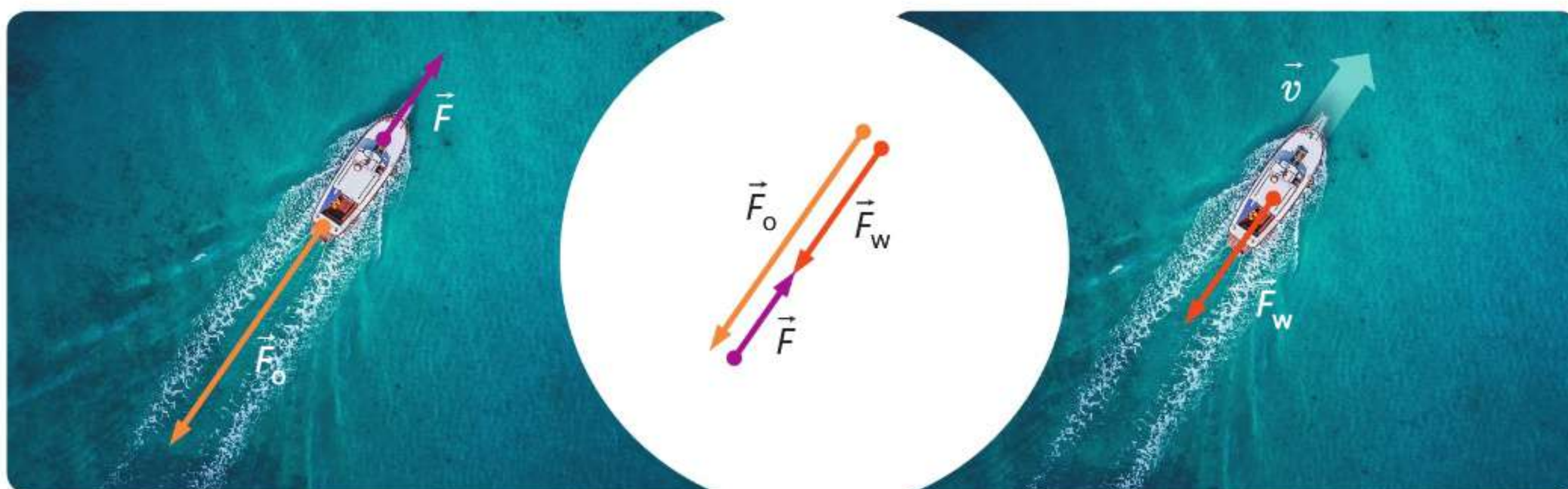
Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$F_w = 2,5 \text{ kN} + 1,8 \text{ kN} - 3,9 \text{ kN} = 0,4 \text{ kN}$$

Odpowiedź: Na przyczepę działała siła wypadkowa 0,4 kN. Pod wpływem tej siły przyczepa ruszyła z miejsca.

Jeżeli ciało porusza się, a my chcemy zwiększyć jego prędkość, musimy sprawić, aby działająca na nie siła wypadkowa była różna od zera. Ta siła musi działać w tę samą stronę, w którą porusza się ciało.

Jeżeli ciało się porusza, a my chcemy zmniejszyć jego prędkość lub je zatrzymać, np. zatrzymać motorówkę, również należy sprawić, by siła wypadkowa była różna od zera. Jednak w tym przypadku zwrot siły wypadkowej musi być przeciwny do prędkości ciała – musi ona działać w przeciwną stronę, niż porusza się ciało (ryc. 23.3.).



Ryc. 23.3. Siła wypadkowa $\vec{F}_w$ zwrócona przeciwnie do prędkości powoduje, że prędkość motorówki maleje.



Wprawienie ciała w ruch lub zmiana jego prędkości (hamowanie lub przyspieszanie) wymaga działania siły. Oznacza to, że ruch z przyspieszeniem możliwy jest tylko wtedy, gdy na ciało działa siła wypadkowa różna od zera.

Zbadaj to sam!

Czy przyspieszenie samochodu zabawki zależy od jego masy?

1. Do doświadczenia będą potrzebne: waga, akcelerometr (np. smartfon z odpowiednią aplikacją), ciężarki (np. kulki metalowe lub baterie), samochód zabawka z napędem (elektrycznym lub sprężynowym), o rozmiarach pozwalających na przymocowanie do niego akcelerometru oraz ciężarków.
2. Zważ samochód wraz z akcelerometrem i zapisz jego masę.
3. Umieść akcelerometr na samochodzie, tak by odczytać jego wskazania w chwili rozpędzania samochodu. Uruchom samochód i odczytaj z akcelerometru wartość maksymalnego przyspieszenia.



4. Umieść we wnętrzu samochodu ciężarek i zważ zabawkę wraz z obciążeniem. Wyznacz maksymalne przyspieszenie samochodu podobnie jak w punkcie 3.
5. Powtórz doświadczenie dla różnych mas obciążeń samochodu. Wyniki zapisz w odpowiedniej tabeli.
6. Przeanalizuj wyniki pomiarów i odpowiedz na pytanie postawione w tytule doświadczenia.

Zarówno zachowanie dziecka na nartach, jak i motorówki czy samochodu zabawki można wyjaśnić na podstawie prawa, które nazywa się drugą zasadą dynamiki Newtona.



Druga zasada dynamiki Newtona

Jeśli na ciało działa siła wypadkowa, to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem, którego wartość zależy od wartości tej siły oraz masy ciała.

Drugą zasadę dynamiki można również zapisać za pomocą wzoru.



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

gdzie: a – przyspieszenie ciała, F_w – siła wypadkowa, m – masa ciała.

Im większa siła działa na ciało o określonej masie, tym większe jest jego przyspieszenie. Gdy zwiększymy wartość działającej siły, przyspieszenie ciała wzrośnie tyle razy, ile razy wzrosła siła działająca na ciało.

Im większa jest masa ciała, na które działa siła o określonej wartości, tym jego przyspieszenie jest mniejsze. Gdy taka sama siła działa na dwa ciała o różnych masach, to przyspieszenie ciała o mniejszej masie jest większe.

Jeżeli na ciało o masie 1 kg działa siła wypadkowa równa 1 N, to ciało porusza się z przyspieszeniem $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Gdy obliczamy przyspieszenie ciała z drugiej zasady dynamiki, otrzymujemy wynik wyrażony w $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Jednak wiemy, że jednostką przyspieszenia jest także $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Te jednostki są równoważne.

$$1 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy przyspieszenie samochodu o masie 1200 kg, na który działa siła wypadkowa 284 N. Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $F_w = 284 \text{ N}$, $m = 1200 \text{ kg}$

Szukane: a

Rozwiązanie:

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki:

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

Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$a = \frac{284 \text{ N}}{1200 \text{ kg}} = 0,2366... \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Samochód porusza się z przyspieszeniem ok. $0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dowiedz się więcej!

Pasy bezpieczeństwa

Podczas podróży samochodem mamy obowiązek zapinania pasów bezpieczeństwa, gdyż zwiększają one szanse przeżycia ewentualnego wypadku drogowego. Gdy samochód jedzie z prędkością 90 km/h, pasażerowie również poruszają się z taką prędkością. Gdy pojazd nagle zahamuje, osoba nieprzypięta pasami nadal będzie się poruszać do przodu z taką prędkością, z jaką poruszało się auto przed zahamowaniem, i z taką prędkością uderzy w kierownicę albo w przednią szybę. Aby zatrzymać ciało, niezbędna jest siła. W samochodzie siłę tę podczas wypadku zapewniają prawidłowo zapięte pasy bezpieczeństwa. Ponieważ rozciągają się one od bioder przez klatkę piersiową aż po ramiona, to siła jest przez nie wywierana na stosunkowo dużą powierzchnię ciała. Nie odnosimy wówczas tak dużych obrażeń jak podczas uderzenia (np. w szybę) niewielkim fragmentem ciała (np. głową).



Ryc. 23.4. Pasażerowie stojący w autobusie powinni trzymać się uchwytów.

Przyspieszenie, z jakim porusza się ciało pod działaniem określonej siły, zależy od jego masy. Im większa jest masa ciała, tym trudniej zmienić stan jego ruchu – tym większą siłą należy na nie zadziałać, aby uzyskać to samo przyspieszenie. Dlatego mówimy, że **masa jest miarą bezwładności ciała**, czyli „niechęci” ciała do zmiany swojego stanu ruchu lub spoczynku*. Jak wynika z pierwszej zasady dynamiki, ciało będzie pozostawać w spoczynku lub poruszać się ze stałą prędkością (czyli zachowywać swój stan ruchu) dopóty, dopóki siła wypadkowa będzie równa zero. Zmiana stanu ruchu zachodzi tylko wówczas, gdy siła wypadkowa jest różna od zera. Gdy stoimy na przykład w ruszającym autobusie, nasze ciało chce zostać w spoczynku względem drogi. I właśnie dlatego musimy się złapać poręczy (czyli zadziałać siłą), by uniknąć przewrócenia do tyłu. Siła, jaką poręcz działa na nas, jest niezbędna do wprowadzenia naszego ciała w ruch względem drogi i tym samym do poruszania się razem z autobusem. Natomiast gdy autobus hamuje, trzymamy się poręczy, by siła, jaką poręcz na nas działa, znów zmieniła stan naszego ruchu względem drogi, czyli byśmy mogli się zatrzymać.

* Pojęcie bezwładności pojawiło się już w rozdziale 18., gdy omawialiśmy pierwszą zasadę dynamiki, zwaną zasadą bezwładności.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy wartość siły wypadkowej, która motocyklowi o masie 110 kg nadaje podczas hamowania przyspieszenie $0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $m = 110 \text{ kg}$, $a = 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: F_w

Rozwiązanie: Zgodnie z drugą zasadą dynamiki:

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

Mnożymy obie strony równania przez m i otrzymujemy:

$$a \cdot m = F_w$$

Po zamianie stron równania i podstawieniu danych otrzymujemy:

$$F_w = 110 \text{ kg} \cdot 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35,2 \text{ N} \approx 35 \text{ N}$$

Odpowiedź: Siła wypadkowa działająca na motocykl ma wartość ok. 35 N.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy masę przyczepki rowerowej wraz z dwójką siedzących w niej dzieci, jeśli pod wpływem siły wypadkowej 45 N rusza ona z przyspieszeniem $0,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane: $F_w = 45 \text{ N}$, $a = 0,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: m

Rozwiązanie: Korzystamy z drugiej zasady dynamiki:

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

Mnożymy obie strony równania przez m , a następnie dzielimy przez a i uzyskujemy:

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

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

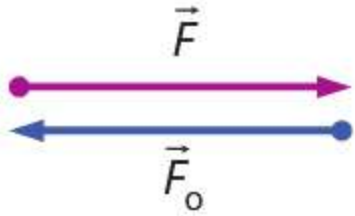
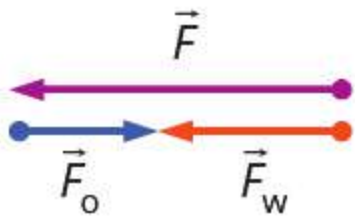
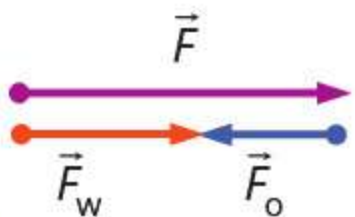
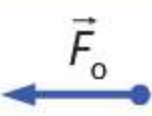
$$m = \frac{45 \text{ N}}{0,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 54 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Przyczepka rowerowa wraz z dziećmi ma masę ok. 54 kg.

Rodzaj ruchu, jakim porusza się ciało w danym momencie, zależy od tego, czy działa na nie jakaś siła wypadkowa, a jeśli działa – to jak jest skierowana w stosunku do kierunku ruchu.

Pierwsza i druga zasada dynamiki pozwalają opisać wszystkie sytuacje, z jakimi spotykamy się na co dzień (tabela 23.1.).

Tabela 23.1. Rodzaj ruchu, jakim porusza się ciało w różnych sytuacjach, wraz z informacją o sile wypadkowej, prędkości i przyspieszeniu oraz wskazaniem zasady dynamiki opisującej tę sytuację

Sytuacja	Siła wypadkowa	Rodzaj ruchu	Prędkość i przyspieszenie	Zasada dynamiki
nieruchoma hulajnoga 	$F_w = 0 \text{ N}$	spoczynek	- Prędkość jest równa zero. - Przyspieszenie jest równe zero.	pierwsza
samochód jadący ze stałą prędkością 	 $F_w = 0 \text{ N}$	jednostajny	- Prędkość jest stała. - Przyspieszenie jest równe zero.	pierwsza
ruszający żużlowiec 	 $F_w > 0 \text{ N}$, jej zwrot zgodny z kierunkiem ruchu	jednostajnie przyspieszony	- Prędkość rośnie. - Przyspieszenie jest stałe.	druga
przyspieszający samolot 	 $F_w > 0 \text{ N}$, jej zwrot zgodny z prędkością	jednostajnie przyspieszony	- Prędkość rośnie. - Przyspieszenie jest stałe.	druga
hamujący hokeista 	 $F_w = F_o$, jej zwrot przeciwny do prędkości	jednostajnie opóźniony	- Prędkość maleje. - Przyspieszenie jest stałe.	druga

Podsumujmy!

- **Druga zasada dynamiki Newtona:** jeżeli na ciało działa siła wypadkowa, to porusza się ono ruchem zmiennym z przyspieszeniem, którego wartość zależy od wartości tej siły oraz masy ciała.

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

- **Bezwładność** to właściwość ciał przejawiająca się „niechęcią” ciała do zmiany swojego stanu ruchu lub spoczynku. Miarą bezwładności ciała jest masa.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Im większa jest masa ciała, tym większa siła jest potrzebna, aby poruszało się ono z danym przyspieszeniem.	P	F
2.	Siła wypadkowa działająca na samochód może powodować, że będzie się on poruszać ruchem opóźnionym.	P	F
3.	Im większa jest wartość siły wypadkowej działającej na rowerzystę, tym większe jest jego przyspieszenie.	P	F
4.	Gdy zmniejszy się masa poruszającej się rakiety, a nie zmieni się działająca na nią siła, to zwiększy się jej przyspieszenie.	P	F

2. Chłopiec z rowerem wsiadł do tramwaju. Napisz w zeszycie, dlaczego rower – ze względów bezpieczeństwa – powinien być przymocowany do odpowiedniego uchwytu wewnątrz pojazdu.

3. Na samochód o masie 955 kg działa siła wypadkowa 180 N. Oblicz przyspieszenie, z jakim porusza się pojazd. Wynik zapisz z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

4. Pod wpływem siły wypadkowej wózek o masie 18 kg porusza się z przyspieszeniem $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość tej siły.

5. Samolot pod wpływem siły wypadkowej 180 kN rusza z przyspieszeniem $3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz masę tego samolotu.

24. Wykresy ruchu jednostajnie zmiennego

- ▶ Jak rysować wykresy ilustrujące ruch zmienny?
- ▶ Jak odczytywać informacje o ruchu zmiennym z wykresu?



Podczas analizy danych zebranych w trakcie obserwacji i doświadczeń niezwykle użyteczna jest umiejętność rysowania wykresów. Etapy tworzenia wykresów zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie zmiennym są takie same jak opisane w poprzednich rozdziałach etapy tworzenia innych wykresów*. Narysowanie wykresu jest łatwiejsze, gdy dane, które chcemy na nim przedstawić, zapiszemy najpierw w formie tabeli.

Tabela 24.1. przedstawia prędkość motocykla rozpędzającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym w kolejnych sekundach jego ruchu. Na jej podstawie narysujmy wykres zależności prędkości od czasu.

Tabela 24.1. Zależność prędkości od czasu rozpędzającego się motocykla

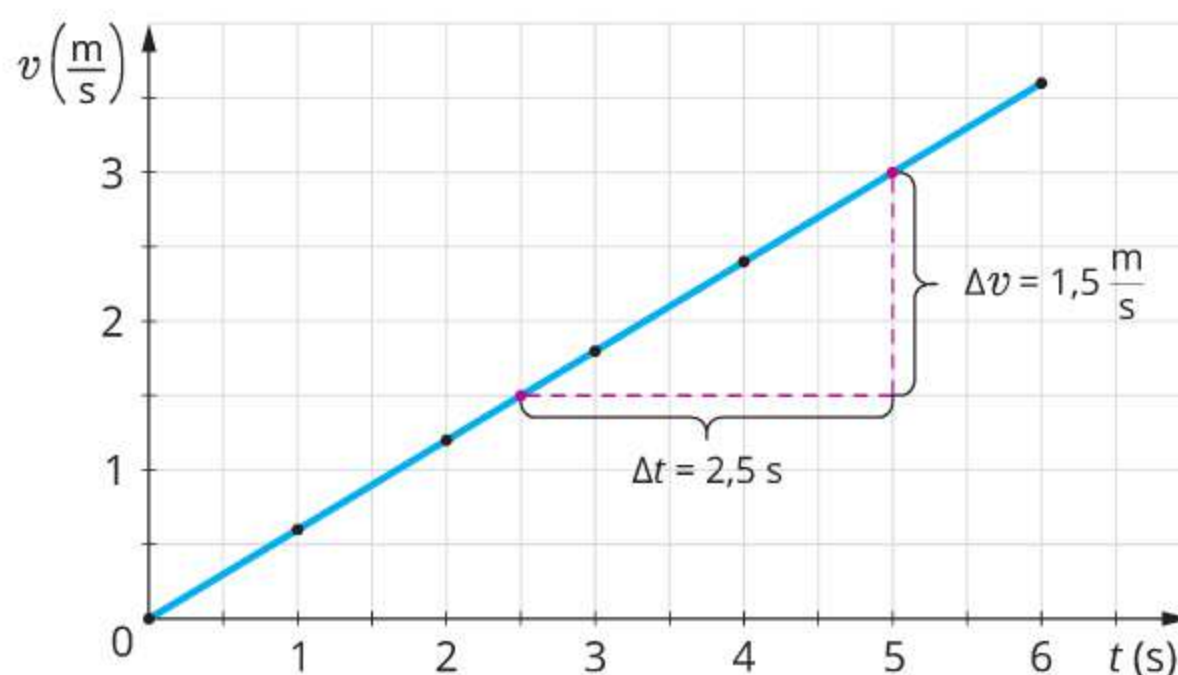
$t \text{ (s)}$	0	1	2	3	4	5	6
$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6

Rysujemy dwie osie prostopadłe do siebie. Na osi poziomej będziemy zaznaczać czas t , a na osi pionowej – prędkość v . Opisujemy osie (podajemy symbol wielkości fizycznej i jej jednostkę) i skalujemy je tak, żeby wszystkie dane zmieściły się na wykresie. Następnie – zgodnie z danymi z tabeli – zaznaczamy punkty pomiarowe i łączymy je linią (ponieważ ruch motocykla trwał cały czas, nie tylko w chwilach, które zostały zapisane w tabeli). Linia ta jest półprostą nachyloną do osi czasu pod pewnym kątem.

* Patrz rozdział 19. Tworzenie wykresów ruchu.

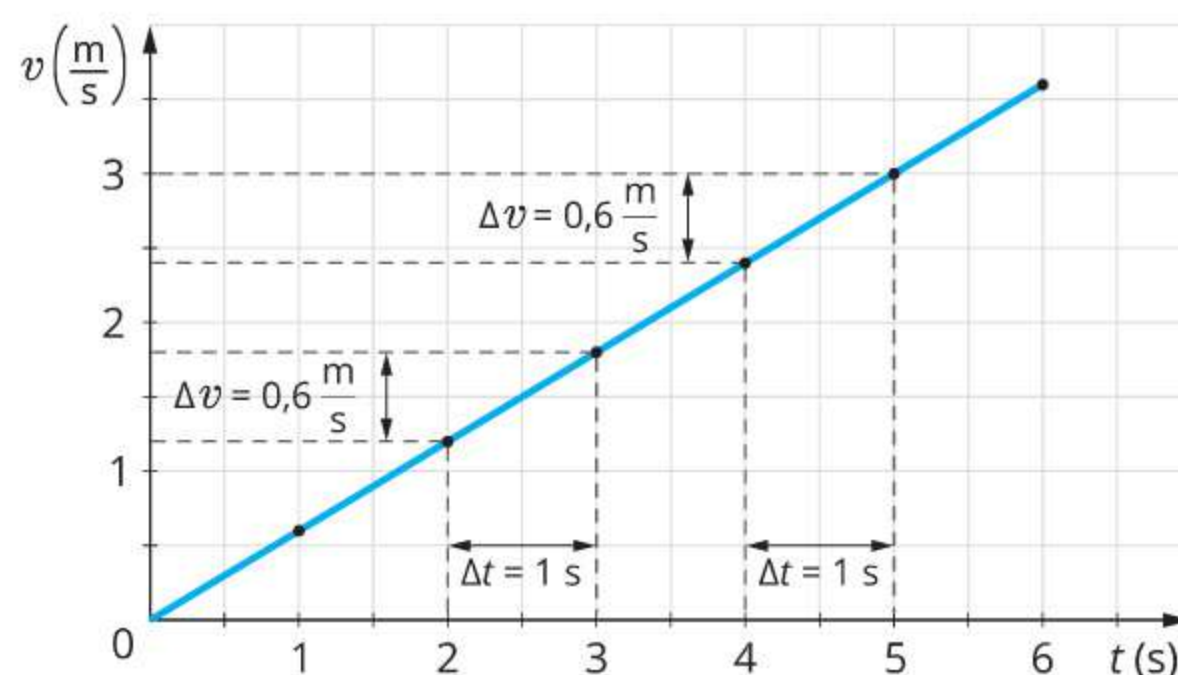
Z tego wykresu możemy obliczyć przyspieszenie motocykla. W tym celu wybieramy na naszej półprostej dowolne dwa punkty i odczytujemy dla nich prędkość v i czas t , aby wyznaczyć zmianę prędkości Δv oraz przedział czasu Δt . W przypadku przedstawionym na wykresie:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \text{ s}} = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



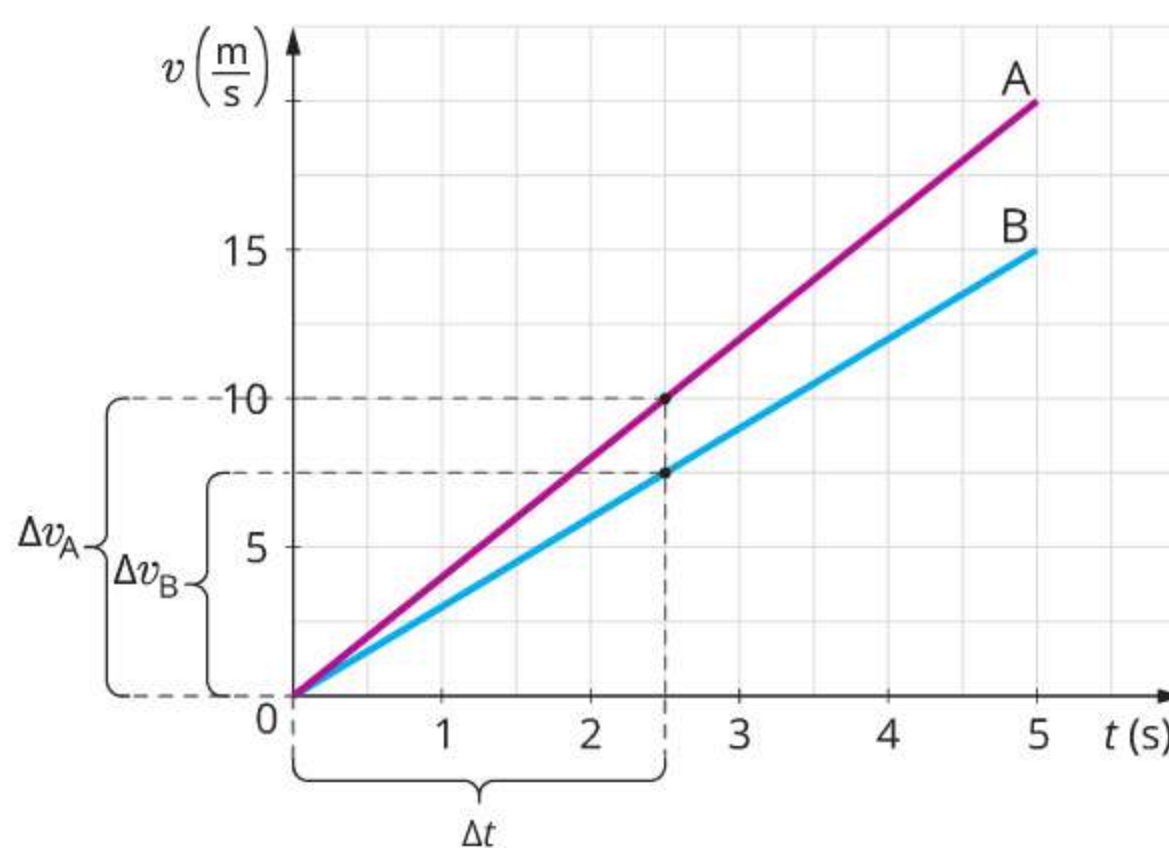
Ryc. 24.1. Z wykresu zależności prędkości od czasu można obliczyć przyspieszenie.

Niezależnie od tego, jakie punkty wybierzemy na wykresie, obliczone przyspieszenie będzie miało taką samą wartość. Wynika to z faktu, że przyspieszenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym (a takim poruszał się motocykl) jest stałe. W tym ruchu w jednakowych odstępach czasu następują takie same zmiany prędkości, co również możemy zobaczyć na wykresie (ryc. 24.2.).



Ryc. 24.2. W ruchu jednostajnie przyspieszonym w tych samych odstępach czasu prędkość rośnie o tyle samo.

Na jednym wykresie możemy także narysować zależność prędkości od czasu dla dwóch różnych ciał. Ułatwi to nam porównanie ich ruchu. Na wykresie 24.3. przedstawiono zależności prędkości od czasu dla dwóch motocykli. Z wykresu możemy odczytać, że oba motocykle poruszały się ruchem jednostajnie przyspieszonym, ale ich przyspieszenia były różne. Motocykl A poruszał się z większym przyspieszeniem niż motocykl B, bo w tym samym czasie $\Delta t = 2,5 \text{ s}$ zmiana prędkości motocykla A była większa. Zmiana prędkości motocykla A była równa 10 m/s , a motocykla B wynosiła $7,5 \text{ m/s}$.

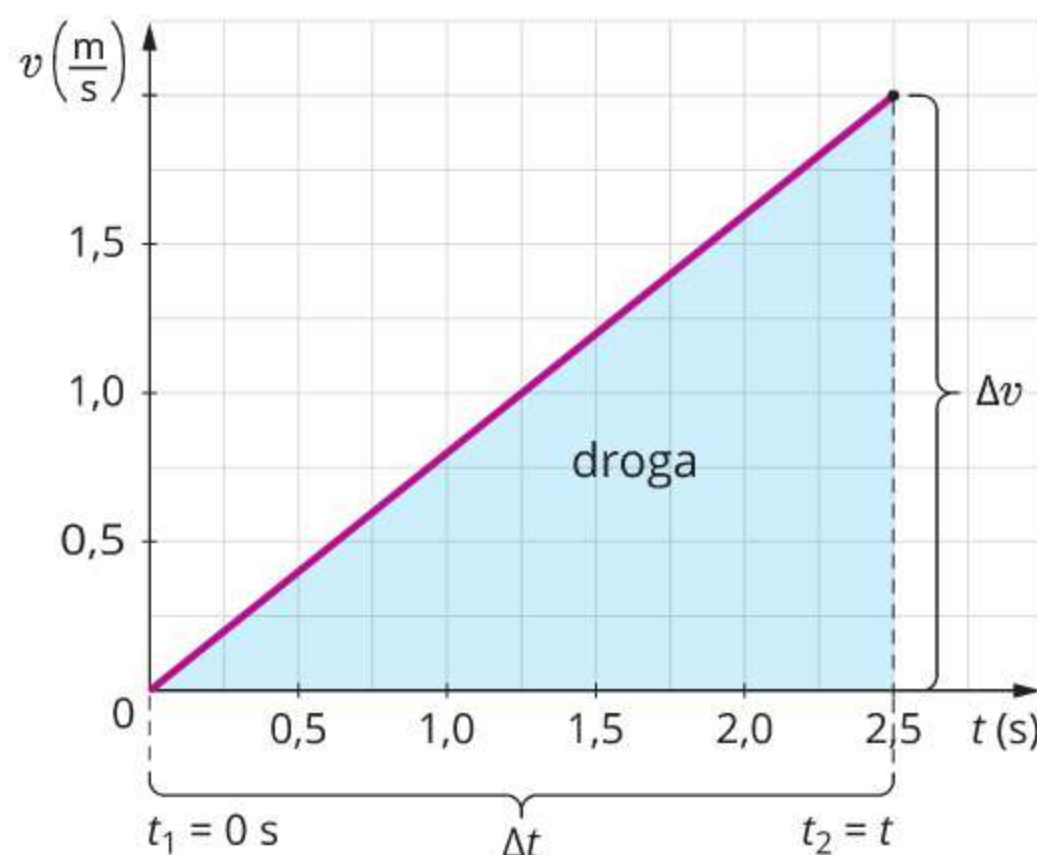


Ryc. 24.3. Wykres zależności prędkości od czasu dla motocykli A i B poruszających się z różnymi przyspieszeniami

Dowiedz się więcej!

Jak obliczyć drogę z wykresu zależności prędkości od czasu?

Wykres przedstawia zależność prędkości od czasu dla rozpędzającego się samochodu.



Droga przebyta przez ciało jest równa polu powierzchni figury ograniczonej wykresem prędkości i osią czasu. Wobec tego w naszym przykładzie droga przebyta przez samochód jest równa polu trójkąta zaznaczonego na wykresie:

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

Po podstawieniu wartości odczytanych z wykresu otrzymujemy:

$$s = \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,5 \text{ s} = 2,5 \text{ m}$$

co oznacza, że podczas rozpędzania samochód przebył drogę 2,5 m.

Wzór na pole powierzchni trójkąta pod wykresem zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym pozwala także wyprowadzić ogólny wzór na drogę pokonywaną w określonym przedziale czasu Δt przez ciało ruszające z miejsca ze stałym przyspieszeniem a .

Zmiana prędkości podczas ruchu przyspieszonego:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$

Po podstawieniu tej zależności do wzoru na pole trójkąta otrzymujemy:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t \cdot \Delta t$$

Rozpoczynamy obserwację w chwili $t_1 = 0 \text{ s}$, dlatego $\Delta t = t_2 - t_1 = t - 0 = t$.

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym tworzymy podobnie jak w ruchu jednostajnie przyspieszonym. Tabela 24.2. przedstawia prędkość pociągu hamującego ruchem jednostajnie opóźnionym w kolejnych sekundach ruchu. Na podstawie tej tabeli rysujemy wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym.

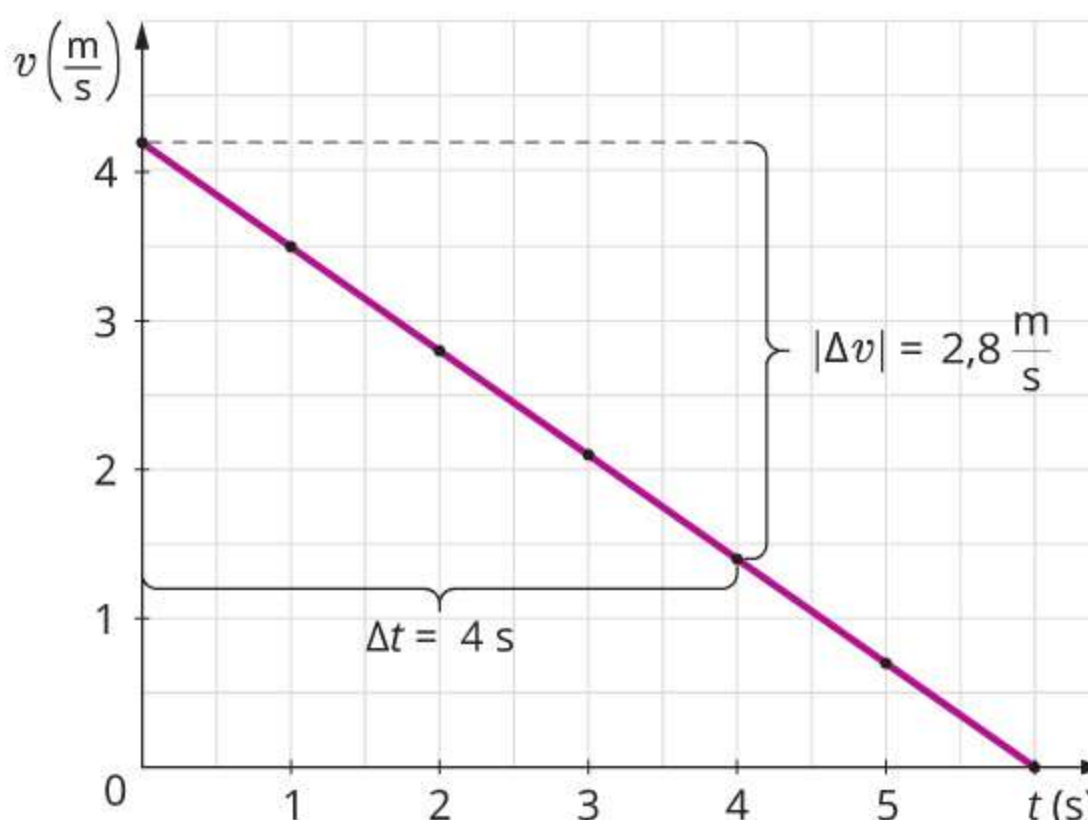
Z wykresu odczytujemy dane dla dowolnych dwóch punktów na prostej i wyznaczamy zmianę prędkości Δv oraz odpowiadający jej przedział czasu Δt . W przedstawionym przypadku:

$$a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{\left| -2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right|}{4 \text{ s}} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Niezależnie od tego, jakie punkty wybierzemy na wykresie, obliczone przyspieszenie będzie miało taką samą wartość, ponieważ w ruchu jednostajnie opóźnionym przyspieszenie jest stałe, a prędkość w równych odstępach czasu maleje o taką samą wartość.

Tabela 24.2. Zależność prędkości od czasu dla zatrzymującego się pociągu

$t \text{ (s)}$	0	1	2	3	4	5	6
$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	4,2	3,5	2,8	2,1	1,4	0,7	0



Ryc. 24.4. Z wykresu zależności prędkości od czasu można obliczyć przyspieszenie.



Wykresem zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie zmiennym jest półprosta nachylona pod pewnym kątem do osi czasu, przy czym w ruchu przyspieszonym kolejne wartości prędkości są coraz większe, a w ruchu opóźnionym – coraz mniejsze.

Podsumujmy!

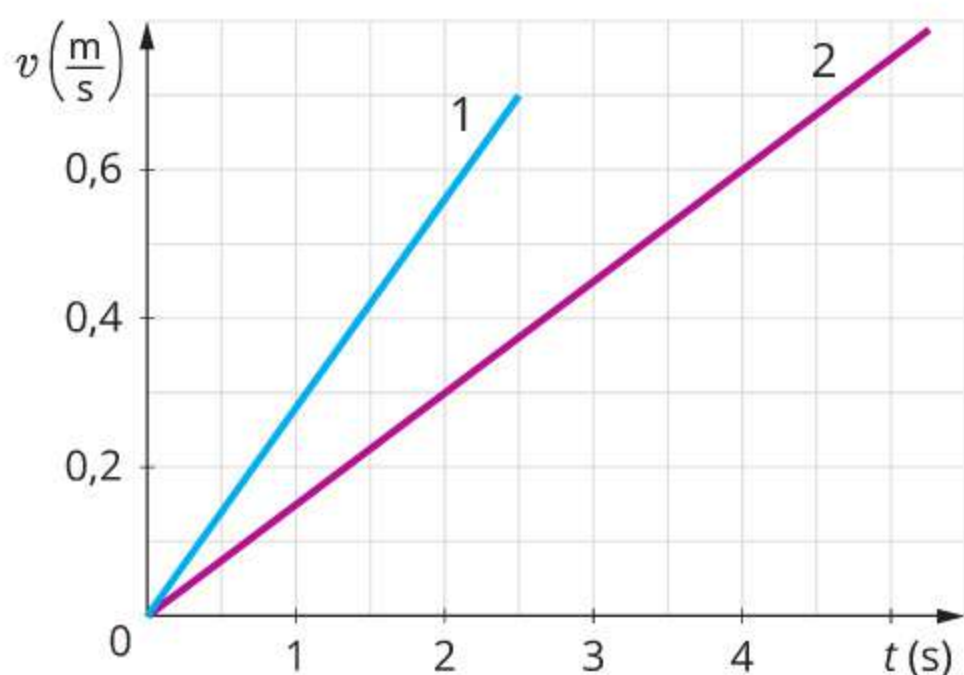
- ▶ W ruchu jednostajnie zmiennym (przyspieszonym lub opóźnionym) przyspieszenie jest stałe.
- ▶ Wykresem zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie zmiennym jest półprosta nachylona pod pewnym kątem do osi czasu.

Sprawdź się!

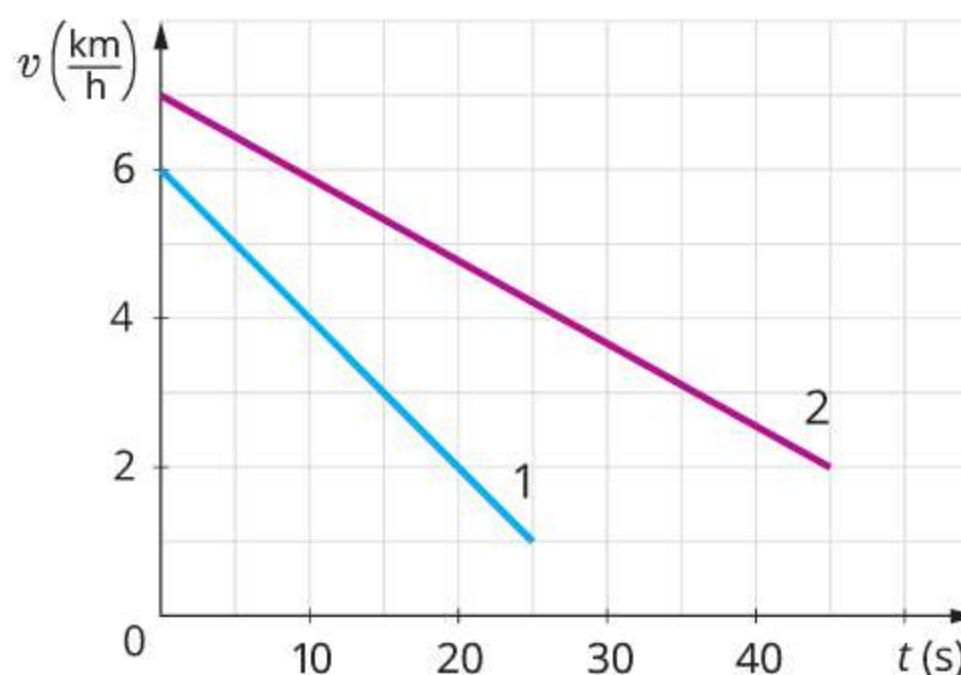
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Przyspieszenie $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ oznacza, że w czasie sekundy prędkość ciała rośnie o 1 m/s .	P	F
2.	Gdy prędkość ciała maleje o 3 m/s w każdej sekundzie ruchu, to jego przyspieszenie ma wartość $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.	P	F
3.	W ruchu jednostajnie przyspieszonym przyspieszenie ciała rośnie.	P	F
4.	Im dłużej trwa ruch jednostajnie opóźniony, tym ciało ma mniejszą prędkość.	P	F

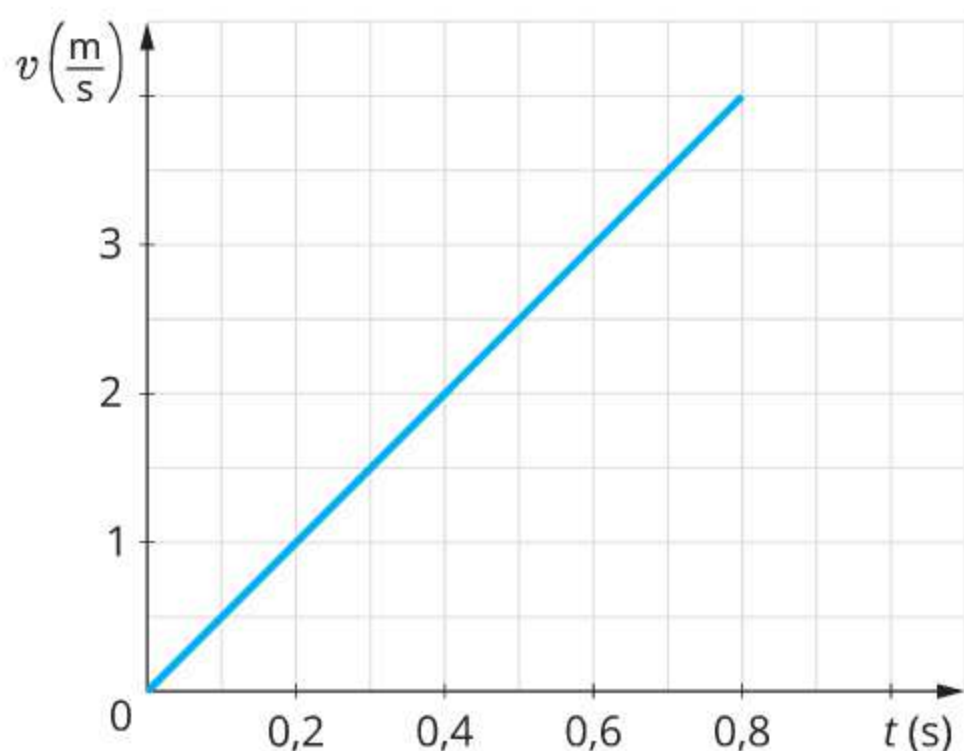
- F** 2. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla dwóch rowerzystów. Który z rowerzystów miał większe przyspieszenie?



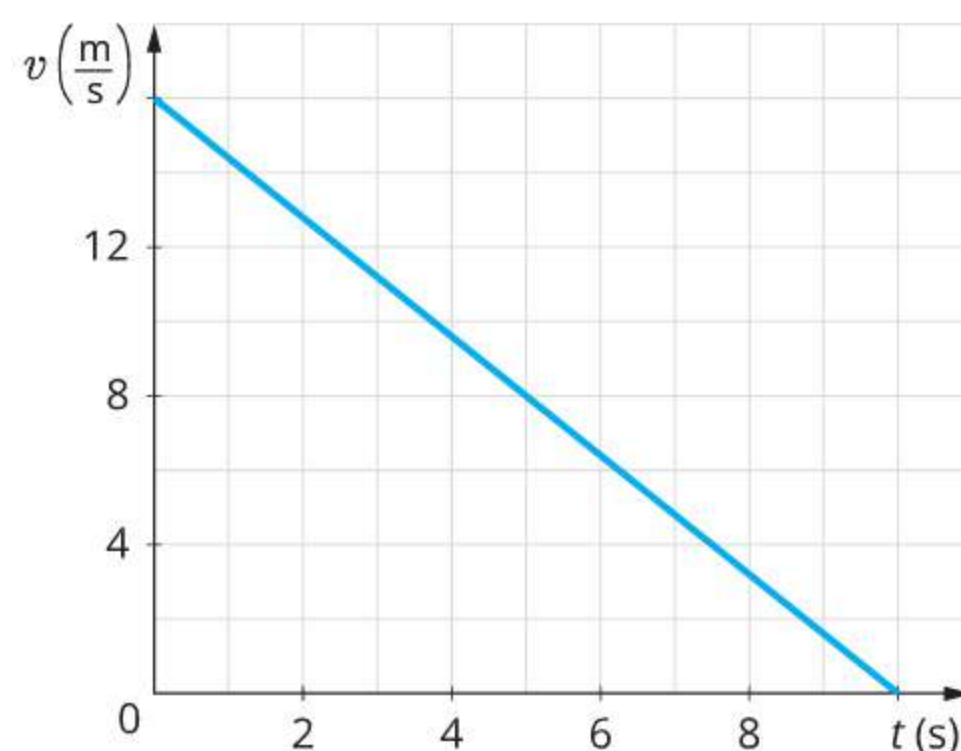
3. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu podczas hamowania dwóch płynących statków. Który z tych statków poruszał się z większym przyspieszeniem?



4. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości samochodu elektrycznego od czasu. Oblicz przyspieszenie tego samochodu.

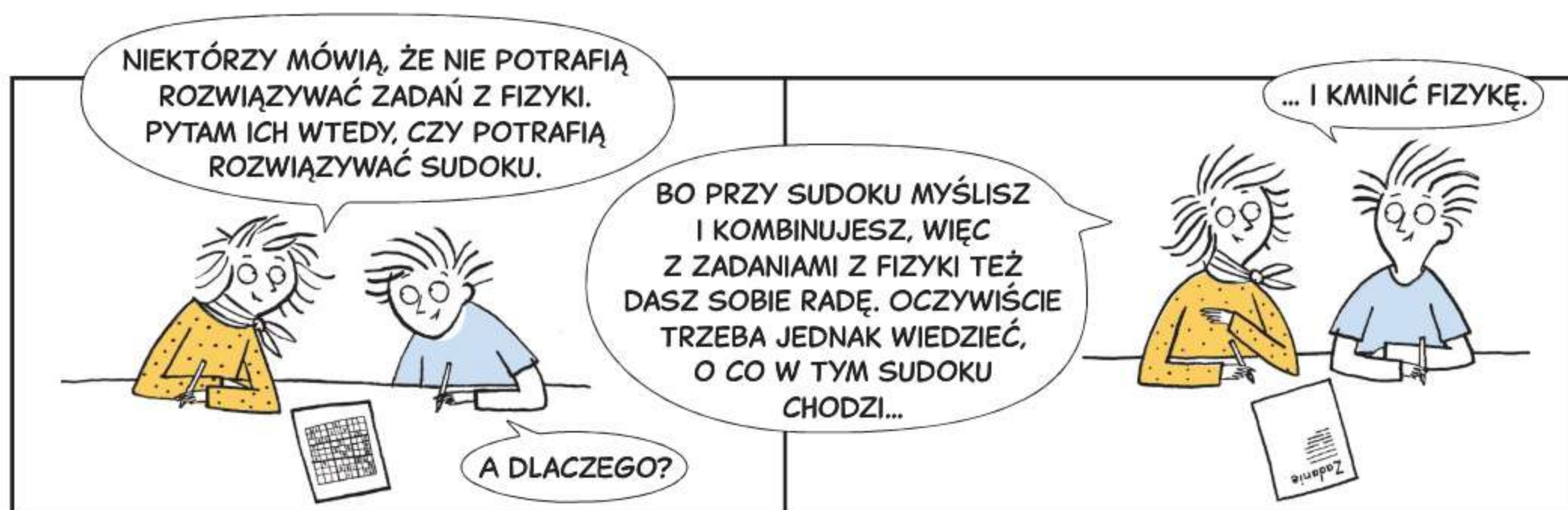


5. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości motocykla od czasu. Oblicz przyspieszenie tego motocykla.



25. Rozwiązywanie zadań

- ▶ Jak znaleźć sposób na rozwiązanie zadania?
- ▶ Czy znajomość praw przyrody pomaga w rozwiązywaniu zadań?



Fizyka pozwala na opisanie i zrozumienie zjawisk zachodzących wokół nas. Codziennie musimy rozwiązywać rzeczywiste problemy, które są bardzo podobne do tych opisywanych w zadaniach rozwiązywanych w szkole – np. obliczać czas podróży. Znalezienie rozwiązania jest możliwe przede wszystkim dzięki znajomości praw rządzących przyrodą oraz odrobiny matematyki.

Dowiedz się więcej!

Modelowanie numeryczne

Do rozwiązywania bardzo złożonych problemów fizycznych można zastosować modelowanie numeryczne z wykorzystaniem komputerów. W tym procesie wykorzystuje się prawa i zależności fizyczne zapisane w postaci wzorów. Komputery obliczają wartości wielkości fizycznych (np. drogi lub prędkości poruszającego się spadochroniarza) w bardzo krótkim odstępie czasu Δt – tzw. kroku. Obliczenia wykonywane są etapami, zawsze w tej samej kolejności – w tzw. pętli. Wynik obliczeń na przykład prędkości dla czasu t_1 , czyli w pierwszej pętli, jest wykorzystywany do obliczenia prędkości dla czasu t_2 większego o Δt ($t_2 = t_1 + \Delta t$), czyli w kolejnej pętli. Zarówno czas, który mija między kolejnymi krokami, jak i ich liczbę dobiera się odpowiednio do zadania.

Komputery dokonują wielu obliczeń, a ich wyniki przedstawiane są w różnych postaciach, np. tabel i wykresów. Na ich podstawie formułuje się wnioski na temat modelowanych zjawisk.



Gdy przystępujemy do rozwiązywania zadania, które wydaje się bardziej złożone, możemy podzielić je na kilka etapów, dzięki czemu będziemy mogli postępować podobnie jak w zadaniach prostych. Rozwiązywanie zadania zaczynamy od uważnego przeczytania jego treści i uświadomienia sobie, co trzeba obliczyć. Czasami warto wykonać szkic sytuacji opisanej w treści zadania. Wyniki obliczeń ułatwią formułowanie wniosków.

Zobacz, jak to zrobić!

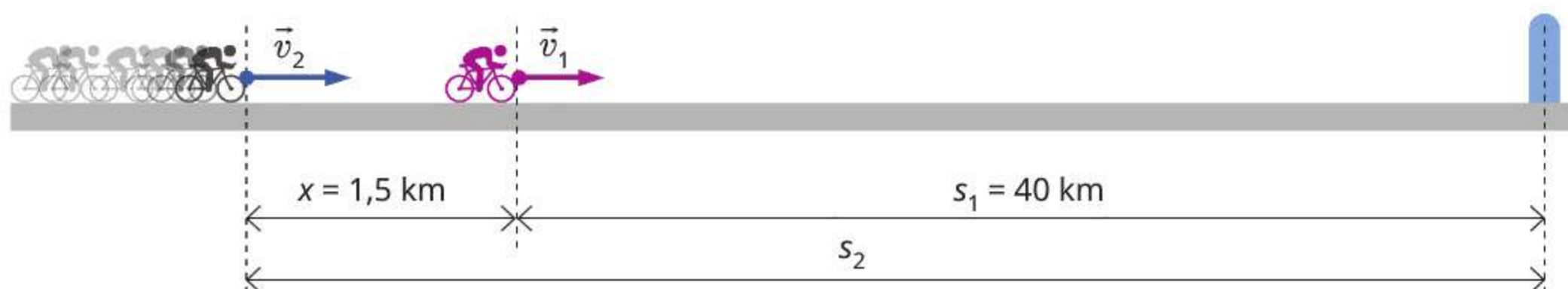
Na czele wyścigu kolarskiego jedzie dwóch kolarzy, każdy z prędkością 38 km/h. Do mety pozostało im 40 km. W odległości 1,5 km za nimi jedzie peleton złożony z pozostałych kolarzy. Obliczmy, z jaką prędkością powinien jechać peleton, aby dotrzeć do mety jednocześnie z dwójką najlepszych kolarzy.

Dane: $s_1 = 40$ km, $x = 1,5$ km, $v_1 = 38 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Szukane: v

Rozwiązanie:

Etap I. Wyobraźmy sobie sytuację opisaną w zadaniu i sporządźmy jej schematyczny rysunek.



Etap II. Sformułujmy spostrzeżenia i zapiszmy, co trzeba obliczyć.

Zauważmy, że peleton dotrze do mety jednocześnie z dwójką kolarzy, jeśli czas ruchu kolarzy i peletonu będzie taki sam. Jest to kluczowe spostrzeżenie, które pozwoli rozwiązać zadanie.

Ponieważ peleton ma do pokonania dystans dłuższy niż dwaj kolarze na czele, powinien poruszać się z prędkością większą niż oni. Aby obliczyć prędkość peletonu, należy określić drogę, jaką ma do pokonania peleton, oraz wyznaczyć czas, jaki pozostał, nim dwaj kolarze dojadą do mety.

Etap III. Obliczamy drogę s_2 , którą musi przebyć peleton, aby dotrzeć do mety.

$$s_2 = s_1 + x = 40 \text{ km} + 1,5 \text{ km} = 41,5 \text{ km}$$

Etap IV. Drogę w ruchu jednostajnym możemy obliczyć ze wzoru:

$$s = v \cdot t$$

Gdy podzielimy to równanie obustronnie przez v i zamienimy je stronami, otrzymamy wzór na czas potrzebny na pokonanie tej drogi:

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

Wobec tego czas potrzebny dwójce kolarzy na pokonanie drogi, która pozostała im do mety, możemy zapisać jako:

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1}$$

W podobny sposób otrzymujemy wzór na czas potrzebny na pokonanie drogi s_2 przez peleton:

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2}$$

Etap V. Wszyscy kolarze dotrą do mety jednocześnie, jeśli czas ruchu obu grup będzie taki sam.

$$t_1 = t_2$$

Do tego równania w miejsca t_1 i t_2 podstawiamy wcześniej wyprowadzone zależności i otrzymujemy:

$$\frac{s_1}{v_1} = \frac{s_2}{v_2}$$

Po odpowiednim przekształceniu tego równania (mnożymy obie strony równania przez v_1 i v_2 oraz dzielimy przez s_1), otrzymamy wzór na prędkość, jaką powinien mieć peleton.

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{s_2}{s_1}$$

Etap VI. Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$v_2 = 38 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{41,5 \text{ km}}{40 \text{ km}} \approx 39,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Peleton powinien jechać z prędkością ok. 39,4 km/h.

Podział zadania na etapy w celu jego rozwiązania jest użyteczną strategią przede wszystkim wtedy, gdy zadanie wydaje się szczególnie trudne. Oczywiście nie ma konieczności wyróżniania poszczególnych etapów rozwiązania nagłówkiem, tak jak to zrobiliśmy w pokazanym przykładzie. Często także kolejność wykonywanych obliczeń prowadząca do poprawnego rozwiązania może być różna.

Zobacz, jak to zrobić!

Turysta planuje wejść na szczyt Grześ znajdujący się nad Doliną Chochołowską w Tatrach. Wędrówkę zacznie na Polanie Huciska. Trasę z tego miejsca do schroniska PTTK na Polanie Chochołowskiej przebędzie z prędkością 3 km/h, a ze schroniska na szczyt – z prędkością 1,6 km/h. Długość pierwszego odcinka trasy jest równa 3,9 km, a długość drugiego wynosi 2,8 km. Turysta planuje odpoczywać w schronisku przez 20 min. Obliczmy, o której godzinie powinien wyruszyć, aby dotrzeć na szczyt w południe.



Dane: $s_1 = 3,9 \text{ km}$, $s_2 = 2,8 \text{ km}$, $v_1 = 3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 1,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $t_3 = 20 \text{ min}$

Szukane: t

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnym:

$$s = v \cdot t$$

Po podzieleniu obu stron równania przez v i zamianie stron otrzymujemy:

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

Obliczmy najpierw czas potrzebny na pokonanie pierwszego odcinka trasy:

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{3,9 \text{ km}}{3 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1,3 \text{ h} = 1 \text{ h } 18 \text{ min}$$

A teraz obliczmy czas potrzebny na pokonanie drugiego odcinka:

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{2,8 \text{ km}}{1,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1,75 \text{ h} = 1 \text{ h } 45 \text{ min}$$

Turysta planował 20 minut postoju, zatem od początku wędrówki do chwili dotarcia na szczyt upłynie:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 1 \text{ h } 18 \text{ min} + 1 \text{ h } 45 \text{ min} + 20 \text{ min} = 3 \text{ h } 23 \text{ min}$$

Odpowiedź: Aby dotrzeć na szczyt o godz. 12.00, turysta powinien wyruszyć o godz. 8.37.

W codziennych sytuacjach często zdarza się, że podczas ruchu z określoną prędkością musimy przyspieszyć (np. podczas wyprzedzania) lub zwolnić (np. aby zachować bezpieczną odległość od pojazdu przed nami). Jeśli w zadaniu mamy do czynienia z takimi lub podobnymi zdarzeniami, oznacza to, że poruszające się ciało w momencie rozpoczęcia obserwacji ma prędkość początkową lub jego prędkość końcowa jest różna od zera.

Zobacz, jak to zrobić!

Samochód przejeżdżał przez pewną miejscowość z prędkością 48 km/h. Po wyjeździe z obszaru zabudowanego zaczął poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Obliczmy, jak długo trwało rozpędzanie tego samochodu do prędkości 84 km/h.

Dane: $v_1 = 48 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $v_2 = 84 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $a = 0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Szukane: Δt

Rozwiązanie:

Czas rozpędzania samochodu wyznaczymy ze wzoru na przyspieszenie:

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

Mnożymy ten wzór obustronnie przez Δt :

$$\Delta t \cdot a = \Delta v$$

a następnie dzielimy obie strony równania przez a :

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

Zmiana prędkości samochodu była równa:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 84 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 48 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Zamieniamy jednostkę prędkości (km/h na m/s):

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

Teraz możemy obliczyć czas rozpędzania samochodu:

$$t = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 11,1 \text{ s}$$

Odpowiedź: Samochód rozpędzał się ok. 11,1 s.



W dotychczasowych zadaniach obliczaliśmy przyspieszenie ciała, gdy podana była wartość siły wypadkowej. Jak rozwiązać zadanie, gdy na ciało działa więcej niż jedna siła, a wartość siły wypadkowej nie jest podana? Należy dodać wektorowo wszystkie siły i wyznaczyć ich wypadkową. Pod wpływem siły wypadkowej ciało porusza się ruchem zmiennym, czyli z przyspieszeniem.

Zobacz, jak to zrobić!

Dwa psy ciągną sanie o masie 25 kg. Każdy z nich działa siłą o kierunku poziomym i wartości 40 N. Na sanie działa też siła oporu ruchu o wartości 60 N. Obliczmy przyspieszenie sań.

Dane: $F_1 = 40 \text{ N}$, $F_2 = 40 \text{ N}$, $F_o = 60 \text{ N}$, $m = 25 \text{ kg}$

Szukane: a

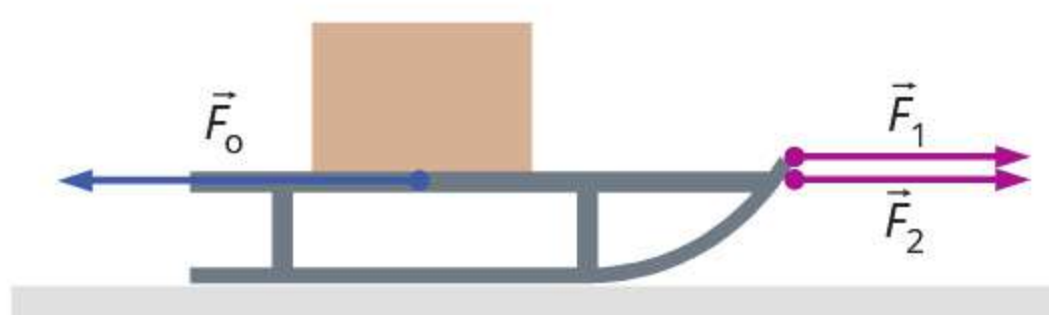
Rozwiązanie:

Wykonajmy szkic opisanej sytuacji.

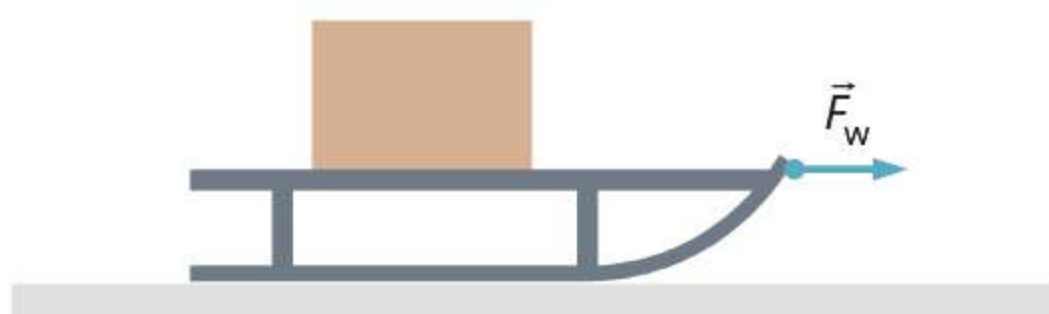
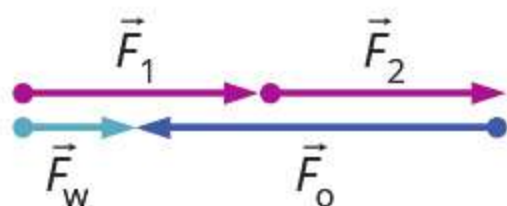
$\vec{F}_1$ – siła, jaką sanie ciągnie pierwszy pies,

$\vec{F}_2$ – siła, jaką sanie ciągnie drugi pies,

$\vec{F}_o$ – siła oporu ruchu.



Siły dodajemy wektorowo. W tym celu przerysowujemy wektor $\vec{F}_1$. Do końca wektora $\vec{F}_1$ przenosimy początek wektora $\vec{F}_2$, natomiast do końca wektora $\vec{F}_2$ przenosimy początek wektora $\vec{F}_o$. Łączymy początek wektora $\vec{F}_1$ z końcem wektora $\vec{F}_o$ i otrzymujemy w ten sposób wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$.



Obliczamy teraz wartość siły wypadkowej:

$$F_w = F_1 + F_2 - F_o = 40 \text{ N} + 40 \text{ N} - 60 \text{ N} = 20 \text{ N}$$

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki sanie pod wpływem siły wypadkowej poruszają się z przyspieszeniem, którego wartość obliczamy ze wzoru:

$$a = \frac{F_w}{m} = \frac{20 \text{ N}}{25 \text{ kg}} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Sanie poruszają się z przyspieszeniem $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Podsumujmy!

- **Szkic sytuacji** przedstawionej w treści zadania ułatwia jego rozwiązanie.
- Rozwiązanie zadania warto **podzielić na etapy**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

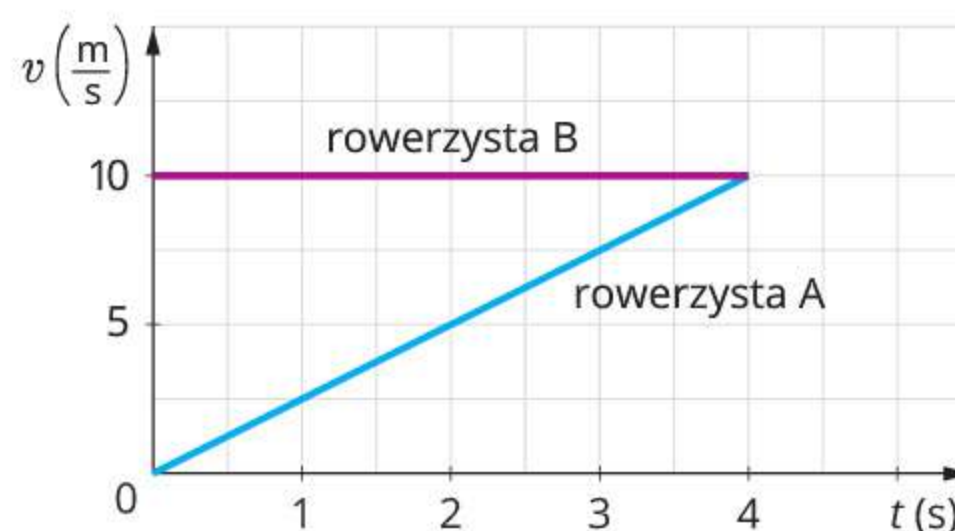
1.	Gdy na ciało działa więcej niż jedna siła, wyznaczamy wypadkową wszystkich sił.	P	F
2.	Pod wpływem siły wypadkowej ciało porusza się ruchem jednostajnym.	P	F
3.	Tylko pojazd ruszający z miejsca może poruszać się z przyspieszeniem.	P	F
4.	W rozwiązaniu zadania jednostki tych samych wielkości fizycznych powinny być takie same.	P	F

2. Podczas marszu z Ustrzyk Górnych na Tarnicę turysta będzie szedł z prędkością 2,4 km/h, a podczas schodzenia z prędkością 4,1 km/h. Odległość między Ustrzykami Górnymi a szczytem Tarnicy jest równa 8,2 km. Podczas całej wędrówki turysta planuje trzy postoje po 20 minut każdy. O której godzinie powinien wyjść z Ustrzyk Górnych, aby wrócić o godz. 16.00?

3. Złodziej biegł z prędkością 5 m/s. Ochroniarz, który zaczął go gonić z prędkością 7 m/s, znajdował się początkowo w odległości 20 m od niego. Po jakim czasie i w jakiej odległości od miejsca, z którego ruszył w pościg, ochroniarz dogoni złodzieja? Załóż, że obaj poruszali się ruchem jednostajnym prostoliniowym wzdłuż tej samej prostej.

4. Na skoczka spadochronowego opadającego ruchem przyspieszonym działa siła ciężkości o wartości 850 N. W pewnej chwili działająca na niego siła oporu powietrza ma wartość 500 N. Oblicz wartość przyspieszenia skoczka w tym momencie.

- 5*. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla dwóch rowerzystów, którzy początkowo znajdowali się obok siebie i poruszali się w tę samą stronę. Który z nich po dwóch sekundach znajdował się dalej od położenia początkowego?



POWTÓRZENIE

Dynamika

Rodzaje ruchu

ruch przyspieszony

Prędkość ciała rośnie.

startujący sprinter



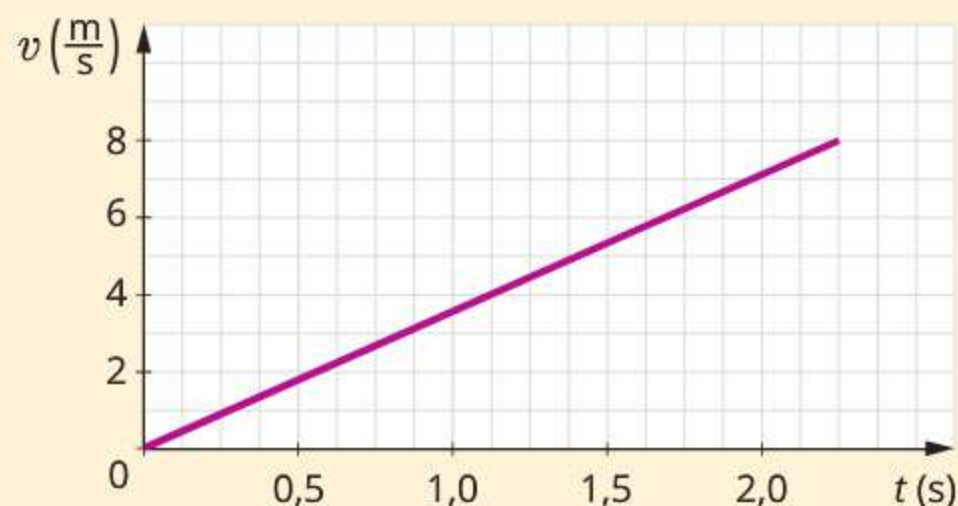
ruch opóźniony

Prędkość ciała maleje.

skaczący w górę ludzie



Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.



Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym.



Przyspieszenie

Przyspieszenie informuje nas, o ile zmieniła się prędkość w jednostce czasu.

Jednostką przyspieszenia jest na przykład $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

przyspieszenie

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

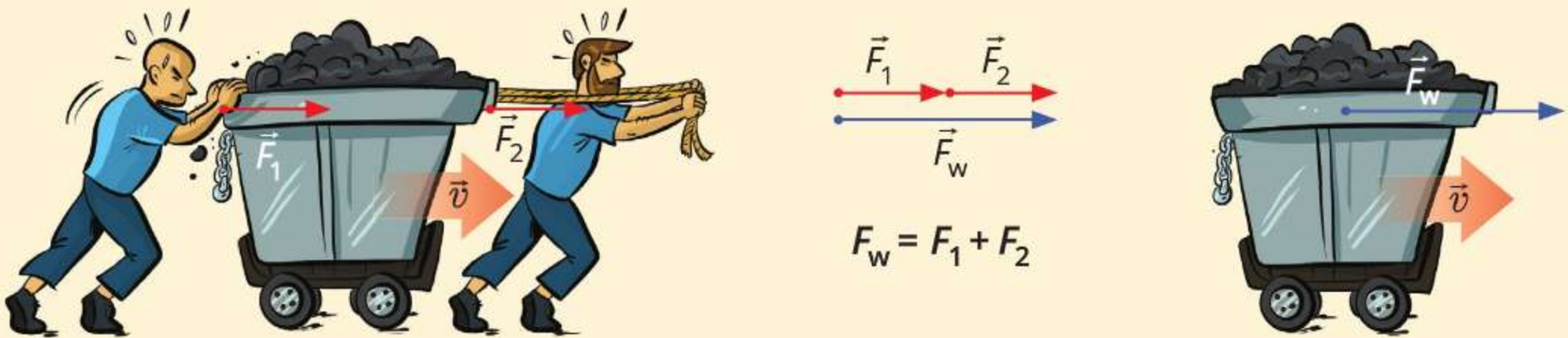
zmiana prędkości

czas potrzebny na zmianę prędkości

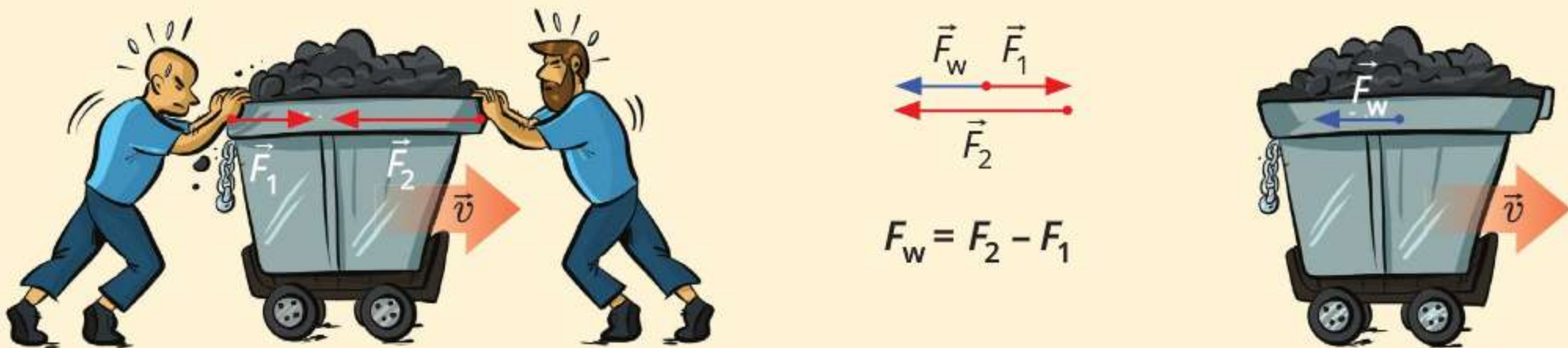
Siła wypadkowa

Pod wpływem siły wypadkowej zmienia się prędkość ciała.

Prędkość ciała rośnie, gdyż siła wypadkowa zwrócona jest tak jak prędkość ciała.



Prędkość ciała maleje, gdyż siła wypadkowa zwrócona jest przeciwnie do prędkości ciała.



Druga zasada dynamiki

Jeżeli na ciało działa siła wypadkowa, to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem, którego wartość zależy od wartości tej siły oraz masy ciała.

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

przyspieszenie

siła wypadkowa

masa

Bezwładność

Ruszenie z miejsca ciała o dużej masie wymaga działania dużej siły. Miarą bezwładności ciała jest masa.



Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Siła tarcia statycznego może zmieniać swoją wartość, gdy zmienia się wartość siły, którą próbujemy wprowadzić ciało w ruch, ale ciało nadal spoczywa.	P	F
2.	Spośród dwóch samochodów mniejsze przyspieszenie ma ten, który w tym samym czasie zmienia swoją prędkość o mniejszą wartość.	P	F
3.	Zmiana prędkości ciała nie może być ujemna.	P	F
4.	Im mniejsza jest masa ciała, tym mniejsza siła jest potrzebna, aby poruszało się ono z danym przyspieszeniem.	P	F
5.	O bezwładności ciała decyduje jego masa.	P	F

2. Na poruszający się po lodzie krążek hokejowy działa siła tarcia kinetycznego. Narysuj w zeszycie szkic tej sytuacji. Zaznacz także prędkość krążka.

- 3*. Zakupy wyłożone na ruchomej taśmie kasy sklepowej w momencie, gdy taśma rusza, poruszają się razem z nią ruchem zmiennym. Jaka siła nadaje przyspieszenie zakupom na taśmie?



4. Dziewczynka przesuwając po dywanie skrzynię z klockami, działając na nią siłą o wartości 10 N i kierunku równoległym do podłogi. Siła tarcia kinetycznego między skrzynią a dywanem jest równa 8 N. Oblicz siłę wypadkową działającą na skrzynię.

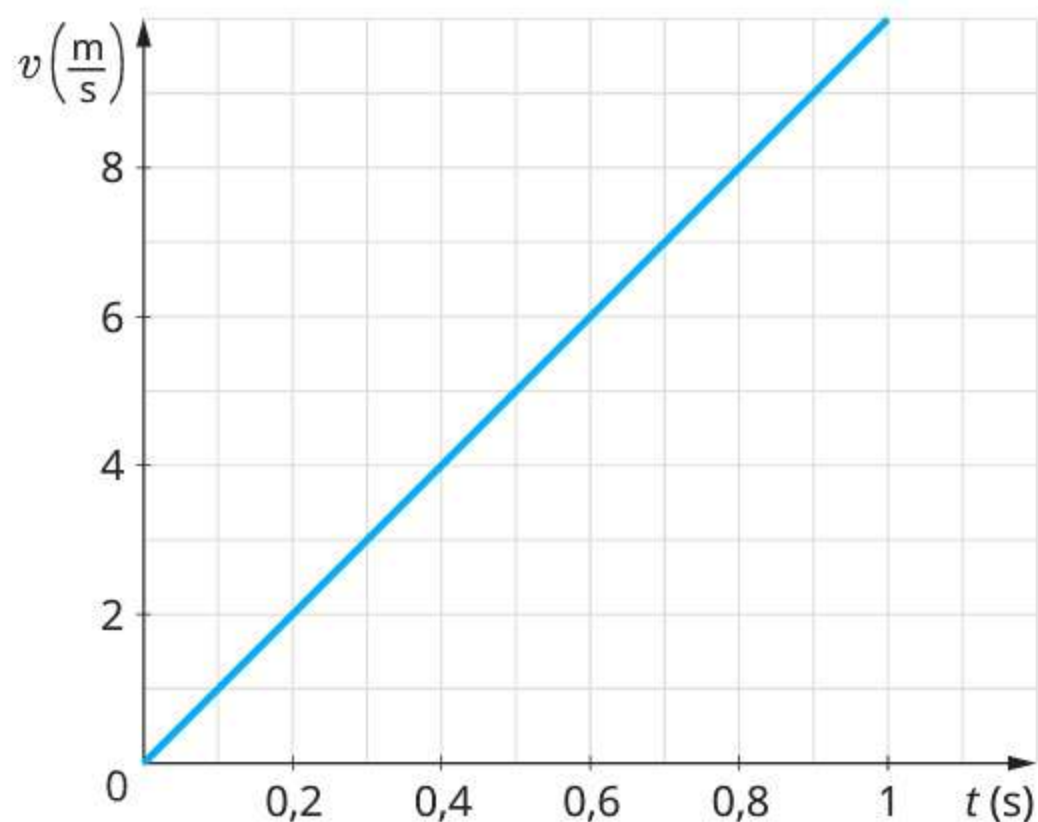
5. Rowerzystka rozpędzała się przez 5 sekund – poruszała się wówczas z przyspieszeniem $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Oblicz, o ile zmieniła się jej prędkość w tym czasie.
 - Oblicz, jaką prędkość osiągnęła po rozpędzeniu się, jeżeli początkowo poruszała się z prędkością 1,5 m/s.

- 6.** Jak długo trwało hamowanie pociągu aż do zatrzymania się, jeśli poruszał się on ruchem jednostajnie opóźnionym z przyspieszeniem $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, a jego prędkość początkowa była równa 20 m/s ? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

- 7.** Na wykresie przedstawiono zależność prędkości drona od czasu.

a. Jakim ruchem poruszał się dron?

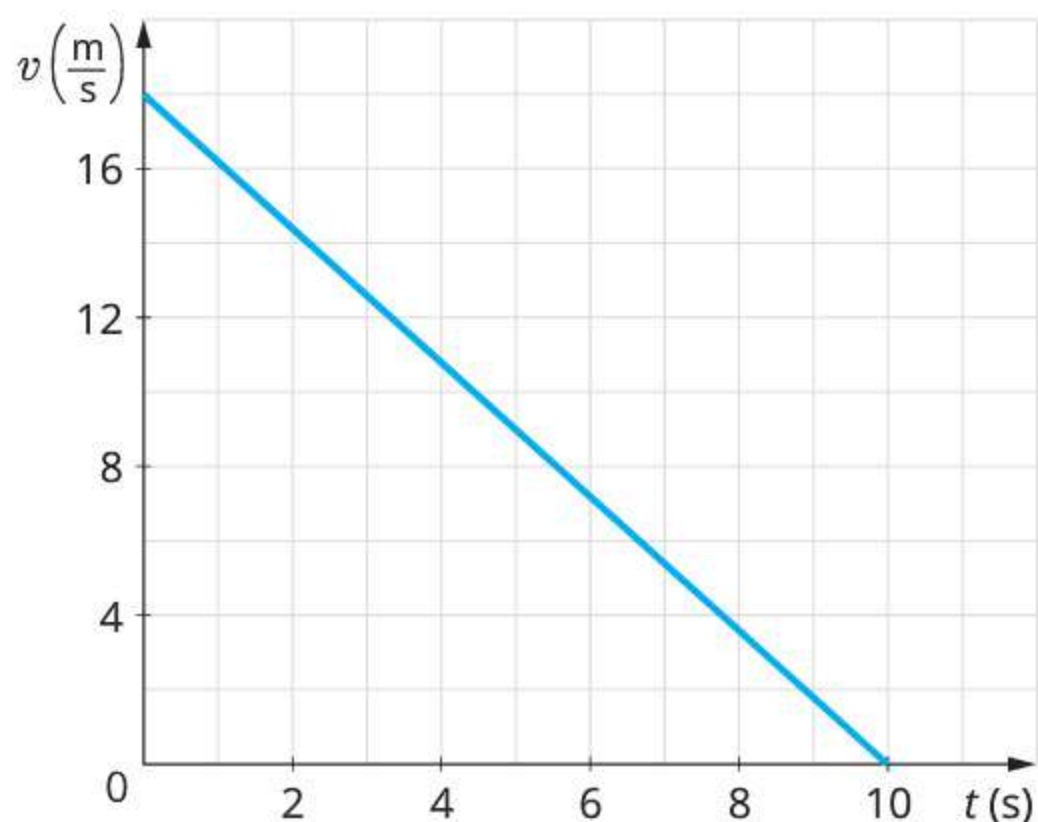
b. Oblicz przyspieszenie drona.



- 8.** Na wykresie przedstawiono zależność prędkości autobusu od czasu.

a. Jakim ruchem poruszał się pojazd?

b. Oblicz przyspieszenie autobusu.



- 9.** Pod wpływem siły wypadkowej łódź o masie 120 kg porusza się z przyspieszeniem $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość tej siły.

- 10.** Gruszka spadała z drzewa ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Owoc uderzył w trawę z prędkością 18 km/h . Oblicz czas spadania.

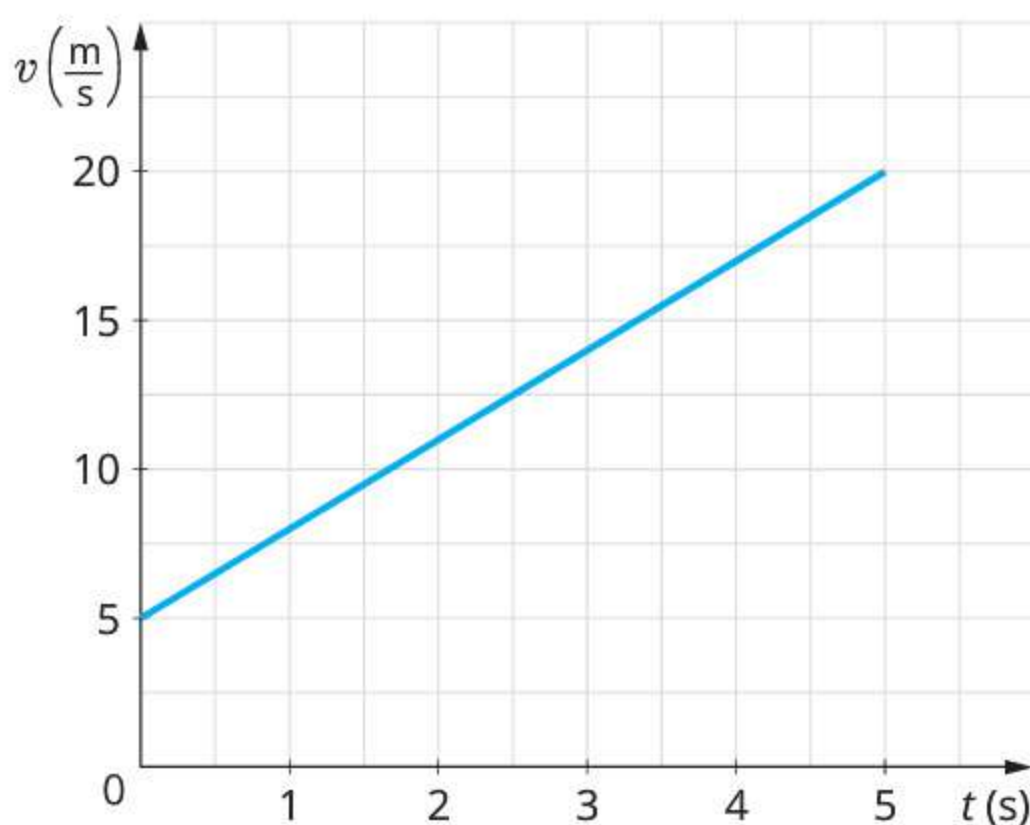
- 11.** Tramwaj jadący z prędkością 5 km/h w pewnej chwili zaczął poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz, po jakim czasie rozpędził się do prędkości 50 km/h.

- 12.** Pienik ślinianka (gatunek pluskwiaka) podczas skoku osiąga przyspieszenie ok. $4000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jaką wartość ma siła nadająca owadowi takie przyspieszenie, jeśli jego masa to 12 mg?



- 13.** Na samochód o masie 1200 kg działa siła wypadkowa 900 N, która powoduje, że porusza się on ruchem jednostajnie przyspieszonym. Oblicz, po jakim czasie od chwili ruszenia samochód ten osiągnie prędkość 5 m/s.

- F** **14.** Samochód o masie 1650 kg poruszał się z prędkością 5 m/s. W pewnym momencie zaczął przyspieszać. Zależność prędkości tego samochodu od czasu podczas ruchu przyspieszonego przedstawiono na wykresie. Oblicz wartość siły wypadkowej działającej na samochód.



- 15.** Samolot Airbus A320 o masie 53 ton wylądował z prędkością 246 km/h. Na pasie poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym, a po 40 sekundach tego ruchu jego prędkość wynosiła 30 km/h. Oblicz siłę wypadkową powodującą ruch opóźniony samolotu.

Cessna 172 – samolot jednosilnikowy

Cessna 172 to samolot jednosilnikowy, rekordowy pod względem liczby wyprodukowanych egzemplarzy – w całej historii lotnictwa powstało najwięcej maszyn właśnie tego typu. Cessna ma masę 745 kg i może zabrać na pokład cztery osoby oraz bagaż, łącznie do maksymalnej masy 1100 kg. Do tego samolotu należy rekord świata w najdłuższym locie z tankowaniem w powietrzu, wynoszący 64 dni, 22 godziny, 19 minut i 5 sekund.

Co sprawia, że samoloty mimo ogromnej masy unoszą się w powietrzu? Aby samolot mógł wzbić się ponad Ziemię, najpierw należy go rozpędzić do odpowiedniej prędkości – w przypadku Cessny 172 jest to prędkość minimum 60 kn (węzłów). Siłą powodującą wznoszenie się jest tu siła nośna, której wartość rośnie wraz z prędkością samolotu. Dopiero przy określonej prędkości siła nośna przewyższa siłę ciężkości i samolot zaczyna poruszać się również w górę.

Utrzymanie stałej prędkości samolotu lecącego w kierunku poziomym wymaga, by w tym kierunku wypadkowa siła działająca na samolot było równa zero. Silnik samolotu napędza śmigło o odpowiednim kształcie, którego obracanie się w powietrzu powoduje powstanie działającej w kierunku ruchu siły ciągu $\vec{F}_c$, a siłę tę równoważy siła oporu powietrza $\vec{F}_o$.

Podobnie utrzymanie stałej wysokości lotu wymaga zrównoważenia się sił działających na samolot w pionie: działającej w dół siły ciężkości $\vec{F}_g$ oraz działającej w górę siły nośnej $\vec{F}_n$. Do powstania siły nośnej samolotu potrzebne są skrzydła. Kierują one powietrze w dół, a proces ten – zgodnie z trzecią zasadą dynamiki – powoduje powstanie siły nośnej działającej w górę. Poniższa ilustracja przedstawia sytuację, w której samolot porusza się ze stałą prędkością na stałej wysokości.



Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Węzeł jest jednostką drogi pokonywanej przez samolot podczas startu.	P	F
2.	Kształt i ruch obrotowy śmigła powodują powstanie siły działającej w kierunku ruchu samolotu.	P	F
3.	Siła wypadkowa działająca na wznoszący się ruchem jednostajnie przyspieszonym samolot jest równa zero.	P	F
4.	Siła ciężkości działająca na samolot zmienia się wraz z jego prędkością.	P	F

2. Oblicz przyspieszenie samolotu Cessna 172, który przez 45 sekund od chwili ruszenia rozpędzał się ruchem jednostajnie przyspieszonym do minimalnej prędkości startowej. Wynik podaj w $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Przyjmij do obliczeń, że prędkość 1 kn jest równa 0,51 m/s.

3. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Czas najdłuższego lotu z tankowaniem w powietrzu wyrażony w sekundach i zapisany z dokładnością do czterech cyfr znaczących to

- A.** 5 609 945 **B.** 5 610 000 **C.** 5 609 000 **D.** 5 609 900

4. Oblicz wartość siły nośnej niezbędnej do lotu samolotu Cessna 172 na stałej wysokości, jeśli jego całkowita masa jest równa dopuszczalnej masie maksymalnej. Do obliczeń przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Wynik zapisz z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

5. Przerysuj do zeszytu siły działające na samolot przedstawiony na ilustracji i narysuj siłę wypadkową. Jakim ruchem będzie poruszał się samolot w tej sytuacji? Określ kierunek ruchu.



6. Oblicz wartość siły wypadkowej, jaka działała na samolot Cessna 172 o maksymalnej dopuszczalnej masie, jeśli podczas 10 sekund ruchu ze stałym przyspieszeniem jego prędkość zmalała o 54 km/h.

DZIAŁ **V**

PRACA I ENERGIA

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!



Jak zmienić energię ciała?

Co to jest spadek swobodny?

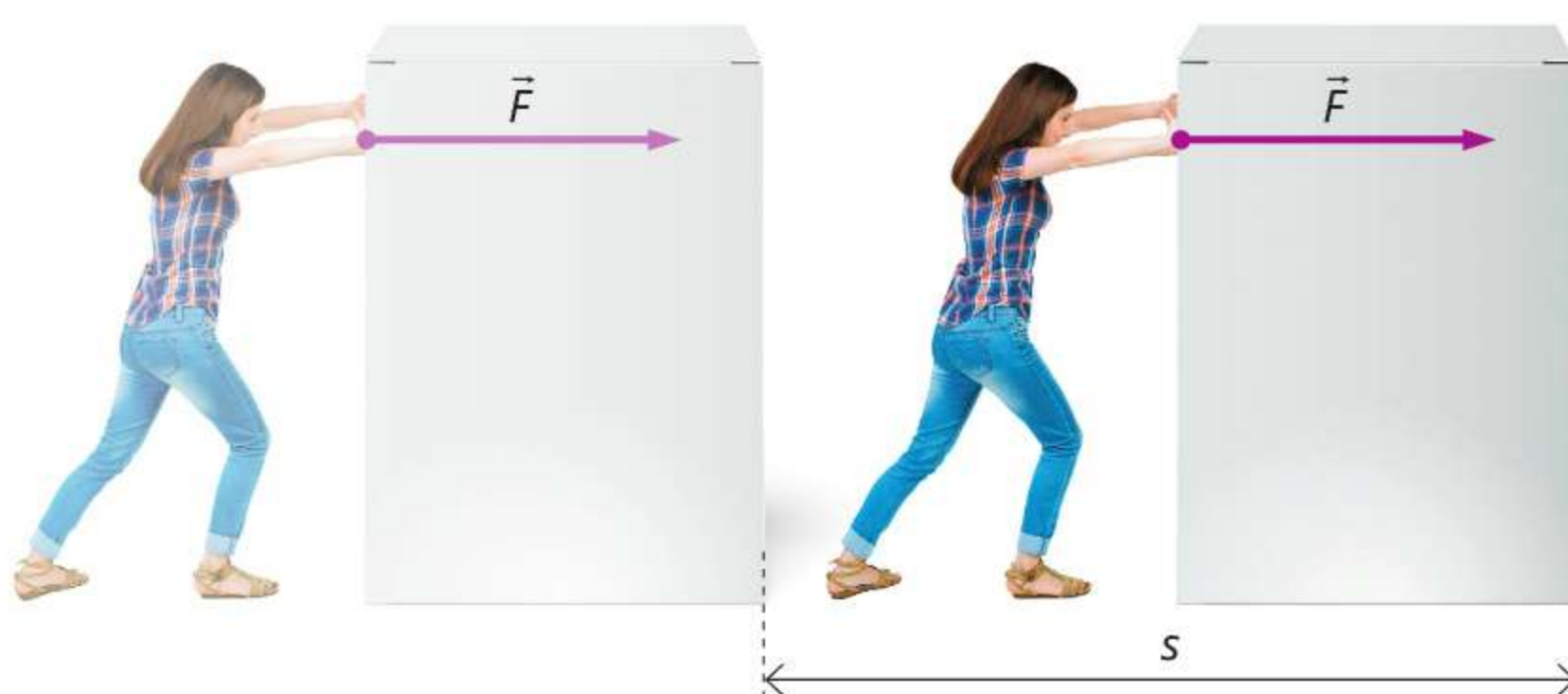
26. Praca mechaniczna i zmiana energii

- ▶ Czym jest praca mechaniczna?
- ▶ Jaki jest związek między pracą i energią?



Na co dzień, gdy mówimy o pracy, mamy na myśli wysiłek wkładany w osiągnięcie celu. Słowo „praca” w języku potocznym zawsze związane jest z jakimś działaniem – np. mówimy, że pracujemy, bo odrabiamy zadanie domowe, lub że rodzice pracują, by zarobić na utrzymanie rodziny. Praca mechaniczna jako wielkość fizyczna także związana jest z działaniem, ale określonym jako przemieszczanie się ciała pod wpływem działania siły – tak jak podczas przesuwania szafy lub paczki. Mówimy, że ta siła wykonuje pracę mechaniczną (ryc. 26.1.).

Praca mechaniczna to wielkość fizyczna, którą oznaczamy symbolem W (od ang. *work* – czyt. łork – praca). Siła wykonuje pracę mechaniczną, jeśli wskutek jej działania ciało przemieszcza się na określoną odległość, czyli pokonuje pewną drogę. W fizyce praca mechaniczna często jest nazywana po prostu pracą.



Ryc. 26.1. Siła powodująca przesunięcie ciała wykonuje pracę mechaniczną.

Gdy ciało porusza się w tę samą stronę, w którą działa siła – np. paczka przesuwana w tym samym kierunku, w którym ją pchamy (ryc. 26.1.) – oraz wartość siły jest stała (nie zmienia się w trakcie działania), to pracę mechaniczną możemy obliczyć ze wzoru:



$$W = F \cdot s$$

gdzie: F – wartość siły działającej na ciało, s – droga pokonana przez ciało.

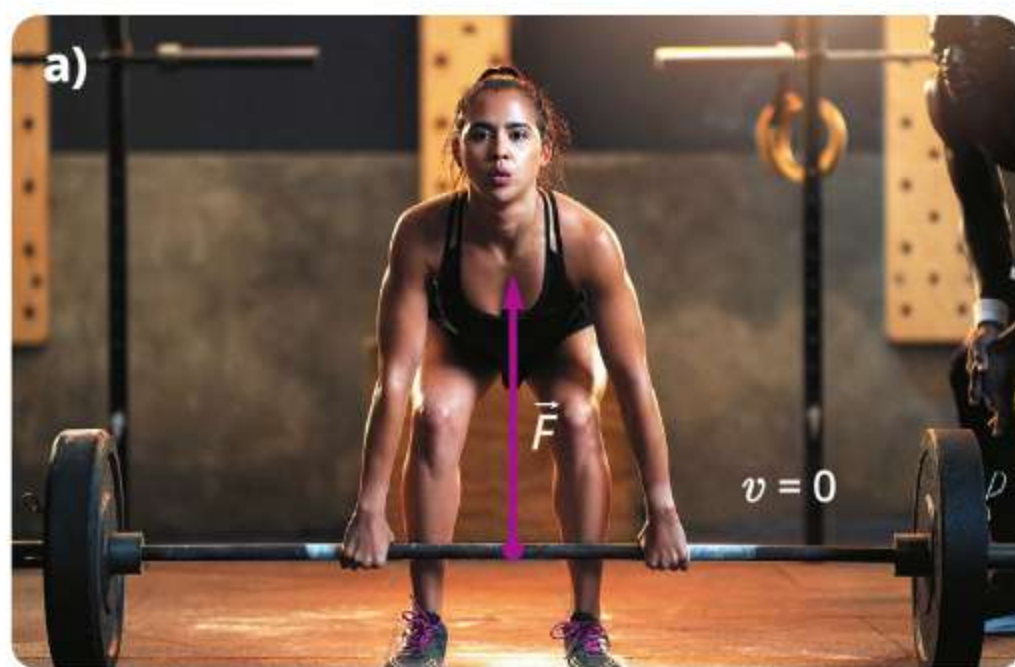
Jednostką pracy jest **dżul (J)**. Jeśli ciało, na które działała siła o wartości 1 N, przemieściło się o 1 m, to została wykonana praca 1 J.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Jeżeli siła, którą działamy, nie powoduje przesunięcia, to praca mechaniczna nie jest wykonywana. Przykładem może być sytuacja, gdy próbujemy podnieść sztangę, ale jest ona zbyt ciężka (ryc. 26.2.a). Praca nie jest również wykonywana, jeśli kierunek działania siły jest prostopadły do prędkości ciała. Na przykład siła ciężkości działająca na Międzynarodową Stację Kosmiczną poruszającą się wokół Ziemi (ryc. 26.2.b) nie wykonuje pracy (dlatego wartość prędkości stacji na orbicie się nie zmienia).

W codziennych sytuacjach często obserwujemy, że siła działająca na ciało tworzy pewien kąt (różny od 90°) z kierunkiem, w jakim się ono przemieszcza, np. wiatr popycha żagle ustawione skośnie do kierunku ruchu łodzi żaglowej (26.2.c). Siła działająca na żagiel przemieszcza łódkę, czyli wykonuje pracę mechaniczną, ale do obliczenia tej pracy nie możemy wykorzystać powyższego wzoru.

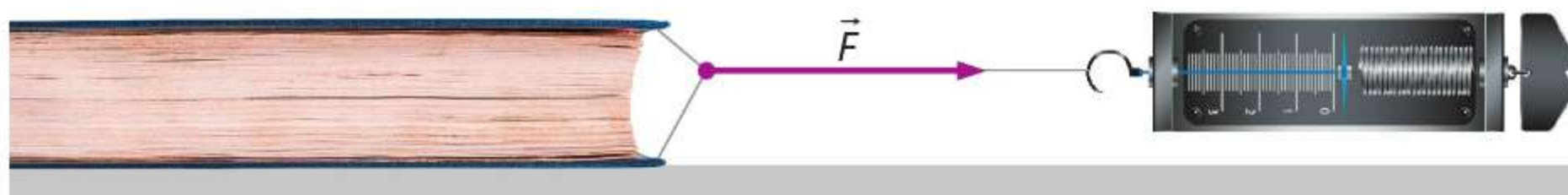
Często obserwujemy także sytuacje, w których siła działa przeciwnie do przemieszczenia ciała, np. siła tarcia kinetycznego działa na jadące po śniegu sanki przeciwnie do ich prędkości, czyli przeciwnie do kierunku, w jakim się przesuwały (26.2.d). Wówczas siła tarcia wykonuje pracę i powoduje, że sanki poruszające się po płaskiej powierzchni po pewnym czasie się zatrzymują.



Ryc. 26.2. Sytuacje, w których siła nie wykonuje pracy mechanicznej (a, b), oraz sytuacje, w których praca jest wykonywana (c, d).

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy pracę wykonaną podczas przesuwania książki



1. Do doświadczenia będą potrzebne: siłomierz, linijka, nitka, książka oraz różne rodzaje powierzchni, po których będziemy przesuwać książkę (np. drewno, papier ścierny, tektura).
2. Obwiąż książkę nitką i przymocuj do niej siłomierz. Połóż książkę na wybranej powierzchni. Zaznacz początkowe położenie książki na podłożu.
3. Przesuwaj książkę, ciągnąc za siłomierz, ale zadbaj o to, by podłoże pozostało bez ruchu. Siłomierz cały czas powinien być ustawiony równoległe do powierzchni, po której przesuwa się książka, i wskazywać taką samą wartość siły – zanotuj tę wartość.
4. Zmierz odległość, na jaką została przesunięta książka.
5. Oblicz pracę wykonaną podczas ruchu książki.
6. Powtórz doświadczenie dla innych typów podłoża (ale za każdym razem przesuwasz książkę na taką samą odległość). Oblicz pracę wykonaną w tych przypadkach.
7. Porównaj wyniki uzyskane dla różnych powierzchni. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

Zobacz, jak to zrobić!

Pracownik magazynu przeciągnął skrzynię, działając na nią siłą 280 N równoległą do podłoża, i wykonał przy tym pracę 340 J. Obliczmy odległość, na jaką została przesunięta skrzynia.

Dane: $W = 340 \text{ J}$, $F = 280 \text{ N}$

Szukane: s

Rozwiązanie:

Aby obliczyć drogę pokonaną przez skrzynię, skorzystamy ze wzoru na pracę:

$$W = F \cdot s$$

Zamieńmy to równanie stronami, a następnie podzielmy obustronnie przez F . Otrzymamy:

$$s = \frac{W}{F} = \frac{340 \text{ J}}{280 \text{ N}} \approx 1,2 \text{ m}$$

Odpowiedź: Pracownik przesunął skrzynię na odległość ok. 1,2 m.

Źródłem siły powodującej przemieszczenie ciała możemy być my sami. Pracę mogą też wykonywać za nas różnego typu urządzenia. Zamiast mówić, że pracę wykonuje siła, możemy wtedy powiedzieć, że pracę wykonuje dana osoba albo dane urządzenie – określeń tych możemy używać zamiennie.

Z pojęciem energii spotykamy się na co dzień. Mówimy o wartości energetycznej produktów, produkcji energii i energii elektrycznej. W fizyce pojęcie to jest używane do opisu zdolności ciała do wykonania pracy. **Tylko ciała, które mają energię, mogą wykonać pracę.**

Wyróżniamy wiele form energii i powszechnie z nich korzystamy – ciepło z grzejników służy do ogrzewania pomieszczeń, energia elektryczna do ich oświetlania, a energia mechaniczna stanowi podstawę konstrukcji wielu urządzeń, np. kafarów (ryc. 26.3.a). Kafar to urządzenie do wbijania w ziemię pionowych pali (np. falochronów). Tak zwaną babę kafara, czyli obciążnik o masie kilkuset kilogramów, unosi się na pewną wysokość nad powierzchnię gruntu, a następnie opuszcza na wbijany pal. Energia mechaniczna baby jest wykorzystywana do wykonania pracy, czyli wciśnięcia pala w grunt. Z kolei podczas nakręcania zegarka (z ręcznym mechanizmem nakręcania, ryc. 26.3.b) odkształcamy znajdującą się w jego wnętrzu sprężynę i w ten sposób gromadzimy w niej energię mechaniczną. Gdy sprężyna powraca do swojego początkowego kształtu, wykonuje pracę polegającą na wprowadzeniu w ruch wskazówek zegarka.



Ryc. 26.3. Kafar do wbijania pali falochronu podczas pracy (a) oraz nakręcanie zegarka ze sprężyną (b)

Zarówno podniesiona baby kafara, jak i odkształcona sprężyna zegarka to przykłady ciał, w których została zgromadzona energia mechaniczna. Energię ciała oznaczamy symbolem E , a w przypadku jej konkretnej formy często dodajemy indeks wskazujący na rodzaj, np. E_m – energia mechaniczna, E_e – energia elektryczna.



Energia mechaniczna ciała to wielkość fizyczna, która zmienia się, gdy zmianie ulega położenie, prędkość lub kształt tego ciała.

Jeśli piszemy o zmianie energii, oznaczamy to jako ΔE . Jeżeli energię początkową ciała oznaczmy jako E_1 , a jego energię końcową jako E_2 , to zmiana energii ΔE wynosi:

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

Jednostką energii jest dżul (J), czyli taka sama jednostka jak w przypadku pracy mechanicznej. Nie jest to przypadek, gdyż zmiana energii ciała jest związana z wykonaną pracą mechaniczną.

Jeśli siła działająca na ciało wykonuje pracę i powoduje w ten sposób wzrost energii tego ciała (czyli zmiana energii ΔE jest dodatnia), to mówimy, że **praca wykonywana jest nad tym ciałem**. Jeśli na przykład podczas podnoszenia baby kafara wykonano pracę 1000 J, to o 1000 J wzrosła energia mechaniczna tego ciała.

Jeśli siła działająca na ciało wykonuje pracę i powoduje w ten sposób zmniejszenie energii tego ciała (czyli zmiana energii ΔE jest ujemna), to mówimy, że **praca wykonywana jest przez to ciało**. Jeśli na przykład praca wykonana przez odkształconą sprężynę podczas wprowadzania przez nią w ruch wskazówek zegarka była równa 0,1 J, to o 0,1 J zmniejszyła się energia sprężyny.

Opisaną zależność między pracą mechaniczną a zmianą energii ciała opisuje wzór:



$$W = |\Delta E|$$

Oznacza to, że wartość bezwzględna zmiany energii ciała $|\Delta E|$ jest równa pracy wykonanej nad tym ciałem bądź przez to ciało.

Większość urządzeń, z których korzystamy na co dzień, wykonuje pracę mechaniczną kosztem energii elektrycznej. Na przykład elektryczna szczoteczka do zębów wprowadza w ruch główkę myjącą, czerpiąc energię elektryczną z baterii. Z tego powodu szczoteczka po pewnym czasie pracy wymaga ponownego ładowania, czyli uzupełnienia energii elektrycznej, dzięki której wykonuje pracę.

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas wyciągania wiadra z wodą ze studni chłopiec wykonał nad wiadrem pracę 400 J. Obliczmy zmianę energii mechanicznej tego wiadra.

Dane: $W = 400 \text{ J}$

Szukane: ΔE

Rozwiązanie:

Aby obliczyć zmianę energii mechanicznej, skorzystamy ze wzoru:

$$W = |\Delta E|$$

Po wstawieniu danych otrzymujemy:

$$|\Delta E| = 400 \text{ J}$$

Odpowiedź: Energia mechaniczna wiadra z wodą zwiększyła się o 400 J, gdyż praca o tej wartości została wykonana nad wiadrem.

Rozglądaj się wokół!

Zmiana energii mechanicznej ciała a praca



Energia ciał zmienia się w wyniku wykonania pracy. Praca może być wykonana nad ciałem – wówczas jego energia rośnie, bądź przez to ciało – wówczas jego energia maleje.

Zegar z ciężarkami. Gdy podnosimy ciężarki zegara, działamy na nie (za pośrednictwem łańcuszków) siłą, na skutek czego przemieszczają się one w kierunku jej działania. Wykonujemy nad nimi pracę, więc energia mechaniczna ciężarków wzrasta. Dzięki temu zegar może wybijać godziny i wprowadzać w ruch wskazówki.



Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar. Pompy tłoczą wodę do zbiornika położonego na szczycie wzniesienia, czyli wykonują pracę nad cieczą. Na skutek tego energia mechaniczna wody w zbiorniku rośnie i może być następnie wykorzystana do produkcji energii elektrycznej. Woda spływająca z górnego zbiornika wprowadza w ruch turbiny elektrowni (czyli wykonuje pracę) i wówczas maleje jej energia mechaniczna.



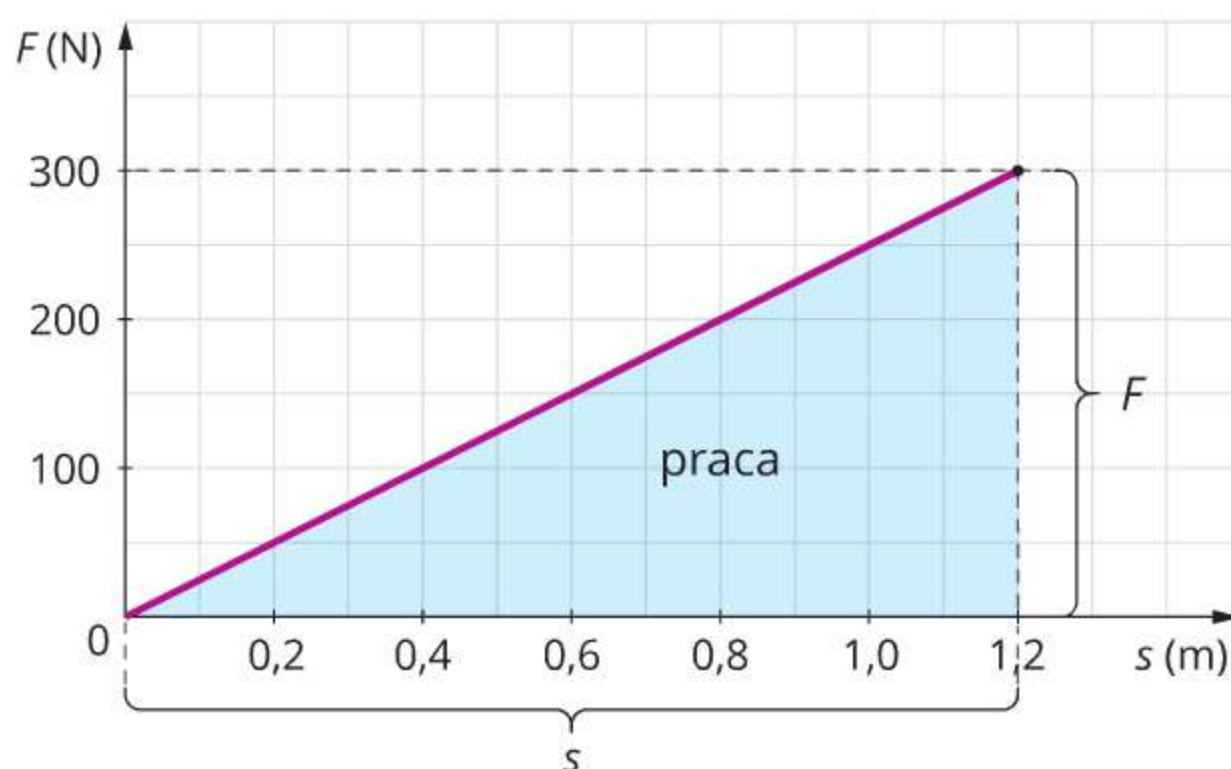
Młot hydrauliczny. Bijak o masie kilkudziesięciu kilogramów, znajdujący się wewnątrz młota, jest podnoszony dzięki sile, której źródłem jest ciecz pod ciśnieniem. Siła ta wykonuje pracę i dlatego rośnie wówczas energia mechaniczna bijaka. Gdy bijak spada i uderza – za pośrednictwem dłuta – w powierzchnię betonu, wykonuje pracę (kruszy beton) kosztem swojej energii mechanicznej.

Dowiedz się więcej!

Jak obliczyć pracę, gdy wartość siły nie jest stała?

Pracownik ciągnął skrzynię, ale nie działał cały czas siłą o takiej samej wartości. Wykres przedstawia, jak zmieniała się wartość siły F (wyrażona w niutonach), jaką pracownik działał na skrzynię, w zależności od odległości s (wyrażonej w metrach), na jaką została przesunięta skrzynia.

Ponieważ wartość siły się zmieniała, nie możemy użyć poznanego wzoru na pracę mechaniczną. Aby jednak obliczyć tę pracę, skorzystamy z danych przedstawionych na wykresie. Wykonana praca jest liczbowo równa polu powierzchni pod wykresem. Wykres jest odcinkiem nachylonym do osi poziomej pod pewnym kątem, więc figura pod wykresem ma kształt trójkąta prostokątnego o przyprostokątnych F i s . Pole tego trójkąta, a zatem wykonaną pracę, możemy obliczyć ze wzoru:



$$W = \frac{1}{2} \cdot F \cdot s$$

Po podstawieniu danych odczytanych z wykresu:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 300 \text{ N} \cdot 1,2 \text{ m} = 180 \text{ J}$$

Ze sposobu obliczania pracy jako równej polu powierzchni pod wykresem zależności siły od drogi, na jakiej działała siła, można skorzystać niezależnie od kształtu tego wykresu.

Podsumujmy!

- ▶ Siła działająca na ciało i sprawiająca, że pokonuje ono drogę, wykonuje **pracę mechaniczną**. Jeśli siła ma stałą wartość i działa zgodnie z kierunkiem ruchu, to pracę mechaniczną obliczamy ze wzoru:

$$W = F \cdot s$$

- ▶ Jednostką pracy mechanicznej oraz energii jest **dżul (J)**.
- ▶ Wartość bezwzględna zmiany energii ciała jest równa pracy wykonanej nad tym ciałem bądź przez to ciało.

$$|\Delta E| = W$$

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Jeśli na ciało działa siła, ale ciało się nie przemieszcza, to praca tej siły jest równa 0 J.	P	F
2.	Siła działająca prostopadle do przemieszczenia ciała nie wykonuje pracy mechanicznej.	P	F
3.	Zmiana energii ciała jest zawsze dodatnia.	P	F
4.	Im większą pracę wykona siła działająca na ciało, tym mniejsza będzie zmiana energii mechanicznej tego ciała.	P	F

2. Ratrak (pojazd służący do przygotowywania tras narciarskich) przesuwa śnieg na odległość 2 m, działając siłą o wartości 6 kN w kierunku równoległym do toru. Jaką pracę wykonuje urządzenie podczas przesuwania śniegu?

3. Pracownica sklepu przeciągnęła skrzynie z pieczywem, działając na nie równolegle do toru siłą 45 N, i wykonała przy tym pracę 150 J. Oblicz drogę, którą pokonały skrzynie podczas przesuwania. Wynik zapisz z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

4. Chłopiec podniósł kawałek ciasta piernikowego nad poziom stolnicy i wykonał przy tym pracę 0,5 J. Ile wynosi zmiana energii mechanicznej tego ciasta?

5. Psi zaprzęg ciągnie sanie z kierującym, działając na nie pewną siłą. Na sanie działa także siła tarcia kinetycznego, ale podczas ruszania jest ona znacznie mniejsza od siły, jaką działają wówczas psy. Narysuj schematycznie w zeszycie przedstawioną sytuację i zaznacz na rysunku tylko wektor siły, która wykonuje pracę i powoduje wzrost energii rozpędzających się sań.

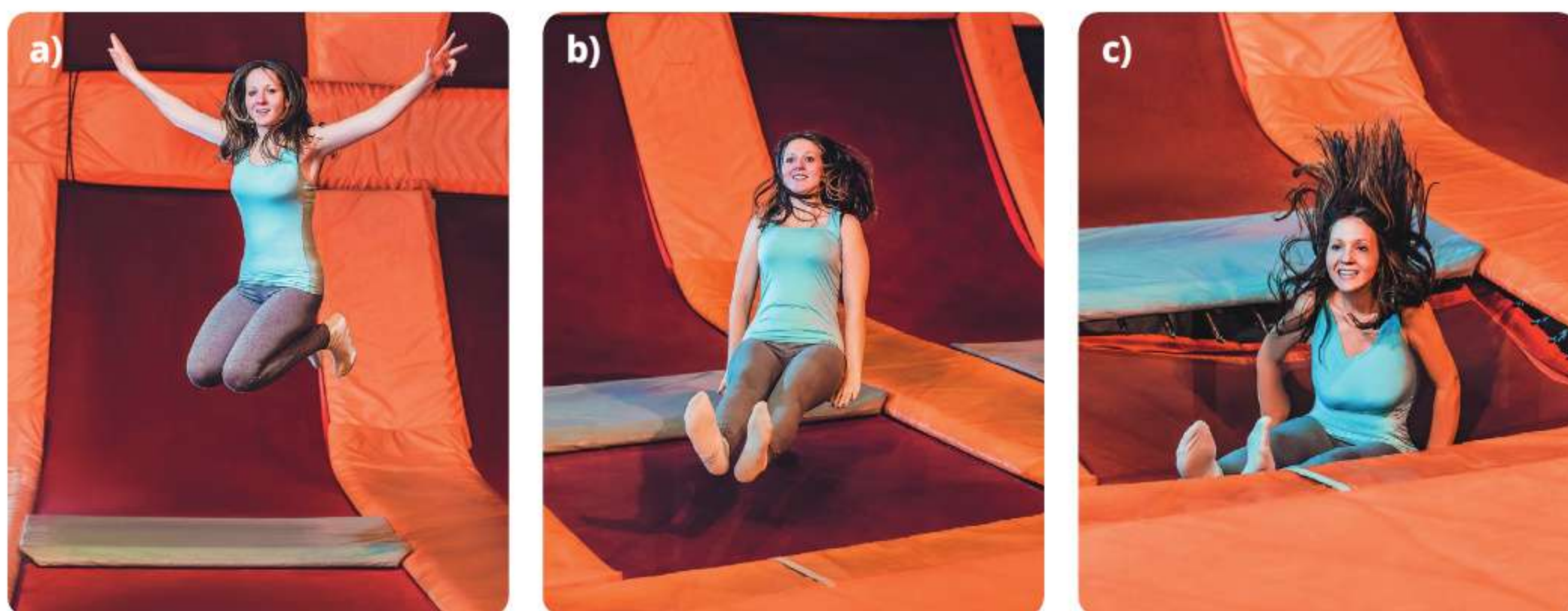


27. Energia kinetyczna i energia potencjalna

- ▶ Kiedy ciało ma energię potencjalną grawitacji?
- ▶ Kiedy ciało ma energię kinetyczną?
- ▶ Co to jest energia potencjalna sprężystości?



Energia mechaniczna ciała to energia związana z jego położeniem, ruchem lub odkształceniem. Wyróżniamy trzy rodzaje energii mechanicznej: energię potencjalną grawitacji, energię kinetyczną i energię potencjalną sprężystości. Ciało ma energię potencjalną grawitacji, gdy znajduje się na pewnej wysokości nad powierzchnią Ziemi, energię kinetyczną – gdy jest w ruchu, a energię potencjalną sprężystości – gdy jest odkształcone (ryc. 27.1.). Ciało może mieć różne rodzaje energii mechanicznej jednocześnie.



Ryc. 27.1. Trzy rodzaje energii mechanicznej: energia potencjalna grawitacji – dziewczyna na pewnej wysokości nad trampoliną (a), energia kinetyczna – dziewczyna w ruchu (b), energia potencjalna sprężystości – odkształcona trampolina (c)

Energia potencjalna grawitacji (lub krócej: energia grawitacji) ciała jest związana z jego oddziaływaniem grawitacyjnym z Ziemią i zmienia się, gdy zmienia się wysokość, na jakiej znajduje się ciało. Energię grawitacji możemy zmagazynować przez podniesienie ciała – np. betonowych bloków za pomocą dźwigu (ryc. 27.2.) – a następnie wykorzystać do wykonania pracy i wytworzenia choćby energii elektrycznej.

Ciało o masie m ma energię potencjalną grawitacji E_g względem wybranego poziomu odniesienia, gdy znajduje się na pewnej wysokości h nad tym poziomem. Zazwyczaj przyjmujemy, że ten poziom znajduje się na powierzchni Ziemi. Energię grawitacji obliczamy ze wzoru:



$$E_g = m \cdot g \cdot h$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie.

Energia potencjalna grawitacji ciała jest tym większa, im większa jest jego masa oraz wysokość, na której się ono znajduje.

Energię potencjalną grawitacji zawsze **obliczamy względem wybranego przez nas poziomu odniesienia**, np. Ziemi, podłogi, biurka. Przyjmujemy, że na tym poziomie energia grawitacji wynosi 0 J, i względem tego poziomu określamy wysokość ciała.

Jeżeli przyjmujemy, że poziomem odniesienia jest podłoga (ryc. 27.3.), to na taborecie o wysokości h_1 energia grawitacji ciała (względem podłogi) wynosi:

$$E_g = m \cdot g \cdot h_1$$

Natomiast gdy podnosimy ciało z podłogi na stół znajdujący się na wysokości h_2 nad taborem, to energia grawitacji ciała (względem podłogi) wynosi:

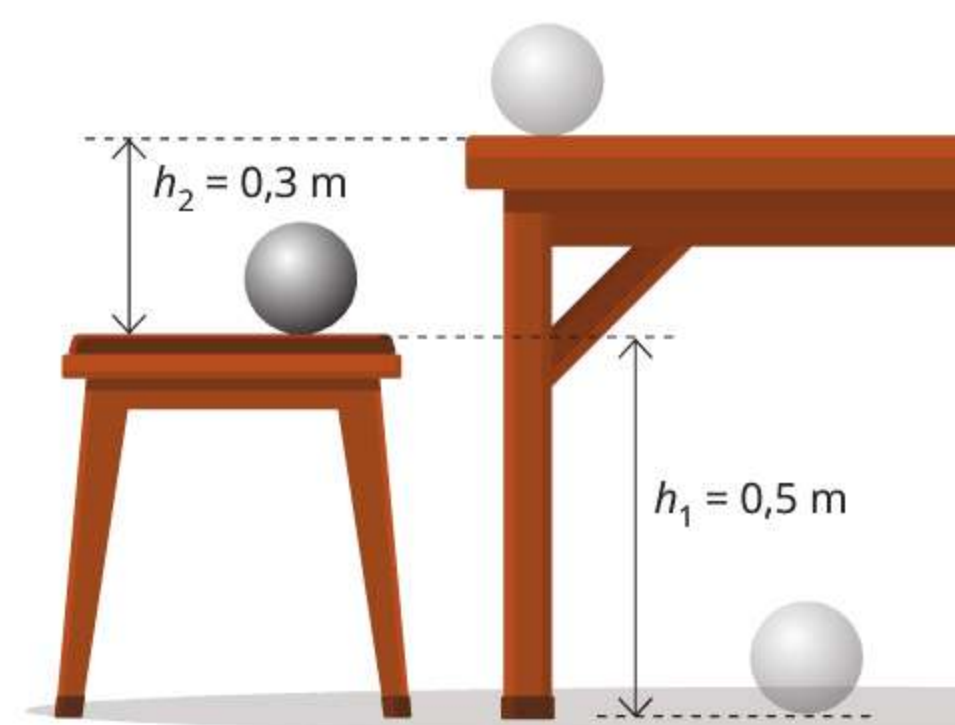
$$E_g = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

Jeżeli przyjmujemy, że poziomem odniesienia jest tabelet, to na stole energia grawitacji ciała (względem taboretu) wynosi:

$$E_g = m \cdot g \cdot h_2$$



Ryc. 27.2. EV1 CDU – specjalna konstrukcja w Arbedo-Castione w Szwajcarii, w której magazynuje się energię grawitacji wielkich betonowych bloków.



Ryc. 27.3. Energia grawitacji ciała zależy od wysokości mierzonej względem wybranego poziomu odniesienia.

Zobacz, jak to zrobić!

Po wejściu na drabinę człowiek o masie 60 kg ma względem podłogi energię potencjalną grawitacji równą 720 J. Obliczmy, na jaką wysokość wszedł człowiek. Do obliczeń przyjmijmy przyspieszenie ziemskie $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dane: $m = 60 \text{ kg}$, $E_g = 720 \text{ J}$, $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Szukane: h

Rozwiązanie:

Energia potencjalna człowieka znajdującego się na wysokości h względem podłogi wynosi:

$$E_g = m \cdot g \cdot h$$

Aby obliczyć wysokość h , zamieniamy stronami równanie oraz dzielimy je obustronnie przez m i przez g . Otrzymujemy:

$$h = \frac{E_g}{m \cdot g}$$

Podstawiamy dane do wzoru i otrzymujemy:

$$h = \frac{720 \text{ J}}{60 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \frac{720 \text{ N} \cdot \text{m}}{600 \text{ N}} = 1,2 \text{ m}$$

Odpowiedź: Człowiek wszedł na wysokość 1,2 m.



Ryc. 27.4. Samochód osobowy i samochód ciężarowy poruszające się z tą samą prędkością mają różne energie kinetyczne.

Ciało ma **energię kinetyczną**, gdy się porusza. Energię kinetyczną E_k ciała o masie m i prędkości $\vec{v}$ obliczamy ze wzoru:



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

Energia kinetyczna ciała jest tym większa, im większe są jego masa oraz prędkość, z jaką się porusza. To dlatego praca potrzebna do zatrzymania samochodu osobowego i samochodu ciężarowego, poruszających się z tą samą prędkością, jest różna. Gdy ciało nie porusza się w wybranym układzie odniesienia, to jego energia kinetyczna w tym układzie wynosi zero.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy energię kinetyczną samochodu o masie 1600 kg, poruszającego się z prędkością 72 km/h.

Dane: $m = 1600 \text{ kg}$, $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Szukane: E_k

Rozwiązanie:

Aby obliczyć energię kinetyczną i uzyskać wynik w dżulach, prędkość należy podać w m/s.

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{72\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dane podstawiamy do wzoru na energię kinetyczną:

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

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1600 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 800 \text{ kg} \cdot 400 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 320\,000 \text{ J} = 320 \text{ kJ}$$

Przeanalizujemy nieco dokładniej zapis na samych jednostkach, by zobaczyć, dlaczego w wyniku otrzymaliśmy dżul (J).

$$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

Odpowiedź: Energia kinetyczna samochodu wynosi 320 kJ.

Zabawki ze specjalnym mechanizmem, które poruszają się po nakręceniu, znaleźć można w wielu dziecięcych pokojach. Gdy wykonujemy obroty kluczykiem, odkształcamy sprężynę znajdującą się we wnętrzu zabawki. W ten sposób gromadzimy w niej energię nazywaną **energiją potencjalną sprężystości** (lub krócej: energiją sprężystości). Po odstawieniu zabawki sprężyna stopniowo powraca do swojego początkowego kształtu, a zabawka w tym czasie się porusza – następuje zamiana energii potencjalnej sprężystości w energię kinetyczną.

Zamiana jednego rodzaju energii mechanicznej w inny następuje w wielu sytuacjach. Gdy na przykład piłka spada z pewnej wysokości, jej energia potencjalna grawitacji maleje, bo zmniejsza się wysokość, na której piłka się znajduje. Jednocześnie rośnie prędkość piłki, a tym samym rośnie jej energia kinetyczna. Podczas zderzenia z podłożem piłka się odkształca i hamuje, zatem rośnie jej energia potencjalna sprężystości, a maleje energia kinetyczna.

Ryc. 27.5. Zabawka wprawiana w ruch dzięki zamianie energii sprężystości w energię kinetyczną



Zobacz, jak to zrobić!

Energia podczas strzelania z łuku

Przeanalizujemy, z jakimi rodzajami energii mamy do czynienia podczas strzelania z łuku oraz jak się one zmieniają w trakcie oddawania strzału. Podzielmy strzał do tarczy na trzy etapy.

Etap 1. Napięcie łuku

Zmiana kształtu łuku podczas naciągania cięciwy jest wynikiem pracy wykonanej przez łuczniczkę. Praca ta powoduje zgromadzenie w łuku energii sprężystości. Energia ta zostanie wykorzystana do rozpędzenia strzały.



Etap 2. Lot strzały

Podczas strzału energia sprężystości łuku zamienia się w energię kinetyczną strzały. W trakcie lotu część energii kinetycznej strzały zamienia się w pracę niezbędną do pokonania sił oporu ośrodka. Energia kinetyczna strzały maleje, więc jej prędkość się zmniejsza.



Etap 3. Wbicie strzały w tarczę

Podczas wbijania się strzały w tarczę energia kinetyczna strzały zamienia się m.in. w energię sprężystości tarczy oraz w pracę niezbędną do pokonania siły tarcia strzały o materiał tarczy.



Podsumujmy!

- ▶ Ciało ma **energię potencjalną grawitacji** względem wybranego poziomu odniesienia, gdy znajduje się na pewnej wysokości nad tym poziomem.

$$E_g = m \cdot g \cdot h$$

- ▶ Ciało ma **energię kinetyczną**, gdy się porusza.

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

- ▶ **Energia potencjalna sprężystości** jest związana z odkształceniem ciała sprężystego.

Sprawdź się!

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Zmiana energii sprężystości ciała związana jest z odkształceniem ciała.	P	F
2.	Im większą prędkość ma poruszające się ciało, tym większa jest jego energia kinetyczna.	P	F
3.	Im wyżej podniesiemy ciało, tym większą ma ono energię grawitacji względem powierzchni Ziemi.	P	F
4.	Energia kinetyczna jest rodzajem energii mechanicznej.	P	F

- 2.** Gdy rozciągamy sprężynę, to jest w niej gromadzona energia sprężystości. Czy ta energia będzie gromadzona również podczas ściskania sprężyny? Uzasadnij odpowiedź.

- 3.** Ciało podniesiono na wysokość 2,5 m nad powierzchnię Ziemi. Jego energia potencjalna grawitacji na tym poziomie względem Ziemi jest równa 400 J. Oblicz masę tego ciała. Do obliczeń przyjmij, że przyspieszenie ziemskie wynosi $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

- 4.** Samochód jadący z prędkością 23 m/s ma energię kinetyczną 400 kJ. Oblicz jego masę.

- 5*.** Strzała po wypuszczeniu z łuku miała energię kinetyczną równą 49 J. Masa strzały była równa 20 g. Oblicz prędkość strzały.

28. Moc

- ▶ O czym informuje nas moc?
- ▶ Co jest jednostką mocy?



a)



Taką samą pracę mechaniczną można wykonać w różnym czasie. Wielkością fizyczną, która informuje nas o szybkości wykonywania pracy, jest moc. Spośród dwóch urządzeń większą moc ma to, które wykona tę samą pracę w krótszym czasie. Na przykład wózek widłowy o większej mocy jest w stanie podnieść taki sam ładunek na tę samą wysokość w krótszym czasie niż wózek o mniejszej mocy (ryc. 28.1.).

Moc w fizyce oznaczamy symbolem P (od ang. *power* – czyt. paer – moc), a obliczamy ją ze wzoru:



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

b)



gdzie: W – praca mechaniczna, t – czas, w którym praca została wykonana.

Jednostką mocy jest **wat (W)**. Możemy zapisać, że:

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

Oznacza to, że ciało o mocy 1 W wykona pracę 1 J w czasie 1 s.

Na co dzień używamy też innych jednostek mocy, np.

1 kW (kilowat) = 1000 W

1 MW (megawat) = 1 000 000 W

Ryc. 28.1. Wózki widłowe o mniejszej mocy (a) i większej mocy (b)

Zobacz, jak to zrobić!

Wózek widłowy podczas podnoszenia palety z makaronem wykonuje w czasie 3 s pracę 12 000 J. Obliczmy moc wózka podczas wykonywania tej pracy.

Dane: $W = 12\,000\text{ J}$, $t = 3\text{ s}$

Szukane: P

Rozwiązanie:

Podstawiamy dane do wzoru na moc i otrzymujemy:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{12\,000\text{ J}}{3\text{ s}} = 4000\text{ W} = 4\text{ kW}$$

Odpowiedź: Moc wózka jest równa 4 kW.

Zbadaj to sam!

Wyznaczamy moc człowieka podczas wysiłku

(Doświadczenie należy wykonać w grupach).

1. Do doświadczenia będą potrzebne: stoper, waga łazienkowa, taśma miernicza.
2. Wyznaczcie wysokość między piętrami budynku szkolnego (np. zmierzcie wysokość jednego stopnia schodów i policzcie ich liczbę) oraz niech każda chętna osoba z grupy się zważy.
3. Przygotujcie stoper. Niech jedna osoba mierzy czas, podczas gdy druga (której masę znamy) wbiega na piętro. Stoper należy zatrzymać, gdy wbiegająca osoba da znać, że jest już na górze.
4. Doświadczenie powtórzcie dla wszystkich chętnych członków grupy, a następnie wyznaczcie moc każdego z nich.

Praca wykonana przez ucznia podczas wbiegania po schodach jest równa zmianie jego energii grawitacji, czyli w tym wypadku jest równa energii grawitacji ucznia znajdującego się na piętrze względem poziomu początkowego (na którym jego energia grawitacji jest równa 0 J):

$$W = E_g = m \cdot g \cdot h$$

gdzie: m – masa wbiegającego ucznia, h – wysokość, na którą wbiegł.

Aby obliczyć moc ucznia, należy do wzoru na moc podstawić otrzymany wzór na pracę:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

gdzie t – czas potrzebny na wbiegnięcie na wysokość h .

5. Odpowiedzcie na pytanie: „Czy uczeń, który wbiega na piętro w najkrótszym czasie, zawsze ma największą moc?”. Uzasadnijcie odpowiedź.



Moc informuje nas o szybkości wykonywania pracy przez osobę lub jakieś urządzenie. Na co dzień do wykonywania pracy powszechnie wykorzystujemy urządzenia, które wymagają zasilania elektrycznego, np. mikser kuchenny bądź pompkę samochodową. Pracę wykonują także urządzenia elektryczne, których elementy się nie poruszają, i również te urządzenia mają określoną moc. Urządzenie elektryczne, które w tym samym czasie wykonuje większą pracę, ma większą moc. Gofrownica o mocy 1500 W wykona pracę związaną z upieczeniem gofrów w krótszym czasie niż gofrownica o mocy 800 W.

Ryc. 28.2. Moc urządzenia elektrycznego informuje nas o szybkości wykonywania przez nie pracy.

Zobacz, jak to zrobić!

Wykres przedstawia zależność pracy wykonanej przez elektryczną prostownicę do włosów (urządzenie A) i ultradźwiękową myjkę do biżuterii (urządzenie B) od czasu. Obliczmy moc każdego z tych urządzeń.

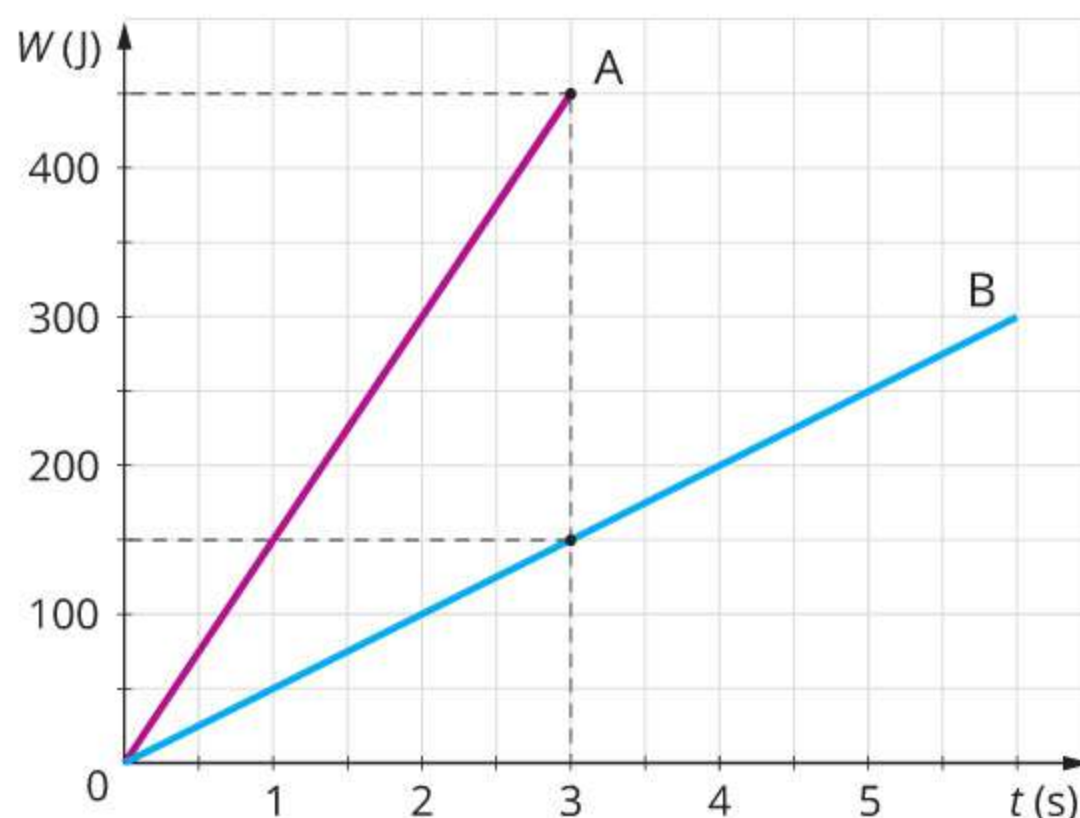
Rozwiązanie:

Wybieramy czas, dla którego z wykresu odczytamy pracę wykonaną przez poszczególne urządzenia. W tym przypadku wygodnie będzie wybrać taki sam czas dla obu urządzeń, np. $t = 3$ s. Prowadzimy pionową linię dla wybranego czasu. Linia ta przecina wykresy w punktach, dla których odczytujemy pracę wykonaną przez urządzenia w tym czasie. W czasie 3 s urządzenie A wykonało pracę 450 J, a urządzenie B – pracę 150 J. Dane podstawiamy do wzoru na moc.

$$P_A = \frac{W}{t} = \frac{450 \text{ J}}{3 \text{ s}} = 150 \text{ W}$$

$$P_B = \frac{150 \text{ J}}{3 \text{ s}} = 50 \text{ W}$$

Odpowiedź: Moc prostownicy do włosów wynosiła 150 W, a moc myjki do biżuterii była równa 50 W.



Rozglądaj się wokół!

Moc urządzeń w naszym otoczeniu



W połowie XIX wieku ponad 90 % energii napędzającej różne urządzenia pochodziło od zwierząt lub ludzi. Obecnie zdecydowana większość pracy mechanicznej wykonywana jest przez maszyny o określonej mocy.



Moc konia ciągnącego pług wynosi ok. 750 W.



Moc ciągnika rolniczego może osiągać 200 kW, więc zastępuje on pracę wielu koni.

Podczas ćwiczeń na ergometrze (przyrządzie, który umożliwia trening symulujący wiosłowanie) średnio wytrenowany człowiek jest w stanie osiągać przez krótki czas (mniej więcej 10 min) moc ok. 200 W.



Podobną moc – ok. 200 W – ma elektryczny młynek do mielenia kawy.



Dowiedz się więcej!

Koń mechaniczny

Jednostką mocy stosowaną w motoryzacji jest koń mechaniczny (KM). Jednostka ta powstała w XIX wieku i pozwalała porównywać moc maszyn parowych z mocą pracującego konia. 1 KM odpowiada ok. 735,5 W. Moc silników w samochodach osobowych średniej wielkości wynosi ok. 140 KM (ok. 100 kW). Dla porównania – moc silników spalinowych w bolidach Formuły 1 wynosi ok. 750 KM (ok. 550 kW). Prędkość, do jakiej może rozpędzić się pojazd, zależy nie tylko od mocy silnika, ale też od masy pojazdu. Bolidy są dwukrotnie lżejsze od samochodów osobowych, co dodatkowo zwiększa ich maksymalną prędkość oraz zmniejsza czas, w jakim ją osiągają.

Marka samochodu osobowego	Moc silnika (KM)	Masa samochodu (kg)
Opel Vectra C Kombi	150	1530
Suzuki Grand Vitara II	140	1580
Honda Civic VIII Hatchback	140	1190
Ford Mondeo V Kombi	150	1600



Podsumujmy!

- **Moc** informuje nas o szybkości wykonywania pracy, a obliczamy ją ze wzoru:

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

- Jednostką mocy jest **wat (W)**.
- Spośród dwóch urządzeń większą moc ma to, które tę samą pracę wykona w krótszym czasie.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

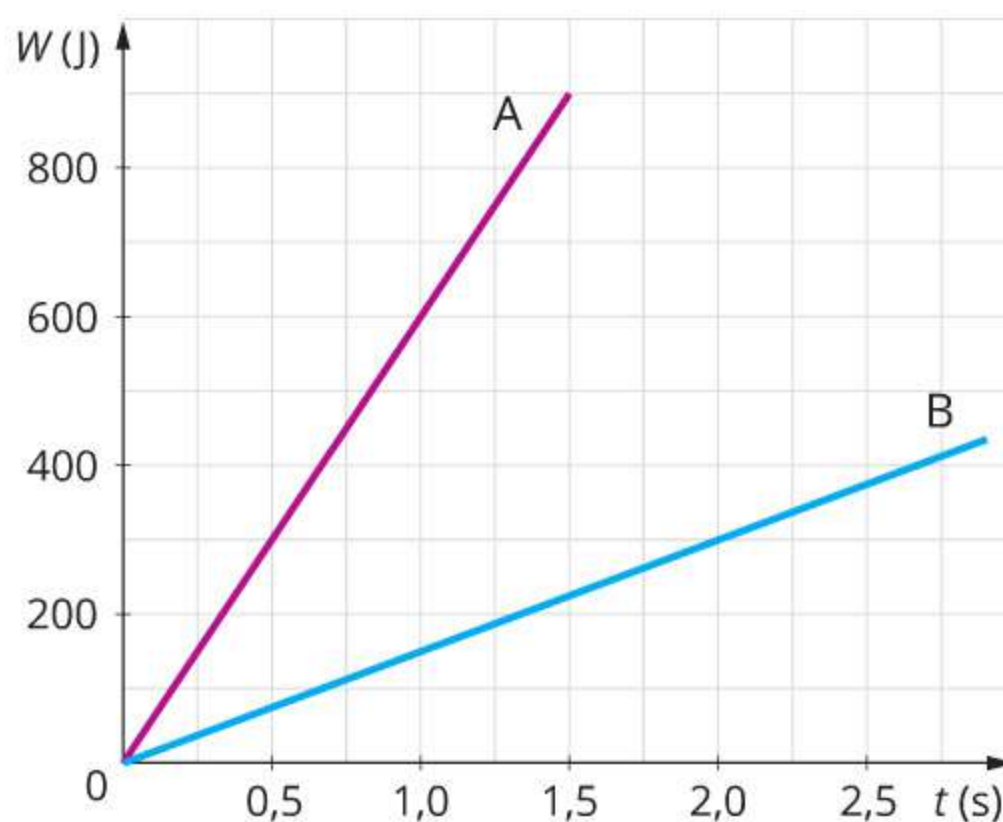
1.	Pracę jednego dżula wykonuje urządzenie o mocy jednego wata w czasie jednej sekundy.	P	F
2.	Im mikser kuchenny ma mniejszą moc, tym mniejszą pracę wykona w tym samym czasie.	P	F
3.	4,5 kW to tyle samo co 450 W.	P	F
4.	Urządzenia o tej samej mocy wykonują w tym samym czasie taką samą pracę mechaniczną.	P	F

2. Sztangista podczas podnoszenia sztangi wykonał pracę 860 J w czasie 1,2 s. Oblicz moc sztangisty podczas podnoszenia sztangi.

3. Ojciec i syn wspólnie wędrowali na Śnieżkę, najwyższą górę Karkonoszy. Ojciec miał masę 94 kg, a syn ważył 58 kg. Obaj wędrowcy w tym samym czasie dotarli na szczyt. Który z nich podczas marszu miał większą moc?

4. Podczas treningu na ruchomej bieżni sportowiec przez 15 minut biegł z mocą 150 W. Oblicz pracę mechaniczną wykonaną przez sportowca w tym czasie.

5. Na wykresie przedstawiono zależność pracy wykonanej przez maszynę do pieczenia chleba (urządzenie A) oraz młynek do kawy (urządzenie B) od czasu. Które z urządzeń miało większą moc? Ile razy większą?

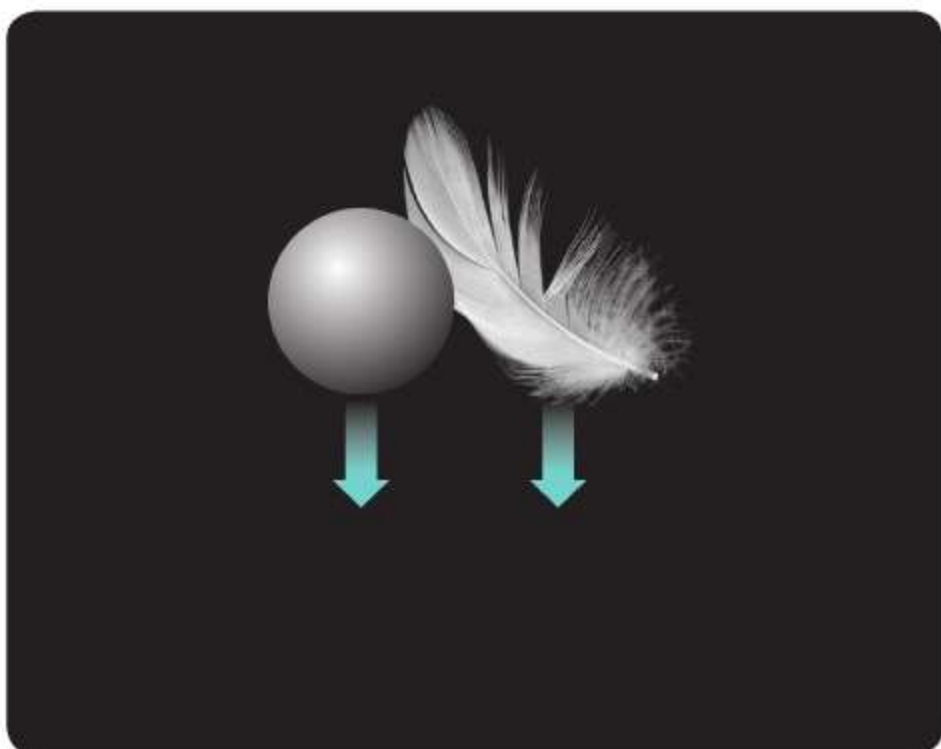


29. Spadek swobodny

- ▶ Co nazywamy spadkiem swobodnym?
- ▶ Kiedy stosujemy zasadę zachowania energii mechanicznej?



Ryc. 29.1. Wnętrze największej na świecie komory próżniowej



W laboratorium Space Power Facility (czyt. spejs pa-
łter fasiliti) w USA znajduje się największa na świecie
komora próżniowa (ryc. 29.1.). Ma ona 30 metrów
wysokości i 37 metrów średnicy, a służy do odtwa-
rzania warunków panujących w kosmosie. Moż-
na w niej m.in. testować sprzęt przed wysłaniem
w przestrzeń kosmiczną. W komorze próżniowej
możemy także badać tzw. **spadek swobodny**, czyli
spadanie ciał odbywające się bez oporów ruchu.

Na co dzień jednak obserwujemy spadanie ciał
w powietrzu, które stawia opór. Dlatego widzimy,
że z tej samej wysokości piórko spada dłużej niż
kamyk.

Spadek swobodny to ruch ciała odbywający się
na skutek działania tylko siły ciężkości. Jeśli kamien-
ną kulę oraz piórko upuścimy równocześnie z tej
samej wysokości wewnątrz komory próżniowej,
tobędą się one poruszać w kierunku Ziemi w iden-
tyczny sposób, takim samym ruchem jednostajnie
przyspieszonym z przyspieszeniem ziemskim.
W każdej chwili lotu będą znajdowały się na tej sa-
mej wysokości i spadną równocześnie (ryc. 29.2.).

Ryc. 29.2. Upuszczone równocześnie z tej samej
wysokości w próżni kula i piórko w każdym momencie
lotu znajdują się na tej samej wysokości.

Spadek swobodny to spadanie ciała ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem ziemskim. Średnia wartość przyspieszenia ziemskiego to $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (albo $9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$). Z takim przyspieszeniem spadają swobodnie na Ziemi wszystkie ciała, niezależnie od swojej masy. To przyspieszenie jest konsekwencją oddziaływania grawitacyjnego ciała z Ziemią, dlatego jest także nazywane przyspieszeniem grawitacyjnym. Na innych planetach lub na Księżycu przyspieszenie grawitacyjne ma różne wartości.

Spadające ciało ma energię potencjalną grawitacji (ponieważ znajduje się na pewnej wysokości) oraz energię kinetyczną (ponieważ porusza się z pewną prędkością). W tej sytuacji jego energia mechaniczna jest równa sumie energii grawitacji i energii kinetycznej. Okazuje się, że podczas spadku swobodnego całkowita energia mechaniczna ciała jest w każdym momencie taka sama. Oznacza to, że jeżeli energia grawitacji maleje, to energia kinetyczna rośnie, ale ich suma nie ulega zmianie. Wynika to z zasady zachowania energii mechanicznej.



Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeżeli nad ciałem nie jest wykonywana praca oraz ciało nie wykonuje pracy, to jego całkowita energia mechaniczna jest cały czas taka sama.

Przeanalizujemy przemiany energii mechanicznej zachodzące podczas skoku z pewnej wysokości do wody. Człowiek stojący nad wodą ma względem jej powierzchni energię grawitacji. Energia mechaniczna człowieka jest wówczas równa tej energii:

$$E_{m1} = E_{g1}$$

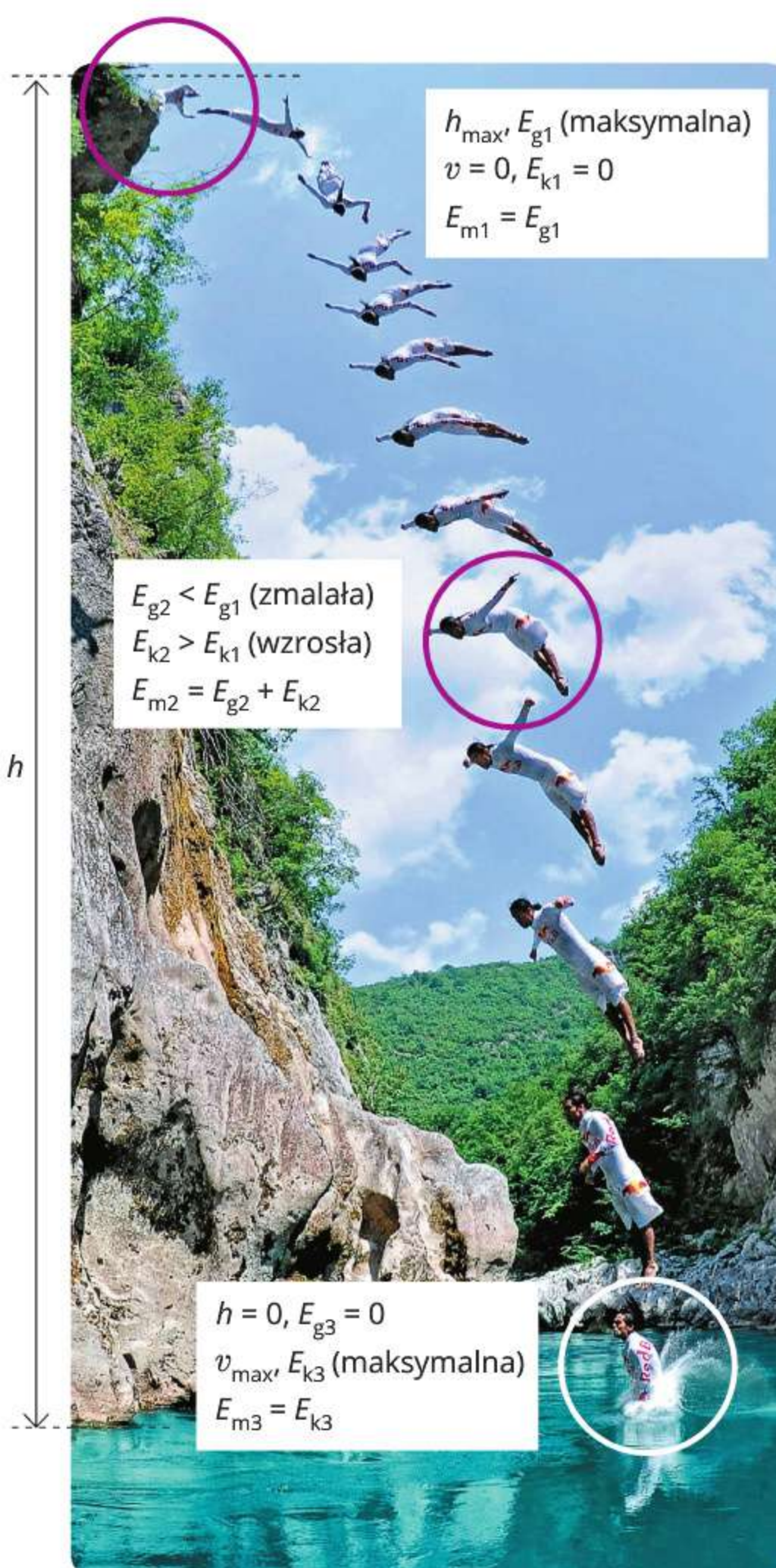
Podczas spadania zmniejsza się wysokość, na której znajduje się człowiek, więc jego energia grawitacji maleje. Jednocześnie rośnie jego prędkość, więc rośnie też energia kinetyczna. Energia mechaniczna człowieka podczas spadania pozostaje jednak stała.

$$E_{g2} < E_{g1} \text{ oraz } E_{k2} > E_{k1}$$

$$E_{m2} = E_{g2} + E_{k2} \text{ oraz } E_{m2} = E_{m1}$$

W momencie uderzenia w wodę energia grawitacji człowieka względem wody jest równa zero, ale porusza się on z maksymalną uzyskaną podczas spadania prędkością. Energia mechaniczna człowieka jest wówczas równa jego energii kinetycznej:

$$E_{m3} = E_{k3}$$



Ryc. 29.3. Podczas spadania energia grawitacji zamienia się w energię kinetyczną.

Z zasady zachowania energii mechanicznej wynika, że energia ta jest taka sama w każdym momencie podczas spadku ciała:

$$E_{m3} = E_{m2} = E_{m1}$$

Oznacza to, że energia kinetyczna, jaką ma człowiek w momencie uderzenia o powierzchnię wody, jest równa jego energii grawitacji w miejscu rozpoczęcia spadania:

$$E_{k3} = E_{g1}$$

Jeśli znamy wysokość, z której skakał człowiek, z tego równania można obliczyć prędkość, z jaką uderzy on o powierzchnię wody.



Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy prędkość, jaką miał tuż przed uderzeniem w ziemię sopel lodu o masie 60 g, jeśli spadał swobodnie z wysokości 2,5 m. Do obliczeń przyjmijmy, że $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Dane: $m = 60 \text{ g}$, $h = 2,5 \text{ m}$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: v

Rozwiązanie:

Z zasady zachowania energii mechanicznej wynika, że energia kinetyczna sopla tuż przed uderzeniem w ziemię była równa jego energii grawitacji, którą miał w chwili, gdy odrywał się od dachu:

$$E_k = E_g$$

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

Obie strony tego równania najpierw dzielimy przez m , a następnie mnożymy przez 2. Otrzymujemy:

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

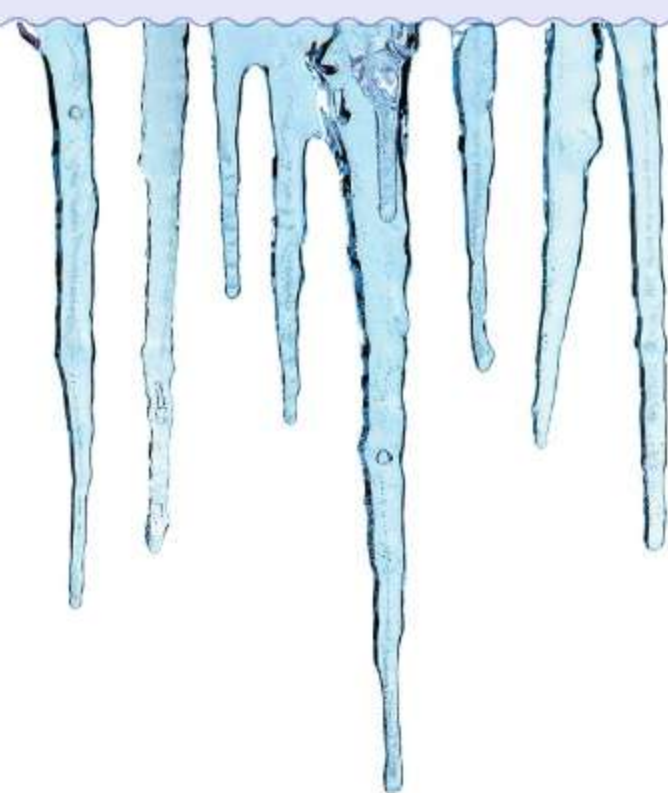
Aby otrzymać prędkość, należy obliczyć pierwiastek z prawej strony tego równania:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,5 \text{ m}} = \sqrt{50 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 7,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Sopel uderzył w ziemię z prędkością ok. 7,1 m/s.



Badamy, od czego zależy rozmiar „krateru”

- 1.** Do doświadczenia będą potrzebne: miska, suchy drobny piasek (do kupienia w sklepie zoologicznym), trzy kulki o identycznych średnicach, ale różnych masach (np. drewniana, gumowa i metalowa), waga, taśma miernicza, linijka.
- 2.** Zważ każdą z kulek i zapisz wyniki.
- 3.** Wygładź powierzchnię piasku w misce. Puść pierwszą kulkę z wysokości ok. 50 cm nad powierzchnią piasku. Zmierz średnicę krateru, który powstał w piasku na skutek uderzenia kulki. Zapisz wynik.

Uwaga: ruch kulek możemy uznać za spadek swobodny ze względu na niewielką – w porównaniu z ich ciężarem – siłę oporu powietrza.
- 4.** Powtórz czynności opisane w punkcie 3. dla pozostałych dwóch kulek.
- 5.** Porównaj rozmiary kraterów otrzymanych dla poszczególnych kulek. Sformułuj wniosek na temat zależności rozmiarów krateru od masy kulki. Wykorzystaj zasadę zachowania energii mechanicznej.
- 6.** Powtórz czynności opisane w punkcie 3. dla pierwszej kulki, ale puść ją najpierw z wysokości ok. 25 cm, a później z wysokości ok. 75 cm.
- 7.** Porównaj rozmiary kraterów otrzymanych dla pierwszej kulki, ale puszczanej z różnych wysokości. Sformułuj wniosek na temat zależności rozmiarów krateru od wysokości, z jakiej zrzucona była kulka. Wykorzystaj zasadę zachowania energii mechanicznej.



Zasadę zachowania energii mechanicznej możemy wykorzystać także do analizy ruchu ciała wyrzucanego pionowo do góry, jeśli przyjmiemy, że podczas lotu nie działają na ciało siły oporu ruchu. Takie ciało w momencie rozpoczęcia ruchu ma tylko energię kinetyczną (zakładamy, że w miejscu wyrzucenia energia grawitacji ciała jest równa zero). Podczas ruchu w górę prędkość ciała maleje, zatem maleje i energia kinetyczna (ryc. 29.4.). Jednocześnie rośnie wysokość, na jakiej znajduje się ciało w kolejnych chwilach, więc rośnie również jego energia grawitacji. Całkowita energia mechaniczna ciała nie ulega zmianie, zatem podczas wznoszenia ciała energia kinetyczna maleje o tyle, o ile rośnie energia grawitacji.



Ryc. 29.4. Podczas skoku wzwyż początkowa energia kinetyczna zawodnika zamienia się w jego energię grawitacji.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy, na jaką maksymalną wysokość wzniesie się piłka tenisowa o masie 58 g, która została wyrzuciona z maszyny do podawania piłek pionowo w górę z prędkością początkową 30 m/s. Do obliczeń przyjmijmy, że $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zakładamy, że można pominąć opory ruchu.

Dane: $m = 58 \text{ g}$, $v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: h

Rozwiązanie:

Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej energia grawitacji piłki w najwyższym punkcie lotu jest równa jej energii kinetycznej w momencie wyrzucenia przez maszynę:

$$E_g = E_k$$

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

Aby obliczyć wysokość, na którą wzniesie się piłka, dzielimy obie strony równania przez m oraz przez g :

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

Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$h = \frac{900 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 45 \text{ m}$$

Odpowiedź: Piłka tenisowa doleci na wysokość 45 m.

Energia mechaniczna jest jednym z wielu rodzajów energii. Zasada zachowania energii mechanicznej wynika z ogólniejszej zasady zachowania energii. Zdolność ciał do wykonywania pracy, której miarą jest ich energia, może wynikać na przykład z ich właściwości elektrycznych (energia elektryczna) lub chemicznych (energia chemiczna). Całkowita energia ciała jest więc sumą wszystkich jej form. **Zasada zachowania energii jest spełniona zawsze, w każdej sytuacji.**



Zasada zachowania energii

Energia ciała nie może zniknąć ani pojawić się znikąd. Podczas wszystkich procesów zachodzących w przyrodzie następują jedynie zamiany jednego rodzaju energii w inny.

Zobacz, jak to zrobić!

Sportowiec o masie 70 kg skoczył z wieży o wysokości 10 m pionowo w dół do wody z prędkością początkową 5 m/s. Obliczmy, jaką energię grawitacji i energię kinetyczną miał on w połowie dystansu dzielącego go od powierzchni wody. Do obliczeń przyjmijmy, że $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zakładamy, że można pominąć opory ruchu.

Dane: $m = 70 \text{ kg}$, $h = 10 \text{ m}$, $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Szukane: E_{g2} , E_{k2}

Rozwiązanie:

Obliczmy całkowitą energię mechaniczną skoczka w chwili skoku.

$$E_{m1} = E_{g1} + E_{k1} = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_{m1} = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 70 \text{ kg} \cdot 25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 7000 \text{ J} + 875 \text{ J} = 7875 \text{ J}$$

Energia grawitacji skoczka w połowie wysokości wieży jest mniejsza niż na wieży i wynosi:

$$E_{g2} = m \cdot g \cdot \frac{1}{2} h = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ m} = 3500 \text{ J}$$

Całkowitą energię mechaniczną skoczka na tej wysokości możemy wyrazić wzorem:

$$E_{m2} = E_{g2} + E_{k2}$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej ta energia jest taka sama jak w chwili skoku, czyli wynosi 7875 J. Podstawiamy odpowiednie wartości do powyższego wzoru.

$$7875 \text{ J} = 3500 \text{ J} + E_{k2}$$

Po przekształceniu równania obliczamy energię kinetyczną skoczka w połowie wysokości:

$$E_{k2} = 7875 \text{ J} - 3500 \text{ J} = 4375 \text{ J}$$

Odpowiedź: W połowie dystansu dzielącego skoczka od wody jego energia grawitacji była równa 3500 J, a energia kinetyczna wynosiła 4375 J.

Dowiedz się więcej!

Dlaczego piórko spada w powietrzu wolniej niż moneta?

Zarówno na spadające w powietrzu piórko, jak i na spadającą monetę działają dwie siły: siła ciężkości skierowana pionowo w dół oraz siła oporu powietrza skierowana do góry. To, w jaki sposób oba ciała będą się poruszały, zależy od działającej na każde z nich siły wypadkowej.

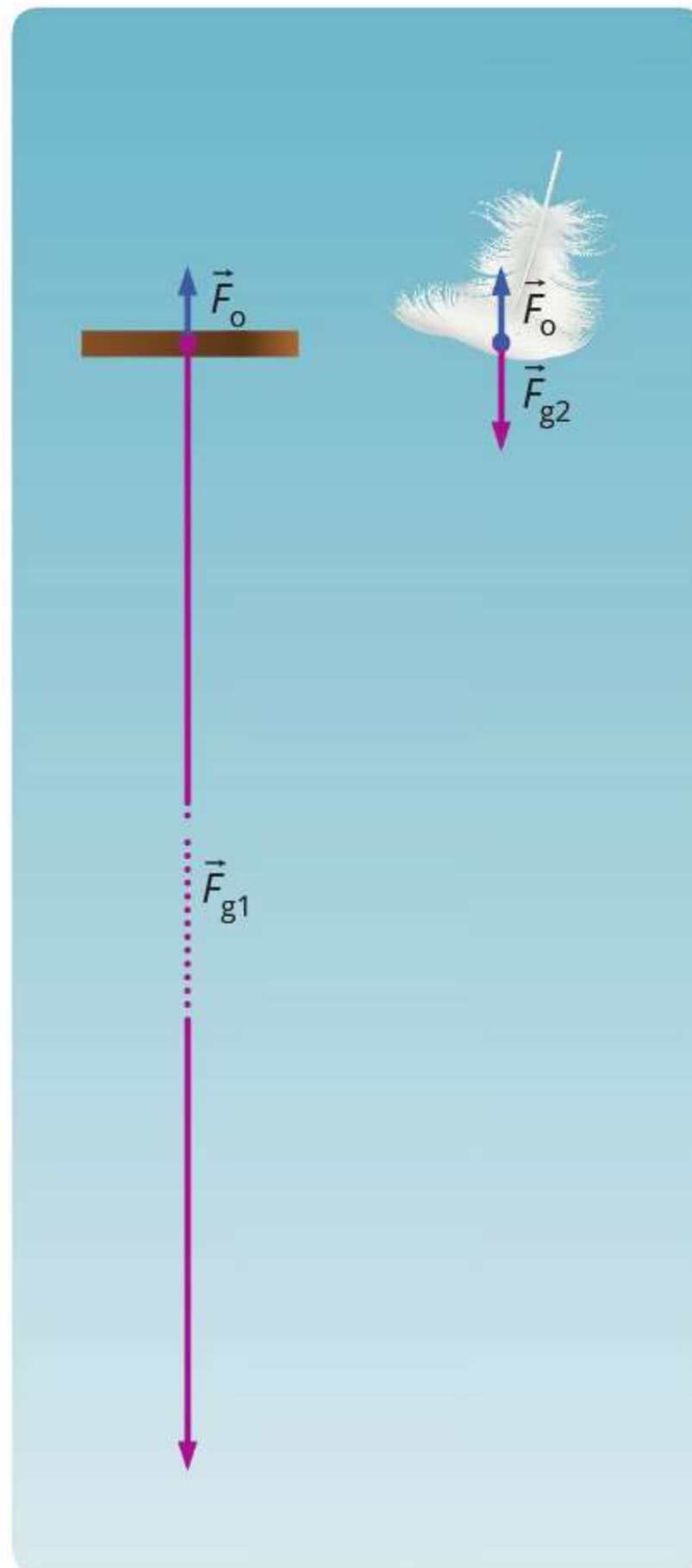
Siła oporu powietrza zależy m.in. od powierzchni spadającego ciała oraz jego prędkości. Na zbliżonych rozmiarów piórko i monetę działa zatem siła oporu o podobnej wartości. Jednak moneta jednogroszowa ma masę 1,64 g, a ptasie piórko o podobnej do monety powierzchni ma masę ok. 0,01 g. Oznacza to, że ciężar monety jest ponad 160 razy większy od ciężaru piórka. Siła oporu powietrza jest porównywalna z ciężarem piórka, ale zdecydowanie mniejsza od ciężaru monety. W tej sytuacji siła wypadkowa działająca na monetę jest tylko nieznacznie mniejsza od jej ciężaru, a w przypadku piórka zdecydowanie mniejsza od jego ciężaru. Dlatego w powietrzu piórko spada z mniejszym przyspieszeniem (i przez to zauważalnie wolniej) niż moneta.

Przyspieszenie monety:

$$a_m = \frac{F_{w1}}{m_m} = \frac{F_{g1} - F_o}{m_m} = \frac{m_m \cdot g - F_o}{m_m} = \frac{m_m \cdot g}{m_m} - \frac{F_o}{m_m} = g - \frac{F_o}{m_m}$$

Przyspieszenie piórka:

$$a_p = \frac{F_{w2}}{m_p} = \frac{F_{g2} - F_o}{m_p} = g - \frac{F_o}{m_p}$$
$$a_p < a_m$$



Podsumujmy!

- ▶ **Spadek swobodny** to spадanie ciała ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem ziemskim (bez oporów ruchu).
- ▶ Czas spadku swobodnego ciał z tej samej wysokości nie zależy od ich masy.
- ▶ **Zasada zachowania energii mechanicznej:** jeżeli nad ciałem nie jest wykonywana praca oraz ciało nie wykonuje pracy, to jego całkowita energia mechaniczna jest cały czas taka sama.

Sprawdź się!

Do obliczeń w poniższych zadaniach przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Przyspieszenie podczas spadania w próżni nie zależy od masy spadającego ciała.	P	F
2.	Spadek swobodny jest ruchem jednostajnym.	P	F
3.	Jedyną siłą działającą na ciało spadające w próżni jest siła ciężkości.	P	F
4.	Podczas swobodnego spadania ciała jego energia potencjalna grawitacji zamienia się w energię kinetyczną.	P	F

2. Oblicz wysokość, z jakiej spadała swobodnie szklanka, jeśli uderzyła w podłogę z prędkością o wartości 2,6 m/s.

3. Piłka spada z wysokości 2 m. Zakładamy, że podczas lotu nie działają na nią siły oporu ruchu. Która z jej energii – kinetyczna czy potencjalna grawitacji – będzie większa na wysokości 0,5 m nad powierzchnią Ziemi? Uzasadnij odpowiedź.

4. Z wysokości 2,8 m spada odłamek skalny o masie 0,2 kg. Oblicz jego energię kinetyczną na wysokości 1,4 m. Zakładamy, że podczas lotu nie działają siły oporu ruchu.

5. Jabłko spada z gałęzi znajdującej się na wysokości 3 m nad ziemią. Oblicz prędkość tego jabłka w momencie wpadania do koszyka trzymanego na wysokości 1,2 m. Zakładamy, że podczas spadania nie działały na nie siły oporu ruchu.

POWTÓRZENIE

Praca i energia

Praca mechaniczna

Siła wykonuje pracę mechaniczną, gdy na skutek jej działania ciało pokonuje drogę.

praca mechaniczna

$$W = F \cdot s$$

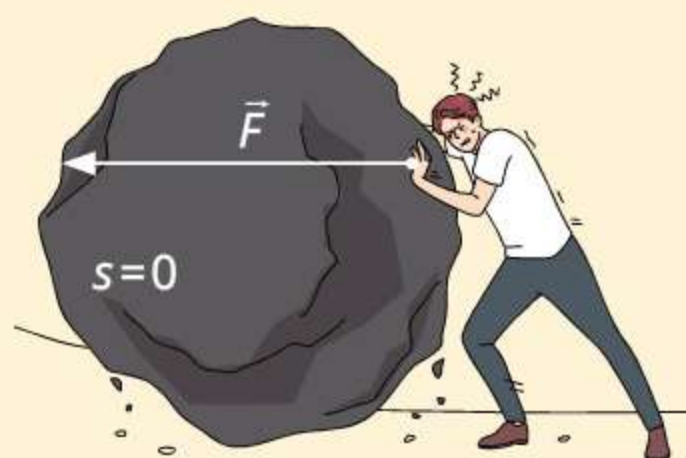
siła droga



Jednostką pracy jest džul.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Gdy działająca siła nie powoduje przesunięcia ciała, praca tej siły jest równa zero.



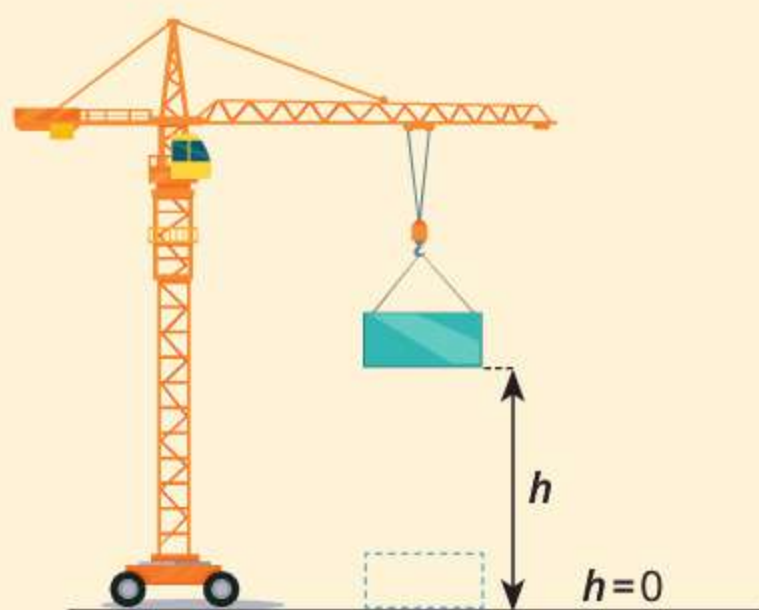
W wyniku wykonania pracy przez ciało lub nad nim zmienia się energia mechaniczna ciała.

$$W = |\Delta E|$$

Energia mechaniczna

energia potencjalna grawitacji

Ciało ma energię potencjalną grawitacji względem wybranego poziomu odniesienia, gdy znajduje się na pewnej wysokości nad tym poziomem.



energia potencjalna grawitacji

$$E_g = m \cdot g \cdot h$$

wysokość

masa

przyspieszenie ziemskie

energia kinetyczna

Ciało ma energię kinetyczną, gdy się porusza.



energia potencjalna sprężystości

Energia potencjalna sprężystości jest związana ze zmianą kształtu ciała sprężystego.

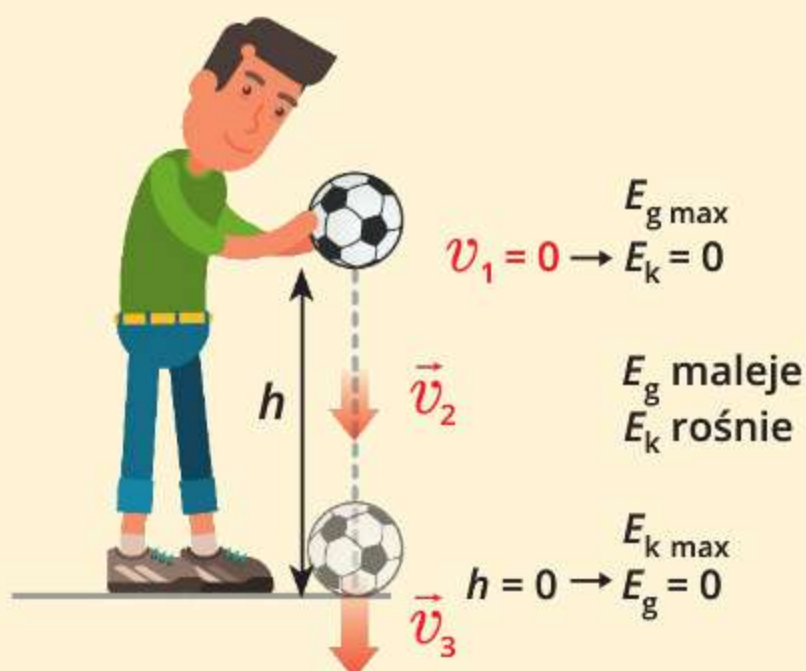


Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeżeli nad ciałem nie jest wykonywana praca oraz ciało nie wykonuje pracy, to jego całkowita energia mechaniczna jest cały czas taka sama.

spadek swobodny

To spadanie ciał ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem ziemskim (bez oporów ruchu).



Suma energii kinetycznej oraz energii grawitacji ciała spadającego swobodnie jest stała.

Zasada zachowania energii

Energia ciała nie może zniknąć ani pojawić się znikąd. Podczas wszystkich procesów w przyrodzie następują jedynie zamiany jednego rodzaju energii w inny.

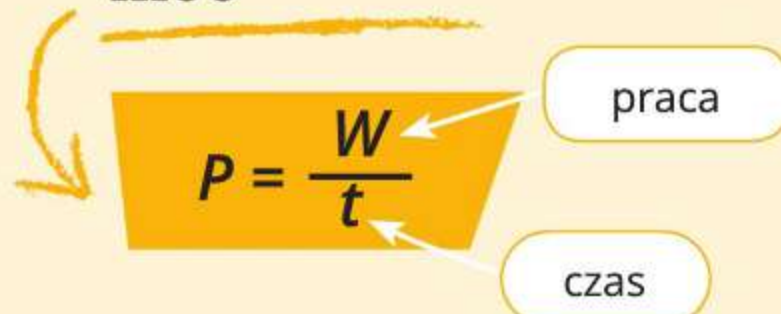
Moc

Jest wielkością, która informuje nas o szybkości wykonywania pracy.

Jednostką mocy jest wat.

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

moc



Sprawdź się!

Do obliczeń przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego równą $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ($10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$).

- 1.** Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Tylko siła działająca na ciało równoległe do kierunku jego ruchu wykonuje pracę.	P	F
2.	Im mniejszą prędkość ma poruszające się ciało, tym mniejsza jest jego energia kinetyczna.	P	F
3.	Im urządzenie ma większą moc, tym większą pracę wykona w określonym czasie.	P	F
4.	Praca i moc mają taką samą jednostkę.	P	F
5.	Spadek swobodny jest ruchem jednostajnie przyspieszonym.	P	F

- 2.** Spychacz budowlany działał na hałdę piasku siłą o wartości 5 kN i przesunął ją zgodnie z kierunkiem działającej siły na odległość 3 m. Jaką wykonał pracę?



- 3.** Dziewczynka przeniosła książkę z biurka na półkę i wykonała nad książką pracę 1,2 J. Ile wyniosła zmiana energii mechanicznej tej książki?

- 4.** Wyciąg narciarski w ciągu godziny przewozi 1800 osób na wysokość 300 m. Masa narciarza wraz ze sprzętem wynosi średnio 80 kg. Oblicz:

- a.** pracę wykonaną w ciągu godziny przez wyciąg;
- b.** moc tego wyciągu.

- 5.** Podczas podróży kajakiem uczeń przez 5 minut wiosłował z mocą 250 W. Oblicz pracę mechaniczną wykonaną przez ucznia w tym czasie.

- 6.** Wózek widłowy podczas podnoszenia ładunku wykonał pracę 66 kJ w czasie 22 s. Oblicz moc wózka podczas podnoszenia ładunku.
-
- 7.** Jaką energię kinetyczną ma wagon kolejowy o masie 12 000 kg, poruszający się z prędkością o wartości 54 km/h?
-
- 8.** Najszybszym na świecie ptakiem jest sokół wędrowny, który podczas pikowania (lotu nurkowego) za zdobyczą osiąga prędkość ok. 110 m/s. Natomiast największą prędkość w locie poziomym osiąga jerzyk – jest to ok. 55 m/s. Oblicz, ile razy maksymalna energia kinetyczna sokoła wędrownego jest większa od maksymalnej energii kinetycznej jerzyka. Przyjmij, że masa sokoła wędrownego to 0,8 kg, a jerzyka 0,04 kg.



-
- 9.** Jaką energię potencjalną grawitacji względem blatu stołu ma jajko o masie 50 g, znajdujące się 20 cm nad stołem?
-
- 10.** W roku 2021 gruziński sztangista Lasza Talachadze ustanowił rekord świata w tzw. podrzucie – podniósł sztangę o masie 267 kg na wysokość ok. 2,5 m. Jaką minimalną pracę wykonał ten sportowiec podczas ustanowienia rekordu?





- 11.** Gruszka upadła w trawę z prędkością 6 m/s . Oblicz wysokość, z jakiej spadła. Załóż, że podczas spadania gruszki nie działały na nią siły oporu ruchu.

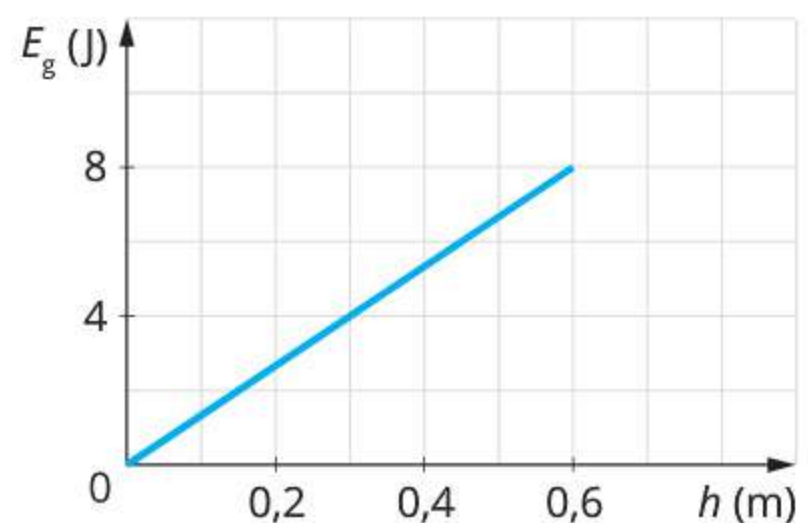
- 12.** Do wbijania gwoździ najczęściej używamy tradycyjnego młotka. Młotki produkowane są w różnych rozmiarach i kształtach w zależności od zastosowania, a ich masa zwykle wynosi od 100 g do $1,5 \text{ kg}$. Opisz w punktach czynności, jakie należy wykonać, oraz pomiary, jakie należy przeprowadzić, aby oszacować pracę niezbędną do wbicia gwoźdź za pomocą młotka.

- 13.** Pukawka to popularna dziecięca zabawka wydająca odgłos podobny do wystrzału. Zabawka składa się z lufy, tłoka, do którego przymocowana jest rączka umożliwiającą jego przesuwanie, oraz korka na sznurku. Przesunięcie tłoka sprawia, że korek wylatuje z lufy, czemu towarzyszy dźwięk. Opisz działanie zabawki z użyciem określeń: praca, energia sprężystości gazu, energia kinetyczna korka, energia dźwięku.

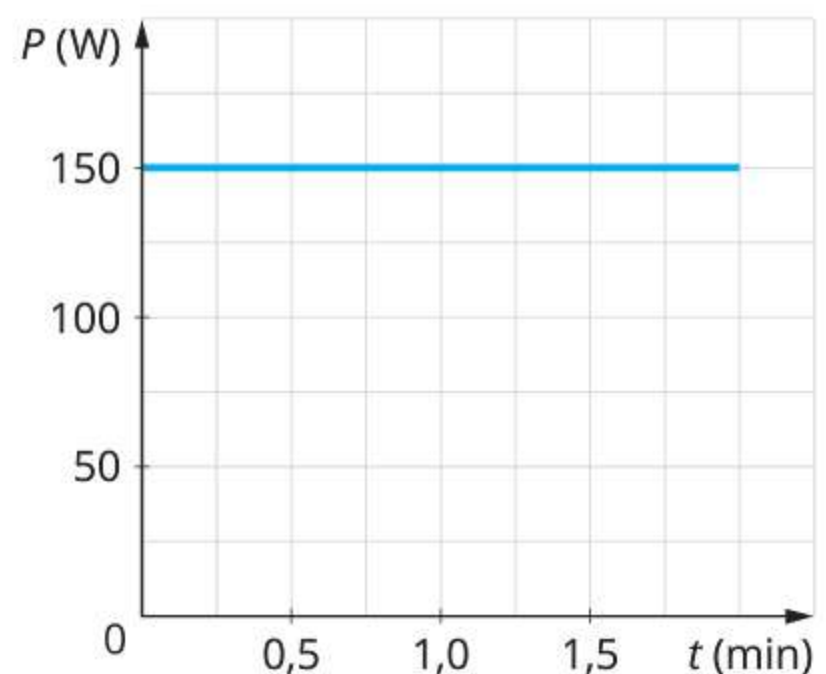


- 14.** Od nawisu skalnego oderwał się kawałek skały i spadł swobodnie na łąkę. Na wykresie przedstawiono zależność energii grawitacji tego skalnego odłamka od wysokości nad powierzchnią łąki.

Przerysuj wykres do zeszytu i dorysuj na nim zależność energii kinetycznej kawałka skały od wysokości nad łąką.



- 15.** Na wykresie przedstawiono zależność mocy silnika odkurzacza samochodowego od czasu. Na podstawie tego wykresu oblicz pracę wykonaną przez odkurzacz w czasie jednej minuty.



Ćwiczenia na siłowni

Podczas treningu sportowego źródłem siły są nasze mięśnie. Trening siłowy polega na tym, że działamy siłą na urządzenia sportowe (np. ergometr wioślarski) lub przyrządy do ćwiczeń (np. sztangę). Ta siła niezbędna jest do pokonania oporu stawianego przez urządzenie – np. podczas jazdy na rowerze stacjonarnym lub podczas rozciągania gumy treningowej – albo do przeciwdziałania sile ciężkości, jaką Ziemia przyciąga obciążniki – np. hantle. Dzięki pracy wykonanej przez nas podczas ćwiczeń zmieniamy energię mechaniczną urządzeń i przyrządów sportowych.

Aby oszacować wykonywaną przez organizm pracę, można przyjąć, że zmiana energii urządzeń lub przyrządów sportowych jest równa wykonanej nad nimi pracy. Wiele urządzeń jest wyposażonych w mierniki, które wyświetlają pracę wykonaną podczas ćwiczeń. Powszechnie podają ją w kilokaloriach (kcal), $1 \text{ kcal} \approx 4,2 \text{ kJ}$.

Jeśli natomiast znamy wartość siły, jaką działamy na urządzenie (bo jest na przykład równa ciężarowi obciążników), oraz możemy zmierzyć drogę, jaką na skutek działania tej siły pokonuje obciążenie, wówczas możemy obliczyć pracę z odpowiedniego wzoru ($W = F \cdot s$). Całkowita praca wykonana podczas treningu to iloczyn pracy wykonanej podczas jednego ćwiczenia oraz liczby jego powtórzeń.

Regularne treningi siłowe w połączeniu z odpowiednią dietą mogą skutkować przyrostem masy mięśniowej, siły względnej (to stosunek ciężaru podnoszonego w ćwiczeniu obciążenia do ciężaru ciała trenującego) oraz mocy sportowca, która może sięgać maksymalnie aż do 1800 W.

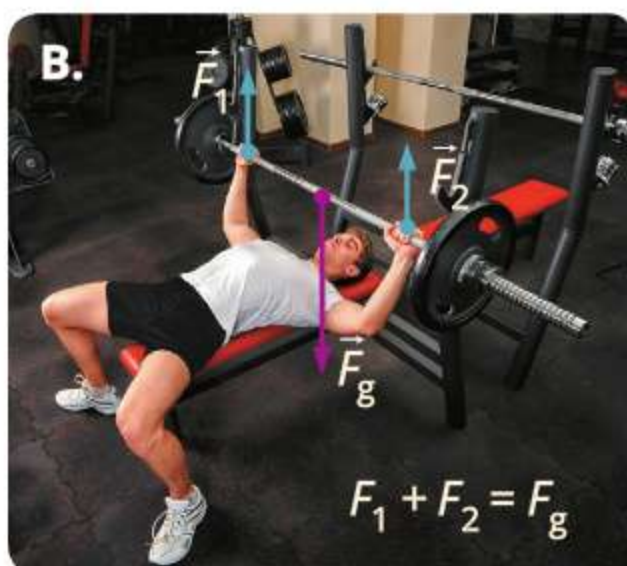


Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Kilokaloria nie może być jednostką pracy.	P	F
2.	Podczas podnoszenia sztangi ruchem jednostajnym równoważymy siłę, jaką Ziemia przyciąga sztangę.	P	F
3.	Gdy działamy siłą 1000 N na drodze 0,5 m, wykonujemy taką samą pracę, jakbyśmy działali siłą 250 N na drodze 2 m.	P	F
4.	Siła względna jest równa 1, gdy ciężar podnoszonego obciążenia jest taki sam jak ciężar ćwiczącego.	P	F
5.	Na siłowni możemy wykonać pracę mechaniczną, ponieważ w naszym organizmie zgromadzona jest energia.	P	F

2. Wskaż ilustrację, która poprawnie pokazuje wszystkie siły działające na sztangę w chwili, gdy jest ona nieruchoma.



3. Przy podnoszeniu sztangi działamy na nią siłą i wykonujemy pracę. Czy podczas utrzymywania na tej samej wysokości podniesionej sztangi również wykonujemy pracę mechaniczną? Uzasadnij odpowiedź.

4. Sportowiec podniósł sztangę o masie 50 kg i przemieścił ją 8-krotnie na wysokość 50 cm.

- Jaką minimalną siłą musiał działać na sztangę?
- Jaką minimalną pracę mechaniczną wykonał podczas 8-krotnego podnoszenia sztangi? Wynik podaj w dżulach i w kilokaloriach. Przyjmij, że podczas opuszczania sztangi pracę wykonuje siła ciężkości, która na nią działa.

5. Podczas półgodzinnego treningu sportowiec osiągnął średnią moc równą 10 % maksymalnej mocy możliwej do uzyskania przez człowieka. Jaką pracę wykonał w tym czasie?

DZIAŁ VI

ZJAWISKA CIEPLNE

Dlaczego parowanie obniża temperaturę?

Jak działa termometr?

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!



30. Wszystko ma temperaturę

- ▶ Czym jest temperatura?
- ▶ Co to znaczy, że ciała są w równowadze termicznej?



O temperaturze mówimy na co dzień. Mierzmy temperaturę ciała, żeby upewnić się, czy nie jesteśmy chorzy. Sprawdzamy temperaturę powietrza, żeby odpowiednio się ubrać. Każde ciało ma jakąś temperaturę. Mówimy, że coś jest gorące, ciepłe, zimne. Mamy zimny lód, gorącą herbatę, chłodne powietrze. Temperaturę oznaczamy symbolem T .



Temperatura to wielkość fizyczna, za pomocą której możemy opisać dowolny stan cieplny każdego obiektu w przyrodzie.

Temperatura to wielkość związana z tym, co dzieje się wewnątrz ciała – zależy ona od tego, jak szybko poruszają się cząsteczki, z których zbudowane jest ciało. Im szybciej się one poruszają, tym wyższa jest temperatura. Jeżeli rośnie prędkość cząsteczek, to rośnie też ich energia kinetyczna, co objawia się wzrostem temperatury ciała. Temperatura jest zatem miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek tworzących ciało.



Ryc. 30.1. Atomy żelaza w stalowym drucie w mroźny dzień (a) mają mniejszą średnią energię kinetyczną niż atomy żelaza w stalowym pręcie wyjętym z paleniska (b).

Zbadaj to sam!

Obserwujemy związek temperatury z prędkością cząsteczek

1. Do doświadczenia będą potrzebne: trzy identyczne szklanki, trzy łyżeczki rozpuszczalnej herbaty w granulach lub rozpuszczalnego kakao, czajnik i woda.
2. Napełnij pierwszą szklankę zimną wodą z kranu, drugą – wodą o temperaturze pokojowej, a trzecią – gorącą wodą.
3. Wsyp po jednej łyżeczce herbaty (lub kakao) do każdej szklanki i obserwuj, co dzieje się z cięciami. Zwróć uwagę na związek szybkości rozpuszczania się granulek z temperaturą wody.
4. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje.

Dowiedz się więcej!

Miejsca o różnych temperaturach

Zazwyczaj między dwoma punktami w terenie położonymi w niewielkiej odległości od siebie nie występują duże różnice temperatur powietrza. Czasem jednak bywa inaczej: miejsca znajdujące się dość blisko siebie znacznie różnią się temperaturą. Przykładem mogą być okolice wulkanu Etna na Sycylii. W kwietniu da się na przykład pojeździć na nartach po zboczach Etny, a po godzinie jazdy samochodem znaleźć się na plaży i wykąpać w ciepłym morzu.



Jeden z ośrodków narciarskich usytuowany jest w niedużej odległości od krateru, z którego wypływa lawa. Temperatura śniegu jest niższa niż $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura wypływającej z krateru lawy jest wyższa niż $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Woda w morzu opływającym Sycylię w kwietniu może osiągać $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zbadaj to sam!

Obserwujemy zmiany temperatur

1. Do doświadczenia będą potrzebne: miska z zimną wodą, kubek z ciepłą wodą i termometr.
2. Zmierz temperatury początkowe wody w obu naczyniach.
3. Wstaw kubek do miski i po godzinie ponownie zmierz temperatury.
4. Zapisz w zeszycie wnioski z obserwacji.



Gdy zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, po pewnym czasie ich temperatury się wyrównają (ryc. 30.2.).

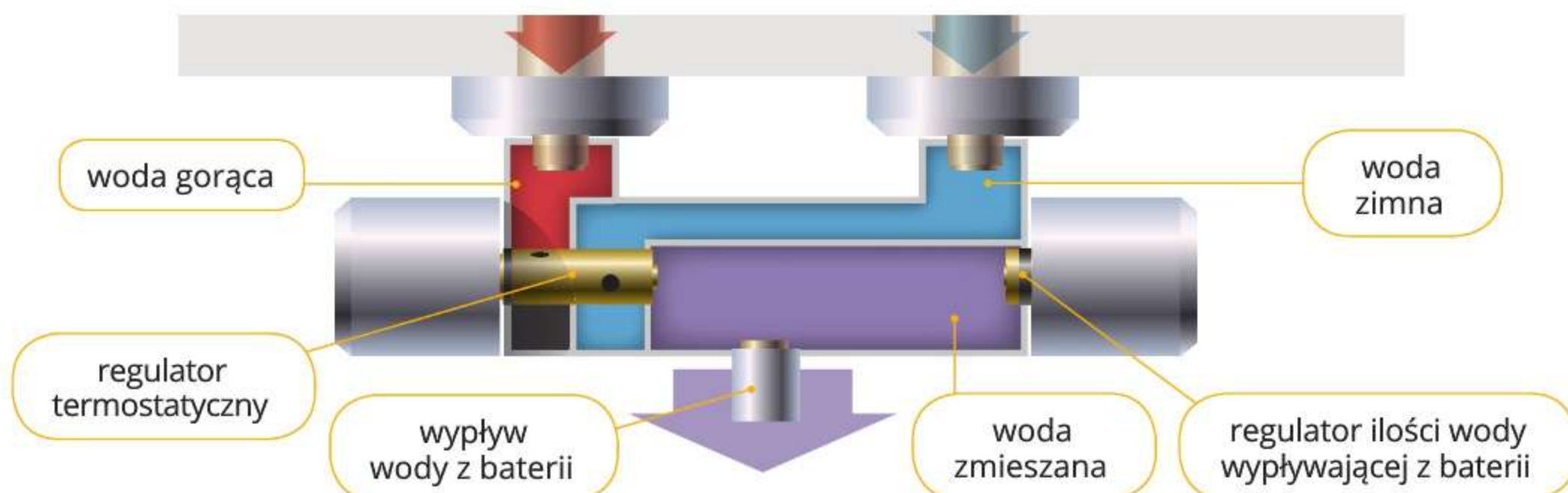
Jeżeli dwa ciała mają taką samą temperaturę, po ich zetknięciu nie nastąpi między nimi wymiana energii. O takich ciałach mówimy, że są w **równowadze termicznej** (cieplnej). Gdy ciała są w równowadze termicznej, ich cząsteczki mają taką samą średnią energię kinetyczną.

Ryc. 30.2. Napoje i pojemnik z lodem dążą do równowagi termicznej.

Dowiedz się więcej!

Baterie termostatyczne

W tradycyjnych bateriach łazienkowych regulowanie temperatury wody może trwać nawet kilkadziesiąt sekund, co zwiększa zużycie wody i energii. Rozwiązaniem tego problemu są baterie termostatyczne z wbudowanym mechanizmem mieszania gorącej i zimnej wody. Ustawiamy pokrętką odpowiednią temperaturę, a mechanizm termostatyczny miesza gorącą i zimną wodę we właściwych proporcjach. Gdy temperatura zmieszanych cieczy przekracza ustawioną wartość, termostat ogranicza ilość gorącej wody. Utrzymanie stałej temperatury wody to duża zaleta takich baterii – nie tylko unikamy ryzyka poparzenia lub oblania zimną wodą, ale również oszczędzamy wodę i energię.



Rozglądaj się wokół!

Promieniowanie ciepłe



Każde ciało ma temperaturę i dlatego jest źródłem tzw. promieniowania ciepłego. To promieniowanie jest niewidoczne, ale mogą je zarejestrować kamery termowizyjne. Niektóre z tych urządzeń umożliwiają też pomiar temperatury obiektów.



Kamera termowizyjna na lotnisku pokazuje, który z pasażerów ma podwyższoną temperaturę ciała i może być chory.

Analiza zdjęcia wykonanego kamerą termowizyjną pozwala ocenić na przykład jakość izolacji termicznej budynku.



Termometry bezdotykowe rejestrują promieniowanie ciepłe i na jego podstawie wskazują temperaturę ciała.

Podsumujmy!

- ▶ **Temperatura** to wielkość fizyczna, za pomocą której możemy opisać dowolny stan cieplny każdego obiektu w przyrodzie. Temperatura jest miarą **średniej energii kinetycznej cząsteczek** tworzących ciało.
- ▶ Ciała o tej samej temperaturze są w **równowadze termicznej**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Temperatura ciała zależy od rozmiarów ciała.	P	F
2.	Jeśli butelka jest w równowadze termicznej z napojem znajdującym się w jej wnętrzu i nakrętka tej butelki jest także w równowadze termicznej z tym napojem, oznacza to, że butelka i nakrętka mają taką samą temperaturę.	P	F
3.	Temperatura to inaczej ciepło.	P	F
4.	Podczas obniżania się temperatury ciała zmniejsza się średnia energia kinetyczna cząsteczek tego ciała.	P	F

2. Zaproponuj przebieg doświadczenia ilustrującego proces osiągnięcia równowagi termicznej.

3. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

Podczas ogrzewania wody w czajniku jej temperatura

A.	wzrosła,	ponieważ	1.	średnia energia kinetyczna jej cząsteczek się zwiększyła.
B.	zmałała,		2.	średnia energia kinetyczna jej cząsteczek się zmniejszyła.

4. Wyjaśnij, dlaczego rozpuszczanie łyżki soli w szklance zimnej wody trwa dłużej niż rozpuszczanie takiej samej ilości soli w szklance gorącej wody.

5. Temperatura butelki z wodą położonej na piasku w słoneczny dzień jest równa 38 °C. Temperatura wody morskiej jest równa 15 °C. W jaki sposób i do jakiej temperatury można w tej sytuacji ochłodzić wodę w butelce bez używania urządzeń chłodniczych?

31. Termometry i pomiar temperatury

- ▶ Skąd się wzięły różne skale temperatury?
- ▶ Jak działa termometr?



Każde ciało ma temperaturę i jest ona związana ze średnią energią kinetyczną cząsteczek tworzących to ciało. A jak zmierzyć temperaturę danego ciała?

Zbadaj to sam!

Dotykamy ciał o różnych temperaturach

1. Do doświadczenia będą potrzebne trzy miski.
2. Do pierwszej z nich wlej zimną wodę, do drugiej – wodę o temperaturze pokojowej (ok. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), a do trzeciej – wodę o temperaturze zbliżonej do temperatury ciała człowieka (ok. $37\text{ }^{\circ}\text{C}$).
3. Na 10 sekund włóż jedną rękę do miski z ciepłą wodą, a drugą – do miski z zimną. Następnie wyjmij dłonie i przenieś je do miski z wodą o temperaturze pokojowej.
4. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia dotyczące odczuwanej temperatury w misce z wodą o temperaturze pokojowej.

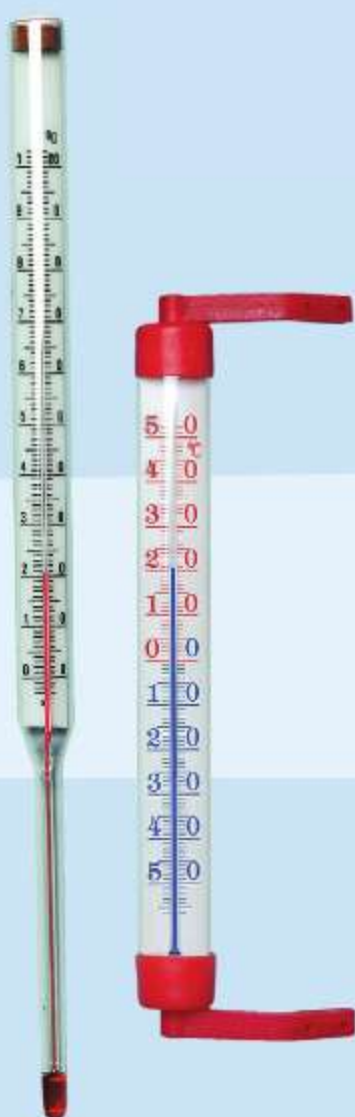
Określanie temperatury za pomocą zmysłów nie jest dobrym sposobem, ponieważ nie jest obiektywne. Do bardziej precyzyjnego pomiaru temperatury używamy termometrów. Ich działanie opiera się na wykorzystaniu takich właściwości ciał, które zmieniają się pod wpływem zmian temperatury. Niektóre substancje mogą na przykład rozszerzać się lub kurczyć wraz ze zmianą temperatury, a inne – zmieniać swoje właściwości elektryczne.

Pomiar temperatury ciała to czynność, podczas której termometr dotykowy powinien osiągnąć taką samą temperaturę jak ciało. Aby poprawnie zmierzyć temperaturę, należy doprowadzić do równowagi termicznej między termometrem a ciałem i dopiero wtedy odczytać wskazania termometru. Innymi słowy, zawsze należy odczekać chwilę, żeby osiągnąć ten stan. Cząsteczki termometru i ciała będą mieć wówczas taką samą średnią energię kinetyczną. Oznacza to, że termometr będzie wskazywał własną temperaturę, która będzie taka sama jak temperatura ciała.

Rozglądaj się wokół!

Różne rodzaje termometrów

Wszystkie termometry pozwalają zmierzyć temperaturę, ale każdy z nich działa nieco inaczej. Do ich konstrukcji wykorzystujemy różne właściwości materiałów, z których są zbudowane. Każdy termometr ma skalę.



Termometr sprężynowy – podczas zmiany temperatury zmienia się długość sprężyny użytej w termometrze i położenie połączonej z nią wskazówki.



Termometr cieczowy to termometr w postaci szklanej rurki. Na jednym z jej końców znajduje się zbiorniczek z cieczą, która rozszerza się, gdy rośnie temperatura.

Termometr Galileusza. Przy konstrukcji tego termometru wykorzystuje się fakt, że wraz ze zmianą temperatury zmienia się gęstość cieczy. Pływaki o gęstościach dobranych odpowiednio do wskazywanej temperatury toną lub wypływają na powierzchnię cieczy.



Termometr elektroniczny z sondą pomiarową. Działanie tego typu termometru opiera się na tym, że wraz ze zmianą temperatury zmieniają się właściwości elektryczne końcówki termometru, tzw. sondy.



Zobacz, jak to zrobić!

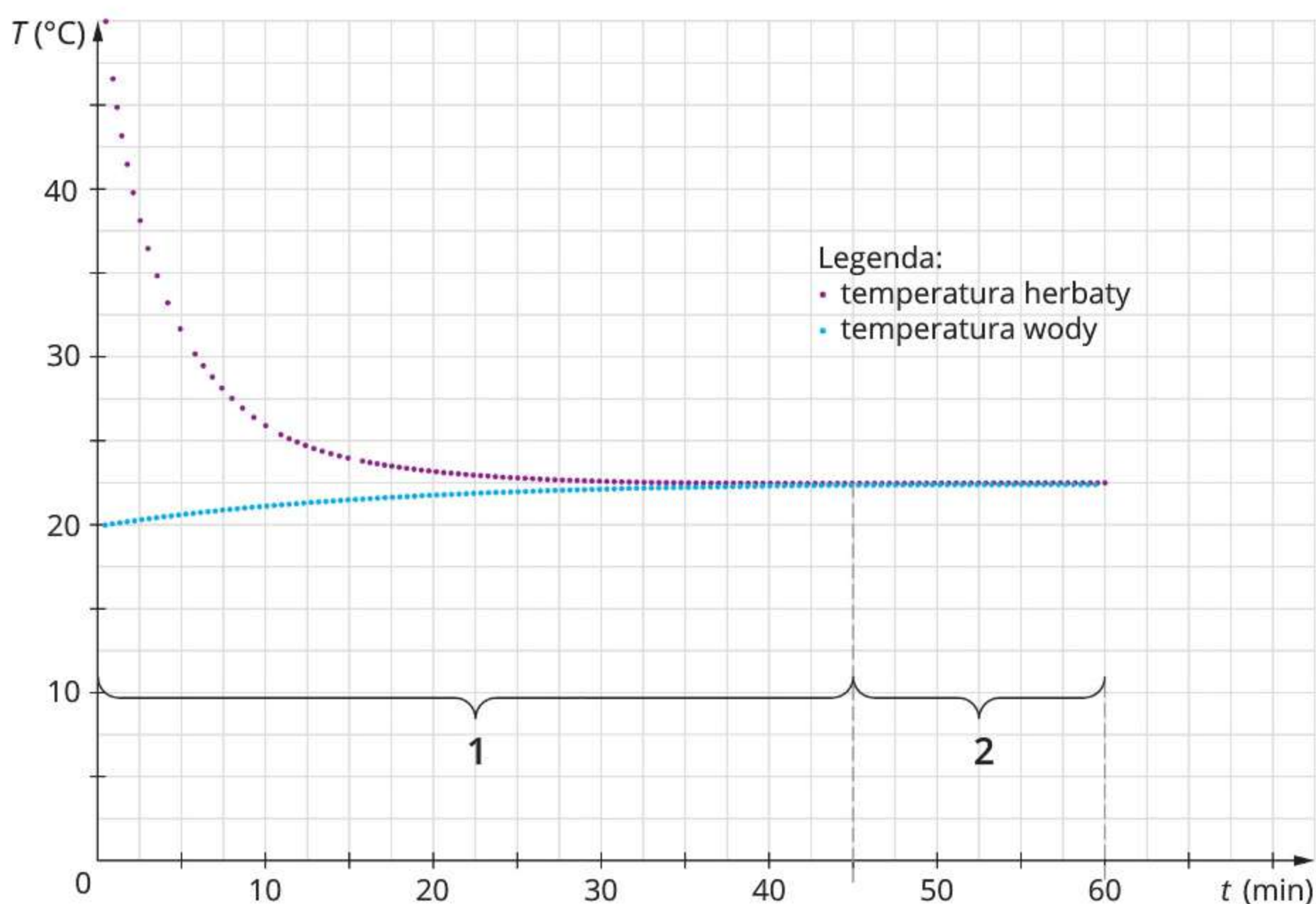
Równowaga termiczna

Zbadano, jak zmieniają się temperatury ciał po ich zetknięciu. W tym celu kubek z gorącą herbatą wstawiono do pojemnika z zimną wodą. W obu naczyniach umieszczono termometry, których wskazania rejestrowano za pomocą komputera co 30 sekund.



Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie zależności temperatury od czasu. Zaznaczono na nim charakterystyczne przedziały.

Przez pewien czas temperatura herbaty w kubku malała, a temperatura wody w pojemniku rosła (przedział 1). Po ok. 45 minutach woda i herbata osiągnęły tę samą temperaturę, zatem były w stanie równowagi termicznej (przedział 2).



Do określania temperatury ciał stworzono różne skale. W każdej z nich temperaturom konkretnych zjawisk przyporządkowano określone wartości.

Najbardziej rozpowszechnioną skalą temperatur jest **skala Celsjusza**. Stworzono ją z wykorzystaniem właściwości wody. Za 0 °C (0 stopni Celsjusza) przyjęto temperaturę zamarzania wody, a za 100 °C – temperaturę wrzenia wody. W tej skali temperatura ciała człowieka to ok. 36,6 °C.

Są jednak kraje, w których do określania temperatury używa się innej skali – **skali Fahrenheita** (czyt. farenhajta). Przy jej tworzeniu za temperaturę 0 °F (0 stopni Fahrenheita) przyjęto temperaturę zamarzania mieszaniny wody, lodu i tzw. salmiaku (chlorek amonu). Temperaturze topnienia lodu przyporządkowano 32 °F, a temperaturze wrzenia wody 212 °F. W tej skali temperatura ciała zdrowego człowieka to ok. 97,9 °F.

Zarówno w skali Celsjusza, jak i w skali Fahrenheita* temperatury niższe od zera zapisuje się ze znakiem minus, podobnie jak liczby znajdujące się po lewej stronie zera na osi liczbowej. Na przykład najniższa temperatura powietrza zanotowana na Ziemi to –89,2 °C (stacja Wostok, Antarktyda, 1983 r.), co odpowiada temperaturze –128,6 °F. Warto zauważyć, że zmiana temperatury o 1 °F nie jest równa zmianie temperatury o 1 °C (ilustracja na s. 242).

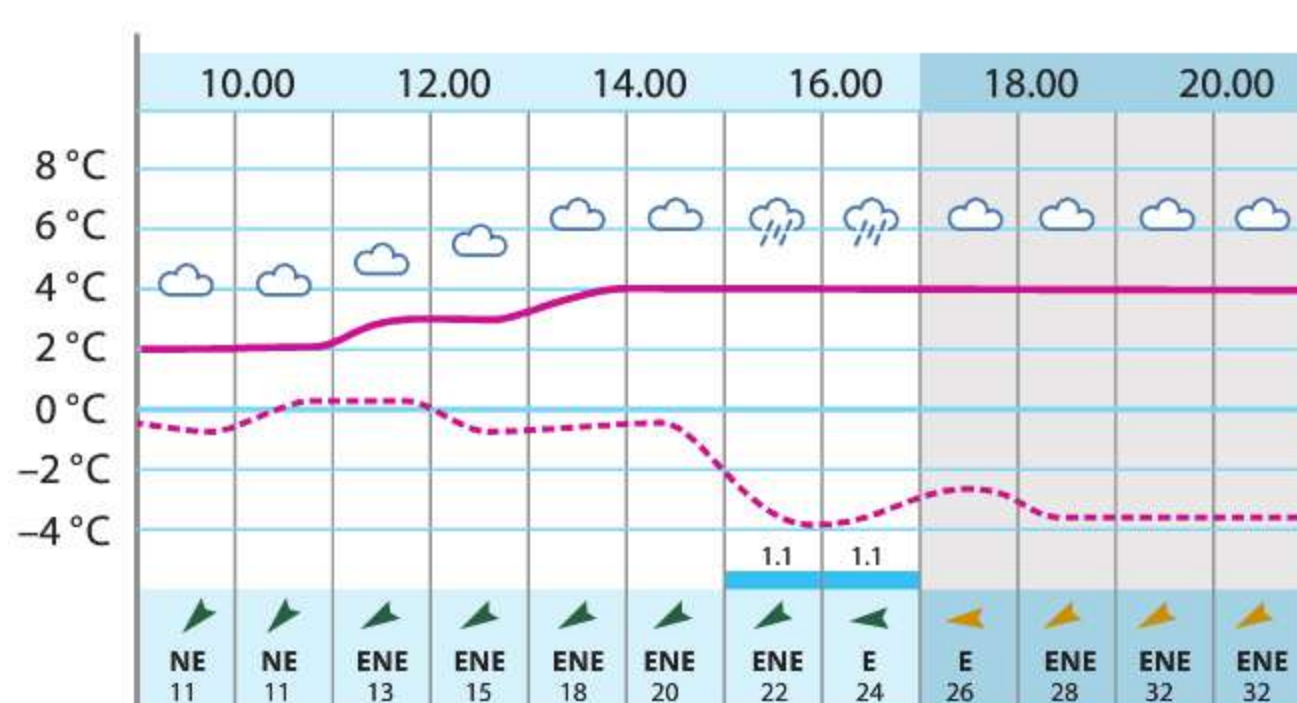
* Aby przeliczyć temperaturę wyrażoną w skali Celsjusza (T_C) na temperaturę w skali Fahrenheita (T_F), należy skorzystać ze wzoru: $T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$.

Dowiedz się więcej!

Prognoza pogody i temperatura odczuwalna

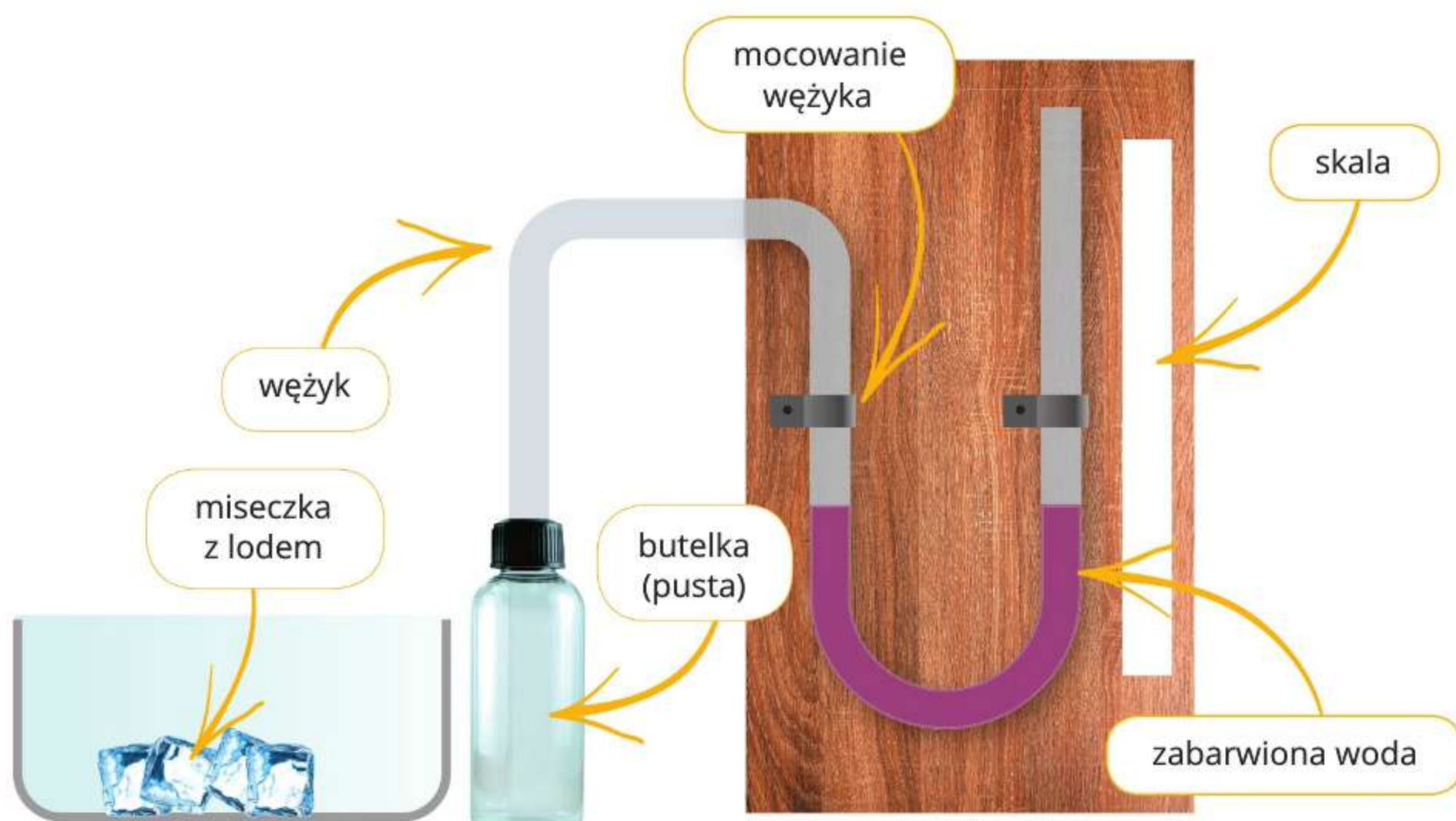
Temperatura odczuwalna to pojęcie powszechnie stosowane do opisywania warunków pogodowych. Wielkość ta określa odczucie termiczne człowieka, a wyznacza się ją z uwzględnieniem takich parametrów pogody, jak temperatura powietrza, siła wiatru, wilgotność i opady.

Na zaprezentowanym wykresie ciągłą czerwoną linią oznaczono temperaturę powietrza, a przerywaną – temperaturę odczuwalną. Można zauważyć, że na przykład od godziny 14.00 do 20.00 temperatura powietrza była stała i równa 4 °C. Temperatura odczuwalna w tym czasie się zmieniała, a najmniejszą jej wartość zanotowano ok. godziny 16.00. Wiatr osiągał wówczas prędkość 24 km/h i padał deszcz.



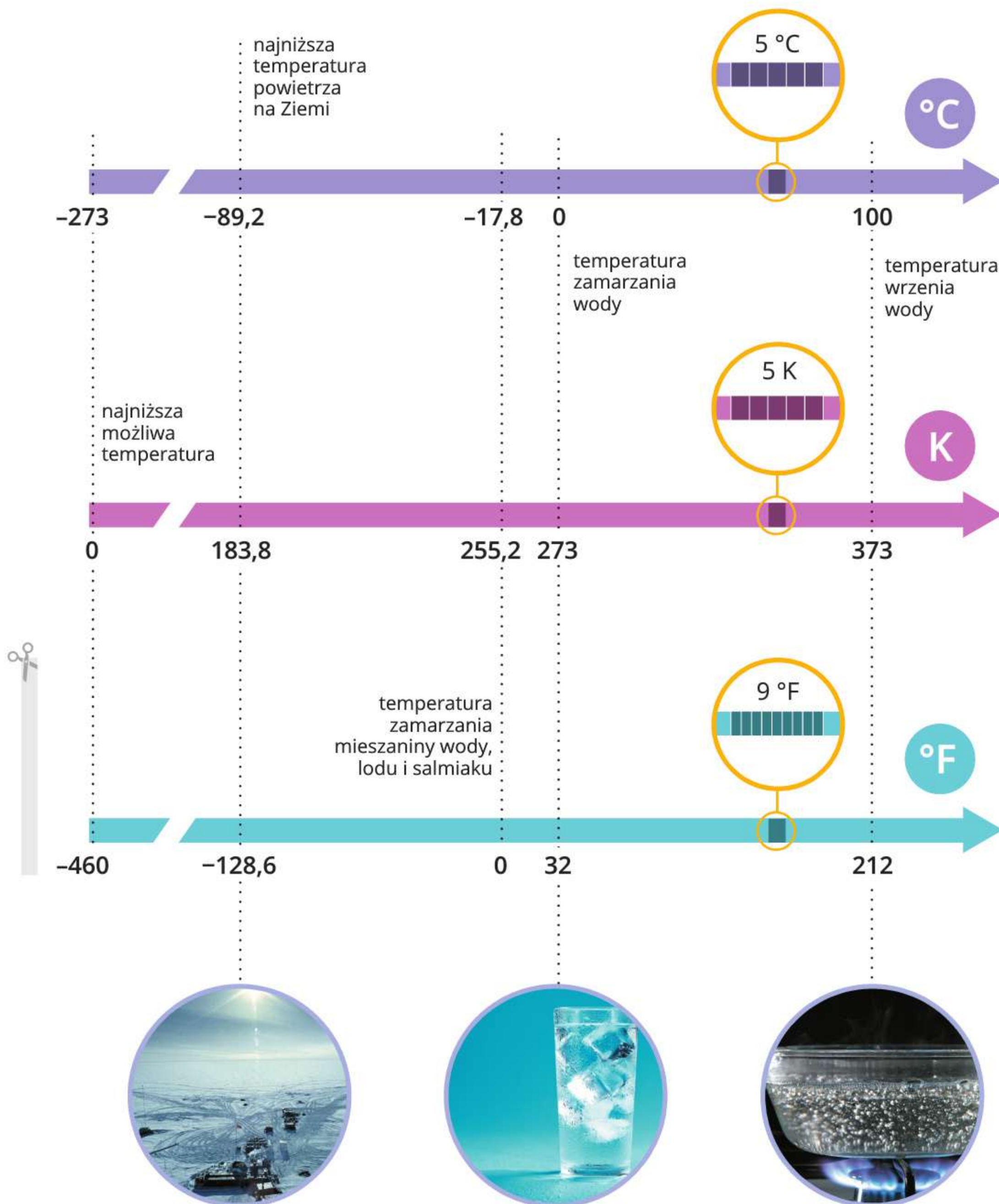
Budujemy termometr

1. Do doświadczenia będą potrzebne: mała butelka (do 100 ml), elastyczny przezroczysty wężyk, deseczka, taśma dwustronna, zabarwiona woda, kostki lodu, miseczka.



2. Wężyk formujemy w kształt litery U i przyklejamy taśmą dwustronną do deseczki ustawionej pionowo. Do wężyka wlewamy zabarwioną wodę, a jeden jego koniec łączymy z butelką. Obok wężyka umieszczamy pasek papieru (jak na ilustracji), na którym utworzymy skalę.
3. Jeżeli termometr budujemy w pomieszczeniu, możemy przyjąć, że wskazuje on temperaturę w przybliżeniu równą 20°C , czyli temperaturę otoczenia. Zaznaczamy na pasku papieru poziom wody w rurce jako ten odpowiadający temperaturze 20°C .
4. Następnie wrzucamy do miseczki kilka kostek lodu. Czekamy, aż większa część lodu się roztopi. Temperatura topniejącego lodu i powstałej z niego wody jest równa 0°C . W miseczce umieszczamy butelkę połączoną z wężykiem i czekamy, aż woda w naszej U-rurce osiągnie nowy poziom i przestanie się przemieszczać. Zaznaczamy na pasku poziom wody odpowiadający temperaturze 0°C .
5. Odcinek między dwiema kreskami dzielimy na 20 równych części – każda z nich będzie odpowiadała zmianie temperatury o 1°C .

Porównanie różnych temperatur w skalach: Celsjusza, Kelvina i Fahrenheita



W fizyce często korzystamy z jeszcze innej skali temperatur – **skali Kelvina**. Jest ona nazywana także skalą bezwzględną (lub absolutną), gdyż 0 K (kelwinów) odpowiada najniższej temperaturze, jaką teoretycznie mogą mieć ciała. Jest to temperatura, w której ustają wszelkie drgania cząsteczek. Temperatura 0 K odpowiada temperaturze $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperaturę w kelwinach (nie używamy w tym przypadku wyrazu stopień) otrzymuje się przez dodanie do temperatury wyrażonej w stopniach Celsjusza stałej wartości równej 273,15 (w zaokrągleniu 273). Na przykład $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to 293 K, $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ to 294 K, $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ to 295 K itd. Warto zauważyć także, że zmiana temperatury o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (np. z $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) oznacza zmianę temperatury również o 1 K (czyli z 294 K na 295 K). Aby temperaturę wyrażoną w skali Celsjusza zamienić na temperaturę w skali Kelvina, korzystamy ze wzoru:

$$T_K = (T_C + 273)\text{ K}$$

Natomiast aby temperaturę wyrażoną w skali Kelvina zamienić na temperaturę w skali Celsjusza, należy skorzystać ze wzoru:

$$T_C = (T_K - 273)\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Zobacz, jak to zrobić!

1. Rtęć w temperaturze pokojowej jest cieczą, a zamarza w temperaturze ok. $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obliczmy, ile wynosi ta temperatura w skali Kelvina.

$$T_K = (-39 + 273)\text{ K} = 234\text{ K}$$

Odpowiedź: Temperatura topnienia rtęci jest równa 234 K.

2. Najwyższą temperaturę na powierzchni planet Układu Słonecznego zanotowano na Wenus – jest ona równa 737 K. Obliczmy, jaka jest temperatura powierzchni Wenus w skali Celsjusza.

$$T_C = (737 - 273)\text{ }^{\circ}\text{C} = 464\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Odpowiedź: Temperatura na powierzchni Wenus jest równa $464\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Podsumujmy!

- ▶ **Termometr wskazuje własną temperaturę**, więc podczas pomiaru należy poczekać, aż jego temperatura wyrówna się z temperaturą mierzonego obiektu (ciała będą wówczas w równowadze termicznej).
- ▶ Termometry wskazują wynik w określonej **skali temperatur**. Każdy termometr jest odpowiednio wyskalowany.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

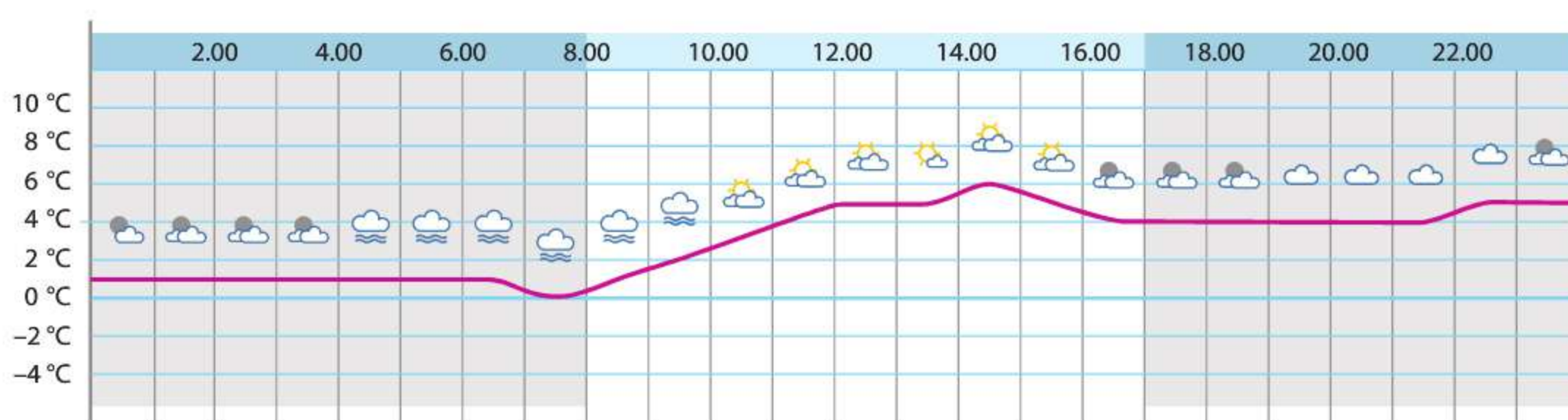
1.	Pomiar temperatury ciała to czynność, podczas której termometr (dotykowy) powinien osiągnąć taką samą temperaturę jak ciało.	P	F
2.	Ciała o temperaturze $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz $97,9\text{ }^{\circ}\text{F}$ nie są w równowadze termicznej.	P	F
3.	Jeżeli temperatura wody wzrosła o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, to ogrzano ją o 20 K .	P	F
4.	W skali Kelvina nie ma ujemnych temperatur.	P	F

2. Poszukaj informacji o temperaturach, w których zmienia się stan skupienia innych substancji niż woda. Skorzystaj z wyszukanych informacji i zaproponuj swoją własną skalę temperatur. Jaką temperaturę miałyby twoje ciało w tej skali?

3. Podczas zimowego słonecznego dnia termometry wskazywały $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a w nocy temperatura spadła do $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oblicz, o ile zmieniła się temperatura powietrza w ciągu doby. Wynik podaj w skali Celsjusza oraz w skali Kelvina.

4. W miejscowości Ojmiakon (wschodnia Syberia) zanotowano największe roczne zmiany temperatury na powierzchni Ziemi. Różnica pomiędzy najwyższą a najniższą temperaturą była tam równa 104 K . Najniższa temperatura zmierzona w tej miejscowości wynosiła $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oblicz najwyższą temperaturę zmierzoną w miejscowości Ojmiakon. Wynik podaj w stopniach Celsjusza.

5. Na wykresie przedstawiono zmiany temperatury powietrza w Kartuzach pewnego dnia.



Na podstawie tego wykresu podaj:

- najniższą oraz najwyższą temperaturę w ciągu doby;
- przedziały czasu, w których temperatura rosła;
- przedziały czasu, w których temperatura była stała.

32. Energia wewnętrzna

- ▶ Czym jest energia wewnętrzna i jak ją zmienić?
- ▶ Co to jest ciepło?



Każde ciało zbudowane jest z cząsteczek, które się poruszają i oddziałują ze sobą. Z ruchem związana jest energia kinetyczna tych cząsteczek, a z oddziaływaniem – ich energia potencjalna. Sumę energii wszystkich cząsteczek ciała nazywamy jego energią wewnętrzną.



Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznej i energii potencjalnej wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest to ciało.

Gdy zmieniają się energie cząsteczek tworzących ciało, zmienia się jego energia wewnętrzna. Można to rozpoznać po zmianie jego temperatury lub stanu skupienia.

Podczas kontaktu ciała cieplejszego z zimniejszym następuje między nimi wymiana energii: ciało o wyższej temperaturze przekazuje część swojej energii wewnętrznej ciału o niższej temperaturze. Proces ten nazywamy przepływem energii w postaci ciepła. **Ciepło przepływa od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze (ryc. 32.1.), a cały proces trwa aż do chwili, gdy temperatury obu ciał się wyrównają.**

Ciepło mierzymy w dżulach (J) i oznaczamy symbolem Q .



Ryc. 32.1. Ciepło przepływa od gorącej kawy do zmrożonych lodów.



Ryc. 32.2. W wyniku przepływu ciepła następuje wzrost energii wewnętrznej wody i kociołka.

Gdy ogrzewamy naczynie z wodą, ich energie wewnętrzne zwiększają się. Ciepło przepływa od płomienia o wyższej temperaturze do naczynia i wody o niższej temperaturze (ryc. 32.2.).

Energia wewnętrzna ciała zwiększy się także, gdy wykonamy nad ciałem pracę. Na przykład podczas pompowania dętki koła rowerowego działamy na tłok pompki siłą i tłok się przesuwają, czyli wykonujemy pracę (ryc. 32.3.). Nie powoduje to zmiany energii mechanicznej pompki, ale skutkuje wzrostem energii wewnętrznej, więc temperatura powietrza w pompce również wzrasta. Możemy się o tym przekonać, gdy dotkniemy wylotu pompki.

Gdy przesuwamy tłok pompki niepodłączonej do dętki, działamy mniejszą siłą, a wzrost temperatury powietrza w pompce jest mniejszy. Zatem im większą pracę wykonamy podczas przesuwania tłoka, tym większy będzie przyrost energii wewnętrznej powietrza w pompce.



Ryc. 32.3. Podczas pompowania dętki koła rowerowego zwiększa się energia wewnętrzna powietrza w pompce.

Energię wewnętrzną ciała można zatem zmienić na dwa sposoby: przez dostarczenie ciału ciepła lub przez wykonanie nad nim pracy. To właśnie dlatego, gdy chcemy ogrzać dłonie, umieszczamy je nad kaloryferem (dostarczamy im ciepła) albo pocieramy jedną o drugą (wykonujemy pracę).



Energię wewnętrzną ciała można zmienić przez wykonanie nad nim pracy lub przez przekazanie energii w postaci ciepła.

Zbadaj to sam!

Zmieniamy energię wewnętrzną ciała

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa jednakowe kawałki plasteliny oraz termometr elektroniczny z sondą (np. kuchenny).
2. Umieść wewnątrz każdego kawałka plasteliny sondę termometru i zmierz ich temperatury początkowe.
3. Mniej więcej przez 2 minuty trzymaj jeden z kawałków plasteliny w zamkniętej dłoni.
4. Ponownie wprowadź sondę do środka tego kawałka plasteliny i zmierz jego temperaturę. Zapisz wynik pomiaru.
5. Mniej więcej przez 2 minuty wykonuj pracę: drugi kawałek plasteliny intensywnie ugniataj w dłoniach, zmieniaj jego kształt.
6. Wprowadź sondę do środka ugniatanego kawałka plasteliny i zmierz jego temperaturę.
7. Porównaj wyniki pomiarów temperatury dla obu kawałków plasteliny i zapisz wniosek z tego doświadczenia.



Dowiedz się więcej!

„Spadające gwiazdy”

W sierpniowe noce na niebie można obserwować Perseidy. Jest to rój meteorów* widoczny w okolicach gwiazdozbioru Perseusza – stąd ich nazwa. Świecenie meteoroidów jest spowodowane ich wysoką temperaturą. Gdy drobina materii porusza się w kosmosie, jej temperatura jest równa kilku kelwinom. Jednak gdy taka drobina wpada w atmosferę Ziemi, mocno się rozgrzewa. Praca wykonywana przez siły oporu, hamujące poruszający się szybko meteoroid, powoduje wzrost jego energii wewnętrznej.

* meteor – świecący ślad, jaki zostawia po sobie meteoroid, czyli odłamek skalny wpadający do atmosfery ziemskiej z kosmosu.



Podsumujmy!

- ▶ **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej i energii potencjalnej wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest to ciało.
- ▶ Energię wewnętrzną ciała można zmienić na dwa sposoby: przez **wykonanie nad nim pracy** lub przez **przekazanie energii w postaci ciepła**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Energia wewnętrzna ciała to suma jego energii kinetycznej i energii potencjalnej.	P	F
2.	Wykonanie pracy podczas ściskania powietrza w pompce powoduje wzrost temperatury pompki i powietrza.	P	F
3.	Zmiana energii wewnętrznej ciała może nastąpić w wyniku dostarczenia do niego ciepła.	P	F
4.	Ciepło przepływa od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.	P	F

2. Z wysokości 1 km nad powierzchnią Ziemi spada ruchem jednostajnym kropla wody o temperaturze początkowej 5 °C. Czy temperatura tej kropli tuż przed uderzeniem w grunt będzie taka sama jak na początku czy wyższa? Zakładamy, że masa kropli pozostanie taka sama.

3. Podaj dwa przykłady sytuacji z życia codziennego, w których przyrost energii wewnętrznej ciał nastąpił w wyniku wykonania pracy.

4. Podaj dwa przykłady sytuacji z życia codziennego, w których przyrost energii wewnętrznej ciał nastąpił w wyniku dostarczenia ciepła.

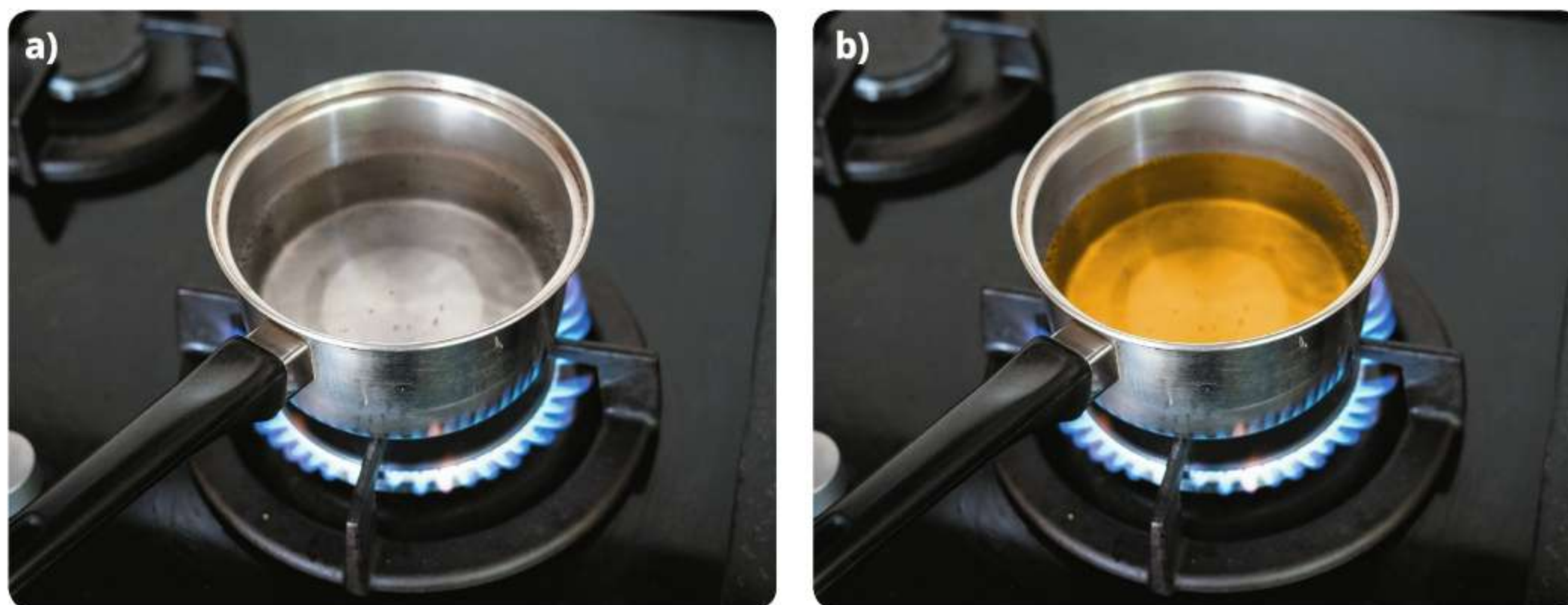
5. Dwie monety pocierano o siebie i wykonano przy tym pracę 200 J. Jednocześnie podczas ogrzewania dostarczono do nich 240 J ciepła. O ile zmieniła się energia wewnętrzna tych monet?

33. Ciepło właściwe

- ▶ Czym jest ciepło właściwe i jaką ma jednostkę?
- ▶ Jak wykorzystać informacje o cieple właściwym?



W kuchni można zaobserwować, że podczas podgrzewania identycznych mas różnych substancji w jednakowych warunkach – tak samo długo, w takich samych naczyniach ustawionych na identycznych palnikach – ich temperatury zmieniają się o różne wartości. Wynika to z właściwości cieplnych tych substancji.



Ryc. 33.1. Dostarczenie takiej samej ilości ciepła różnym substancjom – np. wodzie (a) i olejowi (b) – powoduje różną zmianę ich temperatury.

Ciepło właściwe c_w danej substancji wskazuje, jaką ilość ciepła Q należy dostarczyć ciału o masie 1 kg, aby zwiększyć jego temperaturę o 1 °C, lub ile ciepła odda to ciało podczas stygnięcia o 1 °C.

$$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$



Jednostką ciepła właściwego jest $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Ciepło właściwe to zupełnie inna wielkość fizyczna niż ciepło oznaczane symbolem Q . Ciepło właściwe jest cechą charakterystyczną każdej substancji w określonym stanie skupienia (tzn. woda i olej mają różne wartości ciepła właściwego, ale także woda ma inne ciepło właściwe niż powstały z niej lód lub para wodna).

Ciepło właściwe wody wynosi $4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Oznacza to, że dostarczenie kilogramowi wody energii 4190 J spowoduje wzrost temperatury tej wody o 1°C ($\Delta T = 1^\circ\text{C}$), a odebranie takiej ilości energii będzie skutkowało obniżeniem temperatury o 1°C ($\Delta T = -1^\circ\text{C}$).



Ilość ciepła Q potrzebnego do ogrzania ciała zależy od ciepła właściwego c_w substancji, z której jest ono zbudowane, od jego masy m , oraz od zmiany temperatury ΔT , jaką chcemy uzyskać:

$$Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T$$

Zależność ta jest prawdziwa, jeżeli w trakcie ogrzewania nie zachodzi zmiana stanu skupienia.

Ciepło właściwe oleju to $2050 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, zatem dostarczenie takiej samej ilości energii jednakowej masie wody ($4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$) i oleju spowoduje ponad dwukrotnie większą zmianę temperatury oleju w porównaniu ze zmianą temperatury wody. Jeżeli do dwóch ciał o takiej samej masie, ale o różnych ciepłach właściwych, dostarczymy taką samą ilość ciepła, to ciało o mniejszym cieple właściwym zwiększy swoją temperaturę o większą wartość.

Zobacz, jak to zrobić!

Olej o masie 100 g i temperaturze 40°C pozostawiono do ostygnięcia. Po 40 minutach osiągnął on temperaturę 25°C . Ciepło właściwe oleju jest równe $2050 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Obliczmy, ile ciepła olej przekazał do otoczenia podczas stygnięcia. Wynik podajmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$, $\Delta T = 25^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = -15^\circ\text{C}$, $c_w = 2050 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Szukane: Q

Rozwiązanie:

Ilość ciepła oddawana podczas ochładzania ciała jest równa ilości energii, jaką trzeba dostarczyć ciału podczas jego ogrzewania o tyle samo stopni, więc możemy przyjąć, że $\Delta T = 15^\circ\text{C}$.

Korzystamy ze wzoru:

$$Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T = 2050 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,1 \text{ kg} \cdot 15^\circ\text{C} = 3075 \text{ J} \approx 3100 \text{ J}$$

Odpowiedź: Olej podczas stygnięcia oddał do otoczenia ok. 3100 J ciepła.

Wyznaczamy ciepło właściwe wody z użyciem czajnika elektrycznego

Uwaga, zachowaj ostrożność podczas wykonywania tego doświadczenia.

1. Do doświadczenia będą potrzebne: czajnik elektryczny o znanej mocy, waga, termometr oraz stoper.
2. Odczytaj moc czajnika (P) z tabliczki znamionowej znajdującej się na jego spodzie. Jeżeli moc podana jest jako zakres wartości, przyjmij wartość ze środka tego zakresu.



Przyjmujemy, że
moc czajnika jest równa
2850 W.

3. Wlej do czajnika znaną masę wody.
4. Zmierz temperaturę początkową wody w czajniku.
5. Włącz czajnik. Zmierz czas ogrzewania wody od temperatury początkowej do temperatury wrzenia (woda wrze w temperaturze $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Załóż, że czajnik wyłącza się automatycznie, gdy woda osiągnie temperaturę wrzenia.
6. Zapisz wyniki pomiarów: temperaturę początkową (T_1) i końcową (T_2), masę wody (m), czas ogrzewania wody (t).
7. Oblicz ciepło właściwe wody. Skorzystaj z zależności:

$$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

gdzie:

Q – ciepło dostarczone do wody,

ΔT – zmiana temperatury $\Delta T = T_2 - T_1$.

Ciepło dostarczone do wody oblicz ze wzoru:

$$Q = P \cdot t$$

8. Porównaj otrzymany wynik z wartością podawaną w tablicach fizycznych. Jak należy interpretować wynik większy od wartości tablicowej, a jak mniejszy?

Materiały o różnym cieple właściwym

W życiu codziennym do różnych zastosowań dobiera się materiały o różnym cieple właściwym.



Do napełniania grzejników i termoforów stosujemy ciecze o dużym cieple właściwym, np. wodę ($4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$) lub glikol ($3170 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$). Rozgrzany do temperatury 60°C grzejnik lub termofor oddaje energię, czyli ogrzewa otoczenie, przez długi czas.



Piece kaflowe budowane są z materiału o dużo mniejszym cieple właściwym niż woda. Gromadzą jednak dużą energię, ponieważ mają znaczną masę.

W urządzeniach, które powinny rozgrzać się do wysokiej temperatury w krótkim czasie (np. toster lub żelazko), stosujemy materiały o niewielkim cieple właściwym,

np. aluminium ($900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$).

Wykonane z nich elementy mają też niedużą masę.



Dowiedz się więcej!

Jak upiec dobrą pizzę?

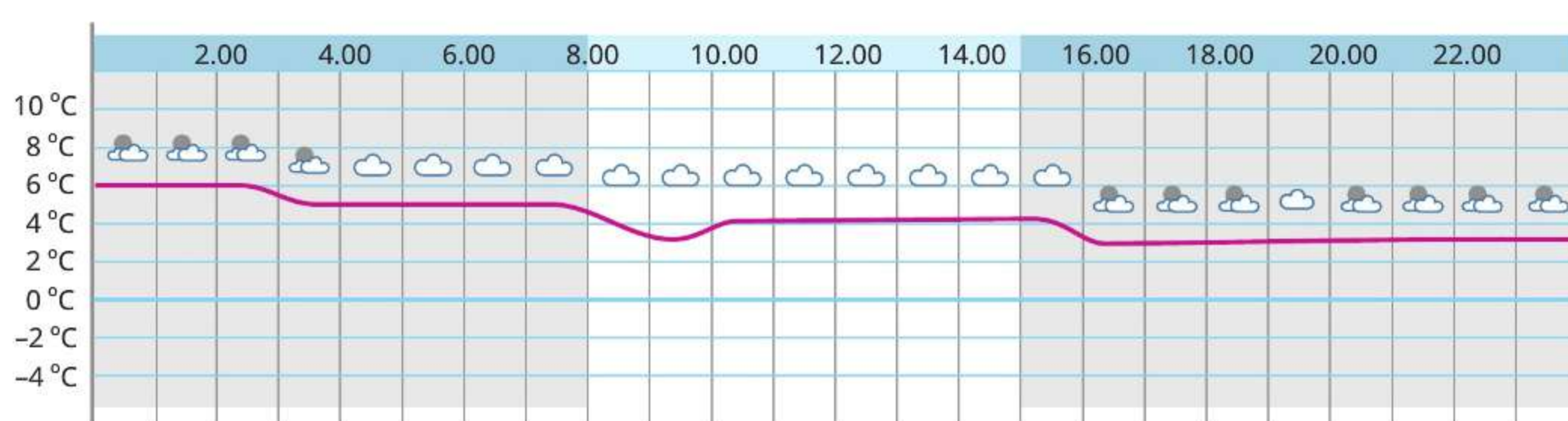
Otwarcie piekarnika podczas przyrządzania potraw – np. pizzy, która wymaga temperatury powyżej $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – powoduje znaczne wahania temperatury wewnątrz urządzenia. Ciepło właściwe powietrza to ok. $1000\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$, a w piekarniku o wymiarach $60\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ jest go zaledwie 220 g , więc jego energia wewnętrzna jest niewielka, nawet jeśli jest ono nagrzane. Jeśli zależy nam na stałej temperaturze pieczenia, warto używać tzw. kamienia do pizzy. Taki kamień (ciepło właściwe tego samego rzędu co powietrze) ma masę kilku kilogramów i skutecznie utrzymuje temperaturę. Oprócz tego równomiernie rozprowadza ciepło na całej powierzchni ciasta oraz sprawia, że pizza jest chrupiąca od spodu i jednocześnie nieprzesuszona od góry.



Ciepło właściwe piasku to ok. $840\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$, a wody – aż $4190\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$, zatem dostarczenie takiej samej ilości energii jednakowym masom tych substancji będzie powodowało niemal pięciokrotnie większą zmianę temperatury piasku w porównaniu ze zmianą temperatury wody. To dlatego duże zbiorniki wodne mają wpływ na temperaturę powietrza w swoim sąsiedztwie. Ogrzanie dużej masy wody wymaga dostarczenia dużej energii, natomiast podczas jej ochładzania (np. w nocy) energia ta jest oddawana do otoczenia, które się ogrzewa.

Na przykład Hel jest miejscowością otoczoną wodami Bałtyku, zatem różnice temperatur między dniem a nocą są tam niewielkie. Na rycinie 33.2 przedstawiono zmiany temperatury powietrza w Helu w grudniowy dzień.

Z kolei Sahara to pustynia leżąca w północnej części Afryki. Temperatura powietrza na Saharze w ciągu dnia sięga $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, a nocą spada do $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

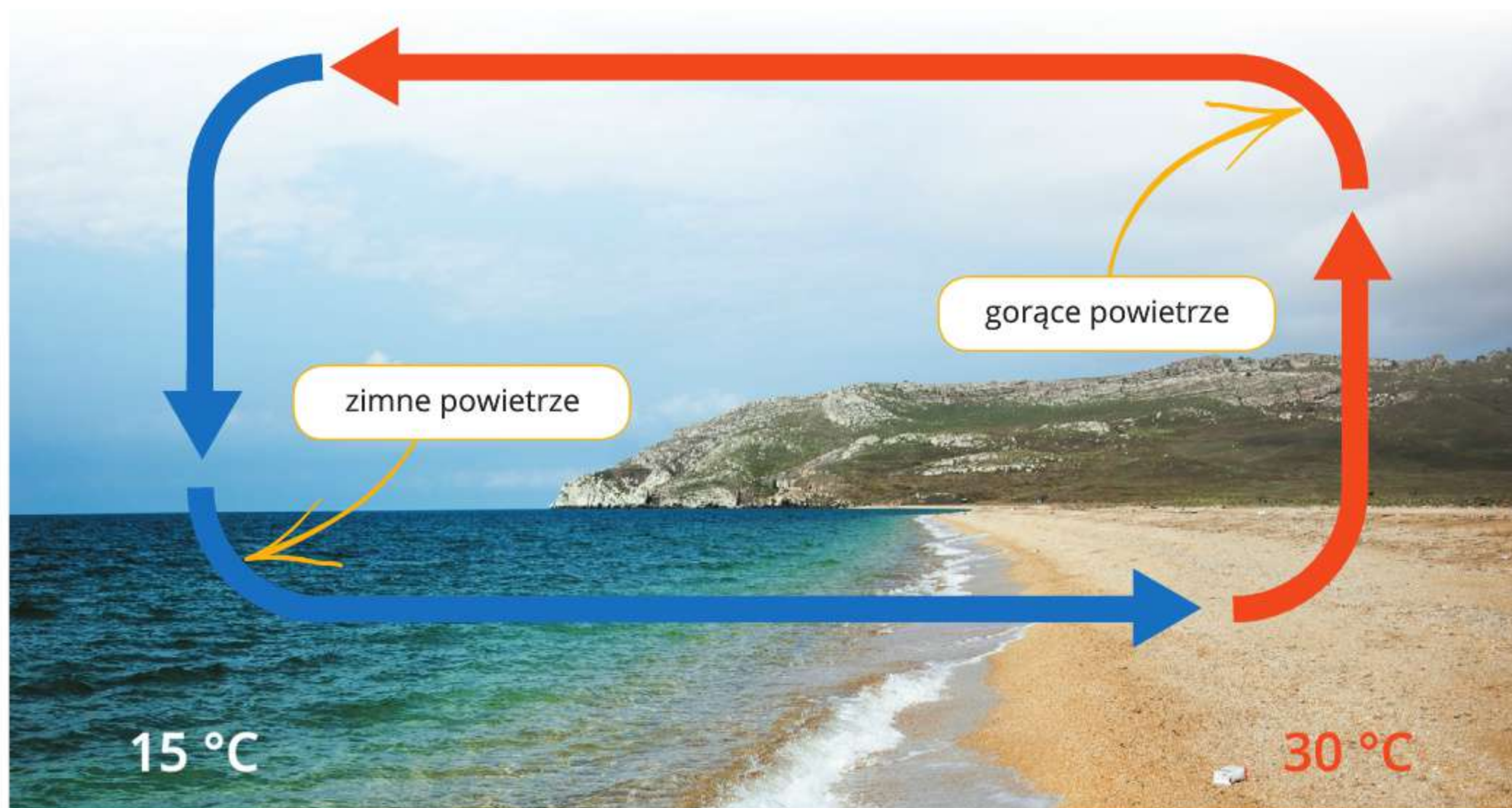


Ryc. 33.2. Dobowe zmiany temperatury w Helu

Dowiedz się więcej!

Bryza dzienna i nocna

Woda morska nagrzewa się wolniej niż piasek na lądzie. Gdy temperatura gruntu na brzegu wzrasta, to powietrze nad nim rozgrzewa się i unosi do góry. Na jego miejsce napływa chłodniejsze i bardziej wilgotne powietrze znad morza. Ten ruch powietrza obserwowany jest w ciągu dnia i nazywa się dzienną bryzą morską. Ma kierunek znad morza ku lądowi.



W nocy woda morska oddaje ciepło dłużej niż ląd, więc nocna bryza lądowa jest zwrócona w przeciwnym kierunku niż dzienna morska. To powietrze przepływające znad lądu ku wodzie. Zjawiska te są możliwe dlatego, że woda i ląd mają różne właściwości cieplne.

Podsumujmy!

- ▶ **Ciepło właściwe** c_w wskazuje, jaką ilość ciepła Q należy dostarczyć substancji o masie 1 kg, aby zwiększyć jej temperaturę o 1 °C, lub ile ciepła odda podczas stygnięcia o 1 °C.
- ▶ Jednostką ciepła właściwego jest $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.
- ▶ Ciepło Q potrzebne do ogrzania ciała o masie m , aby jego temperatura wzrosła o ΔT , obliczamy ze wzoru:

$$Q = c_w \cdot m \cdot \Delta T$$

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Do ogrzania (o tyle samo stopni Celsjusza) dwa razy większej masy tej samej substancji potrzeba dwa razy mniejszej energii.	P	F
2.	Ciepło i ciepło właściwe mają tę samą jednostkę.	P	F
3.	Ciepło właściwe wody i ciepło właściwe oleju mają bardzo zbliżone wartości.	P	F
4.	Piasek na plaży w słoneczny dzień osiąga wyższą temperaturę niż woda, bo ma większe ciepło właściwe.	P	F

2. Ziemniak zawiera więcej wody niż bułka o tej samej masie. W rozwiązaniu można pominąć ciepło właściwe suchej masy ziemniaka i bułki.

Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

Podczas ogrzewania o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 100 gramów bułki i 100 gramów ziemniaka do pieczywa należy dostarczyć

A.	mniej energii,	ponieważ	1.	bułka ma mniejsze ciepło właściwe niż ziemniak.
B.	więcej energii,		2.	bułka ma większe ciepło właściwe niż ziemniak.

3. Kamień do wypieku pizzy wykonano z marmuru o cieple właściwym $880 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Oblicz, ile energii należy dostarczyć do tego kamienia, aby zmienić jego temperaturę o $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Masa kamienia jest równa 6 kg. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

4. W celu ogrzania oleju do smażenia frytek użyto 400 kJ ciepła. Temperatura początkowa oleju wynosiła $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a końcowa $220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oblicz masę użytego oleju, jeśli wiadomo, że jego ciepło właściwe jest równe $2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

5. Oszacuj moc, jaką powinien mieć czajnik elektryczny, aby w czasie 5 minut można było w nim zagotować 1,2 litra wody o temperaturze początkowej $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Załóż, że energia elektryczna dostarczona do czajnika w całości jest zużywana na ogrzanie wody. Przyjmij, że ciepło właściwe wody jest równe $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

34. Stany skupienia a temperatura

- ▶ Czy ciało zmienia stan skupienia w określonej temperaturze?
- ▶ Co dzieje się z materią, gdy zmienia stan skupienia?



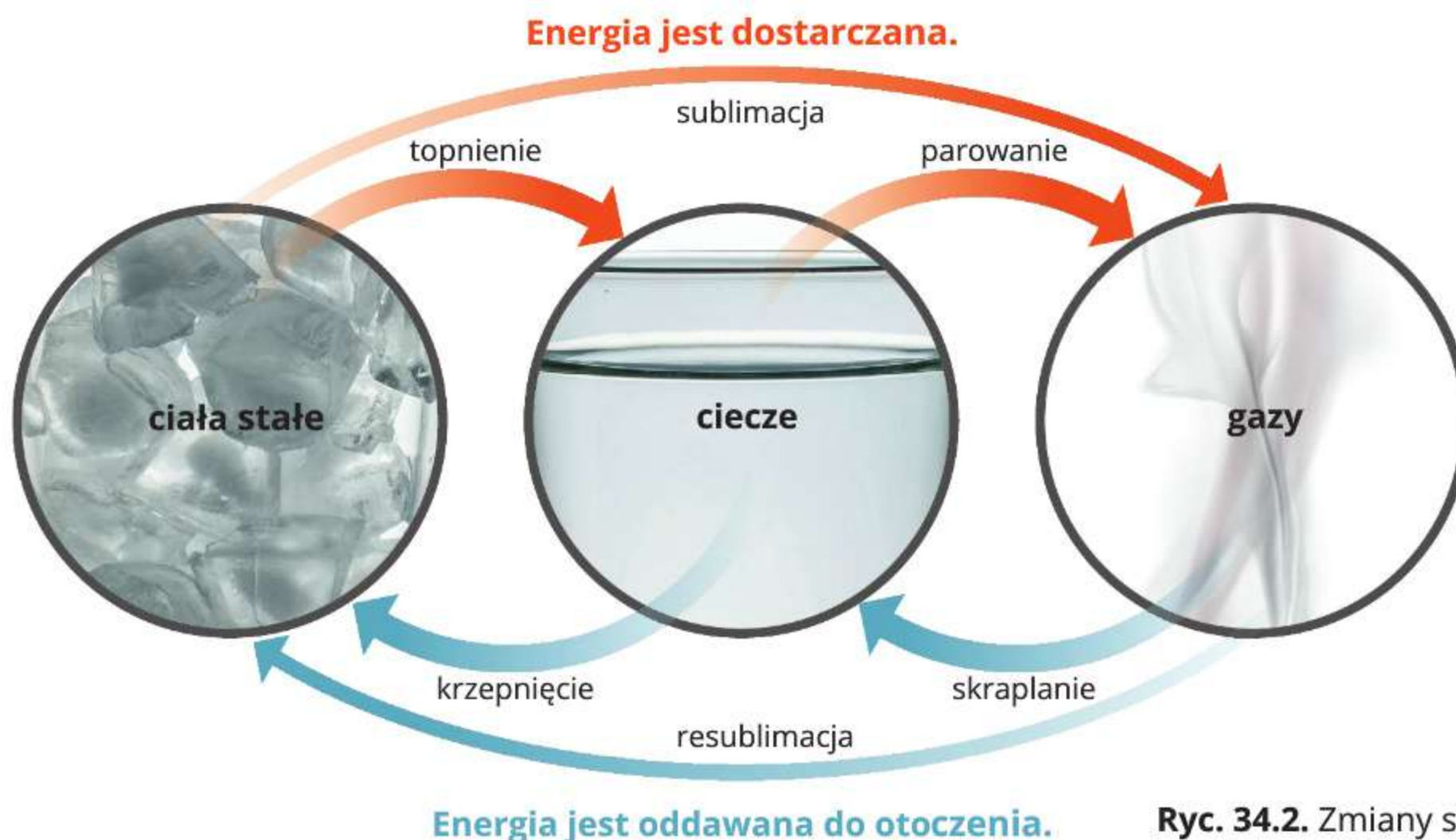
Ryc. 34.1. Substancje w różnych stanach skupienia w tej samej temperaturze: powietrze w wodzie, woda, stalowy kran

W tej samej temperaturze różne substancje mogą znajdować się w różnych stanach skupienia. Jedna może być ciałem stałym, inna cieczą, a jeszcze inna gazem (ryc. 34.1.).

Większość substancji w pewnym charakterystycznym dla siebie zakresie temperatur jest ciałem stałym, w innym cieczą, a w jeszcze innym gazem. Wobec tego stan skupienia danej substancji zależy od jej temperatury, a każda zmiana tego stanu zachodzi przy określonej liczbie stopni Celsjusza (innej dla każdej substancji).

Przejście substancji ze stanu stałego w ciekły nazywamy **topnieniem**. W życiu codziennym najczęściej mamy do czynienia z topnieniem lodu. Lód topi się w temperaturze $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a więc tyle wynosi jego temperatura topnienia. Procesem odwrotnym jest **krzepnięcie**. Woda zamienia się w lód, czyli krzepnie, również w temperaturze $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura krzepnięcia jest zatem równa temperaturze topnienia.

Przejście substancji ze stanu ciekłego w gazowy nazywamy **parowaniem**. Proces odwrotny to **skraplanie**, czyli zamiana gazu w ciecz.



Ryc. 34.2. Zmiany stanu skupienia materii

Bezpośrednie przejście ciała stałego w gaz z pominięciem stanu ciekłego nazywamy **sublimacją**. Można to też nazwać parowaniem ciała stałego. **Resublimacja** to proces odwrotny do sublimacji, czyli bezpośrednie przejście gazu w ciało stałe z pominięciem stanu ciekłego.

Obniżanie temperatury ciała stałego nie powoduje zmiany jego stanu skupienia, np. lód w temperaturze $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ jest nadal ciałem stałym. Ogrzewany gaz także pozostaje w tym samym stanie skupienia, np. powietrze o temperaturze $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ nadal jest gazem.

Parowanie cieczy z jej powierzchni (powierzchni swobodnej cieczy) odbywa się w każdej temperaturze. **Wrzenie** to bardzo gwałtowne parowanie, które obejmuje całą objętość cieczy. Podczas wrzenia wody powstają w niej pęcherzyki pary, które wypływają na powierzchnię. **Temperatura cieczy podczas wrzenia pozostaje stała** mimo dostarczania energii. Temperatura wrzenia zależy od ciśnienia panującego nad powierzchnią cieczy.

Dowiedz się więcej!

Garnek do gotowania mleka

Podczas gotowania mleko często się przypala, gdyż różnica temperatur między rozgrzanym dnem garnka a mlekiem jest zbyt duża. W budowie garnka do mleka z tzw. płaszczem wodnym wykorzystuje się fakt, że podczas wrzenia wody jej temperatura nie ulega zmianie. Garnek ma podwójne ścianki, między które wlewa się wodę. To ona najpierw ogrzewa się podczas podgrzewania garnka. Gdy woda między ściankami naczynia wrze, wewnętrzne dno garnka osiąga najwyższą temperaturę – temperaturę wrzenia wody, czyli $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dzięki temu mleko się nie przypala.

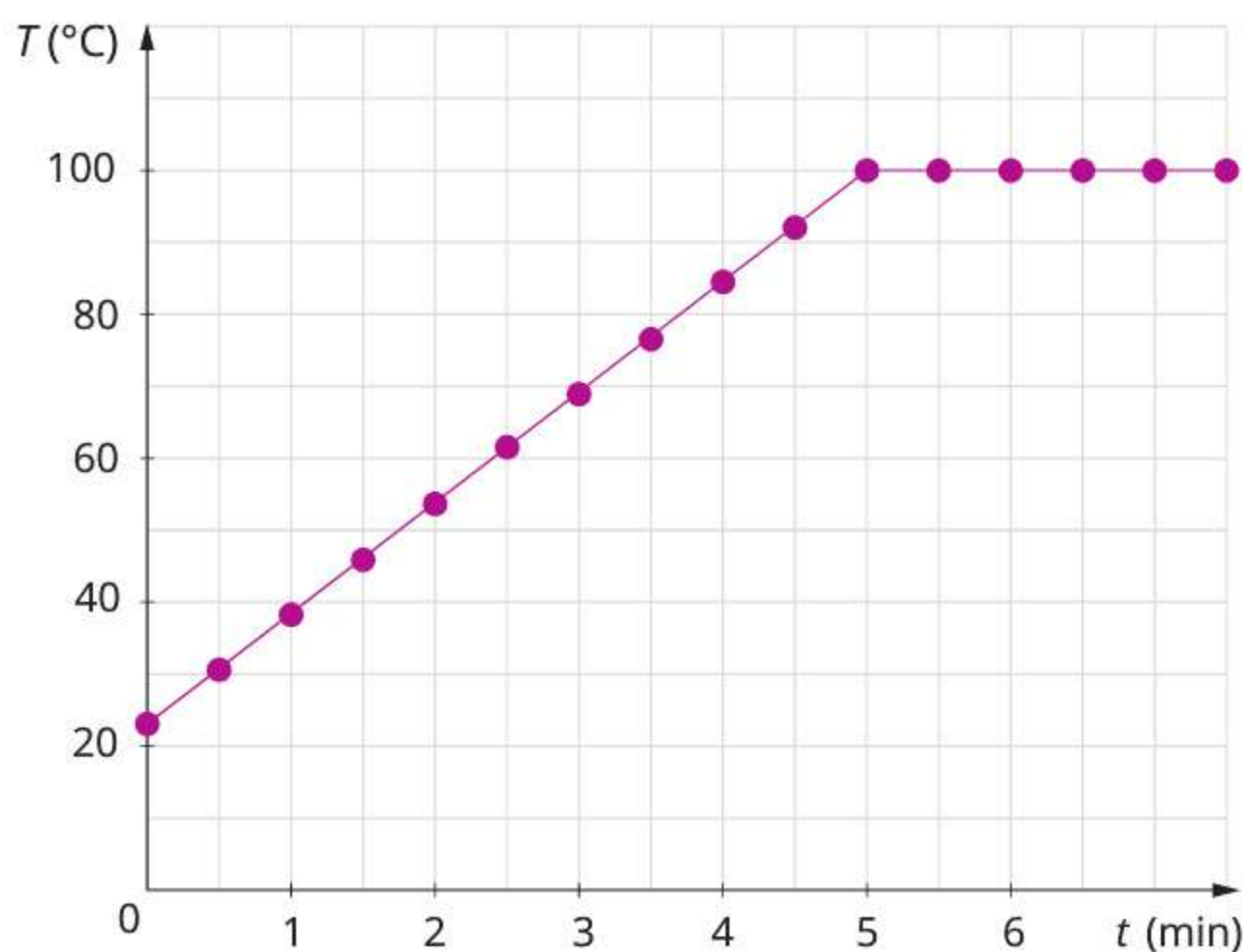
Konstrukcja garnka nie tylko zapobiega przypaleniu mleka, ale umożliwia też na przykład rozpuszczanie czekolady czy przygotowywanie sosów wrażliwych na zbyt wysoką temperaturę.



Zobacz, jak to zrobić!

Jak zmienia się temperatura wody podczas jej ogrzewania?

W czajniku elektrycznym ogrzewano wodę, a jednocześnie odczytywano jej temperaturę i notowano wskazania termometru umieszczonego w środku. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie.



Z wykresu można odczytać, że przez pierwsze 5 minut ogrzewania wody jej temperatura wzrosła z 24 °C do 100 °C, czyli zmieniła się o 76 °C. Po osiągnięciu temperatury 100 °C woda zaczęła wrzeć. Podczas wrzenia nadal dostarczano jej energię, ale temperatura cieczy pozostawała cały czas taka sama.



Zbadaj to sam!

Jak zmienia się temperatura lodu podczas jego topnienia?

- 1.** Do doświadczenia będą potrzebne: kilka kostek lodu, naczynie (np. szklanka lub kubek), termometr kuchenny lub zaokienny, stoper.
- 2.** Do naczynia wsyp pokruszone kostki lodu i umieść między nimi termometr.
- 3.** Co 30 sekund notuj wskazania termometru – tak długo, aż cały lód się stopi.
- 4.** Wyniki pomiarów przedstaw na wykresie zależności temperatury od czasu.

W niektórych ciałach stałych, takich jak lód czy metale, cząsteczki ułożone są w sposób uporządkowany. W tych substancjach podczas topnienia, wrzenia i sublimacji dostarczanie ciepła nie powoduje zmiany temperatury. Dostarczana energia jest wykorzystywana do zmiany stanu skupienia, czyli sposobu ułożenia cząsteczek. Te substancje mają określone temperatury topnienia i wrzenia. Krzepnięcie, skraplanie i resublimacja także zachodzą w temperaturach charakterystycznych dla danej substancji.

W naszym otoczeniu można spotkać także ciała stałe, których cząsteczki nie tworzą uporządkowanej struktury. Należą do nich na przykład szkło i smoła. Takie substancje nie mają określonej temperatury topnienia. Podczas ogrzewania stają się coraz bardziej miękkie i plastyczne (ryc. 34.3.), a dopiero po pewnym czasie robią się płynne.

Podczas krzepnięcia cieczy także zmienia się uporządkowanie cząsteczek i gęstość większości substancji rośnie. Woda zachowuje się jednak inaczej – gdy zamarza, jej gęstość maleje. To dlatego kostki lodu pływają w szklance pełnej wody. Skoro gęstość zamarzającej wody maleje, rośnie jej objętość. Oznacza to, że lód zajmuje większą objętość niż woda, z której powstał. Jest to jedną z przyczyn pękania nawierzchni dróg – woda wnika w szczeliny jezdni, a gdy zamarza, niszczy jej strukturę (ryc. 34.4.).



Ryc. 34.3. Ogrzewane szkło staje się plastyczne.



Ryc. 34.4. Skutki powiększania się objętości zamarzającej wody

Efekty zmian stanu skupienia w atmosferze



Zmiany temperatury powietrza są powodem zmian stanu skupienia wody zawartej w atmosferze. Choć para wodna jest niewidoczna, w wyniku jej skraplania i resublimacji powstają różne osady atmosferyczne.



Rosa powstaje wtedy, gdy para wodna skrapla się na wyziębionych nocą chłodnych powierzchniach, np. na trawie.

Mgła to drobne kropelki wody zawieszone nad powierzchnią Ziemi. Powstaje ona wtedy, gdy para wodna zawarta w powietrzu ochładza się i skrapla.



Gdy kropelki mgły zamarzają na powierzchni różnych przedmiotów, powstaje **szadź**.

Szron jest efektem resublimacji. Powstaje wówczas, gdy temperatura powietrza jest niższa niż 0°C – wówczas para wodna zamienia się bezpośrednio w drobne kryształki lodu na gałęziach i innych przedmiotach.



Podsumujmy!

- ▶ Substancje o uporządkowanej strukturze wewnętrznej mają **określone temperatury topnienia i wrzenia**.
- ▶ **Krzepnięcie** jest zjawiskiem odwrotnym do **topnienia**. Dla danej substancji temperatura krzepnięcia jest taka sama jak temperatura topnienia.
- ▶ **Skraplanie** jest zjawiskiem odwrotnym do **parowania**.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Temperatury topnienia i krzepnięcia tej samej substancji są różne.	P	F
2.	Ogrzewany olej podczas wrzenia nie zmienia swojej temperatury.	P	F
3.	Każda substancja ma określoną temperaturę parowania.	P	F
4.	Możliwe jest przejście ze stanu stałego bezpośrednio w gazowy.	P	F

2. Uczniowie wrzucili kostki lodu do metalowego kubka. Lód częściowo się stopił. Jaka była temperatura lodu i wody, która powstała podczas topnienia lodu?

3. W czajniku wrze woda. Zjawisko przedstawiono na zdjęciu, na którym zaznaczono obszary A i B. Uzupełnij zdania odpowiednimi wyrazami, wybranymi spośród podanych w nawiasach.

Podczas wrzenia wody przez gwizdek wydostaje się (*widoczny / niewidoczny*) gaz – para wodna. W miejscu oznaczonym literą A znajduje się (*para wodna / skroplona woda*), a w miejscu oznaczonym literą B – (*para wodna / skroplona woda*).



4. Ołowianą kostkę wrzucono do płynnego aluminium. Czy ołów się stopi? Sprawdź w dostępnych źródłach temperatury topnienia ołowiu i aluminium.

- 5*. Dlaczego mgły powstają na równinach w Polsce, a nie powstają na równinach na Saharze?

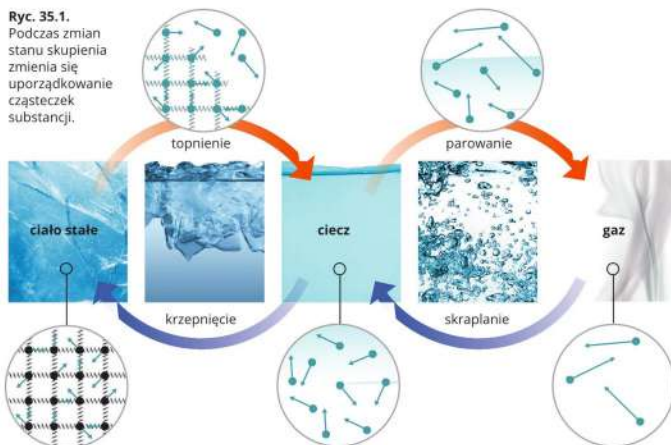
35. Energia podczas zmian stanu skupienia

- ▶ Co dzieje się z substancją, gdy dostarczamy do niej energię?
- ▶ Ile energii potrzeba, żeby zmienić stan skupienia ciała?



Lód to ciało stałe o uporządkowanej strukturze – jego cząsteczki są ze sobą związane i zajmują określone miejsca w przestrzeni. Podczas przemiany lodu w wodę rozrywane są wiązania między cząsteczkami, a to wymaga dostarczenia energii. Z kolei podczas przemiany wody w parę wodną cząsteczki odrywają się od pozostałych cząsteczek cieczy, a to także wymaga dostarczenia energii.

Ryc. 35.1.
Podczas zmian stanu skupienia zmienia się uporządkowanie cząsteczek substancji.



Zmiana stanu skupienia substancji polega zatem na zmianie stopnia uporządkowania cząsteczek. Topnienie, wrzenie i sublimacja to procesy, w których zmniejsza się uporządkowanie cząsteczek substancji, a to wymaga dostarczenia energii. Z kolei w procesach krzepnięcia, skraplania i resublimacji uporządkowanie cząsteczek substancji się zwiększa, co wymaga odebrania energii z tej substancji.

Do stopienia 1 kg lodu o temperaturze 0 °C potrzeba 334 000 J energii. Tyle samo energii odda do otoczenia 1 kg wody podczas jej zamarzania w temperaturze 0 °C. Mówimy, że ciepło topnienia lodu wynosi 334 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Ciepło topnienia L danej substancji wskazuje, ile energii potrzeba do zamiany 1 kg tej substancji z ciała stałego w ciecz w stałej temperaturze topnienia. Jednostką ciepła topnienia jest $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



Ryc. 35.2. Do stopienia płatka śniegu o niewielkiej masie potrzeba mniejszej energii niż do stopienia grudki śniegowej o znacznie większej masie.



Ciepło Q potrzebne do stopienia dowolnej masy m substancji w temperaturze topnienia można obliczyć ze wzoru:

$$Q = m \cdot L$$

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas letnich wędrówek po Błędnym Skałach (Góry Stołowe) w wąskich i zacienionych miejscach między skałami można zobaczyć resztki zimowego śniegu. Aby wyjaśnić, jak jest to możliwe, obliczmy, ile energii potrzeba do stopienia 50 kg lodu (a także śniegu) o temperaturze 0 °C. Ciepło topnienia lodu jest równe 334 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Dane: $m_l = 50 \text{ kg}$, $L = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Szukane: Q

Rozwiązanie:

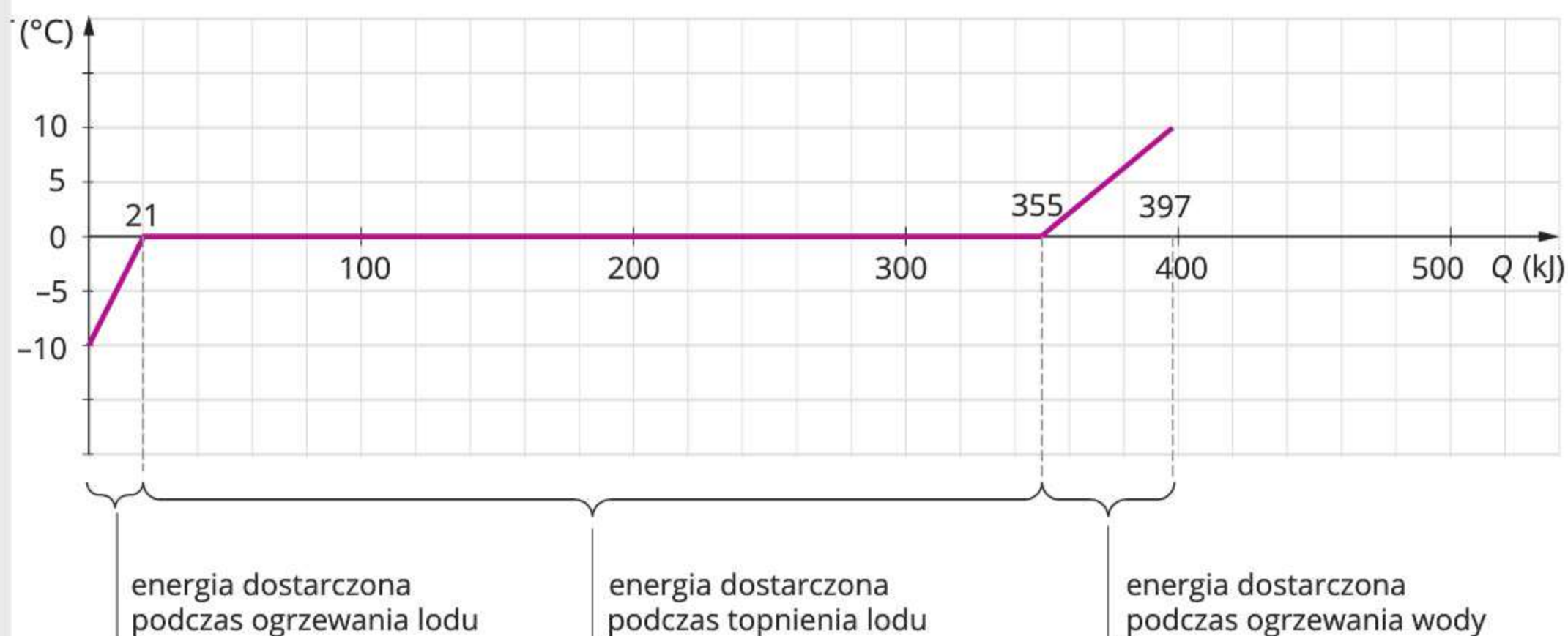
Ciepło potrzebne do stopienia lodu obliczamy ze wzoru:

$$Q = L \cdot m_l = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 50 \text{ kg} = 16\,700 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Aby stopić 50 kg lodu, potrzeba 16 700 kJ energii. Tak dużą energię śnieg musi pobrać z powietrza. W wąskich skalnych szczelinach ruch powietrza jest niewielki, a zatem wymiana ciepła z otoczeniem jest ograniczona – to dlatego śnieg pozostaje tam tak długo.



Na rycinie 35.3. przedstawiono wykres zależności temperatury 1 kg lodu (a następnie powstałej z niego wody) od dostarczonego ciepła. Temperatura początkowa lodu była równa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wskutek ogrzewania temperatura lodu rosła, a gdy osiągnęła $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozpoczął się proces topnienia i pojawiły się pierwsze kropelki wody. Podczas topnienia temperatura lodu mimo ogrzewania się nie zmieniała. Woda powstała z lodu również miała temperaturę $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po całkowitym stopieniu lodu podczas dalszego podgrzewania wody jej temperatura wzrastała.



Ryc. 35.3. Temperatura 1 kg lodu i powstałej z niego wody podczas dostarczania ciepła



Ryc. 35.4. Do stopienia lodu potrzeba dużo energii, dlatego proces ten zachodzi powoli.

Z wykresu 35.3. można odczytać, że energia potrzebna do stopienia 1 kg lodu ($334\text{ kJ} = 355\text{ kJ} - 21\text{ kJ}$) jest dużo większa od energii potrzebnej do jego ogrzania od temperatury $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do temperatury $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (21 kJ). To dlatego można cieszyć się lodami w upalny dzień. Wprawdzie lody wyjęte z zamrażalnika dość szybko osiągają temperaturę $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale nie topią się od razu i pozostają w stanie stałym w czasie wystarczającym do ich zjedzenia.

Duża wartość ciepła topnienia lodu ma ogromne znaczenie w przyrodzie. Potrzeba wielu słonecznych dni, nim stopi się śnieg i lód, dlatego rzadko dochodzi do wiosennych powodzi. Pochłanianie przez topniejący lód dużych ilości energii powoduje, że temperatura powietrza przy zmianie pór roku z zimy na wiosnę nie rośnie gwałtownie i stąd bierze się termiczna pora roku – przedwiośnie.

Dowiedz się więcej!

Turystyczne ogrzewacze dłoni

Dostępne w sprzedaży ogrzewacze dłoni to grube foliowe woreczki wypełnione cieczą. Ciecz jest przechłodzona, co oznacza, że w tej temperaturze powinna być już w stanie stałym, a jednak nadal znajduje się w ciekłym. W woreczku pływa blaszka, której wygięcie zapoczątkowuje proces zmiany stanu skupienia – wywołuje krzepnięcie, czyli przejście ze stanu ciekłego w stały. Energia uwalniana podczas zwiększania uporządkowania cząsteczek skutkuje wzrostem temperatury substancji.

Ogrzewacza można używać wielokrotnie – wystarczy po zakrzepnięciu zawartej w nim substancji umieścić go we wrzątku i gotować kilka minut, a substancja stopi się na skutek dostarczenia energii. Po ostygnięciu do temperatury pokojowej ponownie stanie się cieczą przechłodzoną.



Żeby 1 kg wody o temperaturze 100 °C zmienić w parę wodną, potrzeba 2 260 000 J energii. Odebranie takiej ilości energii 1 kg pary wodnej o temperaturze 100 °C spowoduje jej skroplenie. Oznacza to, że ciepło parowania wody w temperaturze wrzenia wynosi 2 260 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

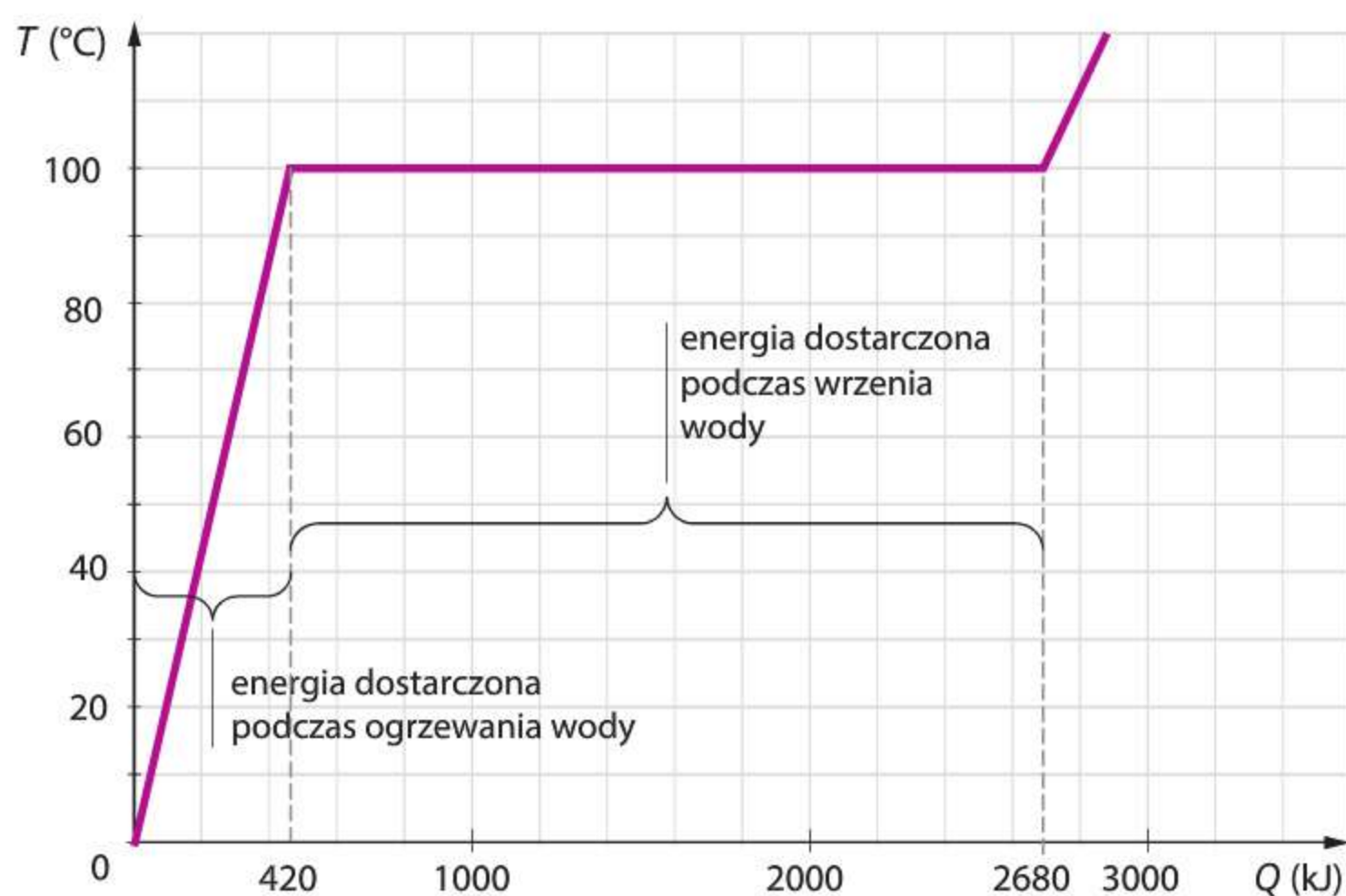
Ciepło parowania R danej cieczy wskazuje, ile energii potrzeba do odparowania 1 kg tej cieczy w stałej temperaturze wrzenia. Jednostką ciepła parowania jest $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



Ciepło Q potrzebne do odparowania dowolnej masy m cieczy w stałej temperaturze wrzenia można obliczyć ze wzoru:

$$Q = m \cdot R$$

Z wykresu przedstawionego na rycinie 35.5 można odczytać, że energia potrzebna do zamiany 1 kg wody w parę wodną (2260 kJ = 2680 kJ – 420 kJ) jest większa od energii niezbędnej do ogrzania wody o 100 °C (420 kJ).



Ryc. 35.5.

Temperatura 1 kg wody i powstałej z niej pary wodnej podczas dostarczania ciepła

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas wrzenia zupy w garnku bez pokrywki w ciągu każdej minuty 30 g wody zamieniało się w parę wodną. Obliczmy, ile energii dostarczono podczas pół godziny takiego gotowania. Przyjmijmy, że ciepło parowania zupy jest równe ciepłu parowania wody w temperaturze wrzenia, czyli $2\,260\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Wyniki zapiszmy z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Dane: $m = 30 \text{ g} = 0,03 \text{ kg}$, $t = 0,5 \text{ h} = 30 \text{ min}$, $R = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Szukane: Q

Rozwiązanie:

W czasie 30 minut gotowania powstała para wodna o masie:

$$m = 30 \text{ min} \cdot 30 \frac{\text{g}}{\text{min}} = 900 \text{ g} = 0,9 \text{ kg}$$

Energia dostarczona do wody była równa:

$$Q = m \cdot R$$

$$Q = 0,9 \text{ kg} \cdot 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2034 \text{ kJ} \approx 2030 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Podczas gotowania dostarczono ok. 2030 kJ energii.

Zastosowanie pokrywki zmniejszyłoby ilość pary wodnej wydostającej się poza garnek.

Parowanie wody następuje w każdej temperaturze. Kałuża wyparuje zarówno wtedy, gdy temperatura powietrza wynosi 20°C , jak i wtedy, gdy wynosi 5°C . Mokry ręcznik również wyschnie w różnych temperaturach. Oczywiście najszybciej stanie się to w upalny dzień, gdy pranie będzie rozwieszone na sznurze. Szybkość parowania zależy m.in. od temperatury cieczy, wielkości parującej powierzchni i ruchu powietrza wokół.

Parowanie powoduje obniżenie temperatury ciała, na którego powierzchni znajduje się parująca ciecz. Parowanie wody z powierzchni skóry jest najbardziej efektywnym sposobem pozbywania się nadmiaru energii przez organizm człowieka. Dzięki poceniu się i parowaniu wody znajdującej się w pocie temperatura ciała podczas wysiłku fizycznego nie rośnie do wartości niebezpiecznych dla organizmu.

BERT, CZYLI PAROWANIE
POWODUJE CHŁODZENIE!
TO DLATEGO JEST MI ZIMNO,
GDY MAM NA SOBIE
MOKRE UBRANIE.



JEŚLI NIE CHCEMY,
ŻEBY PIES DOSTAŁ UDARU
CIEPLNEGO, KAGANIEC
WETERYNARYJNY
ZAKŁADAMY MU TYLKO
U WETERYNARZA!



TAK. A PSY, KTÓRE NIE MOGĄ POCIĆ SIĘ
PRZEZ SKÓRĘ, WYWIESZAJĄ W TYM CELU JĘZYKI.

Podsumujmy!

- ▶ Ciepło Q potrzebne do stopienia masy m substancji w temperaturze topnienia możemy obliczyć ze wzoru: $Q = m \cdot L$, gdzie L – ciepło topnienia.
- ▶ Ciepło Q potrzebne do odparowania masy m cieczy w temperaturze wrzenia możemy obliczyć ze wzoru: $Q = m \cdot R$, gdzie R – ciepło parowania.
- ▶ Jednostką ciepła topnienia i ciepła parowania jest $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Jednostką ciepła parowania jest J.	P	F
2.	Do stopienia 1 kg lodu potrzeba tyle samo energii, ile do odparowania 1 kg wody.	P	F
3.	Podczas parowania – bez jednoczesnego dostarczania ciepła – ciecze obniżają swoją temperaturę.	P	F
4.	Im więcej energii dostarczymy do wrzącej wody, tym większa masa wody zamieni się w parę.	P	F

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**. Podczas wrzenia temperatura wody

A.	rośnie,	ponieważ	1.	dostarczane ciepło jest zużywane na zmianę stanu skupienia.
B.	nie zmienia się,		2.	im więcej ciepła dostarczymy do ciała, tym wyższa będzie jego temperatura.

3. Do stopienia pewnej masy lodu zużyto 50 kJ energii. Ile energii wydzieli się podczas krzepnięcia tej samej masy wody?

4. Ile energii należy dostarczyć, aby odparować 0,25 litra wody znajdującej się między ściankami naczynia do gotowania mleka? Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

- 5*. W wąskich szczelinach w Błędnym Skałach śnieg pozostaje aż do lipca. Aby wyjaśnić, dlaczego tak jest, oblicz objętość powietrza potrzebną do stopienia 50 kg śniegu o temperaturze 0°C . Przyjmij, że powietrze o temperaturze początkowej 25°C w kontakcie ze śniegiem obniża swoją temperaturę do 0°C . Ciepło właściwe powietrza wynosi $1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, a jego gęstość $1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Ciepło potrzebne do stopienia takiej ilości śniegu odszukaj w tekście rozdziału.

36. Transport ciepła

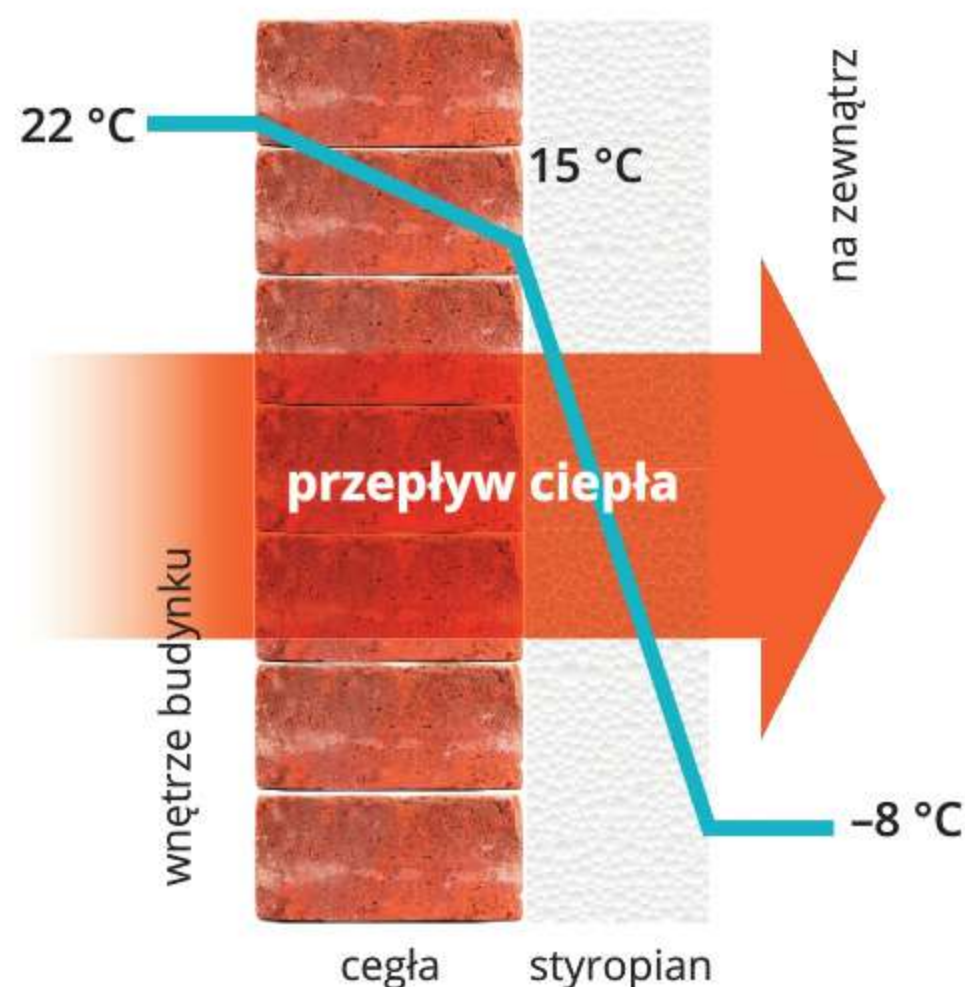
- ▶ Czym jest przewodnictwo cieplne?
- ▶ Na czym polega zjawisko konwekcji?
- ▶ Co to jest promieniowanie?



W naszej strefie klimatycznej lata bywają upalne, a zimy mroźne. Latem zależy nam na ograniczeniu przepływu ciepła do wnętrza budynku, a zimą – na zewnątrz. Do zmniejszenia tempa przepływu ciepła z ciał o wyższej temperaturze do ciał o niższej temperaturze wykorzystujemy materiały nazywane izolatorami cieplnymi. **Izolatory cieplne** to materiały, w których przepływ ciepła zachodzi powoli.

Bardzo dobrym i ogólnodostępnym izolatorem cieplnym jest powietrze. Wykorzystuje się je przy produkcji izolujących materiałów budowlanych, np. styropianu lub wełny mineralnej, wewnątrz których znajdują się liczne przestrzenie wypełnione powietrzem.

Izolatory mają za zadanie zapewnić stałą temperaturę w budynku, który jest ogrzewany. Ta temperatura nie zmienia się tylko wtedy, gdy w tym samym czasie ilość ciepła dostarczonego przez ogrzewanie jest równa ilości ciepła przepływającego przez ściany na zewnątrz. Jeżeli dany materiał jest dobrym izolatorem, to wystarczy nawet cienka jego warstwa, aby ten warunek został spełniony. Izolatory zmniejszają tempo przepływu ciepła przez ścianę (ryc. 36.1.).



Ryc. 36.1. Przepływ ciepła przez ścianę pokrytą izolatorem

Zbadaj to sam!

Badamy szybkość stygnięcia wody

Uwaga, zachowaj ostrożność podczas wykonywania tego doświadczenia.

1. Do doświadczenia będą potrzebne: cztery identyczne kubki papierowe lub styropianowe, w tym dwa z pokrywkami, oraz trzy identyczne termometry kuchenne.
2. Trzy kubki wypełnij taką samą ilością gorącej wody o tej samej temperaturze początkowej.
3. Pierwszy kubek pozostaw bez pokrywki, drugi przykryj pokrywką, a trzeci przykryj pokrywką i umieść w czwartym. Do każdego kubka włóż termometr.
4. Obserwuj, jak zmieniają się wskazania termometrów w każdym z kubków z upływem czasu. Notuj te wskazania co 2 minuty przez kolejne 20 minut stygnięcia.



Badamy przepływ ciepła przez różne materiały

Uwaga, zachowaj ostrożność podczas wykonywania tego doświadczenia.

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa identyczne jednorazowe kubki z gorącą wodą i z pokrywkami, łyżeczki: stalowa i plastikowa, dwa spinacze do papieru oraz świeczka.
2. Na łyżeczki nakładamy pokrywki.
3. Za pomocą kilku kropel wosku przymocowujemy spinacz do każdej z łyżeczek.
4. Tak przygotowane łyżeczki z pokrywkami umieszczamy w kubkach z gorącą wodą.
5. Który ze spinaczy szybciej odpadnie od łyżeczki? Zapisz swoje obserwacje oraz ich objaśnienie w zeszycie.



Izolatory wokół nas

Właściwości izolacyjne różnych materiałów są wykorzystywane powszechnie.



Styropian stosuje się do produkcji naczyń jednorazowego użytku. Gdy weźmiemy do ręki styropianowy kubek z gorącą herbatą, nie oparzymy się, a jednocześnie ciecz w takim kubku nie wystygnie zbyt szybko.



W kurtkach puchowych wykorzystuje się pierze, puch naturalny lub syntetyczny. Materiały te ze względu na swoją strukturę zatrzymują w sobie dużą ilość powietrza.



Zimą ptaki puszą pióra i chowają w nich nogi. W ten sposób izolują się od otoczenia dodatkową warstwą powietrza.

Śnieg tworzy strukturę wypełnioną dużą ilością powietrza, dlatego jest dobrym izolatorem. Pozwala to ludziom na chronienie się w igloo, a zwierzętom na przetrwanie zimy w jamach wykopanych w śniegu.



Garnki z uchwyty wykonanymi z izolatorów ciepłych, np. drewna lub tworzywa sztucznego, oraz przybory kuchenne z takich materiałów chronią nas przed oparzeniem.



Przewodnictwo cieplne to jeden ze sposobów transportu energii. Zachodzi ono między ciałami lub częściami tego samego ciała różniącymi się temperaturą i pozostającymi w kontakcie. Polega na wzajemnym przekazywaniu energii kinetycznej przez cząsteczki w wyniku zderzeń między tymi cząsteczkami. Jeżeli jeden fragment ciała jest ogrzewany, to energia jego cząsteczek wzrasta. Część tej energii jest następnie przekazywana sąsiadnym cząsteczkom, więc temperatura kolejnych fragmentów ciała także wzrasta. Przewodnictwo zachodzi we wszystkich stanach skupienia.

Przewodnik ciepła to materiał, który dobrze przewodzi ciepło. Dobrymi przewodnikami ciepła są metale.

W izolatorach proces przewodzenia ciepła przebiega znacznie wolniej niż w przewodnikach. Płytki ceramiczne wydają się chłodniejsze niż drewniana podłoga o tej samej temperaturze. Dzieje się tak dlatego, że płytki są lepszym przewodnikiem ciepła niż drewno, więc gdy stoimy na nich boso, szybciej odprowadzają ciepło ze stóp. Izolator jest cieplejszy w dotyku, bo wolniej odbiera ciepło z naszego ciała.

Zbadaj to sam!

Badamy przewodnictwo cieplne

1. Przygotuj trzy łyżki wykonane z różnych materiałów: drewnianą, z tworzywa sztucznego oraz metalową.
2. Połóż łyżki na talerzu i pozostaw na tak długo (przynajmniej 20 minut), żeby mieć pewność, że osiągnęły temperaturę powietrza w pomieszczeniu.
3. Przyłóż po kolei każdą z łyżek na chwilę do policzka.
4. Zapisz spostrzeżenia dotyczące odczuwanej temperatury każdej z łyżek.

Zobacz, jak to zrobić!

Konwekcja

Uwaga, nie wykonuj tego doświadczenia samodzielnie!

1. Do przeprowadzenia doświadczenia wykorzystano: duży słoik, mały słoik, sznurek, barwnik (nadmanganian potasu) oraz wodę.
2. Do małego słoika przymocowano sznurek.
3. Do dużego słoika wlewo zimną wodę, a do małego gorącą. Gorącą wodę zabarwiono.
4. Słoik z gorącą wodą umieszczono na dnie słoika z zimną wodą.
5. Zaobserwowano, że zabarwiona gorąca woda się unosi, a na jej miejsce (do małego słoika) napływa zimna woda. Zjawisko to zachodzi, ponieważ gęstość gorącej wody jest mniejsza niż gęstość zimnej.





Ryc. 36.2. Obraz z kamery termowizyjnej budynków z lepszą (budynek po lewej) i gorszą (budynek po prawej) izolacją ścian szczytowych

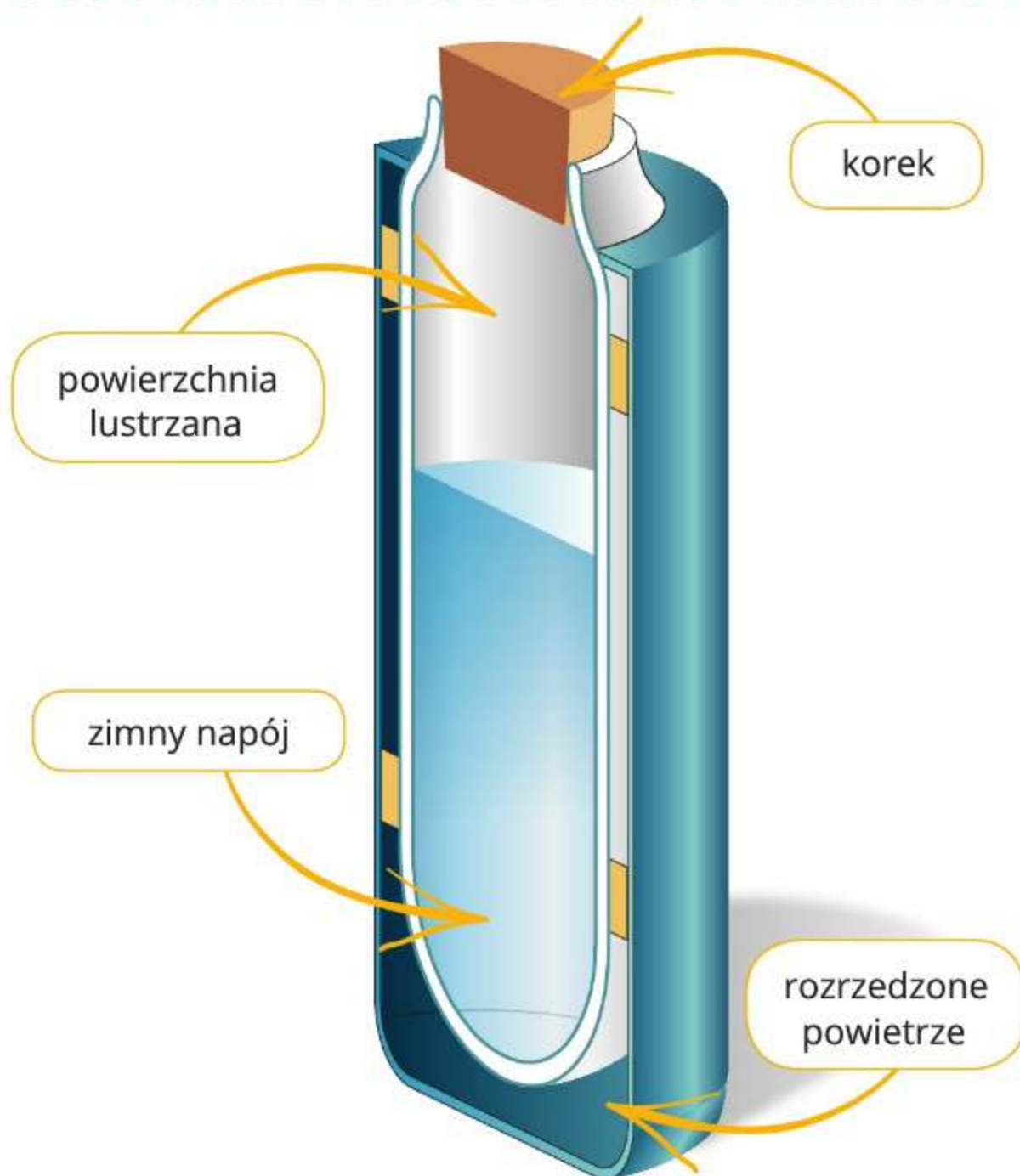
Konwekcja (inaczej unoszenie) to zjawisko zachodzące jedynie w ciałach, w których możliwy jest ruch materii, czyli w cieczech i gazach. Jest to sposób transportu ciepła polegający na przemieszczaniu się cieplejszej materii do góry i opadaniu chłodniejszej na dół. Gorące warstwy gazu lub cieczy unoszą się do góry, ponieważ ich gęstość jest mniejsza niż gęstość sąsiednich warstw, a ich miejsce zajmują te chłodniejsze. Ruchy materii tworzące się w ten sposób nazywa się **prądami konwekcyjnymi**. Dzięki zjawisku konwekcji powietrze ogrzewane na przykład przez grzejniki umieszczone przy podłodze rozprzodza energię w całym pomieszczeniu.

Oprócz przewodnictwa cieplnego i konwekcji ciepło może być transportowane także poprzez **promieniowanie**. Ten sposób przekazywania ciepła może zachodzić nawet w próżni. To dzięki promieniowaniu Ziemia jest ogrzewana przez Słońce. Energię emitowaną przez ciała w postaci promieniowania możemy rejestrować za pomocą kamery termowizyjnej (ryc. 36.2.).

Dowiedz się więcej!

Budowa termosu

Termos to naczynie skonstruowane tak, żeby jak najdłużej utrzymać temperaturę umieszczonych w nim produktów niezależnie od tego, co w nim jest: gorąca herbata czy zimne lody. Ma on podwójne ścianki, pomiędzy których wypompowano powietrze, żeby ograniczyć przewodzenie ciepła między wnętrzem naczynia a otoczeniem. Jednak nawet gdyby między ściankami nie było ani jednej cząsteczki powietrza, zawartość termosu z upływem czasu i tak zmieniłaby swoją temperaturę – dlatego, że możliwe jest przekazywanie ciepła przez promieniowanie. Żeby jak najbardziej ograniczyć ten rodzaj transportu ciepła, wewnętrzne ścianki termosu wykonane są z metalu, który silnie odbija promieniowanie, więc jego wnętrze działa jak lustro.



Podsumujmy!

- ▶ **Przewodnictwo ciepłe** zachodzi między ciałami lub częściami tego samego ciała różniącymi się temperaturą, a polega na przekazywaniu energii kinetycznej w wyniku zderzeń między sąsiadującymi cząsteczkami. Ze względu na tempo przewodnictwa materiały dzielimy na **przewodniki** i **izolatory ciepła**.
- ▶ **Konwekcja** polega na unoszeniu się cieplejszych warstw cieczy lub gazu i opadaniu ich chłodniejszych warstw.
- ▶ **Promieniowanie** to transport energii zachodzący między ciałami różniącymi się temperaturą bez ich kontaktu. W przeciwieństwie do przewodnictwa i konwekcji jest ono możliwe także w próżni.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

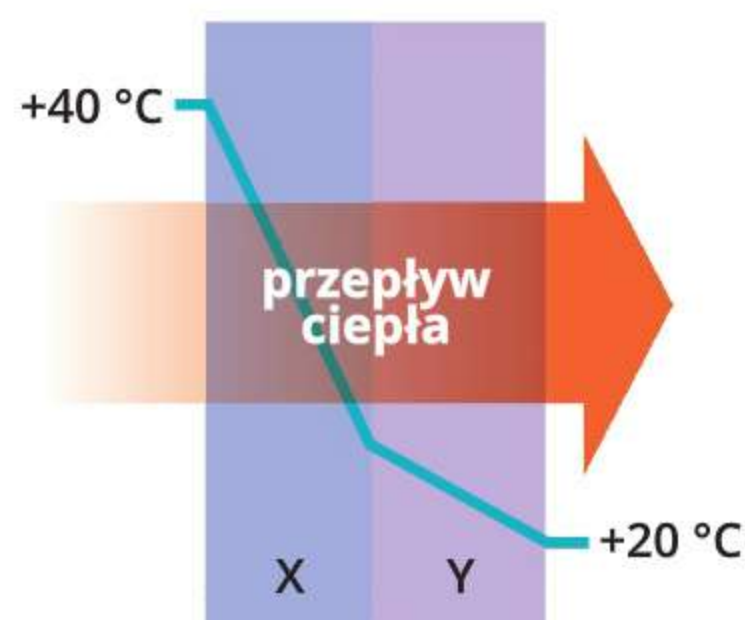
1.	Materiały zawierające dużo przestrzeni wypełnionych powietrzem są izolatorami cieplnymi.	P	F
2.	Metale są lepszymi przewodnikami ciepła niż drewno.	P	F
3.	Konwekcja to efektywny sposób transportu ciepła w ciałach stałych.	P	F
4.	Powietrze jest słabym przewodnikiem ciepła.	P	F

2. Z kartki papieru wycięto spiralę i zawieszono ją na nici w sposób przedstawiony na rysunku. Gdy pod spiralą umieścimy zapaloną świecę, to spiralą zacznie się obracać. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.



3. Dlaczego metalowa balustrada wydaje się w dotyku chłodniejsza niż drewniane schody?

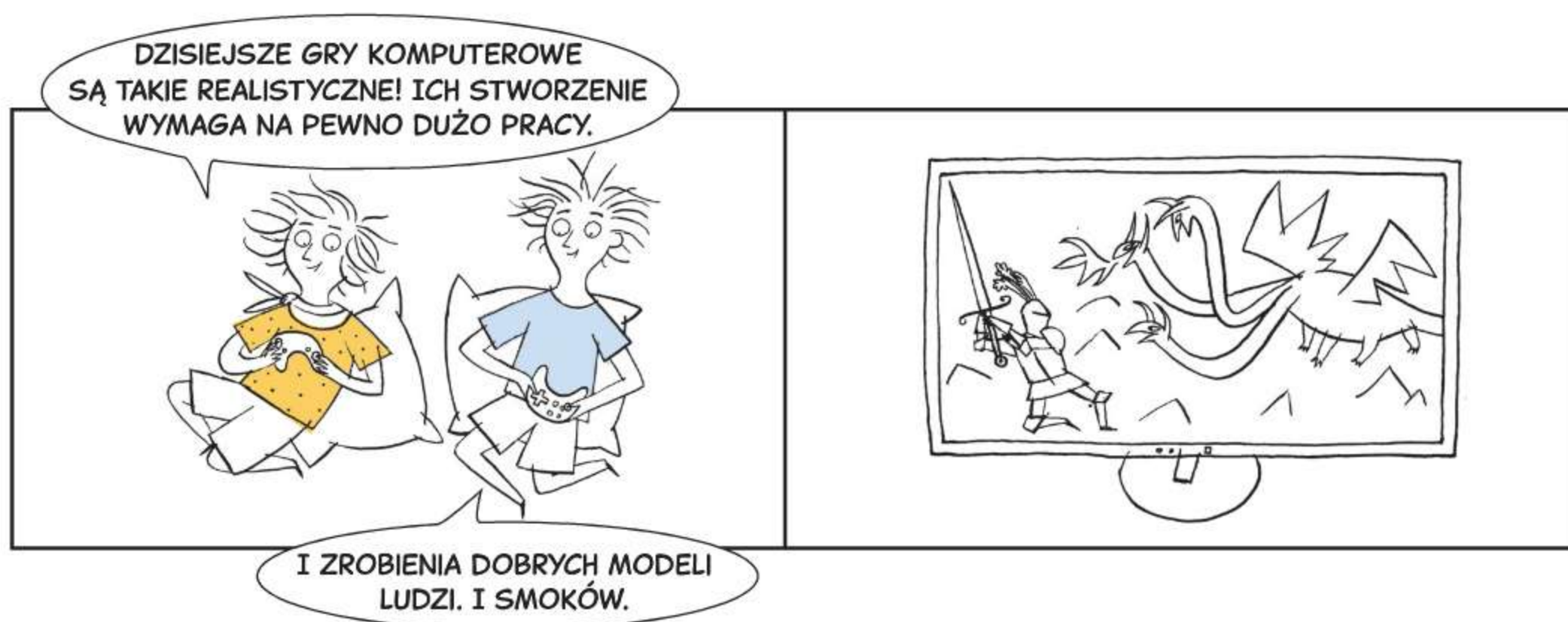
4. Dwa materiały X i Y o jednakowej grubości połączone ze sobą. Pomiędzy ich zewnętrznymi warstwami różnica temperatur jest równa 20 °C. Niebieską linią zaznaczono spadek temperatury. Który z materiałów jest lepszym izolatorem ciepła? Uzasadnij odpowiedź.



5. W upalny dzień kupujemy pudełko lodów. Czy owinięcie pudełka polarową bluzą zapewni ochronę przed szybkim ich roztopieniem? Uzasadnij odpowiedź.

37. Kinetyczno-molekularny model budowy materii

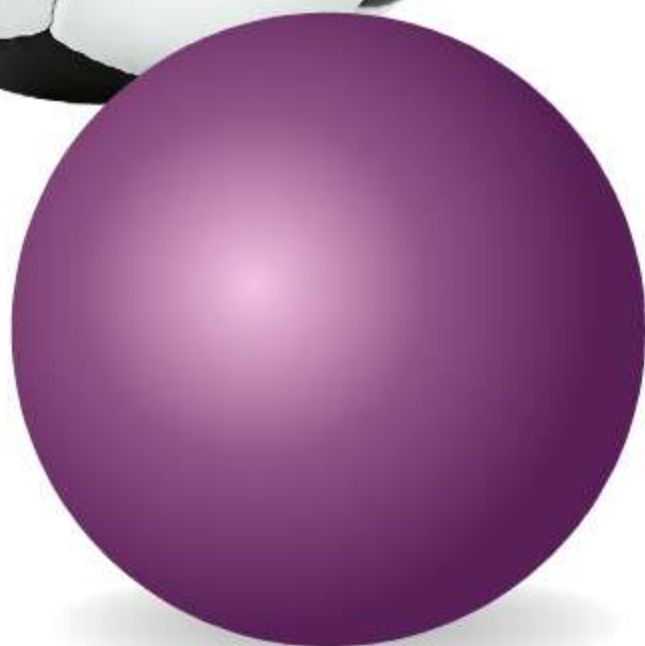
- ▶ Czym jest kinetyczno-molekularny model budowy materii?
- ▶ Jak budowa mikroskopowa materii wpływa na właściwości cieplne?



a)



b)



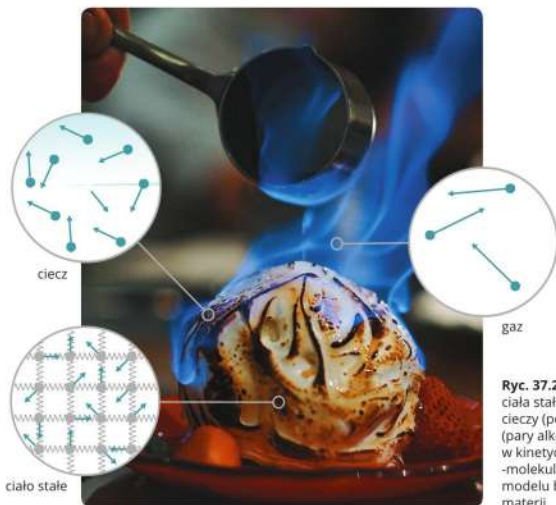
Model fizyczny buduje się po to, żeby opisać coś, co obserwujemy w otaczającym nas świecie. Zadaniem takiego modelu jest przybliżenie rzeczywistych, często bardzo skomplikowanych obiektów czy zdarzeń przez przedstawienie ich w uproszczonej formie. Piłka do gry w piłkę nożną to z punktu widzenia fizyki przedmiot o złożonej budowie. Jednak w wielu sytuacjach fizycznych możemy traktować ją jak jednolite ciało, mimo że składa się z wielu warstw i jest wypełniona sprężonym powietrzem (ryc. 37.1.). Przyjęcie takiego modelu pozwala opisać rzeczywiste zachowanie piłki.

Jednym z podstawowych i powszechnie używanych modeli fizycznych jest kinetyczno-molekularny model budowy materii. Można dzięki niemu wyjaśnić zachowanie się ciał i ich właściwości w kontekście zjawisk cieplnych.

Ryc. 37.1. Rzeczywista budowa piłki (a) i jej model (b)

W kinetyczno-molekularnym modelu budowy materii zakłada się, że:

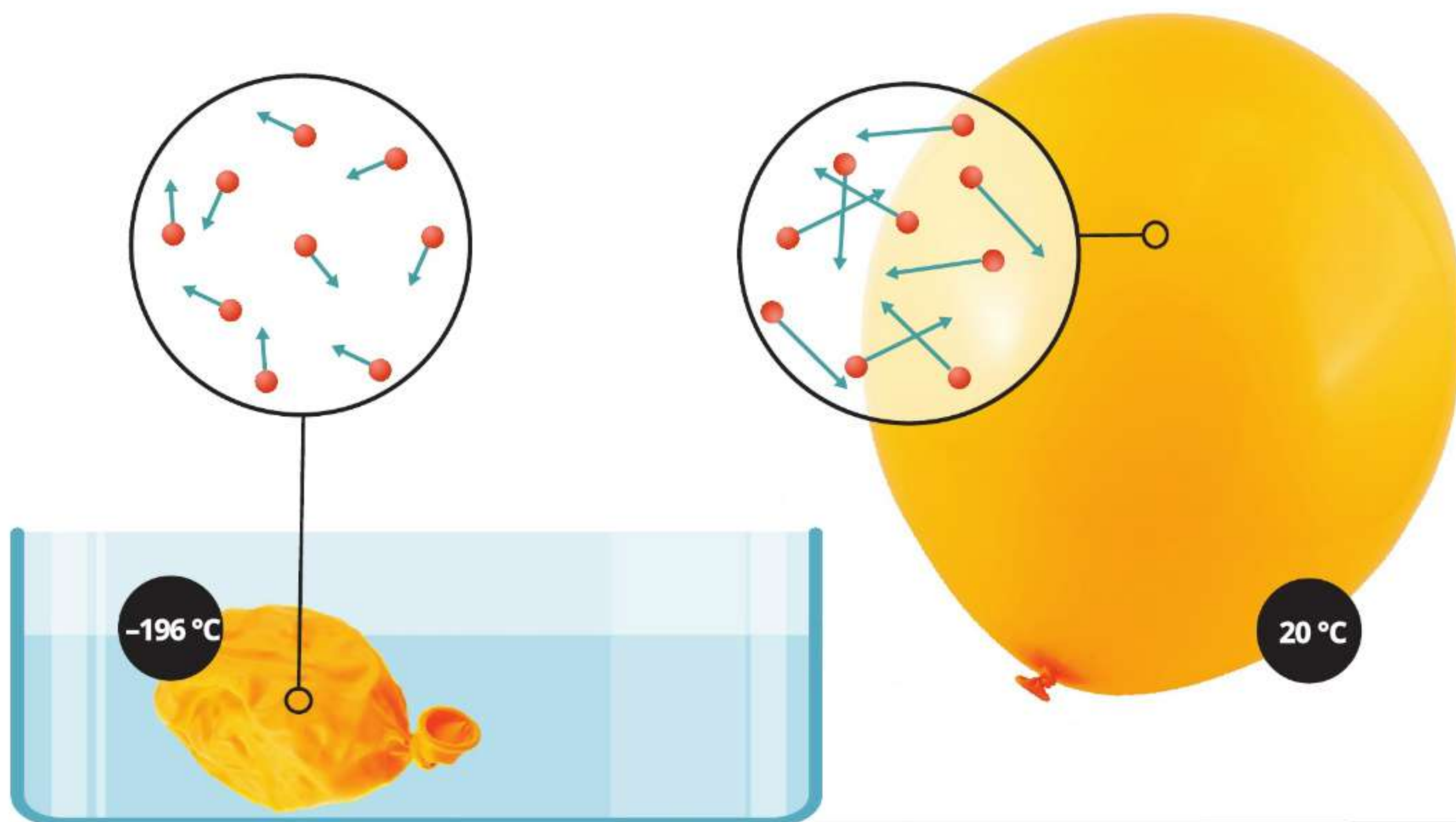
- ▶ wszystkie ciała składają się z cząsteczek (molekuł), które są kulami o bardzo małych rozmiarach;
- ▶ cząsteczki cały czas poruszają się w sposób chaotyczny i zderzają się ze sobą;
- ▶ podczas tych zderzeń zmieniają się energie kinetyczne cząsteczek w nich uczestniczących; w dowolnej chwili każda z cząsteczek może mieć inną energię kinetyczną;
- ▶ średnia energia kinetyczna cząsteczek tworzących ciało jest taka sama dla wszystkich ciał o określonej temperaturze;
- ▶ odległości między cząsteczkami tworzącymi ciało zależą od jego stanu skupienia.



Ryc. 37.2. Budowa ciała stałego (iodu), cieczy (polewy) i gazu (pary alkoholu) w kinetyczno-molekularnym modelu budowy materii

Jeśli przyjmiemy powyższe założenia, pozwolą nam one wyjaśnić choćby to, czym jest temperatura ciała i co się dzieje podczas zmiany jego stanu skupienia lub w chwili, gdy zetkniemy ze sobą ciała o różnych temperaturach. Musimy jednak pamiętać, że w rzeczywistości cząsteczki wcale nie są kulami, a zachowania każdej z nich nie da się przewidzieć przez porównanie do kuli bilardowej podczas gry. Kinetyczno-molekularny model budowy materii po prostu ułatwia opisanie stanu cieplnego ciała lub jego zmiany. Przeanalizujemy kilka przykładów.

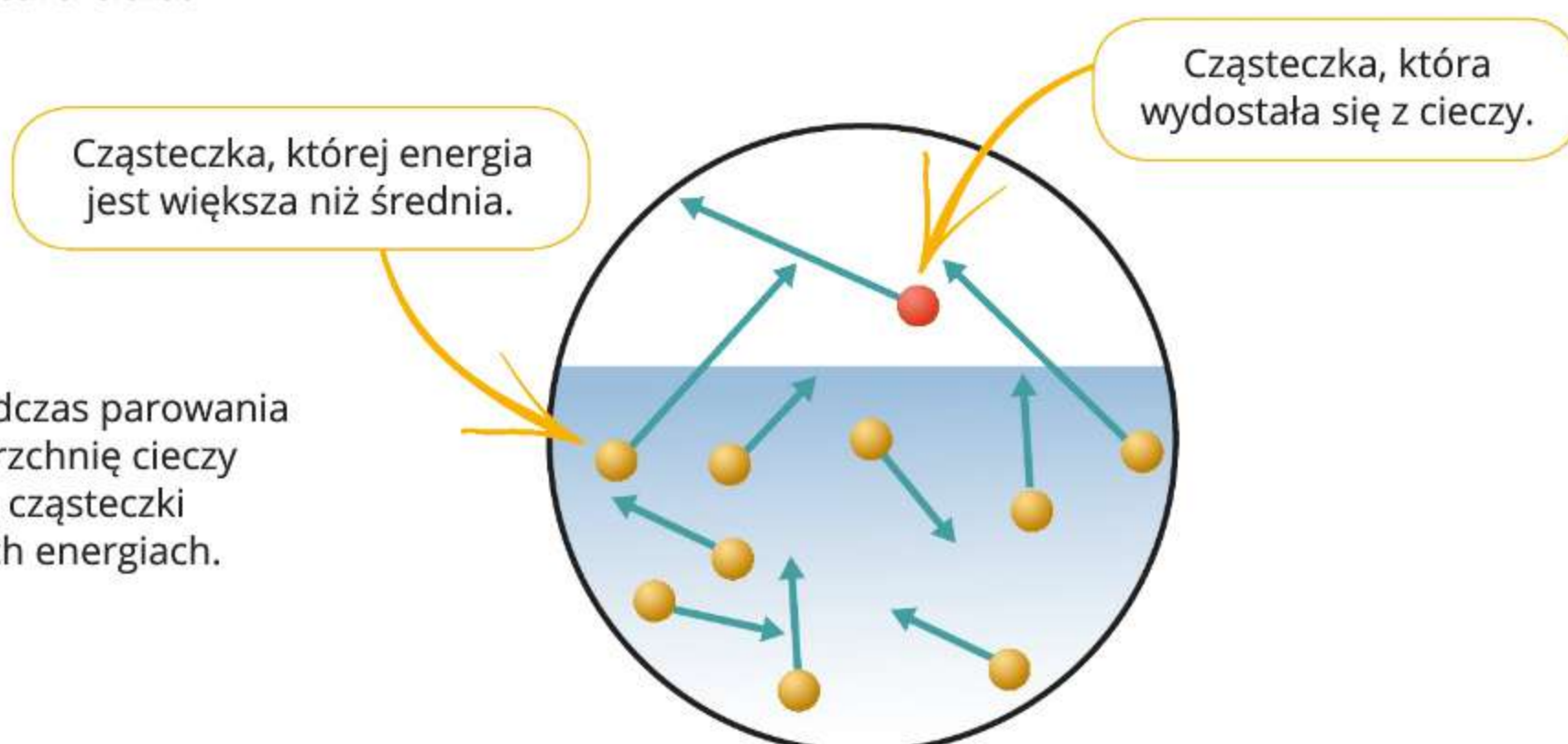
Temperatura to wielkość fizyczna określająca stan cieplny ciała, czyli opisująca ciało jako całość, makroskopowo. Jej wartość zależy jednak od średniej energii kinetycznej ogromnej liczby cząsteczek, z których zbudowane jest to ciało, czyli od jego budowy mikroskopowej. Im większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek, tym wyższa jest temperatura ciała.



Ryc. 37.3. Różne energie kinetyczne atomów helu wewnątrz balonów w temperaturze pokojowej i w temperaturze ciekłego azotu

Energia wewnętrzna ciała to suma energii wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało. Oznacza to, że zależy ona zarówno od energii pojedynczej cząsteczki, jak i od liczby cząsteczek. Im więcej cząsteczek tworzy ciało, tym większa jest jego energia wewnętrzna. To dlatego energia wewnętrzna wody w Bałtyku jest większa od energii wewnętrznej wody morskiej w butelce.

Model kinetyczno-molekularny budowy materii możemy zastosować także w celu wyjaśnienia, **dlaczego podczas parowania cieczy obniża się jej temperatura**. Cząsteczki cieczy poruszają się ruchem chaotycznym. Może się zdarzyć, że w wyniku wzajemnych zderzeń niektóre z nich zdobędą energię wystarczającą do wydostania się z cieczy. Gdy cząsteczki o największych energiach opuszczają ciecz, zmniejsza się średnia energia kinetyczna pozostałych cząsteczek, czyli obniża się temperatura ciała.



Ryc. 37.4. Podczas parowania ponad powierzchnię cieczy wydostają się cząsteczki o największych energiach.

Zbadaj to sam!

Stosujemy model do opisu rzeczywistej sytuacji

1. Do doświadczenia będą potrzebne: pusta szklana butelka, moneta.
2. Schłodź przez kilka godzin w zamrażarce otwartą butelkę.
3. Po wyjęciu butelki z zamrażarki zwilż brzeg jej wylotu wodą, a następnie połóż na szyjce butelki monetę.
4. Obserwuj zachowanie monety. Spróbuj wyjaśnić jego przyczyny z uwzględnieniem kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

Cząsteczki w niektórych ciałach stałych tworzą uporządkowaną strukturę i wykonują drgania wokół swoich położeń równowagi. W naszym modelu wygląda to tak, jakby cząsteczki tworzące ciało były kuleczkami połączonymi ze sobą sprężynkami. Uznajmy to za dodatkowe założenie do kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii. Gdy dostarczamy ciału ciepła, zwiększa się energia kinetyczna ruchu drgającego cząsteczek. Im większa jest energia kinetyczna, tym wyższa temperatura ciała.



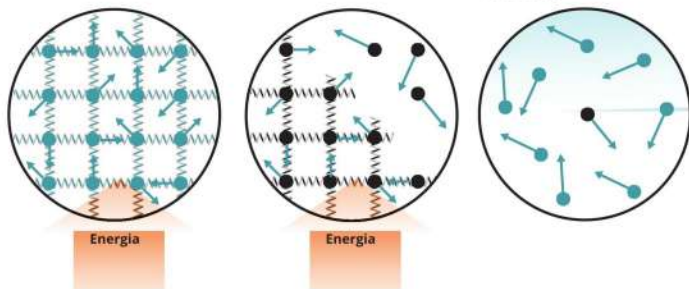
Ryc. 37.5. Różne energie kinetyczne cząsteczek tworzących wolframowe włókna żarówki oznaczają, że włókna mają inne temperatury.

Zjawisko topnienia również możemy wyjaśnić na podstawie kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii. Gdy substancja znajduje się w temperaturze topnienia, dostarczane ciepło zużywane jest na zrywanie wiązań między cząsteczkami, a nie na wzrost ich energii kinetycznej. Ciało stałe staje się cieczą, a cały proces topnienia odbywa się w określonej dla danej substancji, stałej temperaturze topnienia.

Ciało stałe o uporządkowanej strukturze wewnętrznej – cząsteczki poruszają się wokół pewnych położeń.

Topnienie – dostarczona energia pozwala na rozerwanie połączeń między cząsteczkami.

Ciecz – cząsteczki poruszają się swobodnie w całej objętości. Średnie odległości między cząsteczkami zmieniają się nieznacznie.



Ryc. 37.6. Topnienie, czyli przejście ze stanu stałego w ciekły, przedstawione w modelu kinetyczno-molekularnym

Zbadaj to sam!

Badamy topnienie wosku

1. Do doświadczenia będą potrzebne: garnek, termometr kuchenny, wosk oraz kuchenka.
2. Do garnka włóż kawałki wosku i umieść w nim termometr. Powoli ogrzewaj garnek i notuj temperaturę wosku.
3. Wyniki pomiarów przedstaw na wykresie zależności temperatury wosku od czasu ogrzewania.
4. Czy wosk podczas zmiany stanu skupienia zachowuje się tak samo jak lód? Czy możemy w tym wypadku wyjaśnić, jak zachodzi proces topnienia, na podstawie modelu ciała stałego, w którym cząsteczki tworzą uporządkowaną strukturę?

Wosk nie ma określonej temperatury topnienia, a podczas jego ogrzewania nie zauważamy wyraźnego przejścia ze stanu stałego w ciekły. Oznacza to, że wosk nie ma uporządkowanej struktury wewnętrznej. Podobnie zachowują się na przykład szkło i smoła.

Podsumujmy!

- ▶ **Model** jest uproszczonym odzwierciedleniem rzeczywistych obiektów i zjawisk.
- ▶ Modele pozwalają opisać zachowanie się rzeczywistych obiektów.
- ▶ **Kinetyczno-molekularny model budowy materii** pozwala wyjaśnić związek między budową mikroskopową materii a jej właściwościami makroskopowymi.

Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Modele fizyczne zjawisk przedstawiają w uproszczeniu procesy zachodzące w rzeczywistości.	P	F
2.	W kinetyczno-molekularnym modelu budowy materii średnie odległości między cząsteczkami ciała stałego oraz cieczy są podobne.	P	F
3.	Każde ciało stałe ma określoną temperaturę topnienia.	P	F
4.	Podczas parowania zmniejsza się energia wewnętrzna substancji.	P	F

2. Poszukaj w internecie informacji na temat procesu macerowania herbaty. Wyjaśnij ten proces na podstawie kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

3. Na podstawie kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii wyjaśnij, dlaczego metale lepiej przewodzą ciepło niż powietrze. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

4. Opisz w zeszycie, na czym polega krzepnięcie ciał. W tym celu skorzystaj z kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

5. Odszukaj inny naukowy model opisujący zachowanie się ciał w twoim otoczeniu i przedstaw jego założenia.

POWTÓRZENIE

Zjawiska cieplne

Zmiana energii wewnętrznej
może nastąpić w wyniku:



wykonywania
pracy



wymiany
ciepła

ciepło właściwe

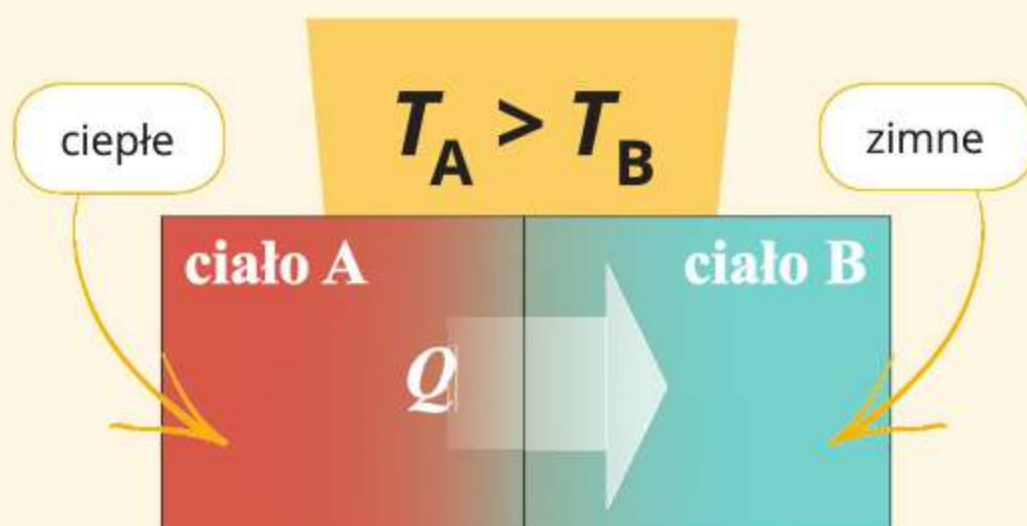
$$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

ciepło

masa ciała

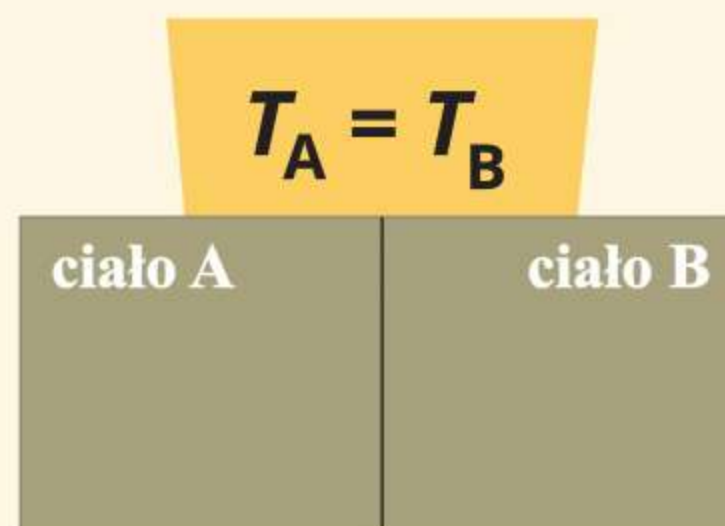
zmiana temperatury

przekazywanie energii



Gdy zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to ciepło będzie przekazywane z ciała cieplejszego do chłodniejszego.

równowaga termiczna



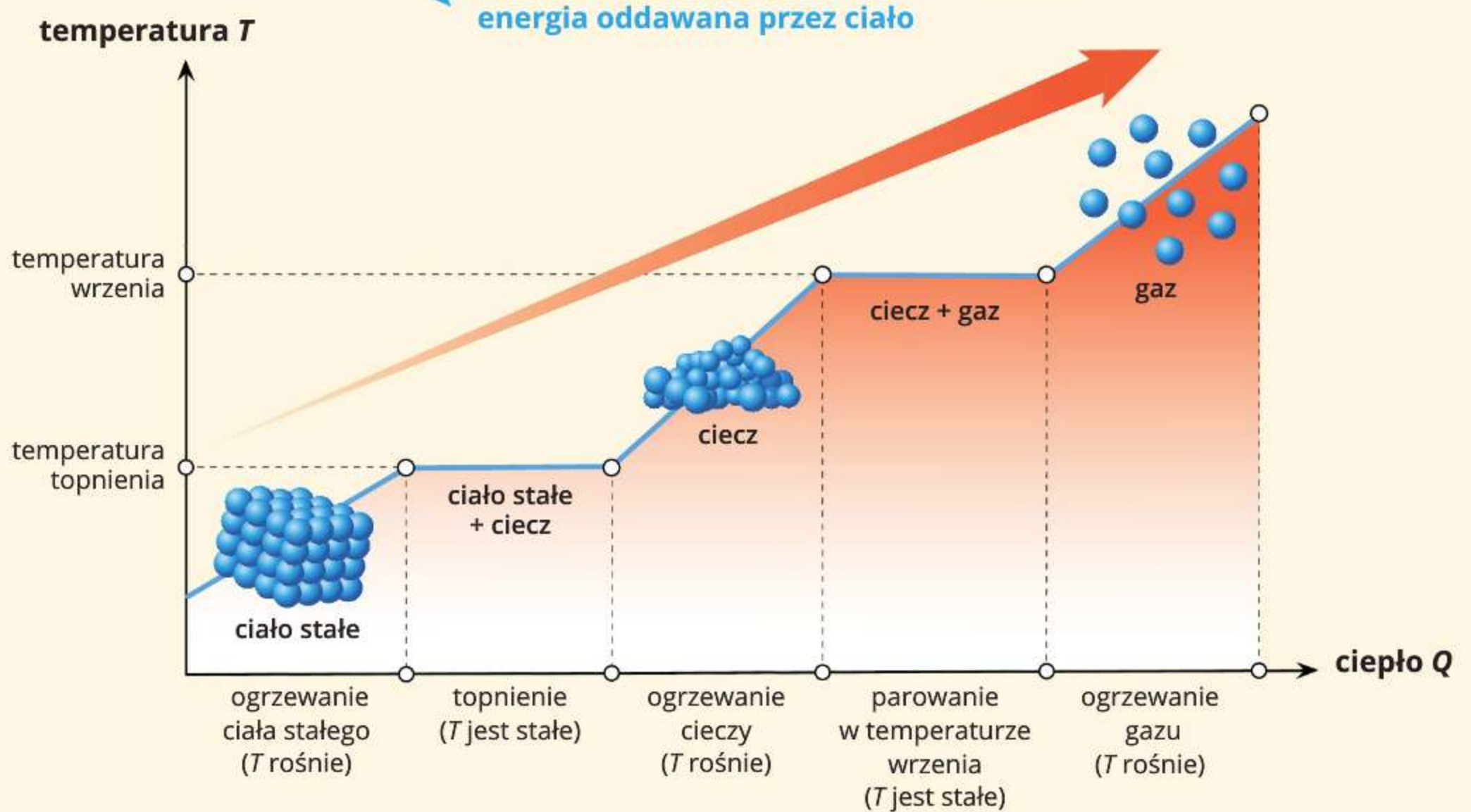
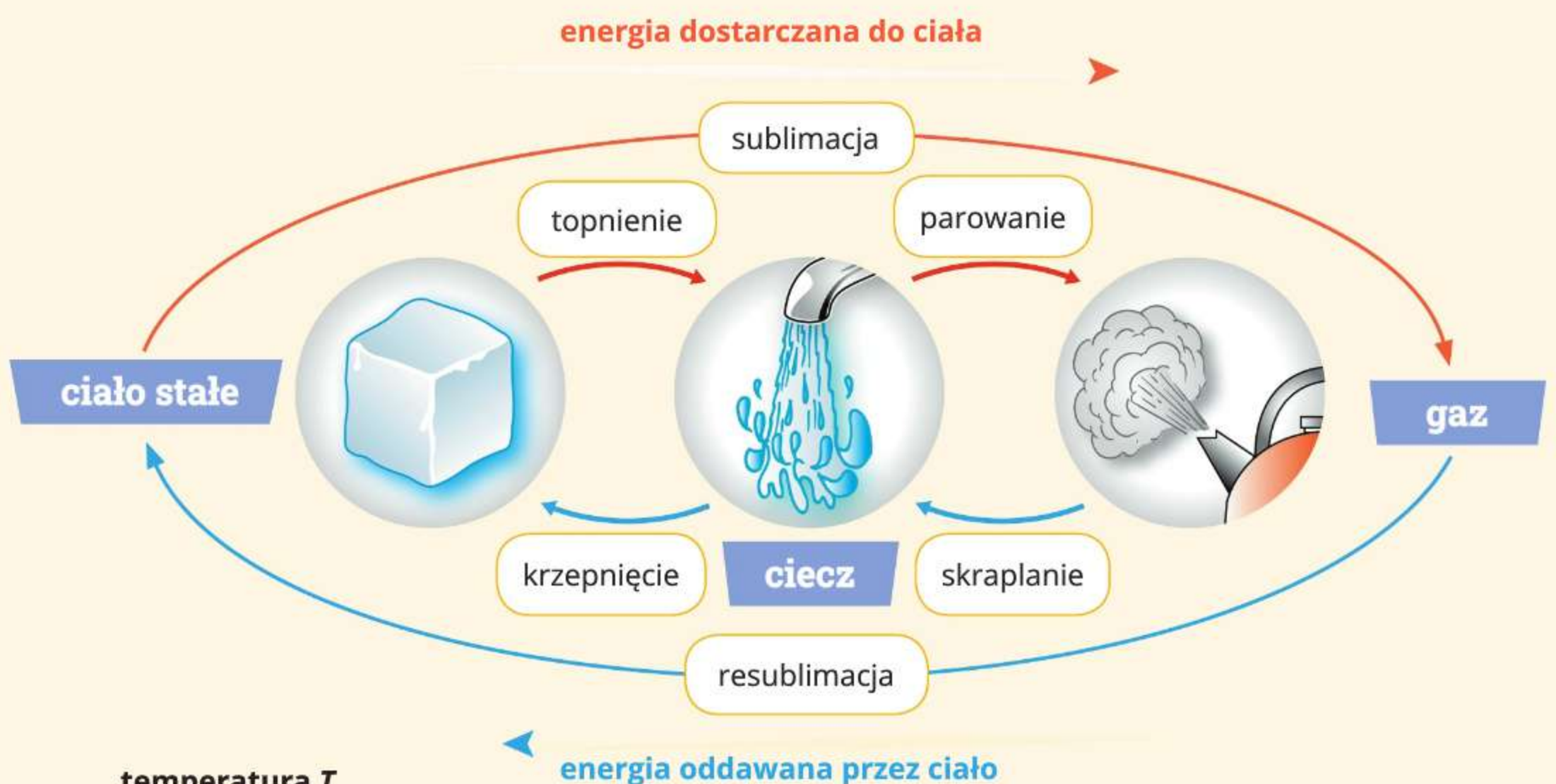
Gdy ciała stykają się ze sobą i znajdują się w równowadze termicznej, nie następuje między nimi przepływ ciepła.

transport ciepła

Wymiana ciepła między ciałami może odbywać się na trzy sposoby.



Zmiany stanu skupienia



Sprawdź się!

1. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

Podczas ochładzania kompotu w lodówce jego temperatura

A.	wzrosła,	ponieważ	1.	średnia energia kinetyczna cząsteczek cieczy się zwiększyła.
B.	zmaląa,		2.	średnia energia kinetyczna cząsteczek cieczy się zmniejszyła.

2. Podczas wiosennego dnia piasek na plaży osiągnął temperaturę 22 °C, ale w nocy jego temperatura spadła do -3 °C. Oblicz, o ile zmieniła się temperatura piasku w ciągu doby. Wynik podaj w skali Celsjusza oraz w skali Kelvina.

3. Metalową kulkę o masie 50 g ogrzano poprzez dostarczenie jej ok. 300 J energii. Jej temperatura wzrosła o 25 °C. Ile wynosi ciepło właściwe substancji, z której wykonano kulkę? Skorzystaj z danych zapisanych w poniższej tabeli i podaj, z jakiego metalu wykonano kulkę.

Nazwa	Symbol	Ciepło właściwe ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło topnienia ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
złoto	Au	130	1063	63
żelazo	Fe	460	1530	270
ołów	Pb	130	327	30
srebro	Ag	250	960	105
wolfram	W	130	3420	193
nikiel	Ni	460	1450	300

4. Skorzystaj z tabeli z zadania 3. i odpowiedz na poniższe pytania.
- Do którego z wymienionych metali należy dostarczyć najwięcej ciepła, aby taką samą masę każdego z nich ogrzać o tyle samo stopni Celsjusza?
 - Który z metali ma najwyższą temperaturę topnienia?
 - Do którego z metali znajdujących się w temperaturze topnienia należy dostarczyć najmniej energii, aby stopić jeden kilogram?

5. Figurkę ołowianego żołnierzyka ogrzewano w rękach i dostarczono jej w ten sposób 41,6 J energii. Oblicz, jaka była masa figurki, jeśli w wyniku ogrzewania jej temperatura wzrosła o 16 °C. Skorzystaj z tabeli z zadania 3.

6. Żelazka używane w XIX wieku miały tzw. duszę – element, którego funkcją było podtrzymywanie wysokiej temperatury urządzenia. Zazwyczaj duszę stanowiła żelazna sztabka wkładana do środka żelazka, którą wcześniej podgrzewano na przykład na palenisku. Oblicz, o ile zmalała temperatura duszy o masie 600 g, wykonanej z żelaza, jeśli podczas prasowania oddała ona 13,8 kJ energii. Skorzystaj z tabeli z zadania 3.



7. Pewne zjawiska opisano następująco: „Są to zjawiska polegające na zmianie uporządkowania atomów substancji. Substancja przechodzi ze stanu, w którym atomy mogą się swobodnie przemieszczać, do stanu, w którym atomy przyjmują określoną, uporządkowaną strukturę”. O jakich zjawiskach mowa? Podaj ich nazwy.

8. Do dwóch identycznych butelek wiano wodę o tej samej temperaturze. Woda w pierwszej butelce wypełnia połowę, a w drugiej $\frac{3}{4}$ objętości butelki.

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

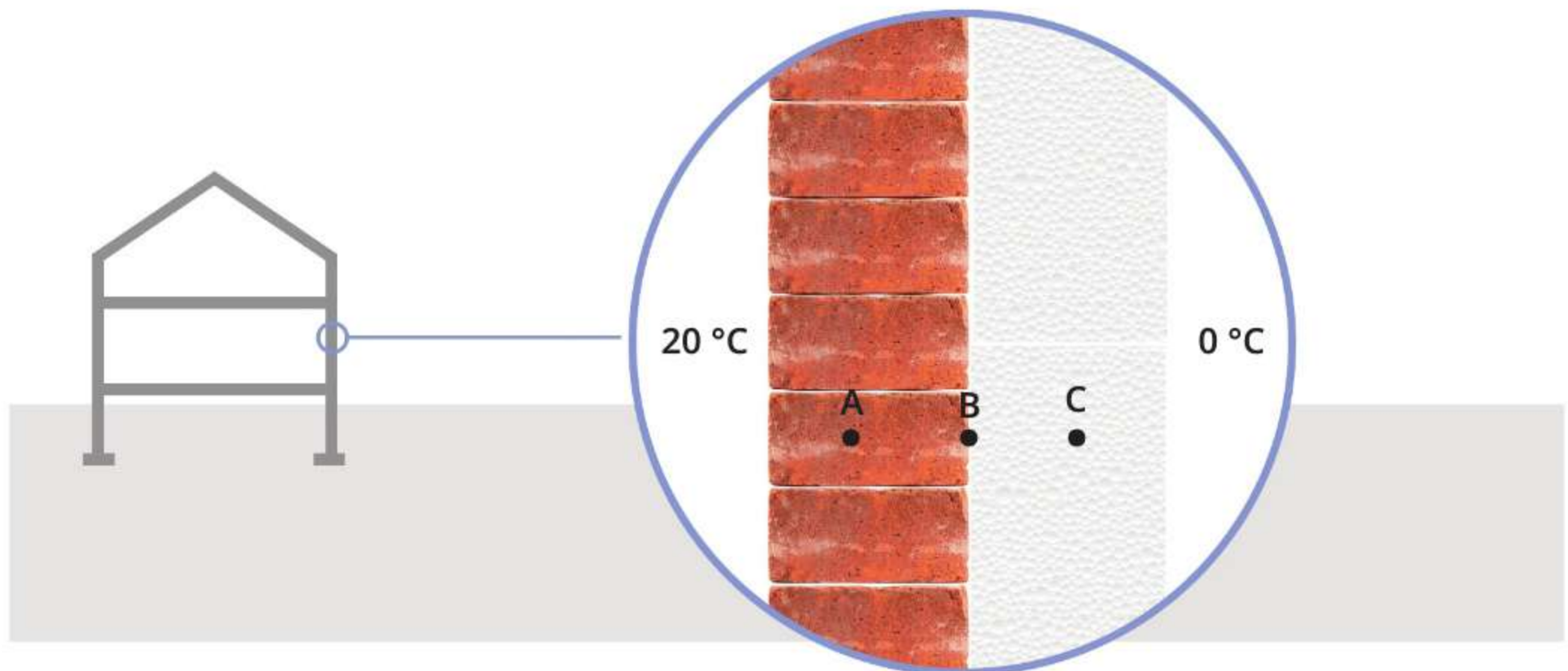
1.	Energia wewnętrzna wody w obu butelkach jest taka sama.	P	F
2.	Średnie energie kinetyczne cząsteczek wody w obu butelkach są takie same.	P	F
3.	W celu ogrzania wody w każdej z butelek o 10 °C należy dostarczyć im taką samą energię.	P	F
4.	Po zetknięciu obu butelek ze sobą nie nastąpi między nimi przepływ ciepła.	P	F

9. Dlaczego na kartonie mleka wyjętym z lodówki pojawiają się kropelki wody?

10. W czajniku o mocy 850 W ogrzewano 0,6 litra wody i stwierdzono, że temperatura tej wody wzrosła o 60 °C w czasie 3 minut 5 sekund. Na podstawie tych informacji oblicz ciepło właściwe wody.

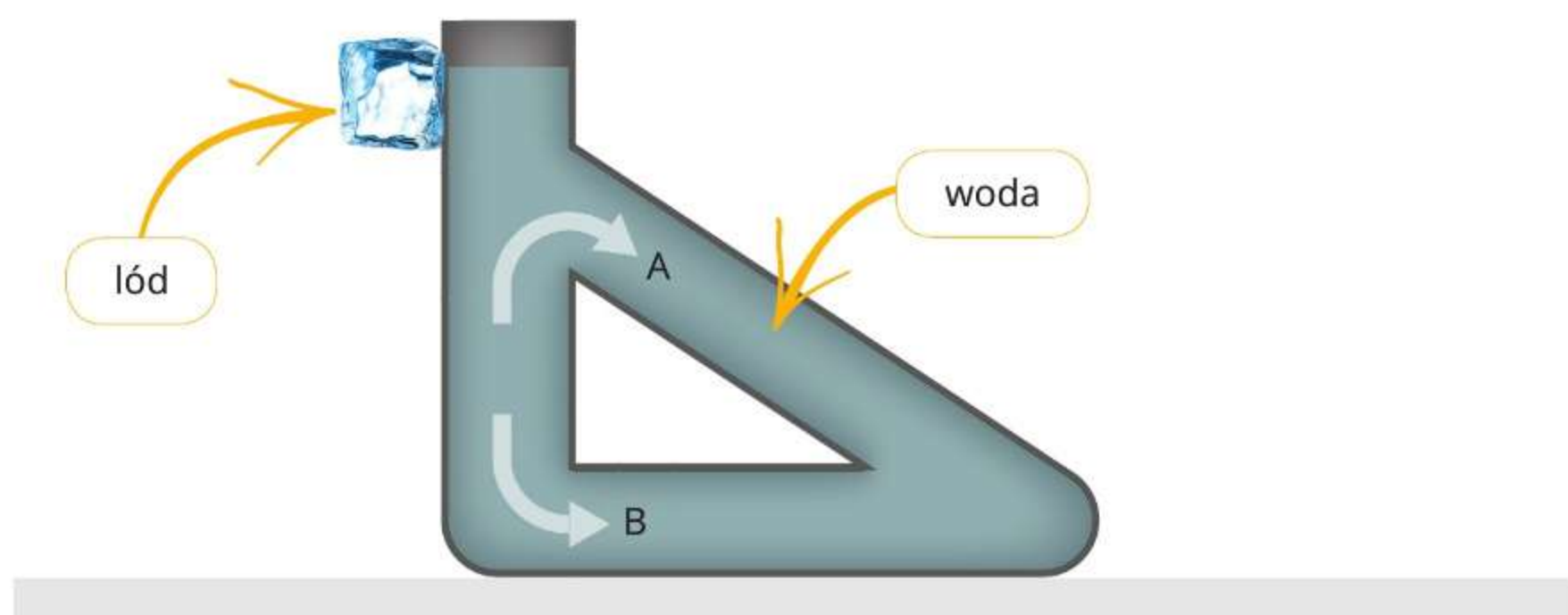
- 11.** Ceglana ściana budynku została z zewnątrz pokryta styropianem. Grubości obu warstw materiałów są jednakowe. Temperatura powietrza wewnątrz budynku jest równa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a na zewnątrz wynosi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

W jednym z punktów zaznaczonych na rysunku literami A, B i C temperatura wynosi $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. W którym? Uzasadnij swój wybór.



- 12.** W metalowym naczyniu przedstawionym na rysunku znajduje się woda o temperaturze $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Do górnej części naczynia przyłożono kostkę lodu.

W którą stronę – oznaczoną literą A czy literą B – będzie krążyć woda w naczyniu? Uzasadnij swój wybór.



- 13.** Poniżej opisano sytuacje, w których zmieniła się energia wewnętrzna ciała. W której sytuacji nastąpiła zmiana energii wewnętrznej w wyniku wykonania pracy mechanicznej?

Wybierz wszystkie poprawne odpowiedzi.

- A.** Rozpalenie ogniska w wyniku pocierania kawałków drewna o siebie.
- B.** Wzrost temperatury wody po podgrzaniu jej w czajniku elektrycznym.
- C.** Wzrost temperatury tarcz hamulcowych samochodu podczas hamowania.
- D.** Wzrost temperatury powietrza w pompce podczas pompowania koła rowerowego.

Centralne ogrzewanie

Mieszkania w naszej strefie klimatycznej wymagają ogrzewania zapewniającego optymalną temperaturę w pomieszczeniach. Centralne ogrzewanie polega na jednoczesnym ogrzewaniu wielu pomieszczeń z jednego źródła ciepła.

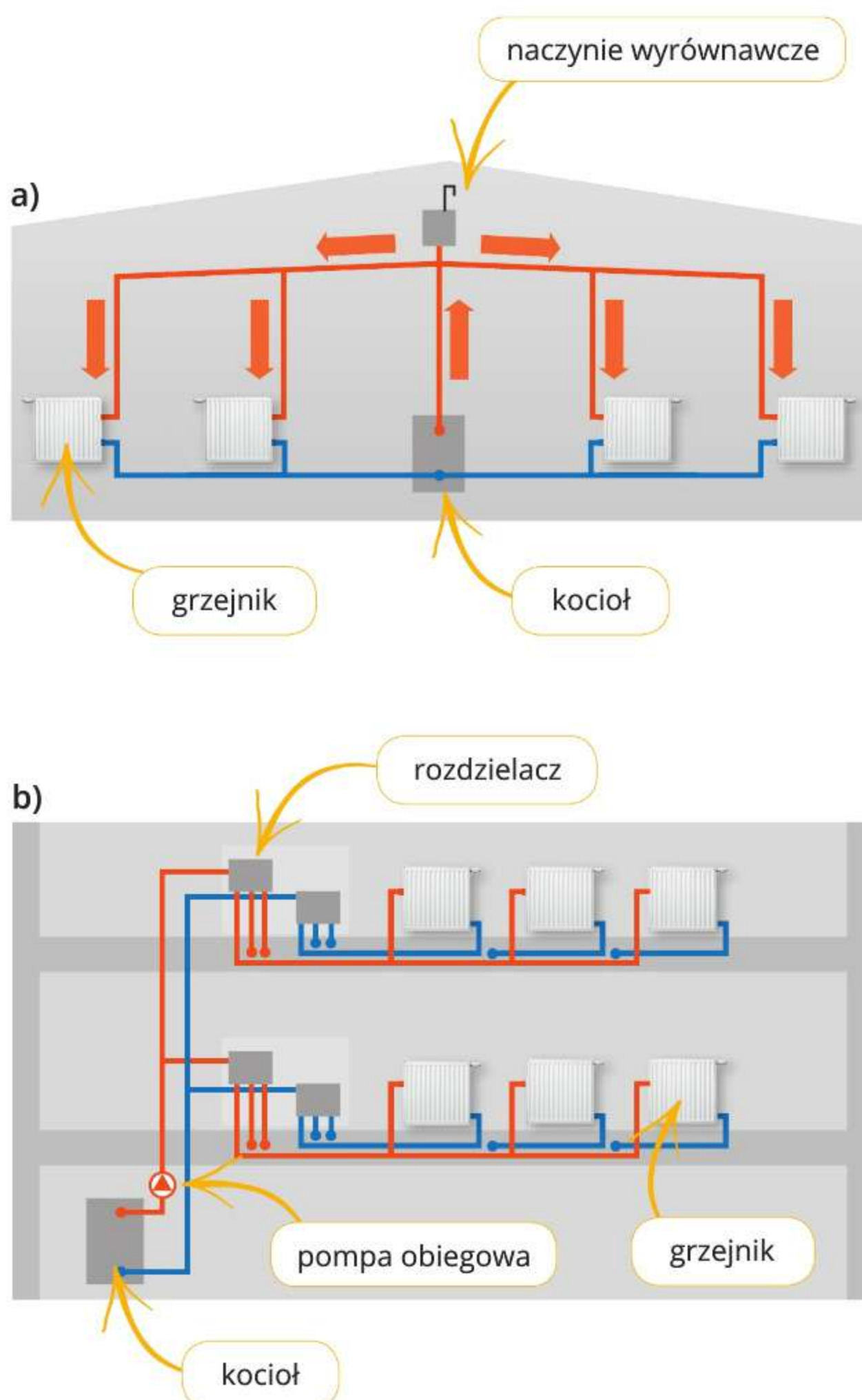
Podstawowymi elementami instalacji centralnego ogrzewania są: kocioł ogrzewający ciecz grzewczą (najczęściej wodę), grzejniki, dzięki którym jest ogrzewane powietrze w pomieszczeniach, oraz system rur transportujących ciecz między kotłem a grzejnikami i z powrotem.

Przepływ wody w instalacji może być wymuszony w sposób tradycyjny, czyli grawitacyjnie – wykorzystuje się wówczas zjawisko unoszenia się ogrzanej wody i opadania wody schłodzonej (ryc. a). Ten sposób stosuje się przede wszystkim w niewielkich instalacjach z kotłem opalanym paliwem stałym, np. węglem.

Instalacje grawitacyjne muszą być otwarte, czyli zapewniać dostęp powietrza do tzw. naczynia wyrównawczego. W ogrzewaniu grawitacyjnym rury muszą być szersze niż przy innych typach ogrzewania – ułatwia to swobodny przepływ wody.

Skuteczniejsze rozprowadzenie ciepła zapewnia stosowanie pomp wymuszających obieg wody (ryc. b). Pompy te zasilane są energią elektryczną, więc przerwy w dostawie prądu mogą prowadzić do wyłączenia ogrzewania.

Jednym z rodzajów centralnego ogrzewania jest ogrzewanie podłogowe. Rury, którymi płynie ogrzana woda, rozmieszczone są pod podłogą. Pełnią one funkcję grzejników i oddają ciepło do pomieszczenia równomiernie na całej powierzchni podłogi. Materiał podłogi powinien być dobrym przewodnikiem ciepła. Zaletą ogrzewania podłogowego jest jego energooszczędność: temperaturę w ogrzewanym pomieszczeniu możemy obniżyć o 2–3 °C, a nie zmieni to temperatury odczuwalnej. Możemy zaoszczędzić dzięki temu ok. 10–15 % energii.



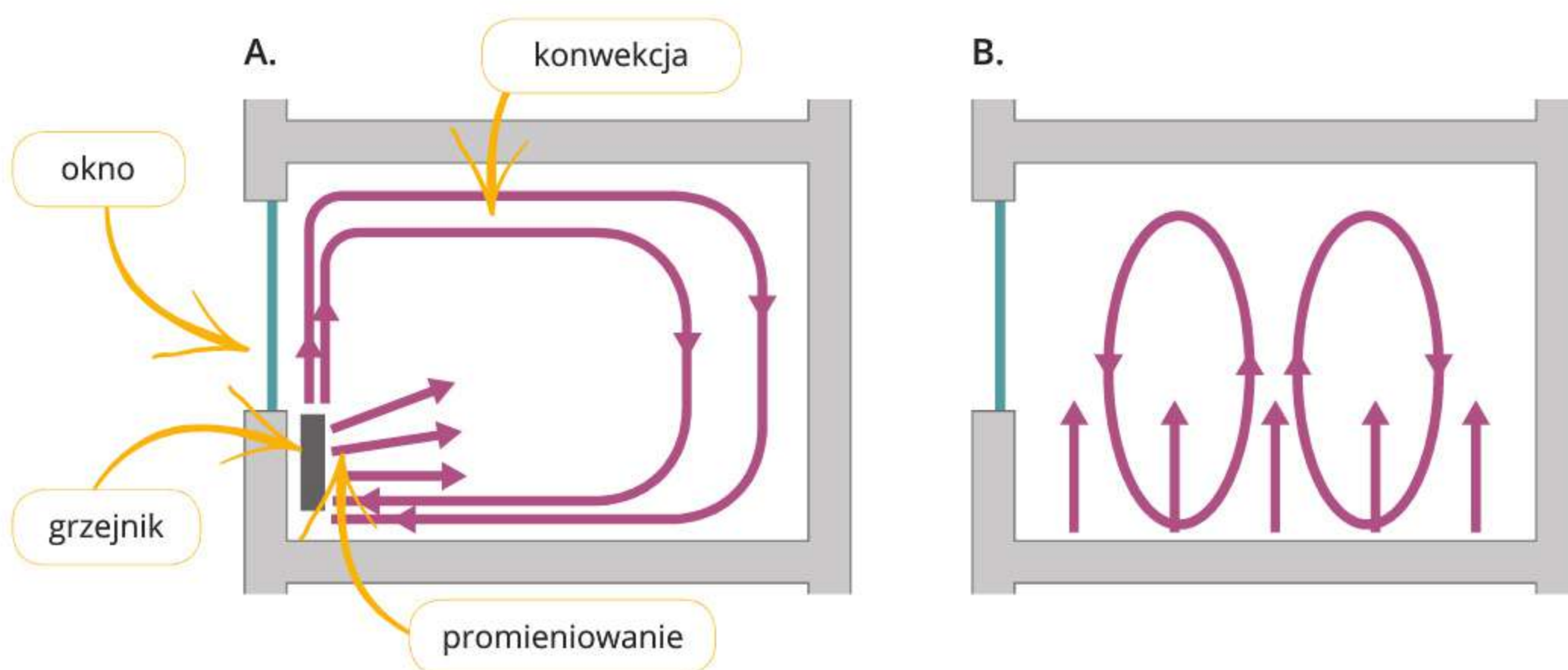
Sprawdź się!

1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Centralne ogrzewanie znajduje się w centralnej części mieszkania.	P	F
2.	Woda w grawitacyjnej instalacji centralnego ogrzewania przemieszcza się dzięki zjawisku konwekcji.	P	F
3.	Ogrzewanie grawitacyjne może być wykorzystywane w niewielkich domach jednorodzinnych.	P	F
4.	Instalacje z obiegiem cieczy grzewczej wymuszonym pompą wymagają źródła zasilania.	P	F

2. Rysunek A przedstawia obieg powietrza w pomieszczeniu ogrzewanym grzejnikami, a rysunek B – ogrzewaniem podłogowym (widok z boku).

- a. Uzasadnij, dlaczego grzejniki montuje się w pomieszczeniu zazwyczaj w pobliżu okien.



- b. Wskaż, które strzałki na rysunku B pokazują ruch powietrza związany z konwekcją, a które z promieniowaniem.

3. Powietrze w ogrzewanym pokoju o wymiarach $6,0\text{ m} \times 4,0\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ ma gęstość $1,2\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i ciepło właściwe $1005\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Oblicz, ile energii można zaoszczędzić, jeśli obniży się temperaturę tego powietrza o 3°C .

4. W instalacji centralnego ogrzewania znajduje się 50 kg wody, której ciepło właściwe jest równe $4190\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Przez grzejniki oddawana jest energia równa $9,405\text{ MJ}$. Oblicz, o ile stopni musi zmienić się temperatura wody w całej jej objętości, aby uzyskać taką ilość energii.

Odpowiedzi i wskazówki do zadań

Oddziaływania

Rozdział 1.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. I. e, f; II. a, c; III. b, d, g

Rozdział 2.

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 F
3. 5,7 g
4. $93 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$, dokładność 1 kg
5. a. 511 000 mg, 51,1 dag, 0,511 kg
b. niepewność 1 g

Rozdział 3.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 F
4. A 2
5. elektrycznego, sprężystego

Rozdział 4.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. ok. 26 N
4. Siła ma kierunek prostopadły do powierzchni podłogi, zwrot do góry, jest przyłożona do piłki i ma wartość 100 N.
5. ok. 5,6 N

Rozdział 5.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
2. 90 N, zwrot zgodny ze zwrotem siły $\vec{F}_1$
3. 560 N
4. 290 N
5. 280 N

Rozdział 6.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. Jest taka sama jak wartość siły $\vec{F}_A$.
5. 0,2 N
6. Tak, gdyż siły występują parami. Gdy przyrząd naciska na orzech, to również orzech naciska na przyrząd.

Powtórzenie. Oddziaływania

1. c. kategoria M: np. 59,2 g
d. ok. 65 g, jajko klasy L
2. $8,1 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$
3. $14,3 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$
4. magnetycznemu, elektrycznemu, grawitacyjnemu, sprężystemu
5. 0,8 N, siła ciężkości (ciężar)

6. Wartość siły: 0,2 N, zwrot taki sam jak siły $\vec{F}_1$.
7. a. 120 N
b. Siła wypadkowa jest równa zero.
c. 240 N
8. 570 N, zwrot w górę
9. 1 F, 2 F, 3 P, 4 P
11. 494 N

Tekst popularnonaukowy *Magnesy neodymowe*

2. 32 N
3. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F, 5 F
5. 10,1 kg

Właściwości materii

Rozdział 7.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F

Rozdział 8.

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 P
2. ok. $1,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
3. ok. 1,7 razy
5. a. $0,27 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
b. 10 razy

Rozdział 9.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 F
2. ok. $7,66 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
4. ok. 118 kg

Rozdział 10.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 F
2. 3100 Pa
3. 900 N
4. a. najwyższe: luty, najniższe: styczeń
b. pomiędzy lipcem a sierpniem

Rozdział 11.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F
2. Lepiej poradzi sobie łoś.
Wskazówka: Oszacuj pole powierzchni tropów – przyjmij, że mają kształt prostokątów.
3. 1600 kg
4. ok. 7300 Pa

Rozdział 12.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
3. 112,2 MPa
4. Na poziomie B, gdyż poziom wody w naczyniach połączonych jest taki sam.
5. ok. 14 m

Rozdział 13.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 F
2. ok. 34 m³
3. 0,1 N
4. Ciała C i D spoczywają na dnie.
- 5*. a. Zwiększy się.
b. Nie, siła wyporu jest nadal równa ciężarowi statku, a ten się nie zmienia.

Powtórzenie. Właściwości materii

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
2. A
3. A – Siły przylegania są większe niż siły spójności. B – Siły przylegania są mniejsze niż siły spójności.
4. ok. 51,8 cm³
5. 1920 kg
6. 10,0 N
7. a. 11 000 hPa
b. 11 razy
8. a. 50 hPa
b. 1030 hPa
9. a. Tonie.
b. Wszystkie ciała stałe wymienione w tabeli pływają w rtęci.
c. Tak.
d. Nie.
e. 18 razy.
10. o 0,1 N
11. a. Z wody wystaje ok. 0,22 cm³.
b. Piłka byłaby całkowicie zanurzona w oleju – gdyż zatonełaby.
12. a. A
b. B
13. 0,25 N
14. a. ok. 39,5 cm³

Tekst popularnonaukowy *Paradoks hydrostatyczny*

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 F
2. a. Tak.

b. Nie, ciśnienie nie zależy od ciężaru cieczy, ale od wysokości słupa cieczy, czyli od wysokości rury.

3. C 3
4. a. 12 000 Pa
b. 3,6 m

Ruch

Rozdział 14.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. najkrótszy: Gdańsk Oliwa–Gdańsk Żabianka-AWFiZ
najdłuższy: Sopot–Sopot Kamienny Potok
4. 16.38

Rozdział 15.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
4. Potrzeba jednej osi – wzdłuż zbocza.
5. a. względem przyczepy
b. względem ciągnika, przyczepy, drzewa, szosy
c. względem szosy

Rozdział 16.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. ok. 20 km/h
3. motocykl (ok. 122 km/h)
4. 48 km/h
5. a. 84 km/h
b. Prędkość między Skierniewicami i Żyrardowem wynosi ok. 125 km/h, a prędkość między Kutnem i Łowiczem Głównym to 90 km/h.

Rozdział 17.

2. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
3. 12 km/h
4. ok. 10,9 km/h
- 5*. ok. 99,5 km/h

Rozdział 18.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 P
2. 250 N, zwrot przeciwny do zwrotu siły, którą dziewczyna działa na szafę.
3. 80 N
4. ruchem jednostajnym prostoliniowym
5. 0,003 N

Rozdział 19.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 F
2. pojazd A: 10 m/s, pojazd B: 5 m/s

4. 4320 m
5. a. 6 km/h
b. 6 km/h
c. Ruchem jednostajnym – droga rośnie w równych odstępach czasu o tyle samo.

Powtórzenie. Ruch

1. B, C, D, E, F
2. prostoliniowym – a, c; krzywoliniowym – b, d
3. 10 320 s, 172 min, 2 h 52 min $\approx$ 2,87 h
4. B 1
6. 20,9 km/h
8. 18 s
9. 20 m
10. 95 N
11. ok. 25 minut
13. ok. 14,3 km/h

Tekst popularnonaukowy *Przewrót kopernikański*

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 F, 5 P
2. ok. 946 000 000 km
3. ok. 40 000 km
4. Większa jest prędkość Ziemi w ruchu dookoła Słońca.

Dynamika

Rozdział 20.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
2. B
3. ok. $11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
4. a. o 4,2 m/s
b. 18,2 m/s
5. ok. 14,2 s

Rozdział 21.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 P
2. A, B, C
3. 16 s
4. $2,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
5. a. -2,4 m/s
b. 4,8 m/s

Rozdział 22.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
4. Mniejszą bądź równą 35 N.
5. 55 N

Rozdział 23.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 P
3. ok. $0,19 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
4. 45 N
5. ok. 56 ton

Rozdział 24.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
2. Rowerzysta 1.
3. Statek 1.
4. $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
5. $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Rozdział 25.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 P
2. O godz. 9.35.
3. Po czasie 10 s i w odległości 70 m od miejsca, w którym znajdował się ochroniarz.
4. ok. $4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- 5*. Rowerzysta B.

Powtórzenie. Dynamika

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P, 5 P
- 3*. siła tarcia statycznego
4. 2 N
5. a) o 2 m/s
b) 3,5 m/s
6. 13 s
7. a. ruchem jednostajnie przyspieszonym
b. $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
8. a. ruchem jednostajnie opóźnionym
b. $1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
9. 24 N
10. 0,5 s
11. 25 s
12. 0,048 N
13. ok. 6,7 s
14. 4950 N
15. 79,5 kN

Tekst popularnonaukowy *Cessna 172 – samolot jednosilnikowy*

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 F
2. $0,68 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
3. B

4. 10 800 N
5. ruchem jednostajnie przyspieszonym, kierunek równoległy do powierzchni Ziemi
6. 1650 N

Praca i energia

Rozdział 26.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
2. 12 kJ
3. 3,3 m
4. 0,5 J

Rozdział 27.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 P
3. 16 kg
4. ok. 1500 kg
- 5*. 70 m/s

Rozdział 28.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. ok. 717 W
4. 135 kJ
5. Maszyna do pieczenia chleba miała cztery razy większą moc.

Rozdział 29.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. ok. 34 cm
4. 2,8 J
5. 6 m/s

Powtórzenie. Praca i energia

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 F, 5 P
2. 15 kJ
3. 1,2 J
4. a. 432 MJ
b. 120 kW
5. 75 kJ
6. 3 kW
7. 1,35 MJ
8. 80 razy
9. 0,1 J
10. 6675 J
11. 1,8 m
15. 9000 J

Tekst popularnonaukowy Ćwiczenia na siłowni

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P, 5 P
2. B

3. Nie wykonujemy, ponieważ nie ma przemieszczenia.
4. a. 500 N
b. 2000 J, ok. 0,48 kcal
5. ok. 324 kJ

Zjawiska cieplne

Rozdział 30.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
3. A 1
5. 15 °C

Rozdział 31.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
3. o 18 °C, o 18 K
4. 33 °C
5. a. najniższa temperatura: 0 °C, najwyższa temperatura: 6 °C
b. od 7.30 do 12.00, od 13.30 do 14.30 oraz od 21.30 do 22.30
c. od 0.00 do 6.30, od 12.00 do 13.30 oraz od 16.30 do 21.30

Rozdział 32.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
5. o 440 J

Rozdział 33.

1. 1 F, 2 F, 3 F, 4 F
2. A 1
3. 1060 kJ
4. 1 kg
5. 1300 W

Rozdział 34.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
2. 0 °C
3. niewidoczny, para wodna, skroplona woda

Rozdział 35.

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 P
2. B 1
3. 50 kJ
4. 565 000 J
- 5*. ok. 560 m³
Wskazówka: porównaj ilość ciepła oddanego przez powietrze z energią potrzebną do stopienia śniegu.

Rozdział 36.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P

Rozdział 37.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P

Powtórzenie. Zjawiska cieplne

1. B 2
2. 25 °C, 25 K
3. $240 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ – ze srebra
4. **a.** do żelaza i do niklu
b. wolfram
c. do ołowiu
5. 0,02 kg

6. 50 °C

8. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P

9. Na powierzchni kartonu skropli się para wodna zawarta w powietrzu.

10. ok. $4370 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

11. C

13. A, C, D

Tekst popularnonaukowy *Centralne* *ogrzewanie*

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P

3. ok. 217 kJ

4. ok. 45 °C

Tabela 1. Stałe fizyczne

Wielkość fizyczna	Wartość
przyspieszenie ziemskie	$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \left(\text{lub } 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \right)$
ciśnienie normalne	$p = 1013,25 \text{ hPa}$
najniższa możliwa temperatura	$T = 0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$
średnica atomu	ok. $\frac{1}{10 \text{ miliardów}} \text{ m}$
średnica jądra atomowego	ok. $\frac{1}{100 \text{ bilionów}} \text{ m}$
promień Ziemi	$R_z \approx 6400 \text{ km}$

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	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$

Tabela 3. Wybrane właściwości fizyczne substancji

(gęstość, temperatura topnienia i temperatura wrzenia przy ciśnieniu 1013,25 hPa)

Substancja	Stan skupienia (w temp. 20 °C)	Gęstość ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	Ciepło właściwe ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło topnienia ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)	Temperatura wrzenia (°C)	Ciepło parowania ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)
aluminium	stały	2700	900	660	322 000	2470	10 500 000
alkohol etylowy	ciekły	790	2400	-114	105 000	78	879 000
beton	stały	800–2600	840–1000	—	—	—	—
drewno	stały	500–800	1300–2400	—	—	—	—
glikol	ciekły	1120	2345	-13	—	197	813 000
lód	stały	900	2100	0	334 000	—	—
miedź	stały	8960	380	1080	210 000	2560	—
nikiel	stały	8900	460	1450	300 000	2910	6 230 000
oliwa	ciekły	920	2200	—	—	—	—
ołów	stały	11 350	130	327	30 000	1750	—
osm*	stały	22 600	130	3030	167 000	5010	3 920 000
parafina	stały	830–890	2720	ok. 50	150 000	300	—
piasek (suchy)	stały	1500	880	1200–1300	—	—	—
powietrze	gazowy	1,2	1005	-210	—	-190	200 000

* substancja o największej gęstości

Substancja	Stan skupienia (w temp. 20 °C)	Gęstość $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło topnienia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Temperatura wrzenia (°C)	Ciepło parowania $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$
rteć	ciekły	13 500	130	-39	11 000	357	301 000
srebro	stały	10 500	250	960	105 000	2200	2 323 000
szkło	stały	2500	840	—	—	—	—
woda	ciekły	1 000	4200	—	—	100	2 260 000
wodór	gazowy	0,082	14 300	-259	58 000	-253	445 000
wolfram	stały	19 250	130	3420	193 000	—	—
złoto	stały	19 300	130	1063	63 000	2700	1 697 000
żelazo	stały	7800	460	1530	270 000	2860	6 100 000

Tabela 4. Wielkości fizyczne z ich symbolami, jednostkami oraz wzorem

Wielkość fizyczna	Symbol	Jednostka	Wzór	Strona w podręczniku
ciepło właściwe	c_w	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$	249
ciepło parowania	R	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$R = \frac{Q}{m}$	265
ciepło topnienia	L	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$L = \frac{Q}{m}$	263
ciśnienie	p	Pa	$p = \frac{F}{S}$	72
ciśnienie całkowite	p_c	Pa	$p_c = p_a + p_h$	80
ciśnienie hydrostatyczne	p_h	Pa	$p_h = h \cdot d \cdot g$	82
energia grawitacji	E_g	J	$E_g = m \cdot g \cdot h$	205
energia kinetyczna	E_k	J	$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$	206
energia mechaniczna	E_m	J	$E_m = E_k + E_g + E_s$	199, 204, 217
gęstość	d	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ lub $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$d = \frac{m}{V}$	59
moc	P	W	$P = \frac{W}{t}$	210
praca	W	J	$W = F \cdot s$	197
prędkość	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ lub $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = \frac{s}{t}$	119
przyspieszenie	a	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ lub $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$a = \frac{ \Delta v }{\Delta t}$ lub $a = \frac{F_w}{m}$	151, 157, 171
siła ciężkości (ciężar ciała)	F_g	N	$F_g = m \cdot g$	27
siła wyporu	F_A	N	$F_A = V_z \cdot d \cdot g$	90

Indeks rzeczowy

A

akcelerometr 151, 170
atom 15
atmosfera 68, 71
atmosfera fizyczna 78
atmosfera techniczna 78

B

barometr 72
bezwładność 131, 172, 175

C

ciało bezpostaciowe 15, 259, 278
ciało fizyczne 15
ciało krystaliczne 15
ciało stałe 15, 256, 277
ciecz 15, 256, 277
ciepło 245
ciepło parowania 265
ciepło topnienia 263
ciepło właściwe 249
ciężar 27
ciśnienie 69, 72
ciśnienie atmosferyczne 69
ciśnienie całkowite 80
ciśnienie hydrostatyczne 80, 82
ciśnienie wewnętrzne 84
ciśnienie zewnętrzne 84
cyfry znaczące 19
czas 104, 106

D

diagram 11
dokładność przyrządu 12
doświadczenie 9
droga 109
droga hamowania 160
druga zasada dynamiki 171

E

elektron 15, 44
energia 199
energia kinetyczna 206
energia potencjalna grawitacji 205
energia mechaniczna 199, 201
energia potencjalna sprężystości 207
energia wewnętrzna 245, 276

G

gaz 15, 256
gęstość 58, 64

H

hamowanie 157, 159, 160
hipoteza 9

I

izolator cieplny 268

J

jądro atomowe 15
jednostka 12

K

konwekcja 271, 272
koń mechaniczny 214
krzepnięcie 256

L

lepkość 55

M

masa 16, 172
menisk wklęsły 55
menisk wypukły 55
meteor 71, 247
metoda naukowa 8
mgła 260
milimetry słupa rtęci 78
moc 210
model fizyczny 181, 274
model kinetyczno-molekularny 275

N

naczynia połączone 83
napięcie powierzchniowe 53
niepewność pomiarowa 12, 66
nurek Kartezjusza 91

O

obserwacja 9
oddziaływanie elektryczne 22, 23
oddziaływanie grawitacyjne 22, 23
oddziaływanie magnetyczne 22, 23
oddziaływanie sprężyste 22, 23
oddziaływanie wzajemne 21, 24, 38

P

para wodna 260
parcie 68
parowanie 256
pierwsza zasada dynamiki 131
pole pod wykresem 139, 178, 202

pomiar 12
powierzchnia swobodna 15
powierzchnia hydrofobowa 56
półprosta 136
praca 196
prawo Archimedesesa 90
prawo Pascala 84
prąd konwekcyjny 272
prędkościomierz 124
prędkość 119
prędkość chwilowa 124
prędkość końcowa 150, 158
prędkość początkowa 150, 158
prędkość średnia 124, 125
problem badawczy 9
promieniowanie 235, 272
promieniowanie cieplne 235
przewodnictwo cieplne 271
przewodnik cieplny 271
przyspieszenie 150, 157, 171

R

resublimacja 257
rosa 260
rodzaje ruchu 121, 174
równowaga termiczna 234, 239
ruch jednostajnie opóźniony 158
ruch jednostajnie przyspieszony 152
ruch jednostajny 118, 121
ruch krzywoliniowy 107
ruch opóźniony 157
ruch prostoliniowy 107
ruch zmienny 119, 121

S

skala Celsjusza 240, 242
skala Kelvina 242, 243
skala Fahrenheita 239, 242
siła 26
siła ciężkości 27
siła oporu ruchu 28, 131
siła nacisku 28, 68
siła nośna 41
siła parcia 68
siła równoważąca 35
siła tarcia 163
siła tarcia statycznego 163
siła tarcia kinetycznego 164
siła wypadkowa 32, 174
siła wyporu 88, 90
siły przylegania 55
siły spójności 53

siłomierz 26
skraplanie 256
spadek swobodny 216
spostreżenie 9
stygnięcie 269
sublimacja 257
substancja 15
szadź 260
szron 260
ściśliwość 52

T

tabela 11
temperatura 232, 275
temperatura krzepnięcia 256
temperatura topnienia 256
temperatura wrzenia 257
termometr 238
termometr bezdotykowy 235
termometr cieczowy 238
termometr Galileusza 238
termometr elektroniczny 238
termometr sprężynowy 238
topnienie 256, 277
tor ruchu 107
trzecia zasada dynamiki 40
tunel aerodynamiczny 133

U

układ odniesienia 112

W

waga 16
waga analogowa 17, 18
waga elektroniczna 17, 18
warunki pływania 94
węzeł 122
wielkość fizyczna 10
wrzenie 257
wykres 11, 136, 177
wzajemność oddziaływań 21
względność ruchu 112

Z

zasada bezwładności 131
zasada zachowania energii 221
zasada zachowania energii mechanicznej 217
zegar 104, 106
zmiana energii 199
zmiana prędkości 150
Ziemia 21

Źródła ilustracji i fotografii

Okładka: (dziecko na desce snowboardowej) Master1305/Shutterstock.com

Tekst główny: s. 11 (diagram – opady deszczu), (wykres temperatury), (mapa Polski); s. 15 (atom), (gaz), (ciecz); s. 13 (ciało stałe); s. 36 (torba); s. 40 (siłomierze); s. 51 (napięcie powierzchniowe); s. 56 (mleko), (cukier), (mąka); s. 60 (wykres gęstości); s. 68 (słup powietrza); s. 81 (schemat urządzenia); s. 83 (przekrój czajnika), (przekrój umywalki), (przekrój sedesu); s. 85 (tłoki); s. 87 (naczynie z rurką); s. 89 (schemat doświadczenia); s. 91 (zakraplacz w butelce); s. 95 (naczynie z wodą); s. 100 (dzbanki), (cylindry miarowe); s. 101 (naczynia z wodą); s. 164 (ciągnięcie garnka); s. 182 (szkic zadania); s. 186 (sanki); s. 205 (kule); s. 234 (bateria termostatyczna); s. 239 (wykres); s. 240 (prognoza pogody); s. 241 (elementy termometru); s. 242 (porównanie skal temperatur); s. 244 (prognoza pogody); s. 253 (prognoza pogody); s. 254 (ruch powietrza); s. 257 (schemat zmian stanu skupienia); s. 258 (wykres); s. 262 (cząsteczki); s. 264 (wykres); s. 265 (wykres); s. 268 (przepływ ciepła); s. 272 (termos); s. 273 (przepływ ciepła); s. 274 (model piłki); s. 275 (stany skupienia); s. 276 (atomy helu); s. 277 (żarówka); s. 278 (cząsteczki); s. 284 (budynek); s. 284 (naczynie); s. 285 (centralne ogrzewanie); s. 286 (obieg powietrza)

Autor: Stefan Drewiczewski

s. 7 (waga kuchenna) Eastimages/Shutterstock.com; s. 9 (wschód słońca) Maryia_K/Shutterstock.com; s. 10 (książka) urfin/Shutterstock.com, (drewno) Celig/Shutterstock.com, (bateria) grafika WSiP; s. 12 (długopis) iunewind/Shutterstock.com, (linijka) grafika WSiP; s. 14 (Droga Mleczna) NASA/JPL-Caltech, (Układ Słoneczny) Jurgen Ziewe/Shutterstock.com, (Ziemia) pegasusa012/Shutterstock.com, (człowiek) AzmanL/E+/Getty Images, (czerwone krwinki) SciePro/Shutterstock.com, (atom) Designua/Shutterstock.com, (jądro atomowe) corund/Shutterstock.com; s. 15 (kot) Deep OV/Shutterstock.com, (balonik) Dmitry Lobanov/Shutterstock.com, (szklanka) Luis Molinero/Shutterstock.com; s. 16 (śrubka) dgcampillo/Shutterstock.com, (waga szalkowa) Bborriss/iStockphoto/Getty Images; s. 17 (miejska waga) Look and Learn/Bridgeman Images, (waga hakowa) Matee Nuserm/Shutterstock.com, (waga łazienkowa) Evan Lorne/Shutterstock.com, (waga laboratoryjna) kwanchai.c/Shutterstock.com, (waga kuchenna) visivastudio/Shutterstock.com; s. 18 (waga analogowa) New Africa/Shutterstock.com, (waga elektroniczna) anmbph/Shutterstock.com; s. 20 (człowiek na wadze) Andrey_Popov/Shutterstock.com, (biżuteria na wadze) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 21 (odpływ) Claudio Divizia/Shutterstock.com, (przyptyw) Pefkos/Shutterstock.com; s. 22 (ręka i materac) Andrey_Popov/Shutterstock.com, (spadający kubek) Alter-ego/Shutterstock.com, (naelektryzowane włosy) David R. Frazier/BE&W, (magnesy na lodówce) New Africa/Shutterstock.com; s. 23 (opaska samozaciskowa) Rammy_Rammy/Shutterstock.com, (stacja ISS) Roscosmos/NASA, (drukarka) Bborriss.67/Shutterstock.com, (noże i nożyczki) VDB Photos/Shutterstock.com; s. 24 (kawałek drewna) primopiano/Shutterstock.com; s. 25 (balon) pukach/Shutterstock.com; s. 26 (jabłko na drzewie) Inga Nielsen/Shutterstock.com, (spadające jabłko) AkvarellDesign/Shutterstock.com, (siłomierz) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 27 (Ziemia) max dallocco/Shutterstock.com, (człowiek przodem) VALUA VITALY/Shutterstock.com, (człowiek tyłem) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com; s. 28 (siłomierz) Fabryka Pomocy Naukowych Sp. z o.o, Nysa, (mors) Christopher Wood/Shutterstock.com, (samochód) TonyV3112/Shutterstock.com; s. 29 (doniczka) Supachita Krerkkaiwan/Shutterstock.com; s. 30 (waga kuchenna) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (samochód) cla78/Shutterstock.com, (człowiek na skuterze) Bro Crock/Shutterstock.com, (idący człowiek) Viorel Sima/Shutterstock.com, (latarnia) Nadezhda Bolotina/Shutterstock.com; s. 31 (piłka) Ted Kinsman/Science Source/BE&W; s. 32 (mężczyźni) Elnur/Shutterstock.com, (wózek z zakupami) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com; s. 33 (wózek z zakupami) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com, (ludzie) LightField Studios/Shutterstock.com; s. 34 (wózek z zakupami) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com, (psy) Eric Isselee/Shutterstock.com; s. 35 (kubki) Wojciech Wójtowicz/

WSiP; s. 36 (człowiek) ASDF_MEDIA/Shutterstock.com; s. 37 (blondynka) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com, (brunetka) Gearstd/Shutterstock.com, (skrzynia) atakan/iStockphoto/Getty Images, (samochód) cla78/Shutterstock.com, (Egipcjanie) grafika WSiP; s. 38 (dziewczyny na kołach) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 39 (gruszka) Viktar Malyshchyts/Shutterstock.com, (jabłko) baibaz/Shutterstock.com, (idący człowiek) Viorel Sima/Shutterstock.com; s. 40 (chłopiec) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com, (dziewczyna) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com; s. 41 (samolot) StudioPortoSabbia/Shutterstock.com, (książka) urfin/Shutterstock.com, (drewno) Celig/Shutterstock.com; s. 42 (przeciąganie liny) LightField Studios/Shutterstock.com; s. 43 (piłka) irin-k/Shutterstock.com, (chłopak) StunningArt/Shutterstock.com, (dziadek do orzechów) Tuned_In/iStockphoto/Getty Images, (siłomierze) grafika WSiP; s. 44 (atom) N.Vinoth Narasingam/Shutterstock.com, (stany skupienia) Zhabska T./Shutterstock.com, (baloniki) grayjay/Shutterstock.com; s. 44 (ściskanie piłki) grafika WSiP; s. 45 (pies) grafika WSiP, (siłomierz) sommernambuler/Shutterstock.com, (książka na stole) Emir Kaan/Shutterstock.com, (samochód) VECTOR2022TR/Shutterstock.com, (melon) Dennis Jacobsen/Shutterstock.com, (mężczyźni pchający blok) udaix/Shutterstock.com, (człowiek z psem) grafika WSiP; s. 46 (kredka) Phanuphong T./Shutterstock.com, (linijka) grafika WSiP; s. 47 (bloczek nieruchomy) Zerbor/Shutterstock.com, (wiadro) Roman Peleshko/Shutterstock.com, (chłopak) ESB Professional/Shutterstock.com; s. 48 (człowiek z futerałem) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com, (śruba) FabrikaSimf/Shutterstock.com, (samochód) Dimitris Leonidas/Shutterstock.com, (przyczepa) vectorlab2D/Shutterstock.com, (magnes) grafika WSiP; s. 49 (magnesy) coddly/iStockphoto/Getty Images; s. 51 (batyskaf) Birute Vijeikiene/Shutterstock.com; s. 52 (pompka na naboje) Btwin, (puszka ze sprężonym powietrzem) Cember Tech/Shutterstock.com; s. 53 (krople wody) artjazz/Shutterstock.com, (owoce w wodzie) Valery Orlov/Shutterstock.com; s. 54 (pływak) Ian MacNicol/Getty Images; s. 55 (rurka z wodą) Martin Shields/SCIENCE SOURCE/East News, (kisiel) Melica/Shutterstock.com, (woda) krit3rdfloor/iStockphoto/Getty Images; s. 56 (but) mykhailo pavlenko/Shutterstock.com, (tkanina) mykhailo pavlenko/Shutterstock.com, (liść lotosu) aeiddam0853578919/Shutterstock.com, (szyba-lewa) piboon chiantanrak/Shutterstock.com, (szyba-prawa) pare9/Shutterstock.com, (piasek hydrofobowy) teachersource.com; s. 58 (koncentrat pomidorowy) Moving Moment/Shutterstock.com; s. 59 (sos) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 61 (butla z helem) scanrail/iStockphoto/Getty Images, (balony) Boule/Shutterstock.com, (styropian) Marko Poplasen/Shutterstock.com, (kamizelka ratunkowa) objectsforall/Shutterstock.com, (sztabka złota) Wathana/Shutterstock.com, (szkielet samochodu) 3DMI/Shutterstock.com, (gwiazda neutronowa) Artsiom P/Shutterstock.com; s. 62 (przekrój stawu) grafika WSiP; s. 64 (gumka) pics five/Shutterstock.com, (linijka) grafika WSiP; s. 65 (kostka żelaza) donatas1205/Shutterstock.com, (kostka aluminium) donatas1205/Shutterstock.com, (kostka brązu) donatas1205/Shutterstock.com, (waga) Grzegorz F. Wojewoda/WSiP, (walce z metali) R3M/Science Photo Library/East News; s. 66 (menzurka) Susan Santa Maria/Shutterstock.com, (gumka) Iurii Kachkovskyi/Shutterstock.com; s. 69 (samochód) Roman Belogorodov/Shutterstock.com, (uchwyty do szyb) Aleksandr178/Shutterstock.com, (przepychacz) chengyuzheng/iStockphoto/Getty Images, (wek) kzww/Shutterstock.com; s. 70 (kobieta) Naked King/iStockphoto/Getty Images; s. 71 (warstwy atmosfery) Macrovector/Shutterstock.com, (Ziemia) Anton Balazh/Shutterstock.com; s. 74 (rowery na wydmach) TKerler/Shutterstock.com, (zakaz szpilek) Bohdan Tymofiienko/Shutterstock.com, (zakaz korków); s. 75 (nóż) Photoongraphy/Shutterstock.com, (pinezki) schankz/Shutterstock.com, (wywrotka) MARCELODLT/Shutterstock.com; s. 77 (akcja ratunkowa) Jaroslav Pruss/Forum, (rakiety śnieżne) ChiccoDodiFC/Shutterstock.com, (fakir) lebanmax/iStockphoto/Getty Images; s. 78 (ciśnieniomierz) malerapaso/iStockphoto/Getty Images, (miernik ciśnienia w oponach) Bezbod/Shutterstock.com; s. 79 (tropy łośia) Julia August/iStockphoto/Getty Images, (tropy jelenia) Kardashzada Emras/Shutterstock.com; s. 80 (batyskaf) Jacques Dayan/Shutterstock.com; s. 82 (rybki) Sergiy Akhundov/iStockphoto/Getty Images; s. 83 (czajnik zdjęcie) Anton Starikov/Shutterstock.com, (umywalka) Cersanit, (sedes) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 84 (ściskanie balonu) grayjay/Shutterstock.com; s. 85 (rowerowy hamulec) grafika WSiP; s. 86 (nurek) Ahmed Gabr (ahmedgabr.com) © (2014). All rights reserved; s. 88

(sztangista pod wodą) Bartłomiej Zborowski, (szklanka) Olga Altunina/Shutterstock.com, (ziemniak) Nattika/Shutterstock.com, (solniczka) Nattika/Shutterstock.com; s. 90 (łódka) Diversity Studio/iStockphoto/Getty Images, (sterowiec) John-Fs-Pic/Shutterstock.com; s. 91 (butelka) mylisa/Shutterstock.com, (zakraplacz) Realstockvector/Shutterstock.com; s. 92 (góra lodowa) Andrey_Kuzmin/Shutterstock.com; s. 93 (kontenerowiec) MartinLueke/Shutterstock.com, (łódź podwodna) MR1805/iStockphoto/Getty Images, (ryba) arnau2098/iStockphoto/Getty Images, (balon) topseller/Shutterstock.com; s. 94 (pływanie ciał, 3 rys) Zhabska T./Shutterstock.com; s. 96 (puszka) Maria Ferencova/Shutterstock.com, (walec) grafika WSiP, (ściskanie balonu) Honourr/Shutterstock.com; s. 97 (motorówka) Olga Kurbatova/iStock/Getty Images Plus, (nurek) Stefan Illic/iStock/Getty Images Plus, (łódź podwodna) TopVectors/iStock/Getty Images Plus, (list w butelce) Arkadiusz Grabek, (łódka) tynyuk/Shutterstock.com, (wieloryb) Nadya_Art/Shutterstock.com, (wrak) Mind Pixell/Shutterstock.com; s. 98 (meniski) SINCLAIR STAMMERS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/East News; s. 101 (człowiek z beczką) Sergey Merkulov/Shutterstock.com; s. 103 (hulajnoga) Christian Nastase/Shutterstock.com; s. 105 (wschód słońca) Piriya Gutsch/Shutterstock.com, (zachód słońca) Frank Heikkinen/Shutterstock.com; s. 106 (zegar słoneczny) eugeneseergeev/iStockphoto/Getty Images, (zegar wodny) SSPL/UIG/Bridgeman Images/PhotoPower, (zegar ogniowy) Science Museum/Science & Society PL/East News, (zegar wahadłowy) lyf1/Shutterstock.com, (zegar pulsarowy) PAP/Adam Warżawa, (zegarek kwarcowy) John Kasawa/Shutterstock.com; s. 107 (ruch piłki) MarcelClemens/Shutterstock.com, (ruch Księżyca) zrzuty ekranowe z programu Stellarium, (motorówka) Ilyas Kalimullin/Shutterstock.com, (zakręcająca motorówka) Alessandro Colle/Shutterstock.com; s. 108 (ciągnik) Xato/Shutterstock.com, (skoczek narciarski) technotr/E+/Getty Images, (samoloty) sanguer/Shutterstock.com, (narciarz) Marcin Wiklik/iStockphoto/Getty Images; s. 109 (pomiar drogi) Przemysław Ziemacki/East News, (rowerzysta) Eugene Onischenko/Shutterstock.com; s. 110 (kolej SKM) Patryk Kosmider/Shutterstock.com; s. 111 (bieżnia) ako photography/Shutterstock.com; s. 112 (kolejka górską) Daniel Bond/Shutterstock.com; s. 113 (tramwaj) AndriiKoval/Shutterstock.com, (człowiek) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com, (pociąg) ZagAlex/Shutterstock.com; s. 114 (człowiek na bieżni) Ljupco/iStockphoto/Getty Images, (dzieci na karuzeli) Juice Flair/Shutterstock.com, (skoczkowie spadochronowi) Sky Antonio/Shutterstock.com, (czapla na krokodylu) Danita Delimont/Shutterstock.com, (widok Ziemi z Księżyca) NASA; s. 115 (biedronka) monika3steps/Shutterstock.com, (samochody) Lens Hitam/Shutterstock.com; s. 116 (akwarium) Africa Studio/Shutterstock.com, (ryba) Dany Kurniawan/Shutterstock.com; s. 117 (ruchome chodniki) DeadDuck/iStockphoto/Getty Images, (człowiek w górach) everst/Shutterstock.com, (drzewo) Zerbor/Shutterstock.com, (ciągnik) kontur-vid/Shutterstock.com, (samochód) Dimitris Leonidas/Shutterstock.com; s. 118 (autostrada) Vladyslav Horoshevyh/Shutterstock.com; s. 119 (człowiek na hulajnodze) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com, (kasztan) Mathias Rosenthal/Shutterstock.com; s. 120 (śnieg) Aleksey Gorbunov/Shutterstock.com, (kolej gondolowa) WDnet/iStockphoto/Getty Images, (autobus) Margy Crane/Shutterstock.com, (rowerzysta) Lester Balajadia/Shutterstock.com; s. 122 (log) Zuiderzee Museum Enkhuizen, (log rysunek) grafika WSiP; s. 124 (znak) grafika WSiP; s. 125 (prędkościomierz) Flipser/Shutterstock.com, (znak drogowy) Wojciech Strozyk/REPORTER; s. 127 (eksperyment z pęcherzykiem) grafika WSiP; s. 128 (znak drogowy) grafika WSiP; s. 129 (biegacz) Maridav/Shutterstock.com; s. 130 (książki) Bet_Noire/iStockphoto/Getty Images, (krople deszczu) marco martins/Shutterstock.com; s. 131 (samochód) Andrus Ciprian/Shutterstock.com, (statek) peaty/iStockphoto/Getty Images; s. 132 (ciągnik i samochód) Matt Cardy/Getty Images, (statek) Ceri Breeze/Shutterstock.com, (skoczek spadochronowy) Sanit Fuangnakhon/Shutterstock.com, (magnesy) Zamkor/WSiP; s. 133 (tunel aerodynamiczny) VW/BE&W; s. 134 (dziewczyna) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com, (szafa) Kim Diaz/Shutterstock.com, (piórko) Nikandphoto/Shutterstock.com; s. 135 (lokomotywy) Lutsenko_Oleksandr/Shutterstock.com; s. 136 (wykres 19.2) grafika WSiP, (wykres 19.3) grafika WSiP; s. 137 (wykres 19.4) grafika WSiP, (wykres 19.5) grafika WSiP; s. 138 (wykres) grafika WSiP; s. 139 (wykres 1) grafika WSiP, (wykres 2); s. 140 (wykres) grafika WSiP; s. 141 (wykres) grafika WSiP, (wykres) grafika WSiP; s. 142 (chłopiec z piłką) VectorMine/

Shutterstock.com, (rzut piłką) grayjay/Shutterstock.com, (park) Tartila/Shutterstock.com, (chłopak na skuterze) chirayusarts/Shutterstock.com; s. 143 (tramwaj) Vectors Bang/Shutterstock.com, (skoczek narciarski) colonga123456/Shutterstock.com, (torba) Pavel Sivak/iStock/Getty Images Plus, (statek) jossnatu/iStock/Getty Images Pluss; s. 144 (bieg) John Biever/Sports Illustrated/Getty Images, (kolarstwo) Celso Pupo/Shutterstock.com, (wioślarstwo) Chris Ryan/OJO Images RF/Getty Images, (skok wzwyż) Denis Kuvaev/Shutterstock.com; s. 145 (jabłko na gałęzi) hans.slegers/Shutterstock.com, (roślina) anna karwowska/Shutterstock.com; s. 146 (Tesla Roadster) SpaceX/UPI/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 147 (Układ Słoneczny historycznie) Public Domain, (Układ Słoneczny współcześnie) Withan Tor/Shutterstock.com; s. 149 (bolid) Kjpargeter/Shutterstock.com; s. 150 (samochód a) Paceman/Shutterstock.com, (samochód b) Car_Photographer/Shutterstock.com; s. 152 (biały samochód) Yuri Schmidt/Shutterstock.com; s. 153 (samolot) Pojana Jermsawat/Shutterstock.com, (żużlowcy) Sergey Kuznecov/Shutterstock.com, (łabędź) NASA/JPL/Wikipedia [Public Domain], (sonda) DKeith/Shutterstock.com; s. 157 (narciarz) anatoliy_gleb/Shutterstock.com; s. 158 (samochód) Hetman Bohdan/Shutterstock.com; s. 159 (samolot pasażerski) Ryan Fletcher/Shutterstock.com, (silnik) DimaBerlin/Shutterstock.com, (lotniskowiec) Stocktrek Images/Stocktrek Images/Getty Images, (samolot ze spadochronem) Ryan Fletcher/Shutterstock.com; s. 160 (droga hamowania) Sławomir Skryśkiewicz; s. 163 (pchanie skrzyni) stevecoleimages/E+/Getty Images; s. 164 (garnek) Olga Popova/Shutterstock.com, (siłomierz) sommernambuler/Shutterstock.com, (biegaczka) PAP/Grzegorz Momot; s. 165 (piasek na chodniku) Elena Loginova/Shutterstock.com, (podeszwy) Forestlife/Shutterstock.com, (klocki hamulcowe), (woskowanie nart) Ron Ramtang/Shutterstock.com, (dzieci na ślizgawce) Monkey Business Images/Shutterstock.com; s. 166 (curling) Leonard Zhukovsky/Shutterstock.com; s. 167 (karton) NDanko/Shutterstock.com, (mężczyzna z szafą) Elnur/Shutterstock.com; s. 168 (ślady hamowania) Yauhen_D/Shutterstock.com, (dziecko na nartach) travelarium.ph/Shutterstock.com; s. 169 (czerwony traktor) GordanD/Shutterstock.com, (żółty traktor) kontur-vid/Shutterstock.com; s. 170 (motorówka) IM_photo/Shutterstock.com, (smartfon) cobalt88/Shutterstock.com, (ciężarówka) StanRohrer/E+/Getty Images; s. 172 (zderzenie bez pasów) blueringmedia/Getty Images, (pasy zapięte) blueringmedia/Getty Images, (pasażerka autobusu) Cultura Creative RF/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 174 (hulajnoga) Sergiy Kuzmin/Shutterstock.com, (samochód) Brandon Woyshnis/Shutterstock.com, (żużlowiec) Sergey Kuznecov/Shutterstock.com, (samolot) Markus Mainka/Shutterstock.com, (hokeista) simonkr/E+/Getty Images; s. 177 (wykresy 24.1-24.3) Sławomir Skryśkiewicz; s. 178 (wykres) Sławomir Skryśkiewicz; s. 179 (wykres) Sławomir Skryśkiewicz; s. 180 (wykresy 1-4) Sławomir Skryśkiewicz; s. 181 (skoczek spadochronowy) Sanit Fuangnakhon/Shutterstock.com; s. 182 (peleton) Radu Razvan/Shutterstock.com; s. 184 (szczyt Grześ) Zoonar GmbH/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 185 (samochód na wsi) PaulSat/Shutterstock.com; s. 188 (sprinter), (skaczący ludzie), (wykresy) Krzysztof Kałucki; s. 189 (wagon z węglem) Krzysztof Kałucki, (siłacz z samochodem) erhui1979/DigitalVision Vectors/Getty Images; s. 190 (zakupy) Photobac/Shutterstock.com; s. 192 (pień) Eduardo Dzophoto/Shutterstock.com; s. 193 (samolot Cessna 172) riekephotos/Shutterstock.com; s. 194 (samolot Cessna 172) riekephotos/Shutterstock.com; s. 195 (dźwig) JIANG HONGYAN/Shutterstock.com; s. 196 (dziewczyna) Kamenetskiy Konstantin/Shutterstock.com, (paczka) Tartila/Shutterstock.com; s. 197 (dziewczyna ze sztangą) PeopleImages/iStockphoto/Getty Images, (ISS) Roscosmos/NASA, (żaglówka) vuk8691/E+/Getty Images, (dziecko na sankach) Niko_Cingaryuk/iStockphoto/Getty Images; s. 198 (siłomierz) sommernambuler/Shutterstock.com, (książka) urfin/Shutterstock.com; s. 199 (kafar) Tanya Po/Shutterstock.com, (zegarek) eugenelucky/iStockphoto/Getty Images; s. 201 (duży zegar) BigJoker/iStockphoto/Getty Images, (Porąbka-Żar) Bartek Wrzesniowski/Alamy Stock Photo/BE&W, (młot pneumatyczny) valio84sl/iStockphoto/Getty Images; s. 202 (wykres) Sławomir Skryśkiewicz; s. 203 (sanki z psami) Irishka1/iStockphoto/Getty Images; s. 204 (dziewczyna na trampolinie) galitskaya/iStockphoto/Getty Images; s. 205 (EV1 CDU) © Energy Vault Inc., (stół i taboret) imdproduction/Shutterstock.com; s. 206 (samochód ciężarowy) AlexSava/iStockphoto/Getty Images, (samochód osobowy) cla78/Shutterstock.com; s. 207 (zabawka) matty2x4/iStockphoto/Getty Images; s. 209 (strzelanie z łuku) vitapix/iStockphoto/Getty Images, (strzała)

olm26250/iStockphoto/Getty Images, (strzała w tarczy) olm26250/iStockphoto/Getty Images; s. 210 (mały wózek widłowy) 3DMAVR/iStockphoto/Getty Images, (duży wózek widłowy) Bet_Noire/iStockphoto/Getty Images; s. 212 (gofrownica) sutsaiy/Shutterstock.com, (wykres) Sławomir Skryśkiewicz; s. 213 (koń z pługiem) kaikups/iStockphoto/Getty Images, (traktor) Bim/iStockphoto/Getty Images, (ergometr) Youngoldman/iStockphoto/Getty Images, (młynek) AlexLMX/iStockphoto/Getty Images; s. 214 (samochód) Digital Storm/Shutterstock.com; s. 215 (wykres) Sławomir Skryśkiewicz; s. 216 (komora próżniowa) NASA/Michelle Murphy (WYLE), (piórko) Krzysztof Bubel/Shutterstock.com, (kula) grafika WSiP; s. 217 (skok do wody) © Predrag Vuckovic/Red Bull Content Pool; s. 218 (sople) Hurst Photo/Shutterstock.com; s. 219 (kulka w piasku) Grzegorz F. Wojewoda/WSiP; s. 220 (skok wzwyż) Denis Kuvaev/Shutterstock.com; s. 222 (pióro) gomolach/Shutterstock.com; s. 224 (człowiek z głazem) Drawlab19/Shutterstock.com, (dźwig) robuart/Shutterstock.com, (bryczka) Krzysztof Kałucki; s. 225 (motorówka) Vectors Bang/Shutterstock.com, (człowiek z piłką) VectorMine/Shutterstock.com, (ręka z piłką) Krzysztof Kałucki; s. 226 (spychacz) LETOPISEC/Shutterstock.com; s. 227 (jerzyk) Andrew_Howe/iStockphoto/Getty Images, (sokół) Jrleyland/iStockphoto/Getty Images, (podnoszenie ciężarów) PAP/EPA/LARRY W. SMITH; s. 228 (pukawka) galanteria-drewniana.com; s. 229 (ergometr) Pekic/iStockphoto/Getty Images, (sztanga) LightFieldStudios/iStockphoto/Getty Images, (gumy do ćwiczeń) puhhha/iStockphoto/Getty Images; s. 230 (podnoszenie sztangi) starush/iStockphoto/Getty Images; s. 231 (czajnik) p1images/iStockphoto/Getty Images; s. 232 (ogrodzenie zimą) thomland/iStockphoto/Getty Images, (kucie żelaza) Lukas Pobuda/Shutterstock.com; s. 233 (wulkan Etna) Vadym Lavra/Shutterstock.com; s. 234 (napoje) Steve Cukrov/Shutterstock.com; s. 235 (ludzie na lotnisku) Have a nice day Photo/Shutterstock.com, (dom) AndreyPopov/iStockphoto/Getty Images, (termometr bezdotykowy) Vladyslav Travel photo/Shutterstock.com; s. 238 (termometr sprężynowy) Hayati Kayhan/Shutterstock.com, (termometr cieczowy) Ryszard Piątkowski/WSiP, (termometr Galileusza) TonLammerts/Shutterstock.com, (termometr elektroniczny z sondą) Aleksandra Budzinskaia/Shutterstock.com; s. 240 (termometr elektroniczny z sondą) Aleksandra Budzinskaia/Shutterstock.com, (kubek) macro videography/Shutterstock.com; s. 241 (drewniana deska) KPPWC/Shutterstock.com, (kostki lodu) Tim UR/Shutterstock.com, (butelka) BrandRate/Shutterstock.com; s. 242 (stacja antarktyczna) G. Koposov/Sputnik/East News, (woda z lodem) Aleksandr Grechanyuk/Shutterstock.com, (wrząca woda) Roman Sigaev/Shutterstock.com, (mierzenie temperatury) Iana Aibazova/Shutterstock.com; s. 245 (kawa) asife/Shutterstock.com; s. 246 (garnek nad ogniskiem) Greens and Blues/Shutterstock.com, (pompowanie koła) Daria Kulkova/iStockphoto/Getty Images; s. 247 (termometr elektroniczny) Aleksandra Budzinskaia/Shutterstock.com, (plastelina) sergua/Shutterstock.com, (meteory) Lemon_tm/iStockphoto/Getty Images; s. 249 (garnek z wodą) ~UserGI16253959/iStockphoto/Getty Images; s. 251 (tabliczka znamionowa) grafika WSiP; s. 252 (grzejnik) Real Vector/Shutterstock.com, (termofor) alarich/Shutterstock.com, (piec kaflowy) Ingrid Maasik/Shutterstock.com, (toster) New Africa/Shutterstock.com; s. 253 (kamień do pizzy) ayagiz/iStockphoto/Getty Images, (pizza) Alexander Baluev/Shutterstock.com; s. 255 (morze) Crazy nook/Shutterstock.com; s. 256 (woda z kranu w szklance) Yuri Samsonov/Shutterstock.com; s. 257 (ciało stałe i ciecz) penguiin/Shutterstock.com, (gaz) Trifonenkolvan/Shutterstock.com, (garnek do mleka) EKramar/Shutterstock.com; s. 258 (termometr) PCH-Vector/iStockphoto/Getty Images, (czajnik) bane.m/Shutterstock.com; s. 259 (ogrzewane szkło) Atilla Alp Bolukbasi/iStockphoto/Getty Images, (popękany asfalt) Paul Vinten/Shutterstock.com; s. 260 (rosa) Kostiantyn/Shutterstock.com, (mgła) Szymon Bartosz/Shutterstock.com, (szadź) Maria Raz/Shutterstock.com, (szron) Kotenko Oleksandr/Shutterstock.com; s. 261 (czajnik) focal point/Shutterstock.com; s. 262 (ciało stałe) Leonid Ikan/Shutterstock.com, (ciecz) SiiKA Photo/Shutterstock.com, (gaz) Trifonenkolvan/Shutterstock.com, (krzepnięcie) somchaij/Shutterstock.com, (skraplanie) kubais/Shutterstock.com; s. 263 (śnieg na palcu) Hivaka/Shutterstock.com, (śnieg w dłoniach) New Africa/Shutterstock.com; s. 264 (topniejący lód) finwal89/Shutterstock.com; s. 265 (ogrzewacz dłoni) donstock/iStockphoto/Getty Images; s. 268 (cegła) Oleksandr Rybitskiy/Shutterstock.com; s. 269 (termometr) Kabardins photo/Shutterstock.com, (łyżeczka) klyaksun/Shutterstock.com, (kubek jednorazowy) Artur Aliev/

Shutterstock.com, (kubek styropianowy) AlenKadr/Shutterstock.com, (spinacz) Picsfive/Shutterstock.com; s. 270 (mężczyzna w kurtce) AndreySkat/Shutterstock.com, (pierz) Siwakorn1933/Shutterstock.com, (puch naturalny) Zhane Luk/Shutterstock.com, (puch syntetyczny) Aninna/Shutterstock.com, (ptak) Kristine Rad/Shutterstock.com, (igloo) Smit/Shutterstock.com, (garnek) monticello/Shutterstock.com; s. 271 (słoik) Grzegorz F. Wojewoda; s. 272 (termowizyjny obraz budynków) Ivan Smuk/Shutterstock.com; s. 273 (spiralą i świeczka) Sławomir Stachnik; s. 274 (piłka) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 275 (lody z polewą) Mark Tan/EyeEm/Getty Images; s. 276 (balony) exopixel/Shutterstock.com; s. 277 (świecąca żarówka) Retouch man/Shutterstock.com, (żarówka) Somchai Som/Shutterstock.com; s. 280 (pompowanie piłki) Moriz/Shutterstock.com, (gotowanie wody) BlueRingMedia/Shutterstock.com; s. 281 (ognisko) SCIENCE PHOTO LIBRARY/East News, (stany skupienia) SCIENCE PHOTO LIBRARY/East News, (wykres) rktz/Shutterstock.com; s. 283 (żelazko z duszą) Jaromond/Shutterstock.com; s. 284 (cegła) Oleksandr Rybitskiy/Shutterstock.com, (kostka lodu) Tim UR/Shutterstock.com

Komiksy: Daniel de Latour

Pozostałe ilustracje: Piotr Uszyński

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.



**WYDAWNICTWA
SZKOLNE
i PEDAGOGICZNE**

wsip.pl

sklep.wsip.pl

infolinia: 801 220 555