

Marcin Braun
Weronika Śliwa

To jest fizyka

PODRĘCZNIK DO FIZYKI DLA KLASY SIÓDMEJ
SZKOŁY PODSTAWOWEJ

OZNACZENIA W E-PODRĘCZNIKU



Ikona na górze strony sygnalizuje zmiany,
które obowiązują od 2024 r.



W ten sposób oznaczono treści,
które nie są już wymagane.



Tak zaznaczono treści, o których
realizacji decyduje nauczyciel.

**nowa
era**

Twoje mocne strony

Droga Nowa Ero,

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

Wasza firma jednak promuje masowy dodruk, całkowicie niepotrzebnych książek, które mogłyby 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 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 (o ironio), w której papier nie jest beczelnie marnowany dla pieniędzy. Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Struktura podręcznika	5
Jak korzystać z podręcznika	6
 I. ZACZYNAMY UCZYĆ SIĘ FIZYKI	
Temat 1. Czym się zajmuje fizyka	8
Infografika. O tym mówi fizyka	9
Temat 2. Jednostki i pomiary	11
Infografika. Rozmiary duże i małe	12
Temat 3. Jeszcze o pomiarach	16
Temat 4. Siła	20
Temat 5. Siła wypadkowa	23
Temat dodatkowy. Siła wypadkowa – trudniejsze zagadnienia	25
Temat 6. Bezwładność ciała – pierwsza zasada dynamiki	28
Powtórzenie	31
 II. CIAŁA W RUCHU	
Temat 7. Ruch i jego względność	36
Temat 8. Wykresy opisujące ruch	38
Temat 9. Ruch jednostajny prostoliniowy	40
Temat 10. Jeszcze o ruchu jednostajnym prostoliniowym	43
Infografika. Prędkości duże i małe	44
Temat 11. Wyznaczanie prędkości	47
Temat dodatkowy. Prędkość średnia	51
Temat dodatkowy. Prędkość względna	54
Temat 12. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony	57
Temat 13. Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony	61
Infografika. Przyspieszenia duże i małe	63
Temat dodatkowy. Droga w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym	65
Temat 14. Analiza wykresów przedstawiających ruch	68
Powtórzenie	72
 III. SIŁA WPŁYWA NA RUCH	
Temat 15. Druga zasada dynamiki	78
Temat 16. Druga zasada dynamiki a ruch ciał	82
Temat 17. Masa a siła ciężkości	85
Infografika. Masy duże i małe	86
Temat 18. Spadek swobodny	89
Temat 19. Trzecia zasada dynamiki	92
Infografika. Siła reakcji umożliwia ruch	94
Temat 20. Tarcie	96
Temat dodatkowy. Jeszcze o bezwładności ciał	100
Powtórzenie	103

IV. PRACA I ENERGIA

Temat 21. Praca	110
Temat 22. Energia	114
Infografika. Różne formy energii	115
Temat 23. Energia potencjalna grawitacji	118
Temat 24. Energia kinetyczna	123
Temat 25. Przemiany energii mechanicznej	127
Temat dodatkowy. Energia, człowiek i środowisko	130
Temat 26. Moc	134
Infografika. Moce duże i małe	134
Temat dodatkowy. Dźwignie	138
Temat dodatkowy. Maszyny proste	143
Powtórzenie	148

V. CZĄSTECZKI I CIEPŁO

Temat 27. Cząsteczki	154
Temat 28. Stany skupienia materii	158
Infografika. Zmiany stanu skupienia.....	159
Infografika. Struktury kryształów	160
Temat 29. Temperatura a energia	163
Infografika. TemperatURY niskie i wysokie	164
Temat 30. Ciepło właściwe	168
Temat dodatkowy. Ciepło właściwe – trudniejsze zagadnienia	173
Temat 31. Przewodnictwo cieplne	176
Temat 32. Konwekcja i promieniowanie	180
Temat 33. Topnienie i krzepnięcie	183
Temat 34. Parowanie i skraplanie	186
Powtórzenie	189

VI. CIŚNIENIE I SIŁA WYPORU

Temat 35. Wyznaczanie objętości	196
Temat 36. Gęstość	200
Temat 37. Wyznaczanie gęstości	203
Temat 38. Ciśnienie	207
Temat 39. Ciśnienie hydrostatyczne	210
Temat 40. Prawo Pascala	215
Temat 41. Prawo Archimedesesa	219
Temat dodatkowy. Prawo Archimedesesa – trudniejsze zagadnienia	223
Temat 42. Ciśnienie atmosferyczne	226
Powtórzenie	231

Tablice	237
Odpowiedzi do zadań obliczeniowych	241
Indeks	245

Struktura podręcznika

1



W tym rozdziale kształtujemy intuicyjne rozumienie pojęć fizycznych:

- pomiar i doświadczenie,
- siła,
- bezwładność ciała i masa.

Szczegółowo będą one omawiane w kolejnych działach podręcznika.

2



W tym rozdziale wprowadzamy (bez trudnych pojęć matematycznych) zagadnienia dotyczące ruchu:

- ruch i jego względność,
- ruch jednostajny prostoliniowy,
- ruch jednostajnie przyspieszony i opóźniony,
- analiza wykresów opisujących ruch.

3



W tym rozdziale opisujemy przyczyny ruchu:

- zasady dynamiki,
- siła ciężkości,
- opory ruchu,
- swobodne spadanie ciał.

4



W tym rozdziale omawiamy zagadnienia związane z energią:

- praca, moc, energia,
- formy energii,
- zasada zachowania energii,
- przemiany energii mechanicznej.

5



W tym rozdziale omawiamy zagadnienia związane z budową materii i zjawiskami cieplnymi:

- cząsteczki i działające między nimi siły,
- stany skupienia i ich przemiany,
- związek temperatury z energią cząsteczek,
- przepływ ciepła i ciepło właściwe.

6



W tym rozdziale omawiamy zagadnienia związane ze zjawiskami hydrostatycznymi:

- wyznaczanie objętości i gęstości,
- ciśnienie,
- prawo Pascala i jego zastosowania,
- prawo Archimedesesa.

Jak korzystać z podręcznika

Zapamiętaj! Nie wolno pisać po podręczniku.
Za rok przekażesz go młodszym koleżankom i kolegom.



Oznaczenia zadań



trudne zadania



bardzo trudne zadania



żartobliwie sformułowane zadania (ale poza tym zupełnie poważne!)

Dlaczego tęcza najczęściej powstaje po deszczu? Dlaczego nie pojawia się po każdym deszczu? Dlaczego, aby ją zobaczyć, musisz stać tyłem do słońca? Dlaczego barwy tęczy zawsze są ułożone w tej samej kolejności? Czy tęczowe kolory rozlanej na wodzie benzyny mają coś wspólnego z tęczą na niebie?

Zaczynamy uczyć się fizyki

W tym rozdziale przybliżymy ci podstawowe pojęcia fizyki znane z życia codziennego. Szczegółowo będziemy je omawiać w dalszych częściach podręcznika.



1 Czym się zajmuje fizyka



Umiejętnie rzucony płaski kamień odbija się od wody kilka razy. Nazywamy to „puszczaniem kaczek”. Dlaczego kamień czasami odbija się od wody, a czasami od razu do niej wpada? Dlaczego w ogóle kamień tonie, a kaczka pływa po powierzchni jeziora? Oto przykłady pytań, na które możemy odpowiedzieć dzięki wiedzy z dziedziny zwanej fizyką (gr. *physis* znaczy „przyroda”). Przy tym fizycy nie zajmują się interesującymi dla biologa czy geologa szczegółami, np. z jakiego minerału zbudowany jest kamień, czy kaczka to ptak czy ssak. Chcą raczej poznać odpowiedzi na inne pytania: Dlaczego niektóre ciała* toną, a niektóre pływają? Od czego to zależy? Co zrobić, aby ciało, które na ogół tonie, odbiło się od wody?

Doświadczenie

Weź lupę i obejrzyj przez nią drobne litery w książce. Potem przez tę samą lupę, ale trzymaną w wyciągniętej ręce, popatrz na odległe przedmioty (np. domy za oknem). Co widzisz?



■ Jak fizycy poznają świat

Jeśli fizycy chcą się dowiedzieć, jak przebiega interesujące ich zjawisko, wykonują **doświadczenia**. Naukowcy muszą wykonywać swoje doświadczenia starannie i wielokrotnie, niekiedy przez wiele lat. Także ty, ucząc się fizyki, będziesz eksperymentować, czasem w szkole, pod okiem nauczyciela, czasem w domu.

Ćwiczenie. Jak myślisz, które z wymienionych niżej czynników mogą mieć wpływ na wynik doświadczenia opisanego obok?

- a) Kształt soczewki lupy. Czy gdyby była z obu stron płaską szybką, działałaby tak samo?
- b) Odległość lupy od przedmiotu. Czy przedmioty bliskie i dalekie wyglądają tak samo?
- c) Kolor rączki.

Niektóre czynniki mają wpływ na przebieg doświadczenia, a inne nie mają.

* W języku naukowym *ciało* to dowolny przedmiot, zwierzę lub roślina.

Fizyka zajmuje się poszukiwaniem odpowiedzi na wiele pytań dotyczących tego, co się dzieje wokół nas, oraz tego, co jest istotne dla zachodzących zjawisk. Fizyka tłumaczy podstawowe prawa przyrody.

Fizycy starają się opisać świat nie tylko za pomocą słów, ale i liczb. Wiadomo, że to samo ciało, np. moneta, upuszczone z czwartego piętra spada dłużej niż z pierwszego. Czy wiesz, że nie spada cztery, ale tylko dwa razy dłużej? Fizycy mierzą rozmaite wielkości, np. czas czy wysokość, i odkrywają prawa rządzące przyrodą.

Po co nam fizyka

Prawa fizyki mają zastosowanie także na co dzień. Zobacysz, jak często do doświadczeń będziemy wykorzystywać zwykłe, codzienne przedmioty. Rysunek na dole strony przedstawia, z iloma zagadnieniami fizycznymi mamy do czynienia w jednej tylko sytuacji z życia codziennego.

Aby rozumieć, jak działają urządzenia techniczne i twoje własne ciało, warto uczyć się fizyki. Jeszcze lepiej ją poznasz, jeśli zechcesz zostać inżynierem czy lekarzem.

Prawa fizyki wyjaśniają działanie zarówno urządzeń technicznych, jak i funkcjonowanie organizmów żywych.

Fizyka jest pożyteczna, bo pozwala konstruować nowe urządzenia czy leczyć choroby. Poza tym jest ona dla wielu osób ciekawa – na przykład dla nas. Mamy nadzieję, że stanie się ciekawa również dla ciebie.

Badania fizyczne nie są zakończone (zob. zadanie 4.) i wszystko wskazuje na to, że nigdy się nie zakończą – zawsze zostanie coś nowego do odkrycia. Także dla ciebie.

O tym mówi fizyka

Odpowiedzi na wiele pytań, które sobie zadajemy, daje nam fizyka.

Oto niektóre z takich pytań:
Dlaczego herbata paruje?
Dlaczego stygnie?



Jak działa głośnik?

Co to znaczy „moc 20 W”?

Jak powstaje obraz na ekranie?

Dlaczego kocie oczy świecą w nocy?

Co to znaczy „wysokokaloryczne jedzenie”?

Jak to się dzieje, że słyszymy?

Jak to się dzieje, że widzimy?

Dlaczego musimy jeść?

Dlaczego w fotelu jest wygodnie?

Podsumowanie

- Fizyka odpowiada na wiele pytań dotyczących tego, co dzieje się wokół nas, tego, co jest istotne dla zachodzących zjawisk. Fizyka tłumaczy podstawowe prawa przyrody.
- Prawa fizyki wyjaśniają działanie zarówno urządzeń technicznych, jak i organizmów żywych.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Jak myślisz, na które z poniższych pytań będziemy szukać odpowiedzi na lekcjach fizyki?

- a)** Dlaczego w zeszły wtorek Kamilowi wystygła herbata?
- b)** Jak pomalowany był kubek Kamila?
- c)** Dlaczego, gdy przykryć kubek pokrywką, herbata stygnie wolniej?

2. W XIX wieku fizycy odkryli prawa dotyczące elektryczności. Umożliwiło to zbudowanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Opisz jak wyglądałoby nasze życie, gdyby nie te odkrycia.

3. Dzięki obliczeniom wykonanym na podstawie praw fizyki inżynierowie mogą śledzić na ekranie komputera, jak będzie zachodzić zderzenie projektowanego przez nich samochodu ze ścianą. Wyjaśnij, dlaczego taka metoda jest lepsza niż prowadzenie testów zderzeniowych z użyciem prawdziwego samochodu.

4. Oto trzy przykładowe zagadnienia, które do dzisiaj nie zostały wyjaśnione przez fizy-

ków. Wyobaż sobie, że chcesz zająć się jednym z nich. Które wybierzesz? Uzasadnij wybór w kilku zdaniach.

a) Trzęsienia ziemi co roku pochłaniają życie wielu ludzi. Trudno sobie wyobrazić, abyśmy nauczyli się im zapobiegać, ale gdyby dało się je chociaż przewidywać, można by ewakuować ludność z zagrożonych terenów. Geofizycy na całym świecie starają się zrozumieć, jak powstają trzęsienia ziemi i jak można je przewidywać.

b) Dlaczego Słońce świeci i wytwarza tak wiele energii? Zachodzi tam przemiana wodoru w hel. Już od kilkudziesięciu lat potrafimy taką przemianę wywołać na Ziemi – niestety, tylko w postaci straszliwego wybuchu bomby wodorowej. Fizycy starają się jednak kontrolować tę reakcję, tak aby mogła zasilać elektrownie. Pozwoliłoby to wytwarzać energię bez zanieczyszczania środowiska dymem z elektrowni i spalinami samochodów.

c) Fizycy wspólnie ze specjalistami z innych dziedzin nauki pracują nad budową komputerów optycznych, które wykorzystują (w znacznej mierze) światło zamiast prądu elektrycznego. Będą one miały znacznie większe możliwości niż dziś używane.



2 Jednostki i pomiary

■ Każda wielkość fizyczna ma swoją jednostkę

Wykonaj swoją linijkę według wskazówek podanych w doświadczeniu zamieszczonym obok. Jeśli wynikiem pomiaru długości ołówka twoją linijką jest liczba 7, to możesz powiedzieć, że ołówek ma „7 szerokości kciuka”. Inaczej mówiąc, długość ołówka jest 7 razy większa niż szerokość kciuka. Długość ołówka jest pewną **wielkością fizyczną**. W doświadczeniu zmierzyłeś ją, przyjmując za jednostkę szerokość kciuka.

Pomiar długości polega na porównaniu, ile razy dłuższy (lub krótszy) jest interesujący nas odcinek od odcinka przyjętego za jednostkę.

Twoja jednostka ma tę zaletę, że zawsze masz ją przy sobie, ale ma także jedną zasadniczą wadę – każdy ma inną szerokość kciuka.

■ Powszechnie przyjęte jednostki

Wykonaj drugie doświadczenie zamieszczone obok. Ty, twoi koledzy oraz koleżanki mieliście linijki, na których była zaznaczona jednostka „szerokość kciuka”. Każdy człowiek ma palce innej wielkości, dlatego wasze linijki nie były jednakowe i chociaż mierzyliście te same przedmioty, otrzymywaliście różne wyniki. Gdyby na świecie dokonywano pomiarów tak, jak robiliście to w klasie, ludzie mieliby wiele problemów. Na przykład klient zamawiający u szklarza szybę o wymiarach 20 szerokości kciuka na 10 szerokości kciuka dostałby z pewnością kawałek szkła o zupełnie innych wymiarach, niż się spodziewał. Dlatego już od najdawniejszych czasów wprowadzano jednostki obowiązujące wszystkich mieszkańców danego miasta. Często miały one związek z wymiarami ciała, np. przeciętną szerokość kciuka nazwano *calem*. Wielkość jednostek, m.in. *cala*, była określana według wzorcowej linijki, najczęściej przechowywanej w ratuszu.

Doświadczenie

Weź kawałek tekturki. Na brzegu zaznacz kreski odległe od siebie o szerokość twojego kciuka. Podpisz je liczbami 0, 1, 2, 3... Za pomocą takiej „linijki” zmierz długości kilku przedmiotów: ławki, długopisu, książki...



Doświadczenie

Razem z kolegami i koleżankami wybierzcie jeden przedmiot. Niech każdy z was zmierzy jego długość za pomocą swojej linijki. Porównajcie wyniki.

Z historii

Jednostki ustalone w różnych krajach i miastach mogły się bardzo różnić, nawet jeśli miały podobne nazwy. Na przykład mila angielska to około 1,6 km, natomiast mila polska – ponad 8 km. Łokieć sukna w Krakowie oznaczał 59,2 cm, a we Wrocławiu – tylko 57,6 cm. Kupcy prowadzący handel w różnych miastach musieli być biegli w rachunkach. Anglicy aż do 1878 roku definiowali jednostkę długości zwaną jardem w zależności od wymiarów ciała swojego króla – był to obwód jego talii. Gdy na tron wstępował nowy władca, zmieniała się długość jarda.

Dzisiaj niemal na całym świecie używamy jednej jednostki długości zwanej metrem.

Podstawową jednostką długości jest metr (oznaczenie: m).

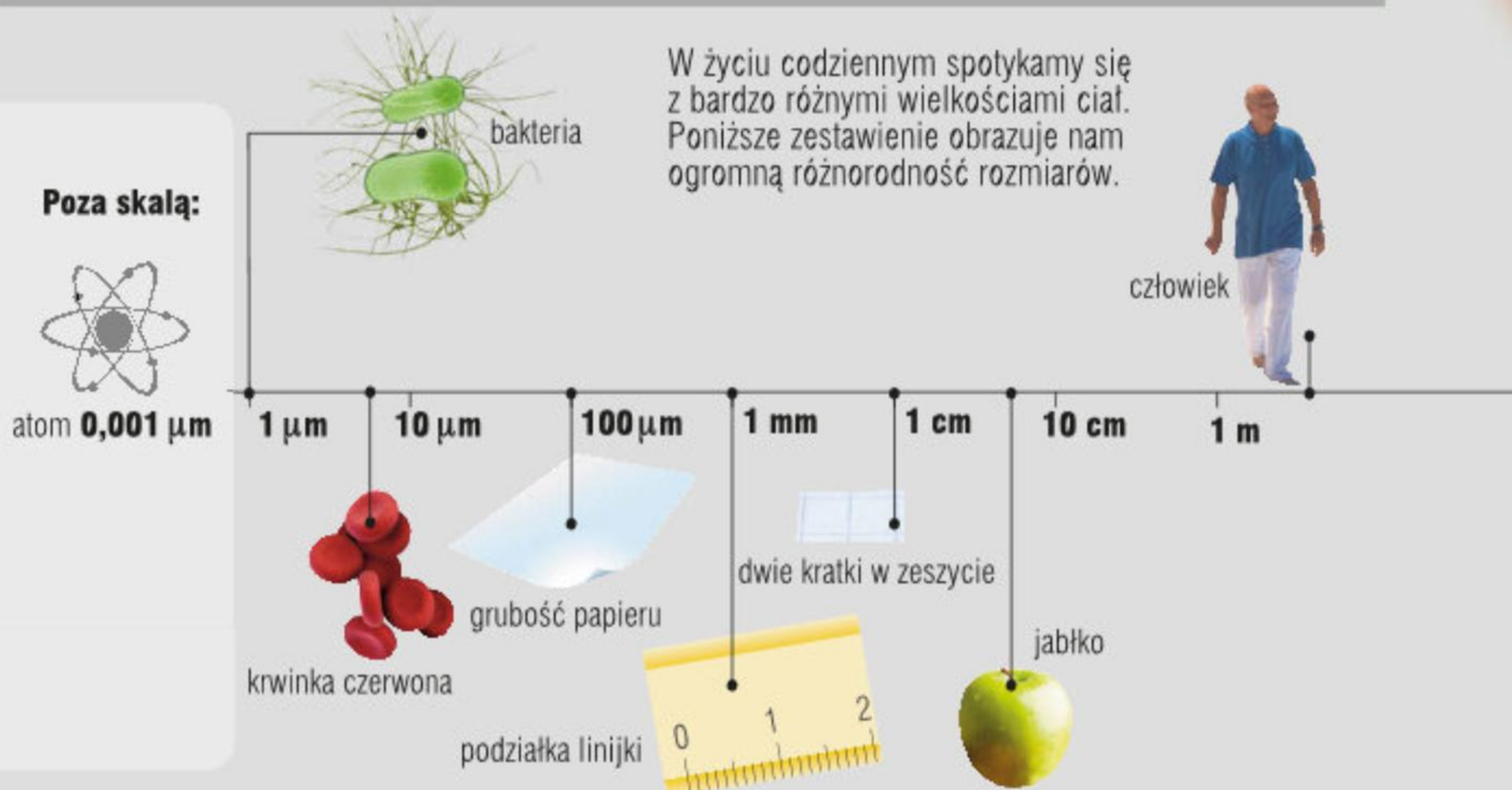
Centymetry, kilometry...

Odległość ze Szczecina do Rzeszowa wynosi 765 000 m. Nóżka mrówki ma długość 0,002 m. W obu przykładach wyrażanie długości w metrach jest niewygodne. Łatwiej wyobrazić sobie te wielkości, jeśli powiemy 765 km lub 2 mm.

kilometr	$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$	$1 \text{ m} = \frac{1}{1000} \text{ km}$
decymetr	$1 \text{ dm} = \frac{1}{10} \text{ m}$	$1 \text{ m} = 10 \text{ dm}$
centymetr	$1 \text{ cm} = \frac{1}{100} \text{ m}$	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$
milimetr	$1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$	$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$
mikrometr	$1 \mu\text{m} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ m}$	$1 \text{ m} = 1\,000\,000 \mu\text{m}$
	$1 \mu\text{m} = \frac{1}{1000} \text{ mm}$	$1 \text{ mm} = 1000 \mu\text{m}$

O tworzeniu jednostek za pomocą przedrostków piszemy w tablicy zamieszczonej na stronie 238.

Rozmiary duże i małe



Przykład 1. Długość firanki wynosi 2,7 m.

Oblicz, ile to milimetrów.

$$2,7 \text{ m} = 2,7 \cdot 1000 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

Odpowiedź: Długość firanki wynosi 2700 mm.

■ Jednostki czasu

Na świecie nie tylko odległości są mierzone w tych samych jednostkach. Pomiaru czasu także dokonuje się w ujednoliconych jednostkach.

Podstawową jednostką czasu jest sekunda (oznaczenie: s).

Mniejsze jednostki czasu tworzymy podobnie jak jednostki długości, np. milisekunda (1 ms) to $\frac{1}{1000}$ s, podobnie jak 1 mm to $\frac{1}{1000}$ m.

Natomiast do określania czasu znacznie dłuższego niż 1 s używamy minut i godzin. Przeliczając te jednostki, musisz pamiętać, że:

$$1 \text{ godzina} = 60 \text{ minut} \quad 1 \text{ h} = 60 \text{ min} \quad 1 \text{ min} = \frac{1}{60} \text{ h}$$

$$1 \text{ minuta} = 60 \text{ sekund} \quad 1 \text{ min} = 60 \text{ s} \quad 1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ min}$$

$$\text{a więc} \quad 1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \quad 1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h}$$

Ciekawostka

Gdy w XVIII wieku wprowadzono metr jako jednostkę długości, do dalszych pomiarów wykonano odpowiedni pręt z nacięciami. Przechowywano go we francuskim urzędzie miar, a do różnych krajów trafiły jego kopie. Dziś metr określamy jako odległość, którą przebywa światło w określonym czasie. Gdyby na całym świecie zniszczono wszystkie linijki, w odpowiednio wyposażonym laboratorium można by odtworzyć wzorzec metra.

długość autokaru



10 m

100 m

1 km

10 km

100 km



długość pociągu



średniej wielkości miasto



Gdańsk–Warszawa



odległość Ziemi od Słońca
150 000 000 km

Poza skalą:

średnica Ziemi

13 000 km

średnica Słońca

1 400 000 km

Przykład 2. Janek był w szkole od 8^{00} do 13^{15} . Ile sekund spędził w szkole?

$$5 \text{ h } 15 \text{ min} = 5 \cdot 3600 \text{ s} + 15 \cdot 60 \text{ s} = 18\,900 \text{ s}$$

Odpowiedź: Janek spędził w szkole 18 900 s.

Do pomiaru czasu będziemy w doświadczeniach używali stopera lub zegarka z sekundnikiem.

■ Układ SI

Metr i sekunda są jednostkami przyjętego na świecie układu jednostek zwanego SI (skrót od francuskiego *Système International d'Unités*, czyli Międzynarodowy Układ Jednostek Miar). Ucząc się fizyki, poznasz także inne jednostki tego układu. Niektóre znasz już ze szkoły podstawowej lub z życia codziennego, np. podstawową jednostką masy jest kilogram. Czasem używamy także jednostek spoza układu SI, np. masę zboża wyrażamy w kwintalach, a masę kamieni szlachetnych – w karatach.



Do określenia czasu biegu zawodnika potrzebny jest bardzo dokładny przyrząd pomiarowy.

■ Dokładność przyrządu i niepewność pomiaru

Gdy zawodnicy na olimpiadzie ścigają się na dystansie 100 m, do pomiaru czasu biegu nie wystarczy zegarek z sekundnikiem. O zwycięstwie decydują nie sekundy, ale ich dziesiąte, a nawet setne części, dlatego do pomiaru używa się znacznie dokładniejszych urządzeń. Podobnie linijka nie wystarczy do zmierzenia grubości włosa.

Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny.

Linijką, która ma podziałkę co 1 mm, można mierzyć długości z dokładnością do 1 mm. Jeśli wynikiem pomiaru długości gwoździa jest 25 mm, a dokładność wynosi 1 mm, zapisujemy to w następujący sposób: $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. W takim wypadku mówimy też, że **niepewność pomiaru** wynosi 1 mm.

Długość gwoździa może mieć dowolną wartość między 24 mm a 26 mm. Pomiar linijką nie pozwala stwierdzić, czy gwóźdź ma np. 24,6 mm czy 24,8 mm, gdyż nie ma ona podziałek dokładniejszych niż co 1 mm.

Niepewność pomiaru zależy od użytego przyrządu pomiarowego. Jest ona równa najmniejszej działce na skali tego przyrządu.



Suwmiarka pozwala mierzyć wymiary przedmiotów z dokładnością do 0,1 mm.

Poza ograniczoną dokładnością przyrządów, każdy pomiar jest niedokładny także z wielu innych powodów. Możemy na przykład krzywo przyłożyć linijkę. Jeśli mierzymy czas biegu stoperem, to musimy pamiętać, że samo wciskanie jego przycisku trwa pewien czas i ma wpływ na niedokładność pomiaru.

Podsumowanie

- Pomiar polega na porównaniu mierzonej wielkości fizycznej, np. długości, czasu, z przyjętą jednostką.
- W Polsce stosujemy Międzynarodowy Układ Jednostek Miar – układ SI, w którym jednostką długości jest metr (m), a jednostką czasu – sekunda (s). O innych jednostkach będziemy się uczyli później.
- Wielkości fizyczne mierzymy za pomocą odpowiednich przyrządów.
- Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny. Niepewność pomiaru zapisujemy za pomocą symbolu $\pm$, np. $25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ oznacza długość 25 mm z dokładnością do 2 mm .

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wyraź:

a) w metrach:

2 km; 3,2 km; 0,27 km; 5,02 km;

b) w centymetrach:

5 m; 0,3 m; 20,07 m; 0,015 m;

c) w milimetrach:

7,08 dm; 0,67 m; 14 cm; 0,065 cm;

d) w metrach:

25 cm; 89,3 cm; 1200 mm; 347 cm;

e) w centymetrach:

56 mm; 80 mm; 1670 mm; 2,3 mm.

2. Wyraź:

a) w sekundach:

25 min; 2 min 3 s; 1 min 20 s; 2 h 5 s;

b) w minutach:

8 h 20 min; 3 h 15 min; 20 h; 10 s.

3. W jakich jednostkach najwygodniej wyrazić podane wielkości? Z jaką dokładnością warto je podać? Uzasadnij odpowiedzi.

a) wysokość mrówki

b) wysokość słonia

c) długość pociągu

d) odległość z Krakowa do Gdańska

4. Licznik kilometrów w samochodzie podaje wynik z dokładnością do jednego miejsca po przecinku. Czy jest to dokładność do 10 m, 100 m czy 1 km? Uzasadnij odpowiedź.

 5. Stoper w zegarku elektronicznym, włączany i zatrzymywany przyciskiem na zegarku, wyświetla czas z dokładnością do 0,01 s. Czy to znaczy, że za jego pomocą można zmierzyć czas z dokładnością do 0,01 s? Uzasadnij odpowiedź.

Doświadczenie

Serce – „twój zegar”

Wybitny fizyk Galileusz, żyjący około 400 lat temu, nie mógł używać stopera ani zegarka z sekundnikiem, ponieważ nie znano jeszcze tych urządzeń. Aby mierzyć czas, liczył uderzenia własnego serca.

1. Wyczuź swoje tętno, odpowiednio uciskając tętnicę w nadgarstku (zob. zdjęcie).

2. Policz, ile uderzeń serca rejestrujesz w ciągu minuty.

3. Oblicz, ile czasu upłynęło między dwoma kolejnymi uderzeniami serca.

4. Wykonaj 20 przysiadów i ponownie zmierz tętno. Czy wiesz, czym jest spowodowana różnica między wynikami twoich dwóch pomiarów? Czy tętno jest dokładnym zegarem? Uzasadnij odpowiedź.



3 Jeszcze o pomiarach

Na lekcjach fizyki będziemy przeprowadzać wiele doświadczeń. Niektóre będą się ograniczały do demonstracji przebiegu zjawisk, ale w innych trzeba będzie wykonywać pomiary i wyrażać wielkości fizyczne za pomocą liczb i jednostek miary. Jak wiesz, wynik pomiaru nigdy nie jest idealnie dokładny, można się jednak postarać, aby był jak najdokładniejszy.

■ Jak zmierzyć długość

Jako przykład omówmy pomiar długości sali lekcyjnej.

Przykład 1. Pomiar długości sali można wykonać kilkoma sposobami.

Ćwiczenie A. Którego przyrządu pomiarowego należałoby użyć do mierzenia długości szpilki, aby wynik był jak najbardziej dokładny? Wybierz przyrząd spośród przedstawionych na zdjęciu.



a) Jeśli dysponujemy odpowiednio długą taśmą mierniczą, można ją ułożyć na podłodze równolegle do ściany i odczytać wynik. Jest to metoda dość dokładna, ponieważ podziałka taśmy jest wykonana co 1 mm.

Niepewność pomiaru jest jednak na ogół większa niż 1 mm. Gdy taśmę mierniczą położymy na podłodze równolegle do ściany, pomiar utrudnia listwa między ścianą a podłogą. Gdy zaś taśmę przyłożymy nad listwą, trudno jest ją poprowadzić idealnie poziomo w linii prostej na całej długości sali.

b) Jeśli wykonujemy pomiar centymetrem krawieckim, to dokładność pomiaru zmniejsza się. Centymetr jest krótszy niż długość sali. Dlatego trzeba odkładać go kilkakrotnie i jak najdokładniej zaznaczać koniec każdego mierzonego odcinka. Poza tym centymetr krawiecki może się podczas wykonywania pomiarów nieco rozciągać.

c) Jeśli podłoga tego pomieszczenia jest wyłożona płytkami, to możemy linijką zmierzyć długość jednej płytki i otrzymany wynik pomnożyć przez liczbę płytek. Wówczas jednak niepewność

pomiaru znacznie wzrasta. Podczas mierzenia długości płytki za pomocą linijki niepewność pomiaru wynosi 1 mm. Natomiast niepewność pomiaru długości sali otrzymujemy, mnożąc liczbę płytek przez 1 mm. Dodatkowy błąd takiego pomiaru wynika z obecności przerw między płytkami, które nie zawsze są jednakowej szerokości.

■ Wielokrotne pomiary

Jedną z metod pozwalających zwiększyć dokładność pomiaru jest wykonanie go kilka razy. Po takich kilku pomiarach obliczamy średni wynik.

■ Zaokrąglenie wyniku

Na lekcjach matematyki uczyłeś się zaokrąślać liczby. Tę umiejętność wykorzystasz także w zadaniach i doświadczeniach z fizyki. Jako średnią z kilku pomiarów długości ołówka możemy otrzymać np. $l = 21,7142857 \text{ cm}$.

Nie należy jednak podawać takiego wyniku. Oznaczałby on, że zmierzaliśmy ołówek z dokładnością do 0,0000001 cm, czyli z dokładnością do rozmiarów jednego atomu!

Abyśmy mogli powiedzieć, z jaką dokładnością chcemy podawać wyniki, musimy użyć pojęcia **cyfr znaczących**. Najłatwiej wprowadzić je na przykładzie. Pewną masę zapisujemy w różnych jednostkach:

0,0203 t; 20,3 kg; 20 300 g; 20 300 000 mg

Cyfry zaznaczone na niebiesko to właśnie cyfry znaczące. Tak więc do cyfr znaczących nie zaliczamy zer na początku i końcu liczby.

Wyniki pomiarów i obliczeń podajemy tylko z taką dokładnością, na jaką pozwalają dane.

W praktyce na ogół oznacza to dokładność do dwóch cyfr znaczących. Jeśli wyniki pomiarów albo dane w zadaniu są bardzo mało dokładne, stosujemy zaokrąglenie do jednej cyfry znaczącej.

Na przykład:

$21,7142857 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm}$

$25\,473,3 \text{ m} \approx 25\,000 \text{ m}$

$0,003972 \text{ kg} \approx 0,0040 \text{ kg}$

$997\,000 \text{ g} \approx 1\,000\,000 \text{ g}$

■ Szacowanie wyniku pomiaru

Z niepewnością pomiaru mamy do czynienia zawsze. Aby uniknąć poważnych pomyłek podczas pomiaru, przed jego wykonaniem warto oszacować wynik, to znaczy zastanowić się, jakiego wyniku się spodziewamy. Na przykład sala lekcyjna może mieć długość 6 m albo 8 m, ale na pewno nie 80 cm ani 80 m. Jeśli wynik pomiaru znacznie odbiega od spodziewanego, to trzeba się zastanowić, gdzie popełniliśmy błąd.

Ćwiczenie B. Zmierz linijką długość ołówka. Pomiar powtórz trzy razy i oblicz średni wynik pomiaru. Obliczenia zapisz w zeszycie.

Ćwiczenie C. Wymień cyfry znaczące w liczbach: 45 000; 20 080; 0,0067.



Nie potrzeba żadnych przyrządów, aby stwierdzić, że słoń ma masę większą niż 100 kg i wysokość mniejszą niż 20 m.

■ Przykład pomiarów

Wiele pomiarów będziesz wykonywać samodzielnie, przeanalizuj więc przedstawiony poniżej przykład. Zwróć uwagę, że do wykonywania pomiarów należy się przygotować: skompletować potrzebne przyrządy, sporządzić tabelę do wpisania wyników pomiarów oraz schematyczny rysunek układu doświadczalnego lub mierzonego przedmiotu, zastępujący opis słowny. Pamiętaj także o jednostkach mierzonych wielkości.



Za pomocą wagi jubilerskiej można dokonywać pomiarów z dokładnością do 0,01 g.

Przykład 2. Ktoś chce nam sprzedać sztabkę złota w kształcie prostopadłościanu. Zamierzamy sprawdzić, czy to na pewno złoto. Dysponujemy wagą i linijką.

Dowiedzieliśmy się, że 1 cm^3 złota ma masę 19 g.

Mierzmy linijką poszczególne wymiary prostopadłościanu, następnie ważymy go.

Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli. Każdą wielkość mierzymy np. trzykrotnie (im więcej razy, tym lepiej). Następnie obliczamy średnią wartość mierzonej wielkości, którą zaokrąglamy do dwóch cyfr znaczących. Oto przykładowe wyniki pomiarów.

Mierzone wielkości	Pomiar 1.	Pomiar 2.	Pomiar 3.	Średnia pomiarów
Długość a	5,3 cm	5,2 cm	5,3 cm	5,3 cm
Szerokość b	2,4 cm	2,3 cm	1,8 cm	2,2 cm
Wysokość c	0,9 cm	1,0 cm	1,1 cm	1,0 cm
Masa m	50,3 g	51 g	50,8 g	50,7 g

Obliczamy objętość:

$$V = a \cdot b \cdot c = 5,3 \text{ cm} \cdot 2,2 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 11,66 \text{ cm}^3 \approx 12 \text{ cm}^3$$

Odpowiedź: Gdyby sztabka wykonana była ze złota, ważyłaby $12 \cdot 19 \text{ g} = 228 \text{ g}$, a nie tylko 50 g. Sztabka jest zatem pusta w środku albo nie jest wykonana ze złota.

Podsumowanie

- Jedną z metod zmniejszania niedokładności pomiaru jest jego wielokrotne powtarzanie. Po kilku pomiarach obliczamy średni wynik pomiaru.
- Aby uniknąć poważnych pomyłek, warto najpierw oszacować wynik pomiaru, to znaczy zastanowić się, jakiego mniej więcej wyniku można się spodziewać.
- Cyfry znaczące to wszystkie cyfry danej liczby z wyjątkiem zer na początku i na końcu. Wyniki pomiarów będziemy zaokrąglać na ogół do dwóch cyfr znaczących.
- Wyniki pomiarów wygodnie notować w tabeli.
- Należy pamiętać o zapisywaniu jednostek mierzonych wielkości.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Poniżej opisano dwie metody pomiaru średniej długości zapalki. Ustal, która z nich jest dokładniejsza. Uzasadnij odpowiedź.

a) Mierzmy 10 zapalek po kolei i obliczamy średnią długość zapalki.



b) Mierzmy jedną zapalkę.



2. Zaokrąglaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących zamieszczone w tabeli wartości.

Rekordy świata zwierząt	
Najcięższy słoń	12,24 t
Najdłuższy wąż	868 cm
Najcięższy koń	1,52 t
Najcięższe serce ssaka (wieloryba)	698 kg

3. Mamy oszacować długość kabla zasilającego lampkę nocną. Odpowiedz, które z poniższych wyników są na pewno **błędne**. Uzasadnij odpowiedź.

- a) 5 mm c) 70 cm e) 30 m
b) 3 cm d) 1,1 m f) 0,25 km

4. Speleolog odkrył w jaskini głęboką szczelinę wypełnioną do pewnej wysokości wodą. Zmierzył sześciokrotnie czas spadania kamyczka do tej szczeliny (oczywiście za każdym razem był to nowy kamyczek). Otrzymał następujące wyniki: 3 s, 3 s, 4 s, 3 s, 4 s, 2 s. Oblicz w zeszycie średnią tych pomiarów, wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

5. Małgosia mierzy długość krętej drogi na mapie, przykładając do niej nitkę. Potem rozprostowuje nitkę i przelicza jej długość na długość drogi w terenie, korzystając ze skali mapy. Określ, jakie mogą być przyczyny niedokładności takiego pomiaru. Wymień ich jak najwięcej.

6. Zgodnie z zasadami obowiązującymi w lekkoatletyce, długość skoku w dal należy mierzyć stalową taśmą. Wyjaśnij, dlaczego nie wykorzystuje się do tego celu taśmy plastikowej.

Doświadczenia

Grubość kartki papieru

Jak zmierzyć grubość kartki papieru bez specjalistycznych przyrządów, jedynie za pomocą linijki? Wymyśl odpowiednią metodę i zastosuj ją do pomiaru grubości kilku gatunków papieru. Zanotuj w zeszycie wyniki pomiarów.

Dawne jednostki

Dawne jednostki miary nawiązują do rozmiarów ludzkiego ciała. Na przykład stopa to średnia długość stopy człowieka od pięty do końców palców.

1. Zmierz długość własnej stopy.
2. Porównaj ją ze stopą angielską (30,48 cm) i staropolską (29,78 cm).
3. Jak myślisz, czy ustalając stopę angielską i staropolską, brano pod uwagę długość bosej stopy czy stopy w bucie? Uzasadnij odpowiedź.

4 Siła

■ Działanie jednych ciał na drugie

Na zdjęciach poniżej widzisz, jak jedne ciała działają na inne. Żeglarze ciągną łódkę na głębszą wodę, kobieta spaceruje, pchając wózek z dzieckiem, dziewczyna rozciąga gumę. Zatem działanie jednego ciała na drugie może spowodować ruch (wózka, łódki) albo zatrzymanie ciała bądź zmianę jego kształtu (gumy).



Żeglarze, ciągnąc łódkę na głębszą wodę, powodują, że łódka się porusza.



Kobieta, pchając wózek, powoduje, że wózek się porusza.



Dziewczyna, rozciągając gumę, powoduje zmianę jej kształtu.

■ Siła i jej jednostka

Działanie jednych ciał na inne opisujemy za pomocą wielkości fizycznej zwanej **siłą**. Mówimy, że żeglarze działają pewną siłą na łódkę, kobieta działa pewną siłą na wózek itd.

Siła to wielkość fizyczna opisująca działanie jednego ciała na drugie. Będziemy ją oznaczać literą F .

Symbole wielkości fizycznych pochodzą zwykle od nazw angielskich lub łacińskich. Symbol siły F pochodzi od angielskiego słowa *force*. W dalszej nauce fizyki poznasz wiele rodzajów sił. Siłę mierzymy za pomocą **siłomierza** (patrz doświadczenie s. 21).

Jednostką siły jest niuton oznaczany literą N.

Dokładną definicję tej jednostki będziemy mogli sformułować dopiero na podstawie informacji zawartych w temacie 15. Na razie powiemy tylko, że gdy podnosisz ze stołu tabliczkę czekolady (o masie 100 g), to działasz na nią siłą około 1 N.

■ Siła – wielkość wektorowa

Kiedy mówimy, że żeglarze ciągną łódź siłą np. 500 N, możemy także zapytać, **w którą stronę** ją ciągną.

Siłę możemy graficznie zilustrować za pomocą strzałki, która informuje:

- w jakim punkcie siła została przyłożona,
- w którą stronę działa,
- jaką ma wartość (ile niutonów).

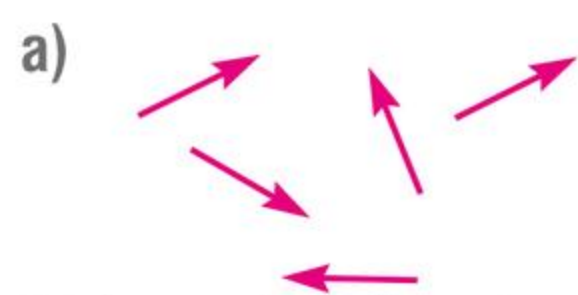
Możemy się umówić, jaka długość strzałki odpowiada określonej sile. Jeśli np. strzałka o długości 1 cm odpowiada sile o wartości 2 N, to strzałka o długości 3 cm przedstawia siłę o wartości 6 N.

Zauważ, że siła jest wielkością nieco innego rodzaju niż np. masa. Możemy powiedzieć: „Ten arbuż ma masę 1 kg”, ale już pytanie: „A w którą stronę?” nie ma sensu. Natomiast jeśli ktoś powie: „Pcham szafę siłą 200 N”, to możemy zapytać: „A w którą stronę?”. Wówczas takie pytanie jest jak najbardziej uzasadnione.

Mówimy, że siła jest **wielkością wektorową**, a masa – nie. Wielkości wektorowe można przedstawiać za pomocą strzałek. Nie moglibyśmy w ten sposób przedstawiać masy czy objętości ciała. Także nad symbolem wielkości wektorowej stawiamy strzałkę, np. piszemy $\vec{F}$. Strzałki nie umieszczamy, gdy interesuje nas sama wartość, np. $F = 300 \text{ N}$.

Siła jest wielkością wektorową – ma nie tylko wartość, lecz także kierunek i zwrot oraz punkt przyłożenia.

Znaczenie pojęć wartości, kierunku oraz zwrotu wektora przedstawiają rysunki.



a) Wektory o jednakowej wartości przedstawiamy jako strzałki jednakowej długości.



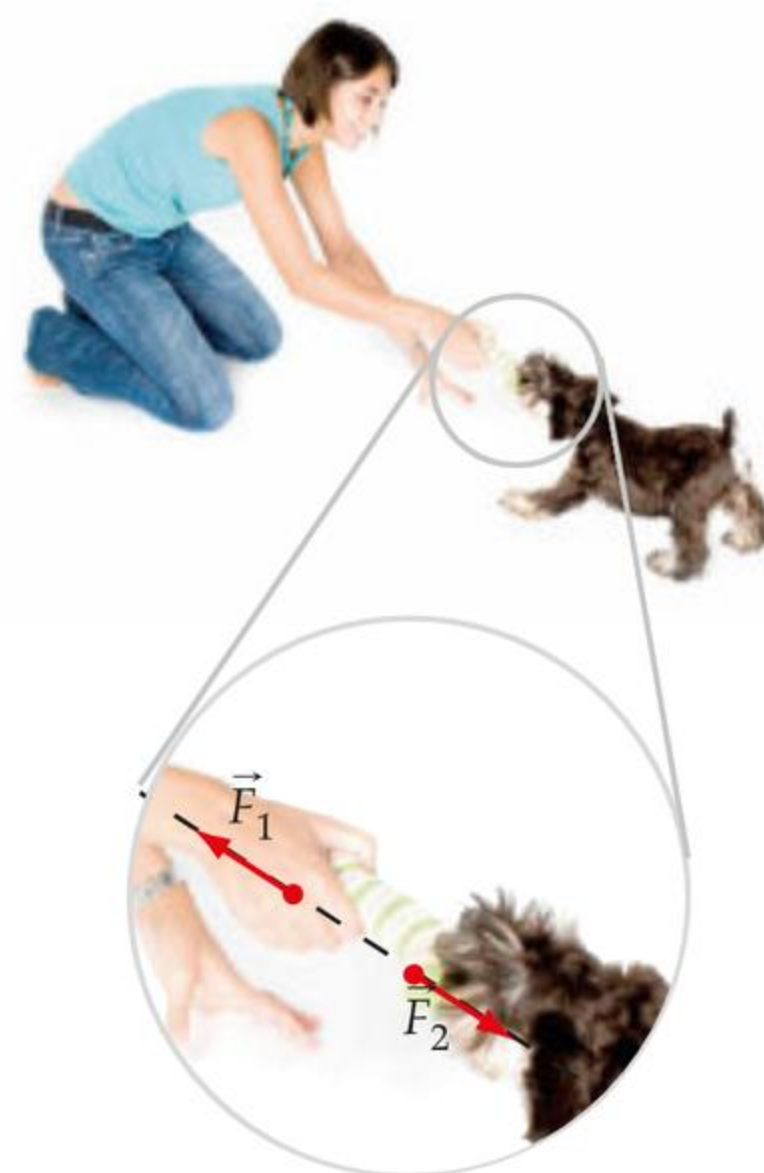
b) Wektory o jednakowym kierunku (kierunkach równoległych) i przeciwnych zwrotach.



c) Wektory o jednakowym kierunku i zwrocie, ale różnych wartościach.



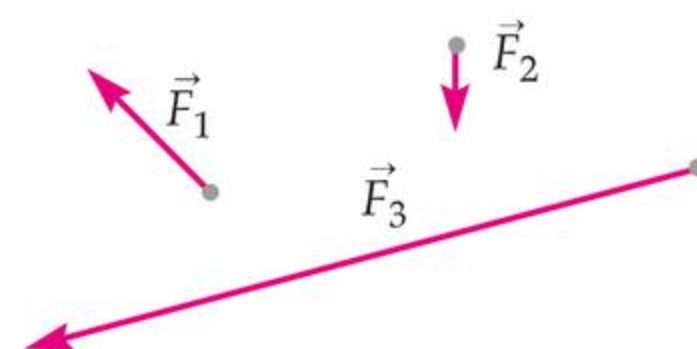
d) Wektory o jednakowym kierunku, zwrocie i wartości.



$\vec{F}_1$ – siła, jaką dziewczyna ciągnie skarpetę,

$\vec{F}_2$ – siła, jaką pies ciągnie skarpetę.

Ćwiczenie. Zmierz długości strzałek na rysunku poniżej i oblicz wartości sił, które przedstawiają. Załóż, że 1 cm odpowiada sile 2 N.



Doświadczenie !

Chwyć dwiema rękami za końce siłomierza i rozciągaj go, obserwując skalę. Czy odczuwasz, że aby uzyskać większe wskazanie na skali siłomierza, musisz rozciągać go większą siłą?



Podsumowanie

- Siła to wielkość fizyczna opisująca działanie jednego ciała na drugie.
- Siła jest wielkością wektorową: można określić nie tylko jej wartość (jak jest duża), lecz także kierunek i zwrot oraz punkt przyłożenia.
- Na rysunku siłę oznaczamy strzałką – jak każdą wielkość wektorową.
- Jednostką siły w układzie SI jest niuton (1 N).
- Siłę mierzymy za pomocą siłomierza.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wymień kilka przykładów (innych niż w książce) działania jednych ciał na drugie.

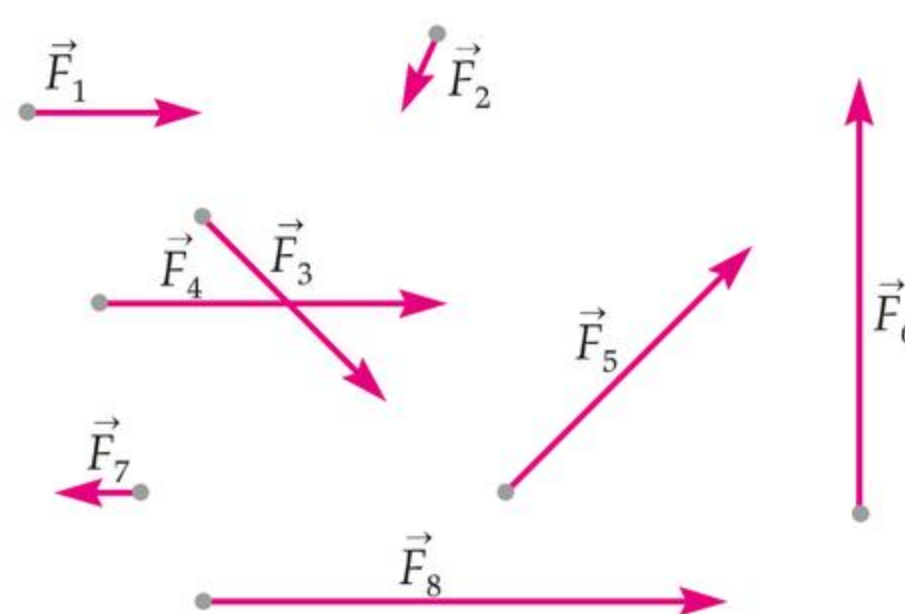
2. Podaj przykład sytuacji (innej niż w książce), gdy skutkiem działania siły jest:

- wprowadzenie ciała w ruch,
- zmiana kształtu ciała.

3. Na podłodze stoi skrzynia, na którą działają dwaj chłopcy. Wykonaj w zeszycie schematyczne rysunki przedstawiające siły działania chłopców na skrzynię, gdy:

- działają siłami o jednakowych: wartości, kierunku i zwrocie,
- działają siłami o jednakowych: wartości i kierunku, ale przeciwnych zwrotach,
- działają siłami o różnych wartościach i przeciwnych zwrotach.

4. Zmierz długości strzałek i oblicz wartości przedstawionych za ich pomocą sił, jeżeli siła $F_1 = 10 \text{ N}$.



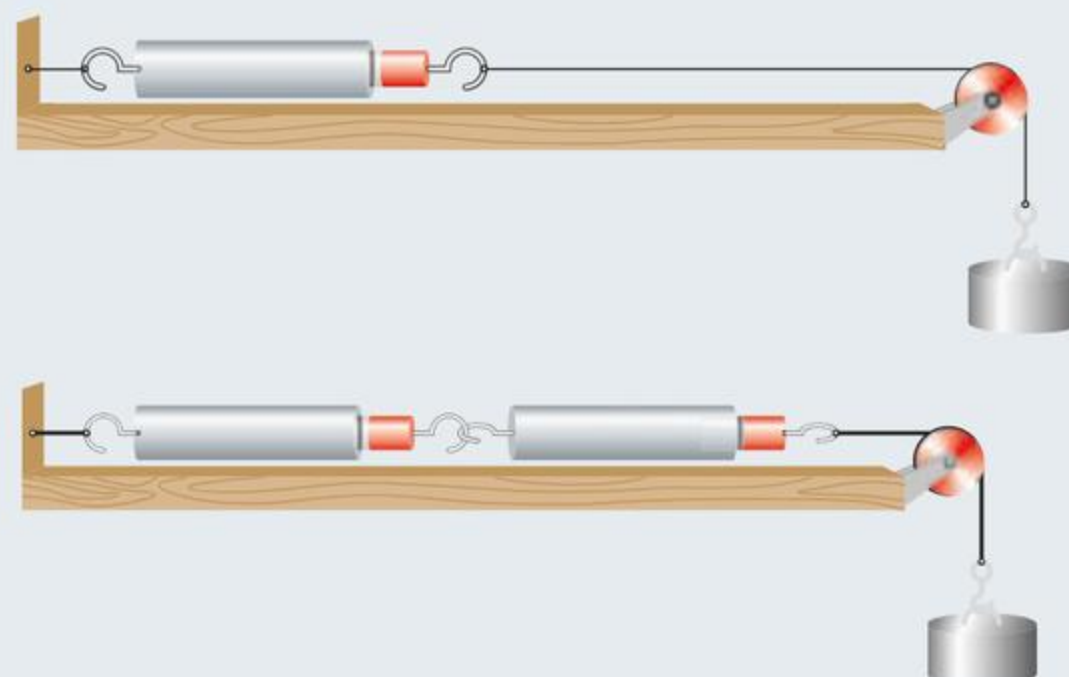
5. Krzysiek ciągnie skrzynię w prawo siłą $F_1 = 50 \text{ N}$, a Staś – w lewo siłą $F_2 = 40 \text{ N}$. Wykonaj w zeszycie odpowiedni szkic i zaznacz na nim właściwe siły. Przyjmij skalę: 1 kratka w zeszycie odpowiada sile 10 N.

Doświadczenie

Dwa siłomierze

1. Weź siłomierz, bloczek, linkę i ciężarek. Połącz je tak, jak pokazano na rysunku. Zanotuj w zeszycie, co wskazuje siłomierz.

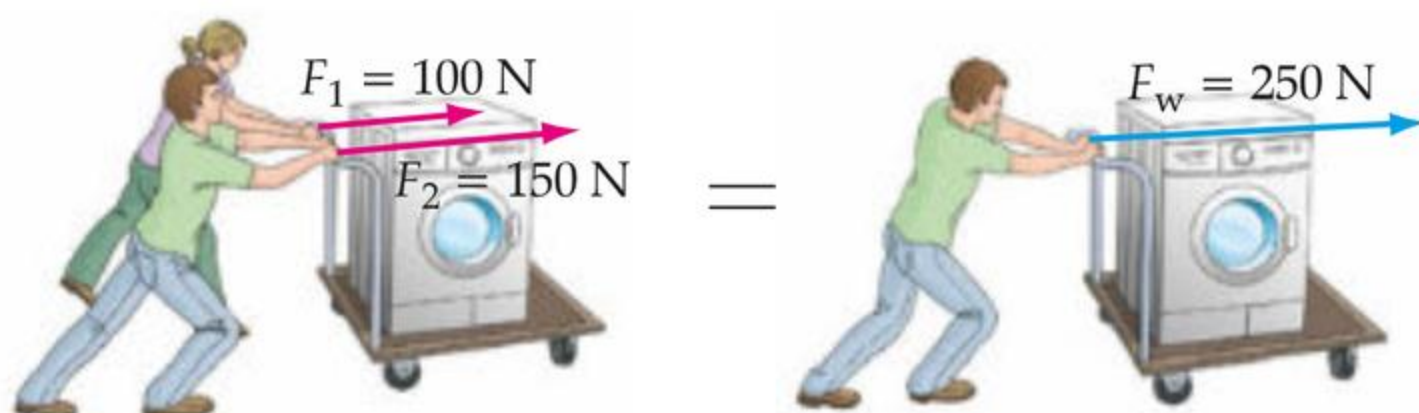
2. Weź teraz drugi taki sam siłomierz i zbuduj układ zgodnie z kolejnym rysunkiem. Czy potrafisz przewidzieć, co pokażą siłomierze w tym wypadku? Sprawdź to doświadczalnie!



5 Siła wypadkowa

■ Co to jest siła wypadkowa

Magda i Franek pchają wózek z pralką (patrz rysunek). Magda działa siłą $F_1 = 100\text{ N}$, a Franek – siłą $F_2 = 150\text{ N}$. Efekt ich działania jest taki sam, jak gdyby na wózek działał sam Franek siłą 250 N .



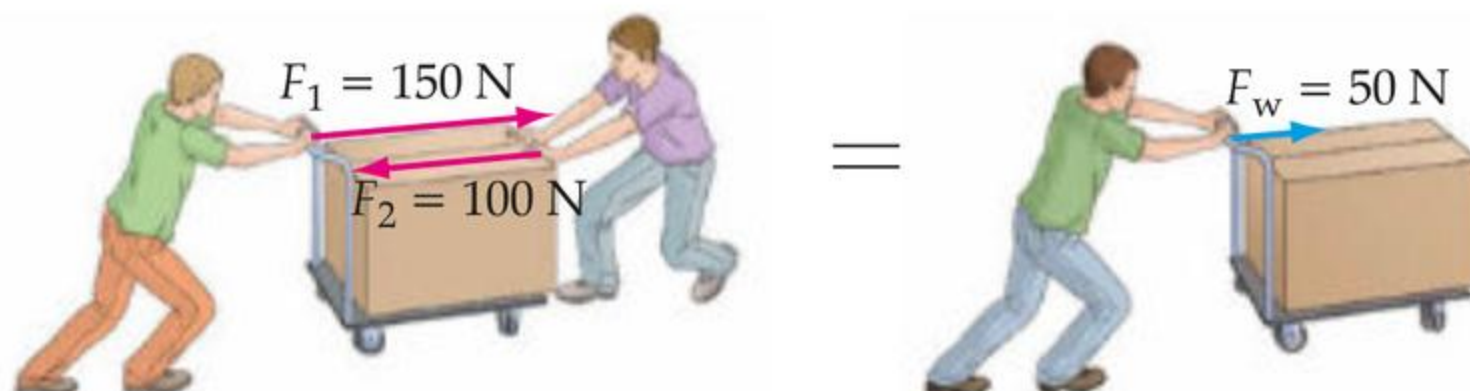
siła wypadkowa:

$$F_w = F_1 + F_2$$
$$F_w = 150\text{ N} + 100\text{ N} = 250\text{ N}$$

Siłę, która zastępuje kilka sił, nazywamy siłą wypadkową.

■ Siły o przeciwnym zwrocie

Na rysunku poniżej chłopcy pchają wózek w przeciwne strony. Aby znaleźć wypadkową dwóch sił o przeciwnym zwrocie, ich wartości odejmujemy. Siła wypadkowa ma ten sam zwrot, co większa z sił.



siła wypadkowa:

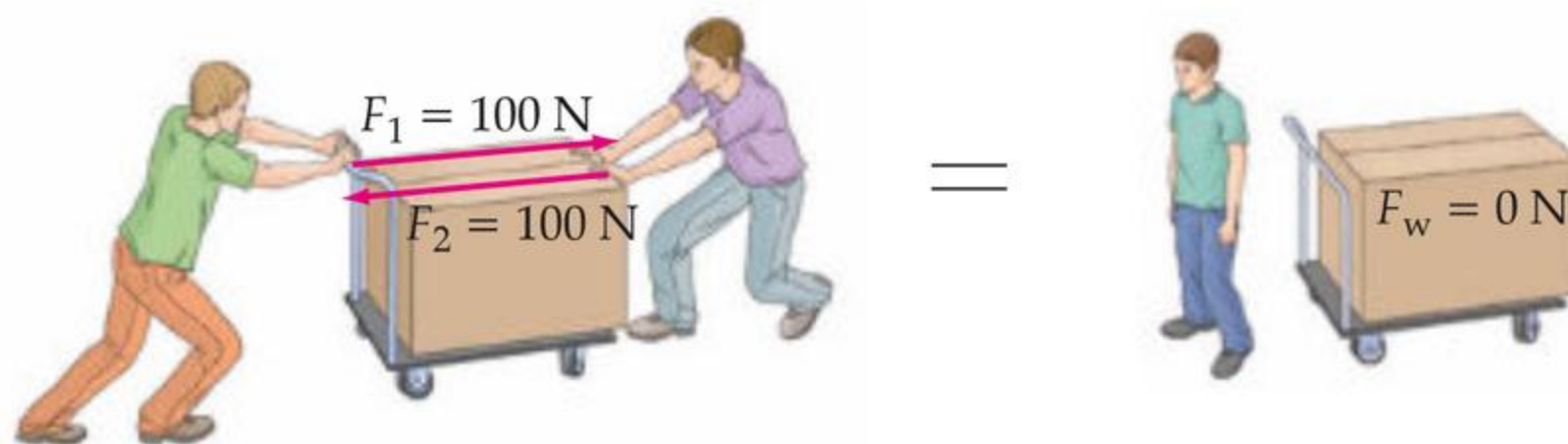
$$F_w = F_1 - F_2$$
$$F_w = 150\text{ N} - 100\text{ N} = 50\text{ N}$$

■ Siły równoważące się

Czasem siły mają tę samą wartość, ale przeciwny zwrot. Takie siły się równoważą. Gdy chłopcy pchają wózek równymi siłami z dwóch stron (patrz rys. s. 24), wózek nie poruszy się, podobnie jak w sytuacji, gdy nie działa na niego żadna siła. Wypadkowa sił jest w tym wypadku równa 0 N .

siła wypadkowa:

$$F_w = 100 \text{ N} - 100 \text{ N} = 0 \text{ N}$$



Może się także zdarzyć, że na ciało działa kilka różnych sił i wszystkie się równoważą.

Siły się równoważą, jeśli ich wypadkowa ma wartość 0 N.

Podsumowanie

- Kilka różnych sił działających na ciało można zastąpić jedną siłą, zwaną siłą wypadkową.
- Jeśli siły mają ten sam zwrot, to dodajemy ich wartości.
- Jeśli siły mają przeciwne zwroty, to odejmujemy ich wartości. Siła wypadkowa ma ten sam zwrot co większa z sił.
- Jeśli siła wypadkowa ma wartość 0 N, to mówimy, że siły się równoważą.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Ustal, jak dużą siłą i w którą stronę musiałby ciągnąć sanie jeden pies, aby efekt był taki sam, jak w sytuacji opisanej poniżej.

a) Jeden pies ciągnie sanie siłą 120 N, a drugi ciągnie je siłą 90 N w tę samą stronę.

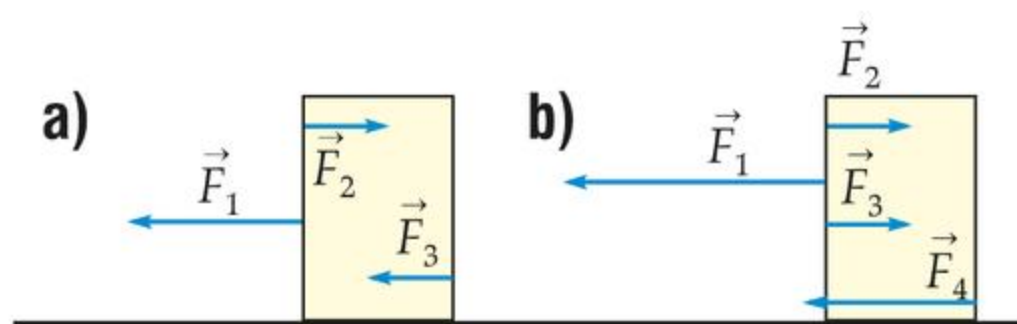
b) Jeden pies ciągnie sanie do przodu siłą 100 N, a drugi ciągnie je do tyłu siłą 150 N.

2. Dwa konie ciągną wóz w tę samą stronę siłami o wartościach: pierwszy 500 N, a drugi 800 N. Ustal, z jaką siłą trzeci koń musiałby ciągnąć wóz w przeciwną stronę, aby wóz się nie poruszał.

3. Trzech uczniów ciągnie linę. Pierwszy ciągnie ją w lewą stronę siłą 200 N, drugi – również w lewo siłą 250 N. Ustal, jaką siłą ciągnie ją w prawo trzeci uczeń, jeśli lina się nie porusza.

4. Chłopiec pcha szafę pewną siłą, mimo tego szafa się nie porusza. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

5. Zmierz długości strzałek, oblicz wartości przedstawianych za ich pomocą sił i siłę wypadkową działającą na ciało. Czy ciało się poruszy? Jeśli tak, to w którą stronę?



Uwaga. Na rysunku strzałka o długości 1 cm odpowiada sile 100 N.

6. Marcin pcha wózek siłą 100 N w prawo. Ola pcha ten wózek siłą 80 N, Tomek – siłą 20 N, a Magda – siłą 40 N. Wszystkie siły działają wzdłuż tej samej prostej. Wózek się nie porusza. W którą stronę pcha go Ola, w którą – Tomek, a w którą – Magda? Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek przedstawiający siły, jakimi wszyscy działają na wózek.

D Siła wypadkowa – trudniejsze zagadnienia

Umiesz już znaleźć wypadkową sił równoległych. Co zrobić, gdy na ciało działają dwa inne ciała siłami o różnych kierunkach?

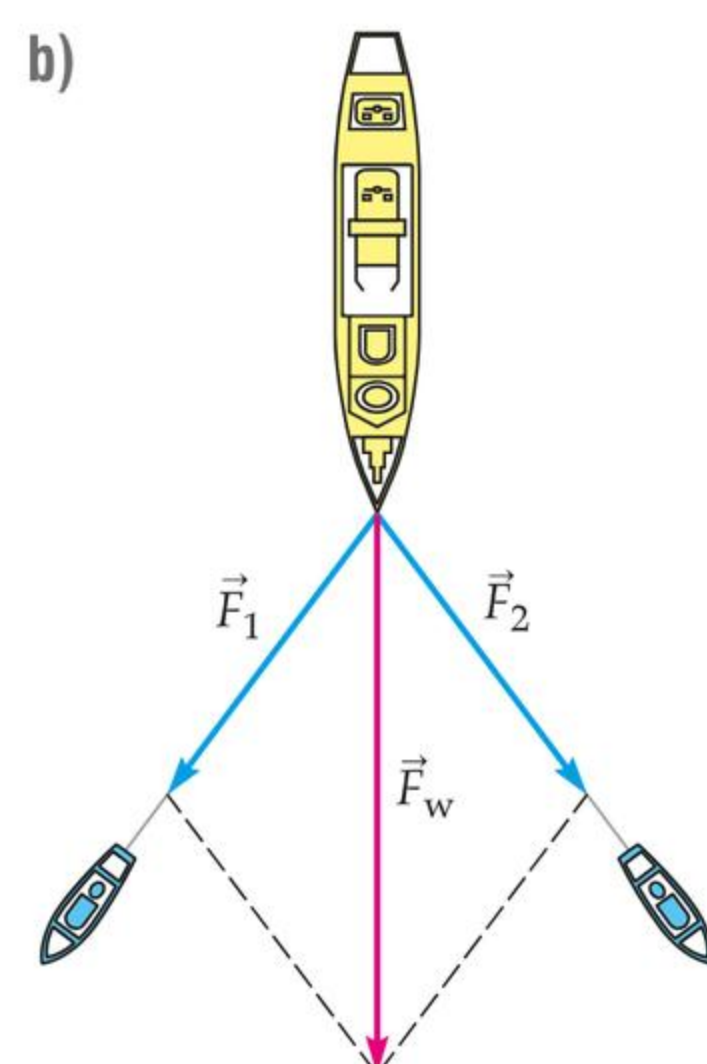
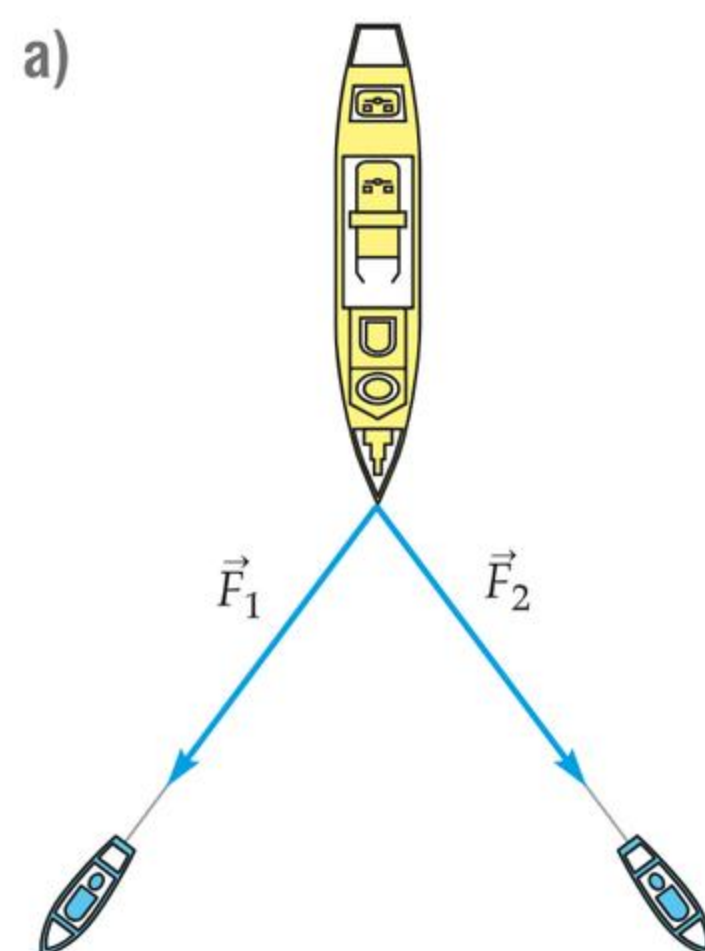
Na rysunku a) widzimy, jak dwa holowniki ciągną statek. Każdy z nich działa siłą 50 kN, ale każdy w inną stronę. W którą stronę poruszy się statek? Czy te dwa holowniki można by zastąpić jednym, silniejszym? I jaką siłą powinien on działać?

Aby odpowiedzieć na te pytania, znajdziemy wypadkową sił, którymi działają holowniki. Rysujemy równoległobok, którego bokami są siły holowników, a jego przekątna (rys. b) to siła wypadkowa.

Aby wyznaczyć wartość siły wypadkowej, możemy zmierzyć długość jej wektora. Ma on 3,2 cm, a ponieważ na naszym rysunku 1 cm odpowiada sile 25 kN, siła wypadkowa działająca na statek ma wartość: $3,2 \cdot 25 \text{ kN} = 80 \text{ kN}$.

Tak więc dwa holowniki można by zastąpić jednym, który ciągnąłby statek siłą 80 kN do przodu.

Gdy narysujemy równoległobok, którego sąsiednimi bokami są wektory sił, przekątna tego równoległoboku będzie przedstawiać wypadkową sił.



Wyznaczanie siły wypadkowej – reguła równoległoboku.

Doświadczenie

Niech dwóch uczniów, jak najsilniejszych, stanie na dwóch końcach liny o długości 10 m (lub dłuższej – im dłuższa, tym lepiej) i napnie ją w poziomie na wysokości opuszczonych rąk.

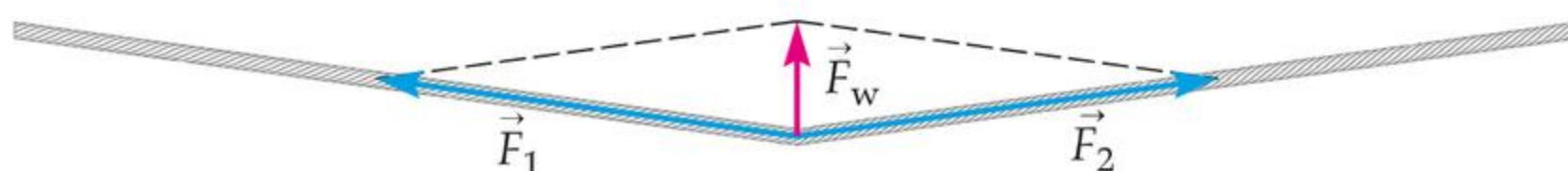
Niech teraz trzecia osoba spróbuje przycisnąć sznur w połowie długości do podłogi. Kto wygra – dwóch uczniów rozciągających sznur czy jeden uczeń dociskający sznur do podłogi?



■ Przykład zastosowania siły wypadkowej

W doświadczeniu opisanym na poprzedniej stronie osoba dociskająca sznur do podłogi musi przezwyciężyć wypadkową sił, jakimi dwie osoby ciągną końce sznura. Jak się okazuje, nie jest to trudne. Zobaczmy na rysunku, jaka jest wypadkowa sił, którymi chłopcy rozciągają sznurek (działająca na środek sznura). Od razu widzimy, że siła wypadkowa jest znacznie mniejsza od każdej z sił, jakimi działają osoby ciągnące końce sznura.

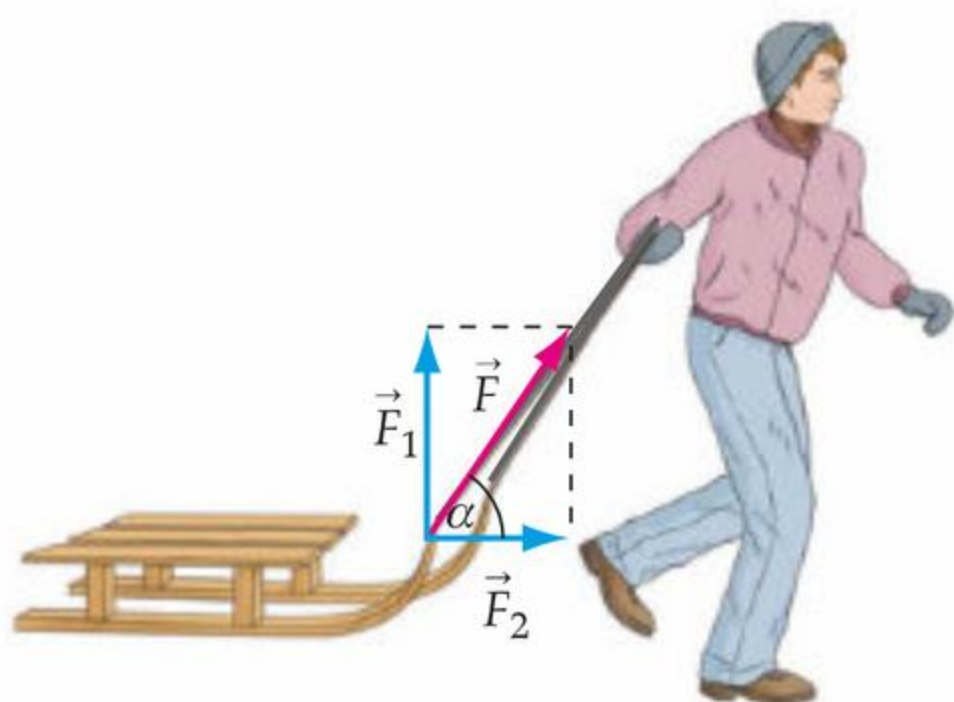
Dodawanie sił opisanych w doświadczeniu ze sznurkiem.



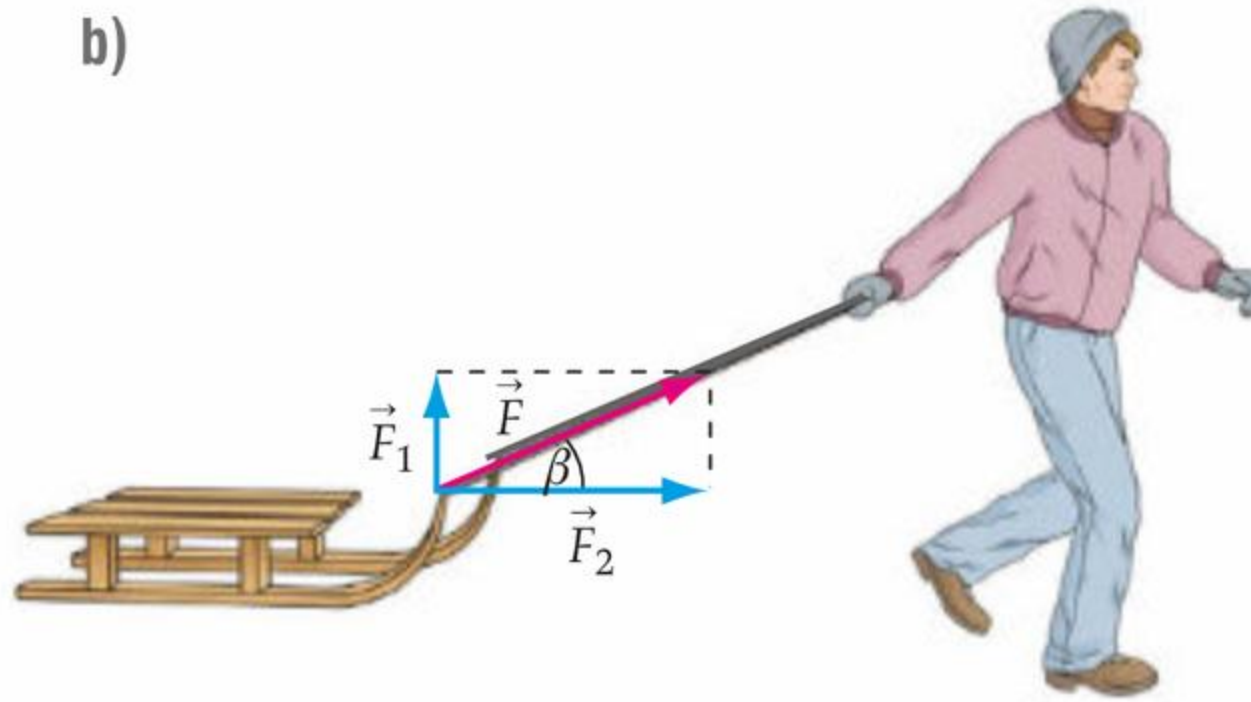
■ Rozkładanie siły na składowe

Czasem trzeba wykonać operację odwrotną do składania sił – przedstawić siłę jako wypadkową dwóch sił składowych. Chłopiec na rysunku ciągnie sanki pewną siłą. Można ją przedstawić jako wypadkową dwóch sił: poziomej i pionowej. Tylko składowa pozioma powoduje ruch sanek do przodu. Zauważ, że wartość składowej poziomej zależy nie tylko od wartości siły, z jaką ciągnie chłopiec, ale także od jej kierunku.

a)



b)



Rozkładamy siłę $\vec{F}$ na składowe: $\vec{F}_1$ – składowa pionowa, $\vec{F}_2$ – składowa pozioma; rysunki a), b) – różne kierunki działania siły $\vec{F}$.

Podsumowanie

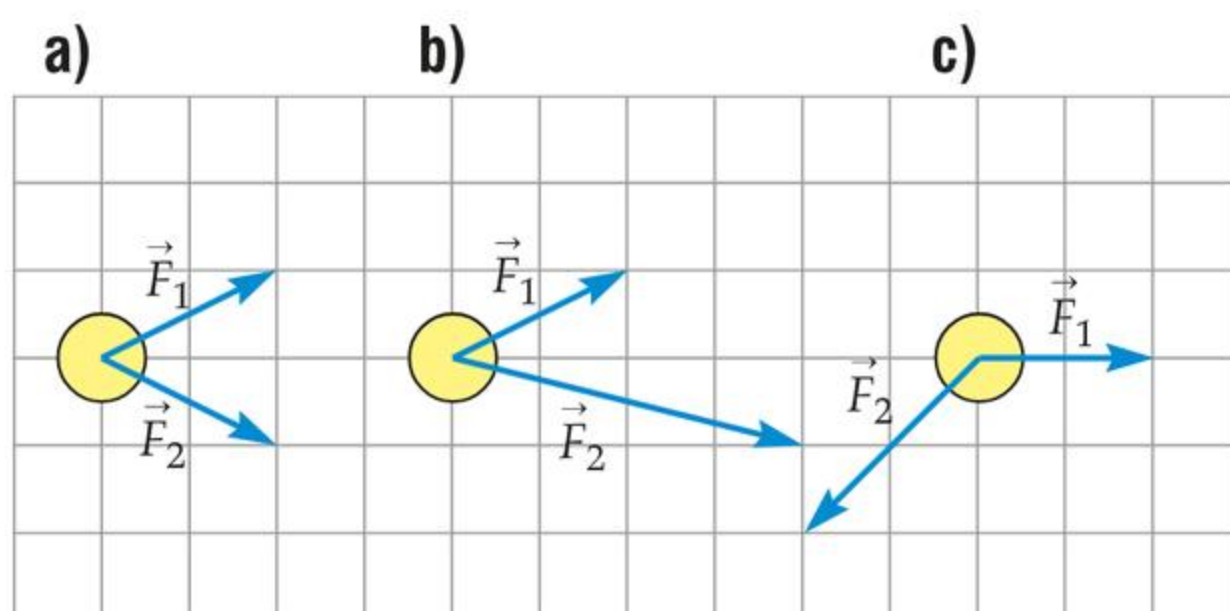
- Aby znaleźć wypadkową dwóch sił o różnych kierunkach przyłożonych w tym samym punkcie, rysujemy równoległobok, którego bokami są te siły. Wówczas przekątna równoległoboku przedstawia wypadkową.
- „Rozłożyć siłę na składowe” znaczy przedstawić ją jako wypadkową dwóch sił działających wzdłuż wybranych kierunków.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Narysuj w zeszycie dwie dowolne siły działające na ciało i wyznacz ich wypadkową.
2. Przerysuj rysunek do zeszytu i wyznacz siłę wypadkową działającą na ciało. Oblicz jej wartość, korzystając z informacji, że 1 kratka odpowiada sile 10 N.

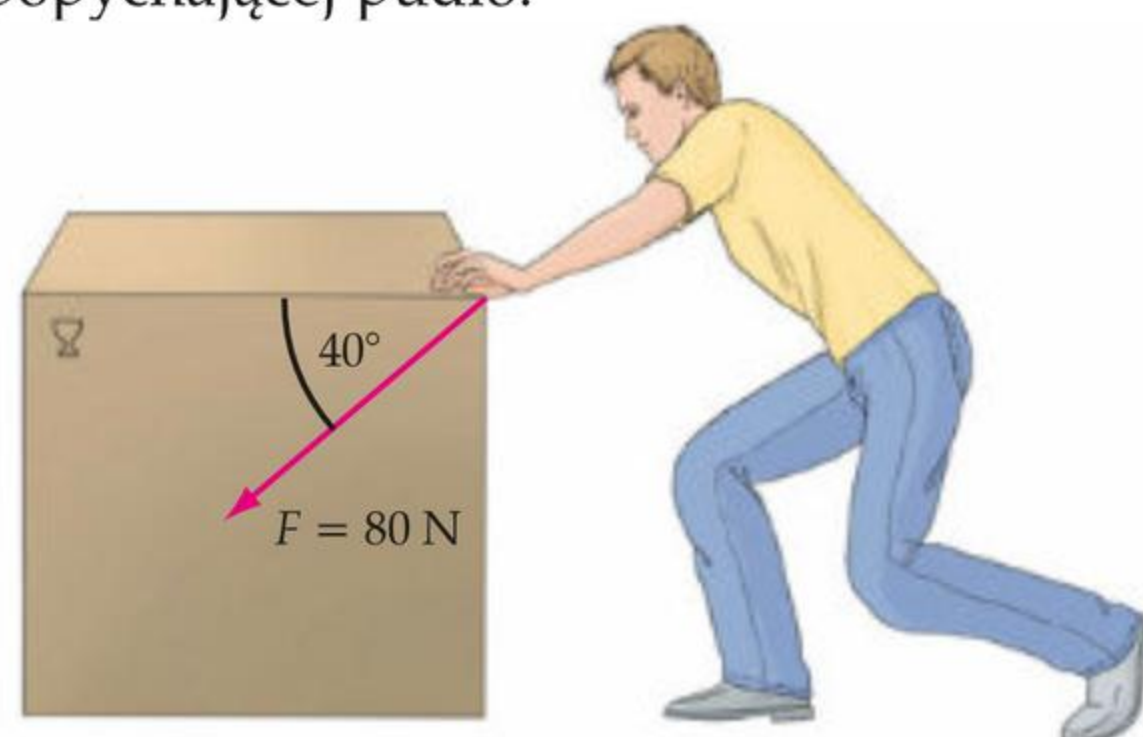


3. Trzech robotników ciągnęło linę. Każdy z nich działał siłą 400 N, ale łącznie działali siłą równą tylko 1000 N. Wyjaśnij, jak to możliwe.

4. Narysuj w zeszycie dwie prostopadłe siły o podanych wartościach. Przyjmij skalę 1 cm – 1 N. Wyznacz ich wypadkową, zmierz jej wartość i kąt, jaki tworzy z kierunkiem większej siły.

a) 1 N i 2 N b) 2 N i 3 N c) 5 N i 10 N

5. Edward pcha po podłodze kartonowe pudło. Wykonaj w zeszycie rysunek w odpowiedniej skali i zmierz wartość siły składowej popychającej pudło.



Doświadczenia

Kulka na sznurkach

1. Weź około 50 cm mocnego sznurka.
2. W połowie jego długości przywiąż ciężki przedmiot.
3. Złap za końce sznurka i rozciągaj go – przedmiot będzie się podnosił.
4. W którym momencie potrzebna jest do tego największa siła?
5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko za pomocą rysunków przedstawiających składanie sił.



Siły z dwóch stron książki

1. Na dwóch końcach nitki zawieś po dwa jednakowe ciężarki.
2. Książkę o gładkich brzegach połóż na pudełku i przewieś przez nią nitkę (patrz zdjęcie). W połowie długości nitki zaczep siłomierz.
3. Podnosząc i opuszczając siłomierz, obserwuj, jak zmienia się działająca na niego siła w zależności od kąta między odcinkami nici.
4. Zwróć także uwagę, czy różnice sił możesz wyczuć bezpośrednio ręką.
5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko za pomocą rysunków przedstawiających składanie sił.



6 Bezwładność ciała – pierwsza zasada dynamiki

Doświadczenie !

Potocz po gładkim stole okrągły ołówek. Czy zatrzymuje się on natychmiast?

Z historii

Zasady dynamiki nazywane są także zasadami Newtona, ponieważ sformułował je angielski uczyony Izaak Newton (czyt. niuton; 1643–1727). Był to jeden z najwybitniejszych fizyków. Jak się już domyślasz, jednostka siły została nazwana właśnie na jego cześć. Przed Newtonem bezwładność ciał zaobserwował włoski uczyony Galileusz.



Izaak Newton.

Jak wiesz, aby poruszyć nieruchome ciało, trzeba na nie zadziałać siłą. Załóżmy, że ciało już się porusza. Czy potrzebna jest siła, aby poruszało się nadal? Z doświadczenia, które przeprowadziłeś przed chwilą, wynika, że nie. Ołówek nie zatrzymał się w momencie, w którym przestałeś go pchać.

Gdyby ciało zatrzymywało się natychmiast, gdy przestanie na nie działać siła, cały świat wyglądałby zupełnie inaczej. Futbolista nie mógłby strzelić gola, chyba że wbiegłby z piłką do bramki. Samochody nie potrzebowałyby hamulców, wystarczyłoby zdjąć nogę z gazu, aby pojazd natychmiast się zatrzymał.

Pierwsza zasada dynamiki:

Gdy na ciało nie działa żadna siła albo wszystkie działające siły się równoważą, to:

- **jeśli ciało nie poruszało się, to nadal nie będzie się poruszać,**
- **jeśli ciało poruszało się, to nadal będzie się poruszać w tę samą stronę i z tą samą prędkością jak do tej pory.**

Ciała „niechętnie” zmieniają prędkość i kierunek ruchu. Tę ich właściwość nazywamy **bezwładnością**.

■ Dlaczego ciała się zatrzymują

Pierwsza zasada dynamiki wyjaśnia, dlaczego ołówek z naszego doświadczenia nie zatrzymał się natychmiast, gdy przestał go popychać. Dlaczego jednak w ogóle się zatrzymuje? Przecież powiedzieliśmy, że powinien poruszać się ze stałą prędkością!

Na poruszające się ciała działają siły hamujące ich ruch.

Siła tarcia ołówka o ławkę powoduje zmniejszanie jego prędkości, a w końcu – zatrzymanie. Siła oporu powietrza umożliwia skoki na spadochronie – dzięki niej skoczek nie spada na ziemię jak kamień. Im mniejsze opory ruchu, tym dłużej może się poruszać wprawione w ruch ciało. Krążek hokejowy, sunąc po lodzie, może przebyć całe lodowisko. Gdyby lód był idealnie gładki, a ruchu krążka nie hamowałyby opór powietrza, krążek nigdy by się nie zatrzymał. Natomiast ten sam krążek popchnięty po trawie zatrzymuje się bardzo szybko.

■ Siły równoważące się

W praktyce nigdy nie mamy do czynienia z sytuacją, gdy na ciało nie działa żadna siła. Często natomiast działające siły się równoważą. Na przykład siła napędzająca samochód równoważy opory ruchu, dlatego samochód porusza się ze stałą prędkością.



Samochód porusza się ze stałą prędkością, ponieważ działające na niego siły się równoważą.

■ Od czego zależy bezwładność ciała

Skoro siła nie jest potrzebna, aby ciało się poruszało, to do czego jest ona potrzebna? Siłą trzeba zadziałać, aby ciało rozpędziło się, zahamowało lub zmieniło kierunek ruchu.

Bezwładnością nazywamy cechę ciała określającą, na ile łatwo lub trudno jest je rozpędzić lub zatrzymać. Czy wszystkie ciała mają jednakową bezwładność? Oczywiście nie, nawet bez oporów ruchu znacznie trudniej byłoby rozpędzić wagon kolejowy niż wózek dziecięcy. Bezwładność ciała związana jest z jego masą.

Im większa masa, tym większa bezwładność ciała.

W życiu codziennym pojęcia masy używamy do określania ilości różnych substancji. Prosimy w sklepie np. o 25 dag sera czy 1 kg jabłek. Widzimy teraz, że masa ma także inne znaczenie – określa bezwładność ciała.

Dokładniej zajmiemy się tym zagadnieniem w temacie „Druga zasada dynamiki” (patrz s. 78).

Podsumowanie

- Jeśli wypadkowa sił działających na nieruchome ciało ma wartość 0 N, to ciało pozostaje nieruchome.
- Jeśli wypadkowa sił działających na poruszające się ciało ma wartość 0 N, to ciało porusza się dalej z taką samą prędkością po linii prostej.
- Jeśli ciało popchnięte i puszczane zwalnia, to dzieje się tak dlatego, że działają siły oporów ruchu, a nie dlatego, że przestała działać napędzająca je siła.
- „Niechęć” ciała do zmiany prędkości nazywamy bezwładnością. Im większa masa ciała, tym większa jego bezwładność.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Lokomotywa ciągnie wagon siłą 1 kN. Wagon jedzie ze stałą prędkością. Podaj wartość siły oporów ruchu działającej na wagon.

2. Wysyłane z Ziemi sondy kosmiczne lecą bez włączonych silników na odległe planety, a nawet poza granice Układu Słonecznego. Wyjaśnij, dlaczego nie zatrzymują się po drodze, skoro nic ich nie popycha.

3. Choć w średniowieczu nie znano pierwszej zasady dynamiki, korzystano z niej w praktyce, np. przy taranowaniu bram oblężonych miast lub twierdz. Wyjaśnij, na jakiej zasadzie działa taran.

4. Niektóre cienkopisy mają zatyczkę, która przy nakładaniu zatrzaskuje się z cichym kliknięciem. Jeśli nałożymy ją, ale nie zatrzaśniemy, i upuścimy cienkopis zatyczką w dół, ona się zatrzaśnie. Nie nastąpi to, gdy upuścimy cienkopis zatyczką do góry.

Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko. Możesz spróbować sprawdzić je doświadczalnie, ale nie dla wszystkich typów cienkopisów da się uzyskać ten efekt.



Doświadczenia

Poduszkowiec

- 1.** Weź zatyczkę od butelki (np. po płynie do mycia naczyń albo wodzie mineralnej), którą można zamykać i otwierać przez wsuwanie i wysuwanie końcówki. Zamknij ją i szerszą stroną przyklej na środku niepotrzebnej płyty kompaktowej.
- 2.** Nadmuchaj balon i nałóż na końcówkę zatyczki.
- 3.** Połóż płytę na gładkim stole i otwórz zatyczkę. Zobacz, jak gładko się porusza!



Uwaga. Jeśli balon kładzie się płasko, to możesz otoczyć jego szyjkę zwiniętym w rulon paskiem papieru.

Uciekające z balonika powietrze tworzy poduszkę powietrzną, która odsuwa płytę CD od stołu. Dzięki temu porusza się ona niemal bez tarcia. Na tej samej zasadzie poruszają się poduszkowce, które mogą lecieć zarówno nad wodą, suchym lądem, jak i np. nad bagnem (poduszkowiec nie ma nic wspólnego z poduszką powietrzną chroniącą pasażerów samochodu w czasie wypadku).

Gdzie się urwie

- 1.** Powieś na nitce dość ciężki przedmiot (który nie zniszczy się na skutek upadku!).
- 2.** Od dołu przywiąż do niego drugi kawałek takiej samej nitki.
- 3.** Spróbuj ciągnąć kilka razy za drugi kawałek nitki – czasem powoli zwiększając siłę, a czasem szarpiąc gwałtownie. Sprawdź, w którym miejscu pęka nitka – powyżej czy poniżej przedmiotu. Wyjaśnij, jaki wpływ ma na to sposób ciągnięcia.
- 4.** Spróbuj wyjaśnić zaobserwowane zjawisko.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Fizycy, wykonując doświadczenia, badają świat i objaśniają zachodzące w nim zjawiska i procesy.
2. W fizyce wykonujemy pomiary różnych wielkości fizycznych (np.: długości, czasu, masy). Wyniki pomiarów podajemy w odpowiednich jednostkach (np.: metrach, sekundach, kilogramach).
3. Wynik pomiaru nigdy nie jest idealnie dokładny. Niepewność pomiaru zapisujemy za pomocą znaku $\pm$, np. $100 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ oznacza: „100 kg z dokładnością do 2 kg”. Wyniki pomiarów zaokrąglamy na ogół do dwóch cyfr znaczących.
4. Siła to wielkość fizyczna opisująca, w jaki sposób jedno ciało działa na drugie. Jest to wielkość wektorowa, tzn. określamy nie tylko, jak jest duża, ale i w którą stronę działa oraz gdzie została przyłożona. Innymi słowy, siła ma wartość, kierunek i zwrot oraz punkt przyłożenia. Jednostką siły jest niuton (1 N).
5. Siła wypadkowa to siła, którą można zastąpić kilka sił działających na jedno ciało. Jeśli siły mają jednakowe zwroty, ich wartości się sumują. Jeśli zwroty sił są przeciwne – ich wartości się odejmują, a wypadkowa działa w tę samą stronę, co większa z sił.
- 6*. Wypadkową sił nierównoległych znajdujemy zgodnie z regułą równoległoboku.
7. Siła jest potrzebna, by poruszyć lub zatrzymać ciało albo zmienić jego prędkość. Jednak nie trzeba siły, aby poruszające się ciało poruszało się nadal. Tę właściwość nazywamy bezwładnością ciała. Bezwładność ciała jest tym większa, im większa jest jego masa.
8. Pierwsza zasada dynamiki:
Gdy na ciało nie działa żadna siła albo wszystkie działające siły się równoważą, to:
 - jeśli ciało nie poruszało się, to nadal nie będzie się poruszać,
 - jeśli ciało poruszało się, to nadal będzie się poruszać w tę samą stronę i z tą samą prędkością jak do tej pory.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To musisz umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–5. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

- Jednostkami masy są
 - gram, kilogram, niuton.
 - tona, kilogram, gram.
 - metr, kilogram, sekunda.
 - niuton, metr, sekunda.
- Który z przyrządów **nie** służy do pomiaru czasu?
 - zegarek
 - suwmiarka
 - klepsydra
 - stoper
- Paweł pcha wózek w lewo siłą 100 N, a Gaweł – w prawo siłą 300 N. Jaką wartość ma siła wypadkowa działająca na wózek? Jak jest skierowana?
 - 200 N, w lewo
 - 200 N, w prawo
 - 400 N, w lewo
 - 400 N, w prawo

4. Samolot leci ze stałą prędkością. Siła ciągu wynosi 8 kN. Jaka siła oporu powietrza działa na samolot?

- 4 kN
- więcej niż 4 kN, ale mniej niż 8 kN
- 8 kN
- więcej niż 8 kN

5. Jeżeli na poruszające się ciało nie działa żadna siła, to ciało

- zatrzyma się po kilku metrach.
- zatrzyma się po przebyciu kilkudziesięciu metrów.
- zatrzyma się po przebyciu kilku lub kilkudziesięciu metrów, ponieważ zależy to od prędkości.
- w ogóle się nie zatrzyma.

Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

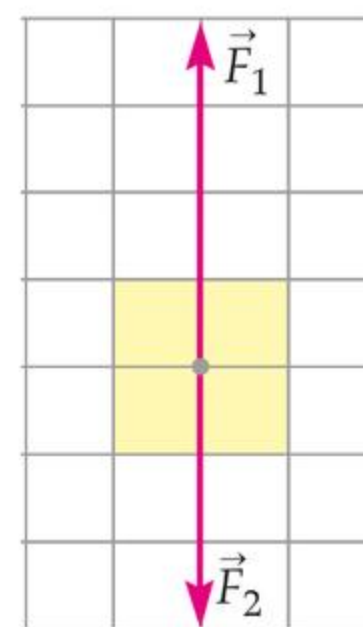
**Dobrze, jeśli to umiesz**

Uwaga. W zadaniach 1.–5. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

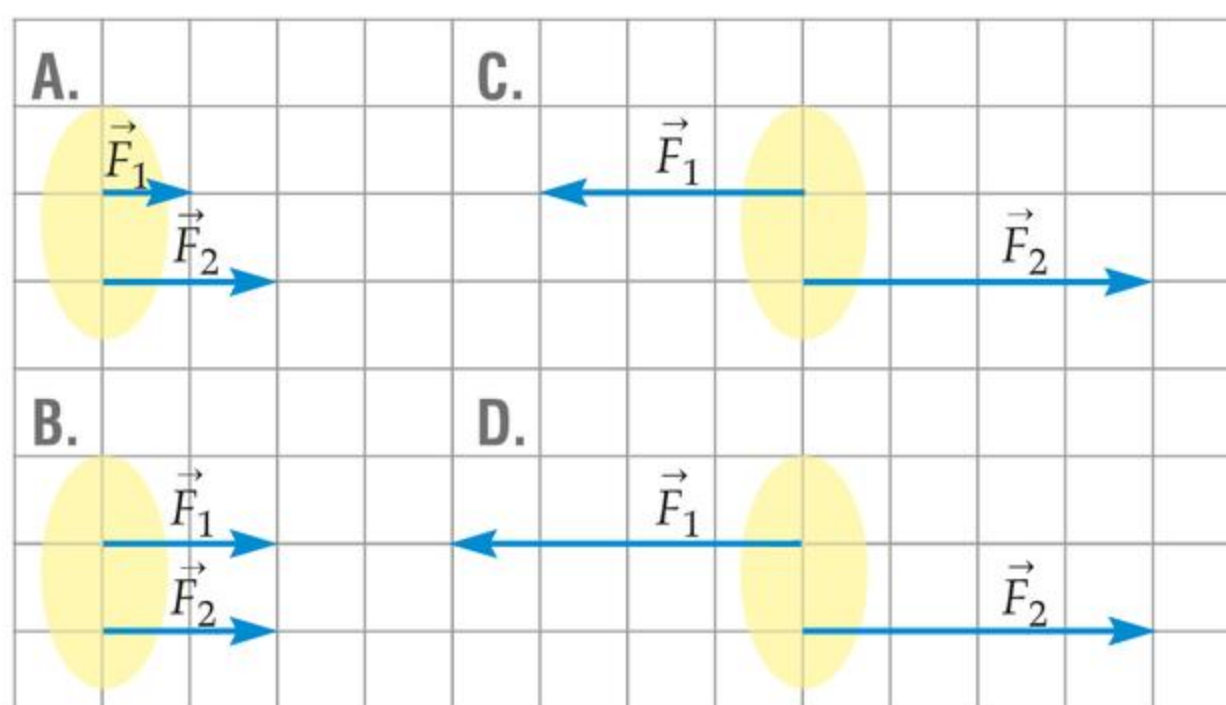
- Jeśli masę 2785,328 kg zaokrąglimy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących, otrzymamy
 - 2785,33 kg.
 - 2785,32 kg.
 - 2700 kg.
 - 2800 kg.
- Które z wymienionych ciał ma największą bezwładność?
 - długopis
 - ołówek
 - wagon kolejowy
 - duża szafa
- Długość sali lekcyjnej może wynosić
 - 800 m.
 - 8000 cm.
 - 0,008 km.
 - 0,08 km.

4. Na rysunku obok przedstawiono dwie siły działające na klocek. Jeśli 1 cm odpowiada sile 20 N, to wypadkowa tych sił wynosi

- 70 N.
- 35 N.
- 20 N.
- 10 N.



5. Na którym rysunku siła wypadkowa działająca na ciało ma największą wartość?



Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–4. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Jacek zmierzył trzykrotnie czas spadania torebki foliowej z wysokości 2 m i otrzymał następujące wyniki: 6 s, 5 s, 5 s. Jako wynik tego doświadczenia z dokładnością do dwóch cyfr znaczących powinien podać

- A. 5 s.
- B. 5,3 s.
- C. 5,33 s.
- D. 5,333333 s.

2. Na pudełku ciasteczek napisano, że zawiera $400 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$ produktu. Masa ciasteczek może być równa

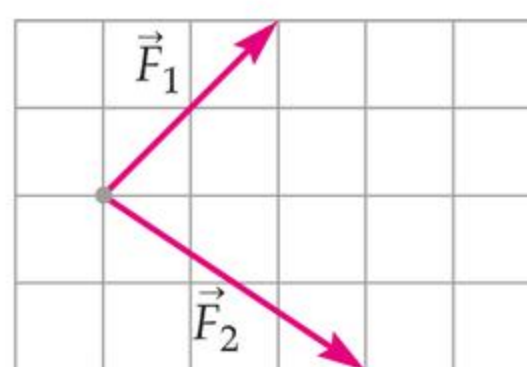
- A. np. 400 g, 415 g, 430 g.
- B. np. 385 g, 400 g, 403 g.
- C. tylko 385 g lub 415 g.
- D. tylko 415 g.

3. Wybierz odpowiedź, w której czas trwania różnych zjawisk uporządkowano od najkrótszego do najdłuższego.

- A. 10 ms; 5 s; 100 s; 1 min.
- B. 0,5 s; 300 ms; 2 min; 1 doba.
- C. 3000 s; 5000 s; 1 h; 70 min.
- D. 1 min; 80 000 ms; 100 s; $\frac{1}{2}$ h.

4*. Jeśli 1 kratka odpowiada sile 1 N, to wypadkowa sił na rysunku ma wartość

- A. 2 N.
- B. 3 N.
- C. 4 N.
- D. 5 N.



Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Świetnie, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniu 2. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1*. Narysuj dwie siły o wartościach 200 N i 300 N, których wypadkowa ma wartość 400 N. Zmierz za pomocą kątomierza kąt między nimi.

2*. Jaką wartość ma wypadkowa dwóch prostopadłych sił o wartościach 3 N i 4 N? Wykonaj odpowiedni rysunek i zmierz linijką wektor siły wypadkowej.

- | | |
|--------|--------|
| A. 1 N | C. 5 N |
| B. 3 N | D. 7 N |



Praca badawcza

Rakieta na wodę



1. Kup dwie strzykawki o pojemności 20 cm^3 , ale o nieco różniących się średnicach, tak aby po wyjęciu tłoczka z grubszej dało się w nią włożyć cieńszą.

2. Wyjmij tłoczek z grubszej strzykawki, obetnij „skrzydełka”, a następnie zaklej dzióbek mocnym klejem. Po zaschnięciu kleju sprawdź, czy zaklejenie jest szczelne. Grubsza strzykawka będzie rakieta.

3. Zobacz, czy cieńszą strzykawkę wkłada się „na wcisk” czy luźno. Jeśli luźno, oklej ją odpowiednio taśmą klejącą. Cieńsza strzykawka będzie pełnić rolę wyrzutni.

Uwaga. Dalszą część doświadczenia prowadzić trzeba w ciepły dzień na otwartej przestrzeni, tak aby wylatująca rakieta nie wyrządziła żadnych szkód, a twoje mokre ubranie nie stało się przyczyną zaziębienia.

4. Nalej do rakiety 15 cm^3 wody. Napełnij wyrzutnię powietrzem i włóż ją w rakieta tak daleko, jak potrafisz. Ustaw rakieta w stronę, w którą ma polecieć, ale nieco do góry pod pewnym kątem, a następnie wciśnij tłoczek wyrzutni. Rakieta powinna wystartować.

5. Wyjaśnij, co wspólnego ma napęd twojej rakiety z napędem prawdziwych rakiet kosmicznych. Jaką rolę pełni powietrze, a jaką – woda? Czy dałoby się w ogóle wyeliminować wodę lub powietrze? Sprawdź doświadczalnie, co się wtedy dzieje.

6. Jaki zasięg ma twoja rakieta, tzn. jak daleko może dolecieć od miejsca startu? Zbadaj, od czego zależy jej zasięg i kiedy jest największy. Pamiętaj, że gdy badasz zależność zasięgu np. od ilości nalanej wody, pozostałe czynniki nie powinny się zmieniać.

7. Twoja rakieta to stosunkowo niewielki model rakiety wodnej. Zbierz w internecie informacje o większych raketach tego typu, ich budowie i zasięgu lotu. W wyszukiwarce możesz wpisać hasło: rakieta wodna lub *water rocket*.

Uwaga. Doświadczenia nad większymi raketami wodnymi możesz prowadzić tylko pod kontrolą nauczyciela lub innych osób o odpowiednich kwalifikacjach. Tuż po wystrzale rakieta ma tak dużą energię, że może nawet zabić człowieka.

Chociaż gepard może biec z prędkością 105 kilometrów na godzinę, to przez godzinę nie byłby w stanie przebiec dystansu 105 kilometrów.

Ciała w ruchu



Z tego rozdziału dowiesz się, na czym polega ruch ciała. Nauczysz się w prosty sposób wyznaczać wielkości opisujące ten ruch: prędkość, drogę, czas i przyspieszenie.

7 Ruch i jego względność



Trasy samochodów, które jechały z Krakowa do Gdańska. Odległość w linii prostej jest znacznie krótsza.



Chomik biegnie bardzo szybko (względem karuzeli), ale ciągle znajduje się w tym samym miejscu (względem ziemi).

W każdej chwili możesz zaobserwować ruch ciał. Poruszają się pojazdy, ludzie, zwierzęta, Ziemia krąży wokół Słońca. Mówimy, że ruch to zmiana położenia ciała, tzn. zmiana miejsca, w którym ciało się znajdowało. Omawianie ruchu ciał zaczniemy od wprowadzenia najważniejszych pojęć.

■ Tor i droga

Na co dzień mówimy o torach kolejowych, bobslejowych itp. W fizyce **torem** nazywamy linię, po której porusza się ciało. Na przykład torem piłki rzuconej do kosza jest linia krzywa, choć oczywiście piłka nie porusza się po szynach.

Także słowo „droga” stosuje się w fizyce w nieco odmiennym znaczeniu niż w języku potocznym.

Droga to długość toru, czyli linii, po której porusza się ciało. Droge, jak każdą długość w układzie SI, mierzymy w metrach.

Drogi przebytej przez ciało nie należy mylić z odległością między miejscem początku i końca ruchu. Są one równe tylko wtedy, gdy ciało porusza się po linii prostej i nie zawraca.

Na mapie przedstawiono trasy z Krakowa do Gdańska dwóch samochodów. Jeden przebył drogę 637 km, drugi – 590 km, chociaż odległość w linii prostej między miastami wynosi 488 km.

■ Ruch jest względny

Ruch ciał można rozpatrywać tylko względem innych ciał. Człowiek, który stoi bez ruchu w pędzącym

pociągu, nie porusza się względem pociągu, ale porusza się względem ziemi (tak szybko, jak pociąg).

Z kolei w pociągu jadącym powoli pasażer może iść korytarzem w stronę końca pociągu tak szybko, że stale znajduje się w pobliżu tego samego punktu na zewnątrz wagonu (np. obok semafora). Wówczas porusza się względem pociągu, ale nie porusza się względem ziemi.

A czy możemy powiedzieć, że pasażer siedzący w pociągu stojącym na stacji zupełnie się nie porusza? Nie! Wprawdzie nie porusza się on ani względem pociągu, ani względem ziemi, ale porusza się wraz z Ziemią wokół Słońca i to z prędkością $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, czyli ponad $100\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Ćwiczenie. Czy wiesz, że niektóre samoloty mogą tankować paliwo nawet podczas lotu? Dowiedz się, jak to możliwe.



Podsumowanie

- Tor to linia, po której porusza się ciało (lub jego wybrany punkt). Droga to długość toru.
- Droga jest na ogół dłuższa niż odległość w linii prostej między miejscem rozpoczęcia ruchu a miejscem jego zakończenia. Są one równe tylko wtedy, gdy ciało porusza się po linii prostej i nie zawraca.
- Ruch ciał jest względny. O ruchu jednego ciała możemy mówić tylko względem innego, np. w pędzącym pociągu można rozważać ruch człowieka względem ziemi albo względem podłogi pociągu.

Pytania i zadania

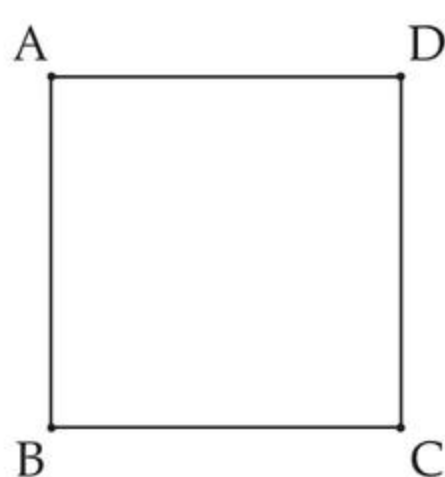
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. W linii prostej z Poznania do Częstochowy jest 231 km. Samochód jedzie z Poznania do Częstochowy. Oceń, czy przebyta przez niego droga również musi być równa 231 km czy może być dłuższa albo krótsza.

2. Kasia bawi się, wchodząc po ruchomych schodach jadących w dół, w ten sposób, że nie porusza się względem ścian budynku. Jakiej odpowiedzi udzielisz na pytanie: Czy dziewczynka porusza się czy nie?

3. Konrad szedł wokół kwadratowego placu o boku 10 m. Wyszedł z punktu A, doszedł do B, stamtąd do C i w końcu do D, gdzie się zatrzymał.



a) Oblicz drogę, jaką przeszedł.

b) Wyznacz odległość między początkiem a końcem marszu.

4. W czasach Kopernika, gdy uczeni dyskutowali, czy Ziemia porusza się czy nie, wysuwano następujące argumenty:

- „Gdyby Ziemia się kręciła, ptaki nie trafiałyby do swoich gniazd”.
- „Ktoś, kto by podskoczył, lądowałby w innym miejscu, bo Ziemia uciekałaby mu spod nóg”.
- „Wiałby straszliwy huragan, ponieważ powietrze nie jest przymocowane do Ziemi i zostawałoby z tyłu”.

Wyjaśnij, na czym polegał błąd w rozumowaniu osób wysuwających powyższe argumenty.

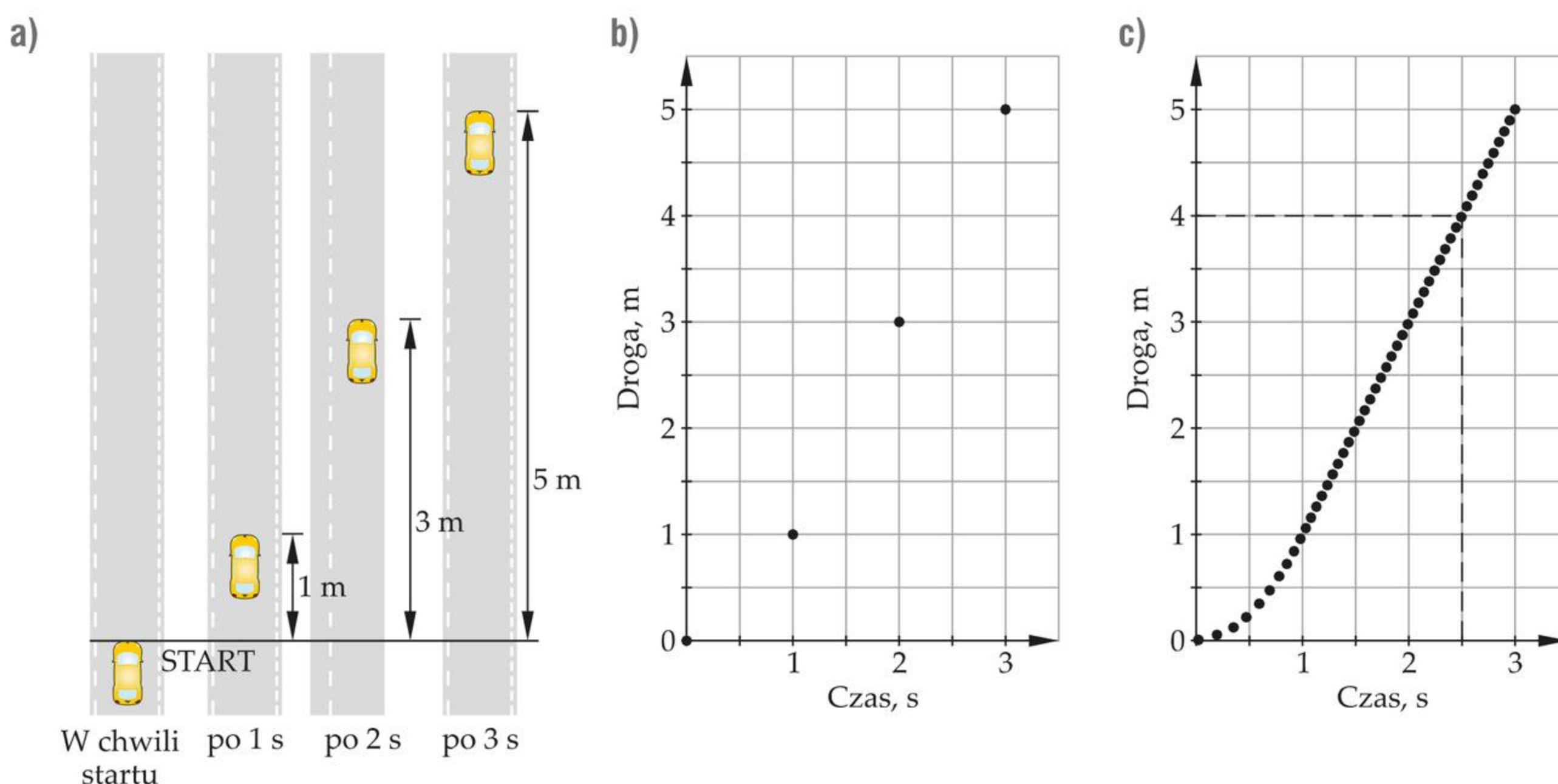
8 Wykresy opisujące ruch

■ Jak powstaje wykres

Poniżej przedstawiamy serię rysunków. Na pierwszym z nich widzimy kolejno ten sam samochód w chwili, gdy ruszał, 1 s później, 2 s później i 3 s później. Z rysunku a) możemy odczytać np., że w ciągu pierwszej sekundy samochód przebył drogę 1 m, a w ciągu pierwszych dwóch sekund – drogę 3 m.

Te same informacje można jednak odczytać z rysunku schematycznego b), którego przygotowanie nie jest tak pracochłonne. Czas i drogę zaznaczyliśmy na osiach liczbowych, położenie samochodu oznaczyliśmy kropkami, pominęliśmy rysunek szosy. W ten sposób otrzymaliśmy wykres zależności drogi od czasu.

Gdybyśmy zaznaczali położenie samochodu częściej niż co sekundę, np. co 0,1 s, punkty ułożyłyby się wzdłuż pewnej linii (rys. c). Z wykresu c) możemy odczytać np., że po 2,5 s od startu samochód przebył 4 m drogi. Z wykresu b) nie dałoby się tego odczytać.



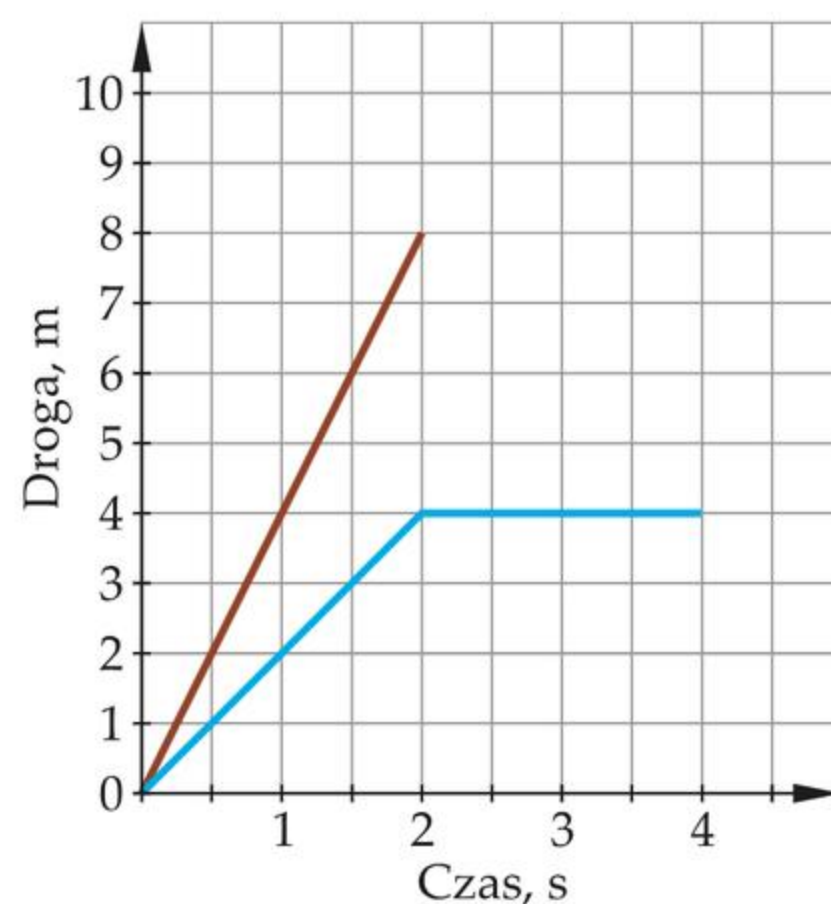
■ Przykłady wykresów

Na rysunku obok przedstawiono różnymi kolorami wykresy ruchu dwóch ciał.

Brązowy wykres przedstawia ruch ciała, które w pierwszej sekundzie przebyło 4 m, a w kolejnej sekundzie – następne 4 m (w sumie więc w ciągu 2 s przebyło 8 m).

Niebieski wykres przedstawia ruch ciała, które w ciągu pierwszych 2 s przebyło tylko 4 m. Z pewnością poruszało się więc wolniej od ciała, którego ruch opisuje brązowy wykres. W dodatku po 2 s zatrzymało się – czas płynął, a przebyta droga się nie zmieniała.

Zauważ, że bardziej stroma linia (nachylona pod większym kątem do osi czasu) oznacza szybszy ruch ciała.



Podsumowanie

- Zależność drogi przebytej przez ciało od czasu możemy przedstawić za pomocą wykresu. Im szybciej porusza się ciało, tym bardziej stromy jest wykres (tzn. jest nachylony pod większym kątem do osi czasu).

Pytania i zadania

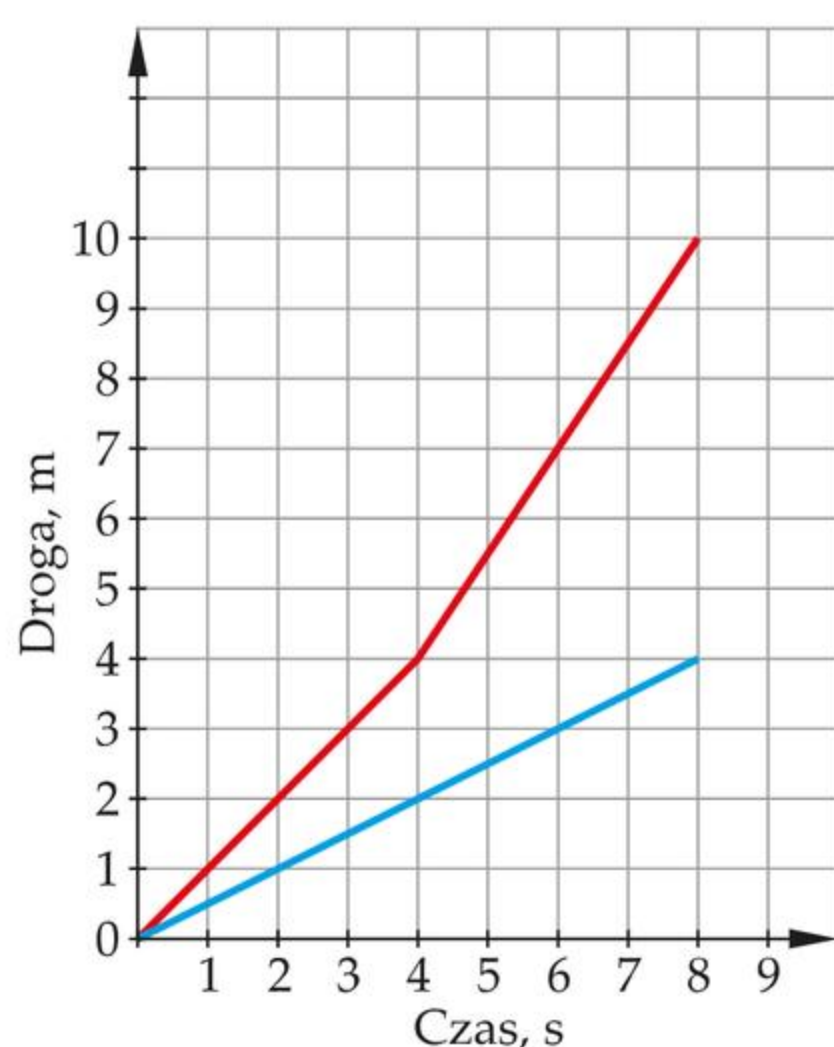
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Jaką drogę przebyło ciało w pierwszych 2 s ruchu, a jaką w ostatnich 2 s?

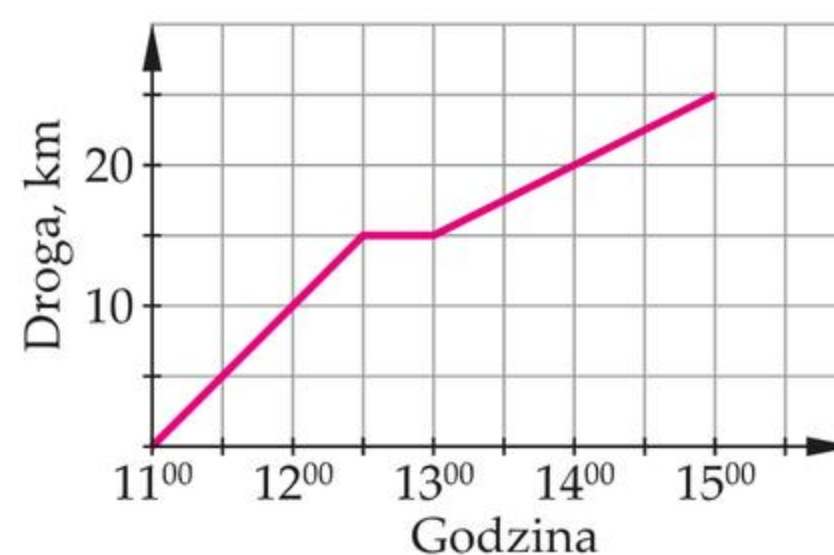
Odpowiedz na to pytanie, analizując ruch ciała, które na wykresie przedstawiono kolorem:

- niebieskim,
- czerwonym.



2. Wykres przedstawia zależność przebytej drogi od czasu dla ruchu rowerzysty podczas wycieczki. Zauważ, że na osi poziomej zaznaczono godziny, a nie czas, który upłynął od rozpoczęcia wycieczki. Odpowiedz na pytania.

- Jak długo trwała wycieczka rowerzysty?
- Ile kilometrów przejechał do godziny 14⁰⁰?
- Ile kilometrów przejechał między godziną 14⁰⁰ a 15⁰⁰?
- Jak długo trwał odpoczynek?
- Czy po odpoczynku rowerzysta jechał szybciej czy wolniej?



9 Ruch jednostajny prostoliniowy

■ Prędkość

Pojęcie prędkości znasz z życia codziennego. Obserwując prędkościomierz samochodu, możesz stwierdzić, z jaką prędkością porusza się pojazd w danej chwili.

Gdy usłyszymy, że samochód jedzie z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, możemy zapytać jeszcze: „A w którą stronę?”. Jak pamiętasz z lekcji o sile, wielkości, o które tak pytamy, nazywamy wielkościami wektorowymi.

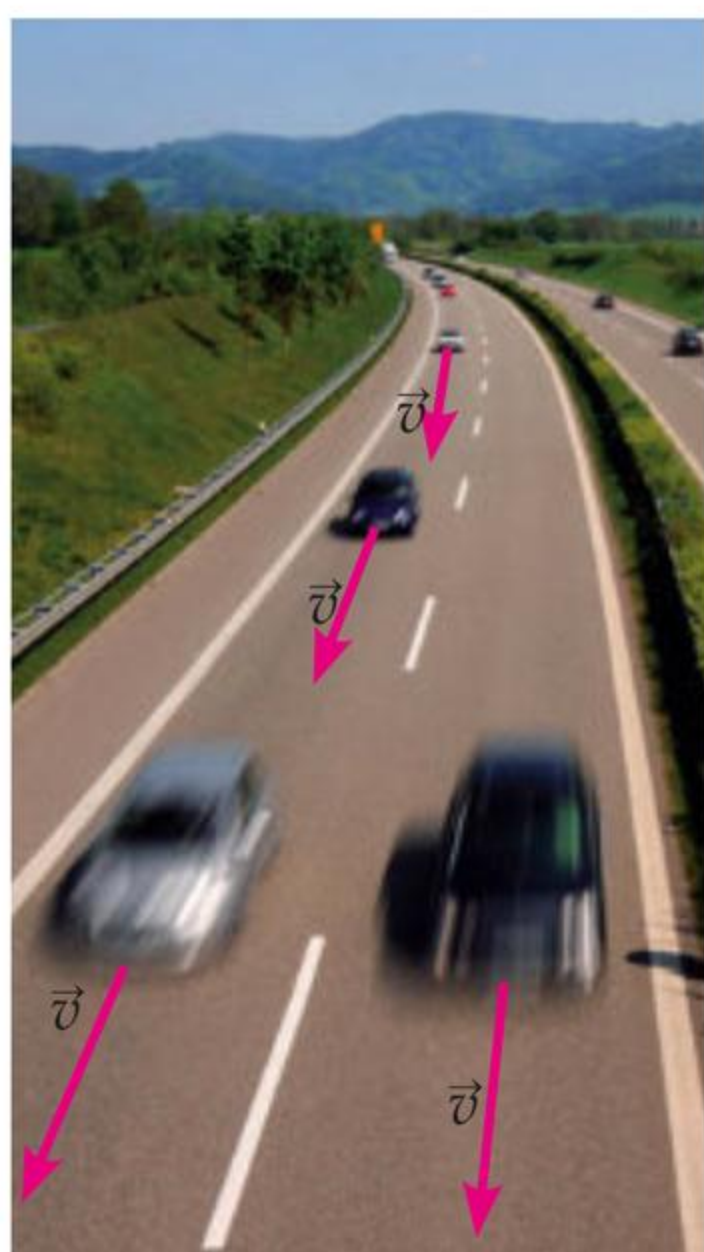
Prędkość to wielkość wektorowa. Ilustrujemy ją za pomocą strzałki wskazującej, w którą stronę porusza się ciało.

■ Ruch jednostajny po linii prostej

Doświadczenie

Wykonaj to doświadczenie z koleżankami i kolegami z klasy.

1. Ustawcie się w rzędzie w przejściu między ławkami albo na korytarzu.
2. Jedno z was niech patrzy na zegarek z sekundnikiem i co sekundę mówi np. „BUM”. Drugie niech puści wzdłuż przejścia (korytarza) samochodzik na baterie. Pozostali mają w rękach kawałki kredy. Przy każdym „BUM” osoba znajdująca się najbliżej samochodzika zaznacza kredą na podłodze miejsce, gdzie znajduje się przód pojazdu.
3. Zmierzcie odległość kresek od miejsca startu i zapiszcie wyniki pomiarów w tabeli przygotowanej w zeszycie.
4. Spróbujcie narysować wykres opisujący ruch samochodzika podobny do wykresów, które omawialiśmy na poprzedniej lekcji.



Prędkość jest wielkością wektorową.

Samochodzik na baterie porusza się ze stałą prędkością. Po zaznaczeniu na wykresie jego kolejnych położań zauważamy, że odpowiadające im punkty układają się wzdłuż linii prostej. Zatem wykresem zależności drogi od czasu w tym ruchu jest linia prosta.

Ruch ze stałą prędkością po linii prostej nazywamy ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Prędkość ciała poruszającego się ruchem jednostajnym można łatwo obliczyć. Jeśli samochód przejechał ruchem jednostajnym 120 km w ciągu 3 godzin, to w ciągu każdej godziny przejeżdżał 40 km. Mówimy, że prędkość samochodu wynosiła 40 kilometrów na godzinę, czyli $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Prędkość informuje nas, jaką drogę przebyło ciało w określonej jednostce czasu.

■ Wzór na obliczanie prędkości

Wyznaczając prędkość samochodu, obliczaliśmy, ile kilometrów przebytej drogi przypada na jedną godzinę. Dzieliśmy drogę przez czas, w którym ta droga została przebyta.

$$\text{prędkość} = \frac{\text{droga}}{\text{czas}}$$

W fizyce często spotykamy się z podobnymi formułami matematycznymi opisującymi, co zrobić, aby obliczyć daną wielkość. Nazywamy je wzorami fizycznymi. Nie zapisujemy ich za pomocą słów, jak powyżej, tylko symboli literowych. Należy jedynie ustalić, co oznaczają poszczególne litery. Wzór na prędkość możemy zapisać:

$$\text{prędkość} \rightarrow v = \frac{s}{t}$$

droga
czas

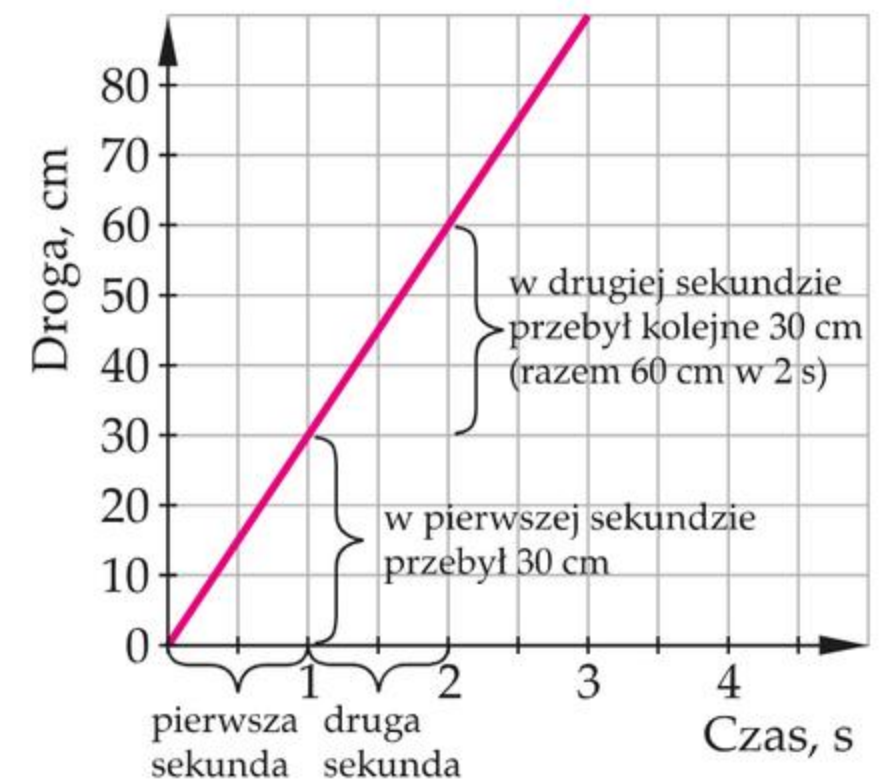
Symbole v i t pochodzą od angielskich słów *velocity* i *time*, natomiast s od łacińskiego *spatium*.

■ Jednostka prędkości

Jednostkę prędkości otrzymujemy, dzieląc jednostkę drogi przez jednostkę czasu. W zależności od tego, jakich jednostek długości i czasu używamy, otrzymujemy różne jednostki prędkości. Na przykład prędkość rakiet kosmicznych wygodnie jest podawać w kilometrach na sekundę, a prędkość ślimaka – w metrach na godzinę. W życiu codziennym najczęściej używamy kilometrów na godzinę.

W układzie SI jednostką prędkości jest metr na sekundę, co zapisujemy $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ćwiczenie A. Oblicz prędkość, z jaką jechał samochodzik, którego ruch opisuje wykres poniżej. Zauważ, że wynik najłatwiej wyrazić w centymetrach na sekundę.



Ciekawostka

Skąd to dzielenie

Jeśli między 10 uczniów podzielimy po równo 20 cukierków, to każdy uczeń dostanie 2 cukierki.

$$\frac{20 \text{ cukierków}}{10 \text{ uczniów}} = 2 \text{ cukierki na ucznia}$$

Jeśli w ciągu 10 s ciało przebyło ruchem jednostajnym 20 m, to w każdej sekundzie przebyło 2 m.

$$\frac{20 \text{ metrów}}{10 \text{ sekund}} = 2 \text{ metry na sekundę}$$

Ćwiczenie B. Samolot przeleciał 200 m w ciągu 2 s. Oblicz prędkość samolotu (w metrach na sekundę).

■ Obliczanie drogi w ruchu jednostajnym prostoliniowym

Jaką drogę przebył ktoś, kto siedł ze stałą prędkością $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ przez 4 godziny? Skoro w ciągu godziny przebywał 5 km, to w ciągu czterech godzin przebył 4 razy dłuższą trasę, czyli 20 km. Aby obliczyć przebytą drogę, wystarczy pomnożyć prędkość przez czas. Możemy zapisać to wzorem:

$$\text{droga} = \text{prędkość} \cdot \text{czas} \quad s = v \cdot t$$

Ćwiczenie C. Samolot leciał przez 3 godziny ze stałą prędkością $400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz, ile kilometrów przebył.

Ponieważ w układzie SI jednostką prędkości jest metr na sekundę, a jednostką czasu sekunda, zatem drogę otrzymujemy w metrach. Jeśli natomiast prędkość wyrażamy w kilometrach na godzinę, a czas – w godzinach, to drogę otrzymujemy w kilometrach.

Podsumowanie

- Prędkość to wielkość wektorowa. Możemy ją zilustrować za pomocą strzałki wskazującej, w którą stronę porusza się ciało.
- Ruch jednostajny prostoliniowy to ruch ciała ze stałą prędkością po linii prostej.
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym prędkość ciała możemy obliczyć, dzieląc drogę, jaką przebyło ciało, przez czas, w jakim ta droga została przebyta:

$$\text{prędkość} = \frac{\text{droga}}{\text{czas}} \quad v = \frac{s}{t}$$

- W układzie SI jednostką prędkości jest metr na sekundę ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$). Inną często stosowaną jednostką jest kilometr na godzinę ($\frac{\text{km}}{\text{h}}$).
- Mnożąc prędkość przez czas, otrzymujemy drogę:

$$\text{droga} = \text{prędkość} \cdot \text{czas} \quad s = v \cdot t$$

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Oblicz (w wybranych przez siebie jednostkach) prędkość ciała, które, poruszając się ruchem jednostajnym:

- a) przebyło drogę 30 m w ciągu 10 s,
- b) w czasie 2 min przebyło drogę 4 km,
- c) w czasie 0,1 h przebyło drogę 2 km,
- d) przebyło drogę 100 m w ciągu 0,2 s.

2. Samochód jechał przez 5 minut z prędkością $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaką przebył drogę? Obliczenia zapisz w zeszycie.

3. Oblicz, jaką drogę przebyło ciało, poruszając się przez:

- a) 12 s ze stałą prędkością $5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$,
- b) 20 h ze stałą prędkością $0,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- c) 3 min ze stałą prędkością $0,5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$,
- d) 80 s ze stałą prędkością $0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4. Na ciało nie działa żadna siła. Oceń, czy może się ono poruszać ruchem jednostajnym.

 5. Kajak przepłynął 5 m w ciągu 3 s. Oblicz drogę, jaką przepłynąłby w ciągu 5 min, gdyby poruszał się stale z tą samą prędkością.

10 Jeszcze o ruchu jednostajnym prostoliniowym

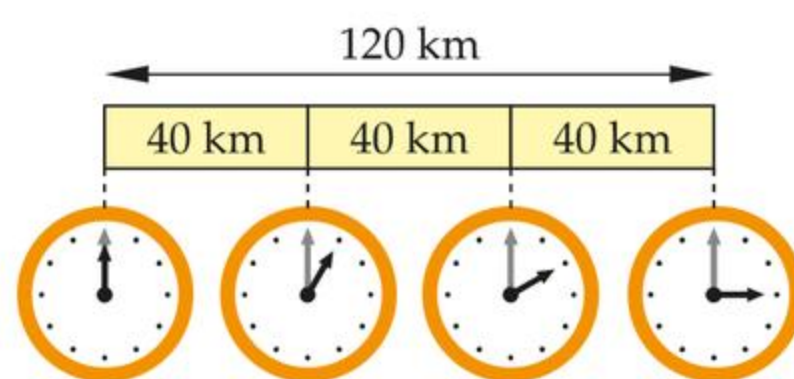
■ Obliczanie czasu ruchu

Jak obliczyć, ile czasu zajmie przejechanie 120 km ze stałą prędkością $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$? W ciągu godziny przebywamy 40 km, trzeba więc podzielić drogę 120 km na odcinki po 40 km. Są trzy takie odcinki; przejechanie każdego z nich zajmuje nam godzinę. Przejechanie całej drogi zajmie więc 3 godziny.

Rozumując podobnie, zauważymy, że aby obliczyć czas, dzielimy przebytą drogę przez prędkość:

$$\text{czas} = \frac{\text{droga}}{\text{prędkość}} \quad t = \frac{s}{v}$$

Nie musisz zapamiętywać wzoru, możesz wyprowadzić go samodzielnie. Jeśli chcemy obliczyć, ile godzin będziemy jechać, dzielimy całkowitą drogę na odcinki, których przejechanie zajmie nam godzinę.



Drogę, którą przebył samochód w czasie 3 h, podzielono na odcinki. Przebycie każdego z nich zajęło godzinę. W ciągu każdej godziny pojazd pokonał 40 km.

■ Przekształcanie wzorów

Droga, czas i prędkość w ruchu jednostajnym to wielkości, między którymi istnieją zależności.

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

Z każdego ze wzorów można otrzymać pozostałe. Skoro np. drogę obliczamy, mnożąc prędkość przez czas, to prędkość otrzymamy, dzieląc drogę przez czas. Dzielenie jest bowiem działaniem odwrotnym do mnożenia.

Podobnie postępujemy z innymi wzorami.

Działania na jednostkach

Zauważ, że gdy wykonujemy działania na liczbach, analogiczne działania wykonujemy na jednostkach, np.:

$$15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ s} = 45 \text{ m}$$

Ciekawostka

Tak może być łatwiej

Jak przekształcić wzór,

np. $s = v \cdot t$?

Zamiast o wielkościach

fizycznych, pomyśl

o niewielkich liczbach

spełniających ten wzór,

np.: $10 = 5 \cdot 2$, wtedy

$$2 = \frac{10}{5} \text{ i } 5 = \frac{10}{2}.$$

Podobnie $s = v \cdot t$

wtedy $v = \frac{s}{t}$ i $t = \frac{s}{v}$.

Nie jest to dowód

matematyczny, ale metoda

na zapamiętanie sposobu

przekształcania wzorów.

Różne jednostki prędkości

Przykład 1. Piłka tenisowa porusza się z prędkością $70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ile to kilometrów na godzinę?

Sposób I

W ciągu sekundy piłka przebywa drogę 70 m.

Godzina to 3600 sekund.

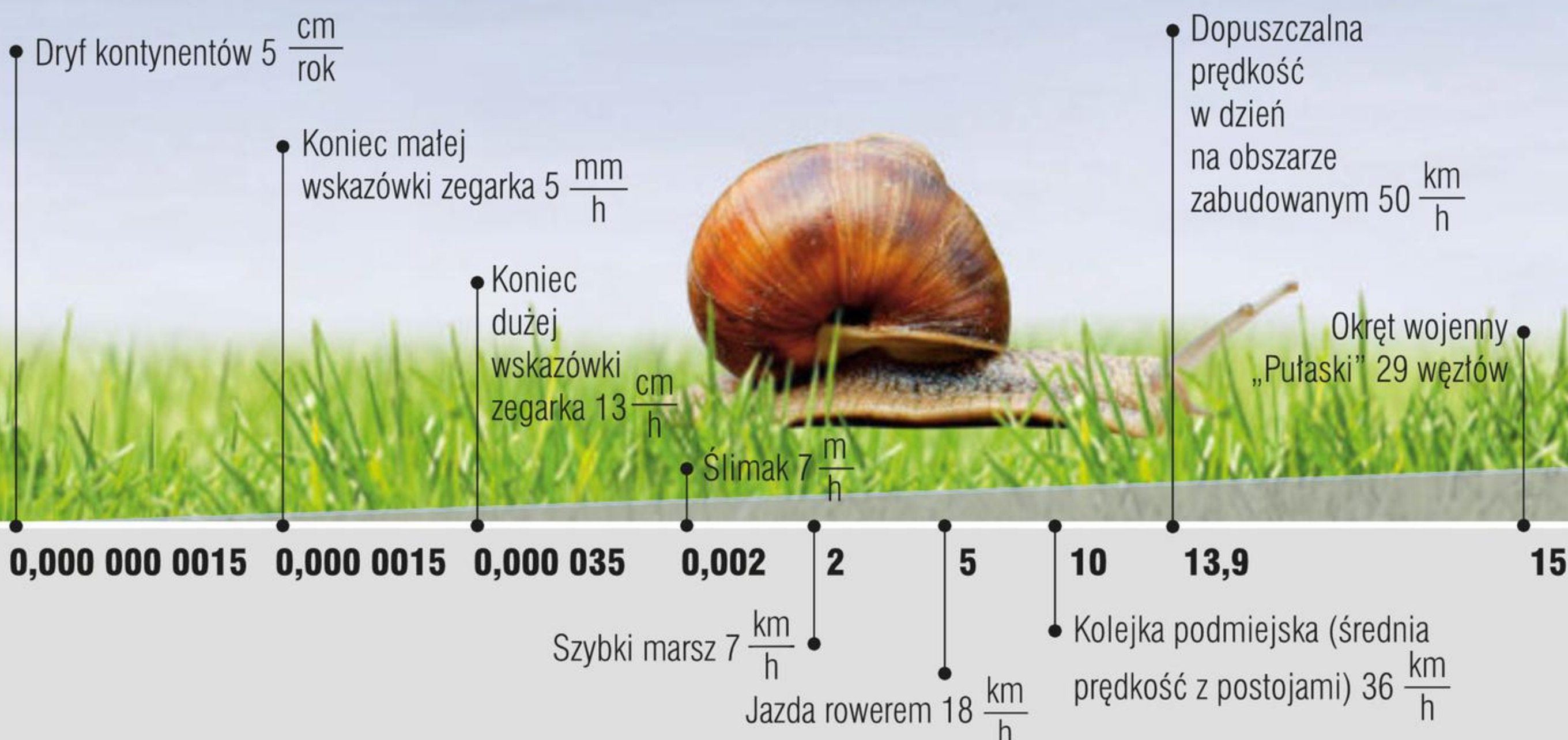
W ciągu godziny piłka przebyłaby:

$$3600 \cdot 70 \text{ m} = 252\,000 \text{ m} = 252 \text{ km}$$

Wobec tego $70 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 252 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Prędkości duże i małe

Określając prędkości różnych ciał, używamy różnych jednostek prędkości. Możemy jednak wszystkie te jednostki przeliczyć na jedną jednostkę, np. $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, i uszeregować prędkości od najmniejszych do największych.



Sposób II

$$70 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 70 \cdot \frac{\frac{1}{3600} \text{ km}}{\frac{1}{1000} \text{ h}} = 70 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 70 \cdot \frac{3600}{1000} \frac{\text{km}}{\text{h}} =$$

$$= \frac{70 \cdot 3600}{1000} \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{252\,000}{1000} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 252 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Prędkość $70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ to inaczej $252 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Przykład 2. Pewien samochód rozwija prędkość $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
Ile to metrów na sekundę?

Sposób I

W ciągu godziny samochód przebywa drogę $180 \text{ km} = 180\,000 \text{ m}$.
Godzina to 3600 sekund.

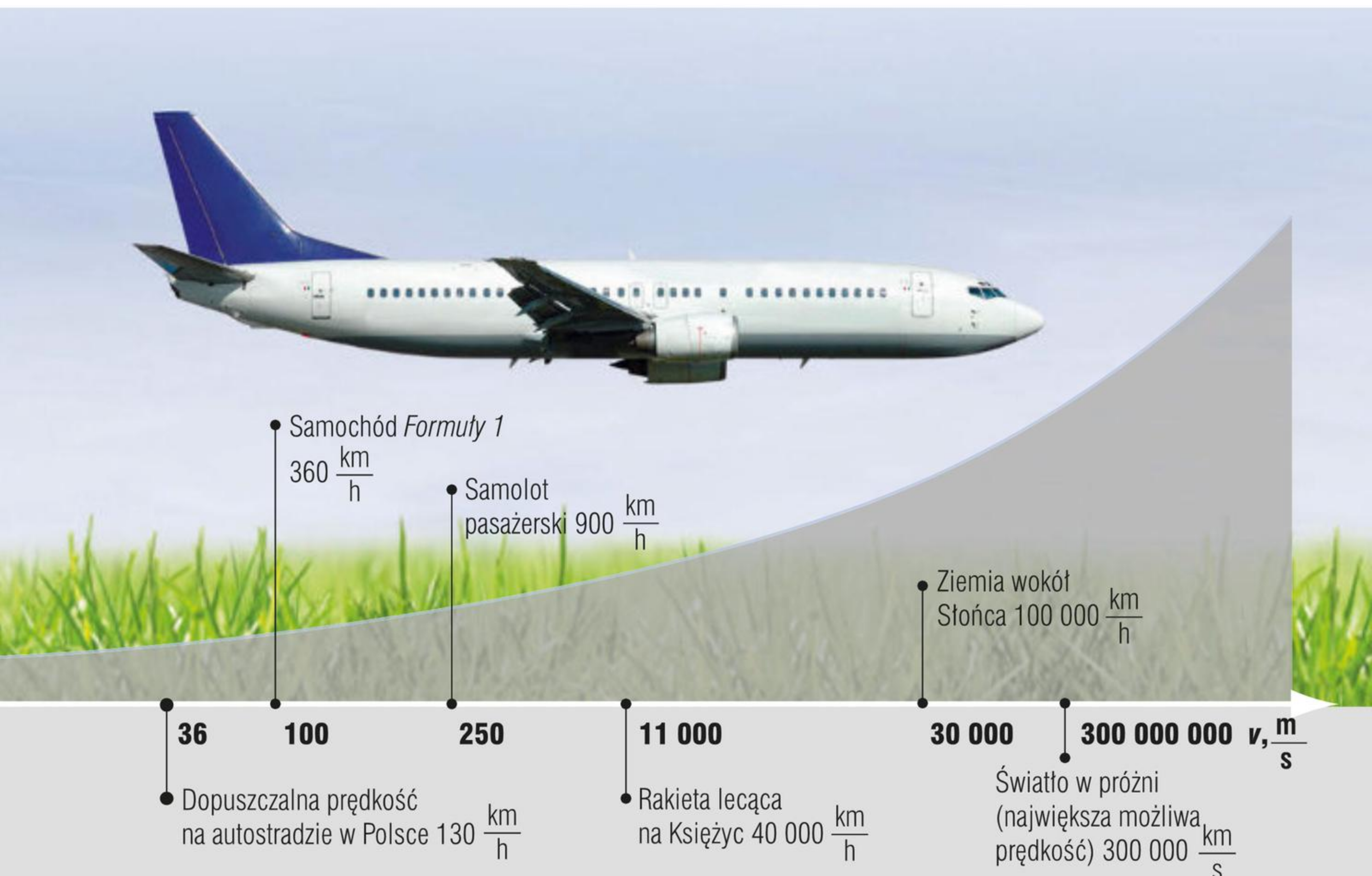
W ciągu sekundy samochód przebywa $\frac{180\,000 \text{ m}}{3600} = 50 \text{ m}$.

Wobec tego $180 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Sposób II

$$180 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 180 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{180 \cdot 1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{180\,000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ to inaczej $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Podsumowanie

- Aby obliczyć czas trwania ruchu jednostajnego prostoliniowego, dzielimy przebytą drogę przez prędkość:

$$\text{czas} = \frac{\text{droga}}{\text{prędkość}} \quad t = \frac{s}{v}$$

- Aby przeliczyć np. $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ na kilometry na godzinę, obliczasz, jaką drogę przebyłoby ciało o tej prędkości w godzinę, czyli w 3600 s. Podobnie postępujesz przy zamienianiu innych jednostek prędkości.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Oblicz czas trwania ruchu gdy:

- turysta przeszedł 12 km trasy z prędkością $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- antylopa przebiegła dystans 100 m z prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- samochód przejechał dystans 2 km z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- myśliwiec przeleciał odległość 2000 m z prędkością $500 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

2. Korzystając z ilustracji „Prędkości duże i małe” (s. 44–45), oblicz, w jakim czasie:

- kontynent przesunie się o 1 m,
- samolot pasażerski przeleci 1000 km,
- światło pokona odległość 1 000 000 km.

3. Wyraż w kilometrach na godzinę:

- prędkość żółwia zielonego w wodzie: $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,
- prędkość biegnącego królika: $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,
- prędkość żółwia zielonego na lądzie: $50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$,
- prędkość ślimaka: $13 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$.

4. Gdy dotykasz ręką gorącego przedmiotu, impuls nerwowy przenosi informację o tym zdarzeniu do mózgu. Impuls ten przemieszcza się z prędkością ok. $110 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jak długo trwa przesyłanie tego impulsu? W tym zadaniu brakuje jednej wielkości. O jaką wielkość chodzi? Oceń samodzielnie, ile może ona wynosić.

5. Wyraż w metrach na sekundę:

- prędkość rakiety kosmicznej: $30\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- prędkość odrzutowego samolotu pasażerskiego: $880 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- prędkość rowerzysty: $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- prędkość piechura: $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

6. Tomek postanowił zmierzyć prędkość autokaru, którym jechał. Wyglądał przez okno i patrzył na słupki przy jezdni, na których była napisana odległość od początku trasy. Tomek stwierdził, że w ciągu minuty autokar przejechał od słupka, na którym napisano „343,4 km”, do słupka z napisem „344,9 km”. Oblicz prędkość autokaru w kilometrach na godzinę.



11 Wyznaczanie prędkości

Prędkość mierzy się za pomocą odpowiednich przyrządów. W samochodach i wielu rowerach montowane są prędkościomierze. Policjantom do pomiaru prędkości służy radar (o zasadzie działania tego przyrządu powiemy w klasie ósmej).

■ Wyznaczanie prędkości przez pomiar drogi i czasu

Nie zawsze dysponujemy przyrządami do bezpośredniego pomiaru prędkości. Prędkość możemy wyznaczyć, mierząc czas ruchu i drogę przebytą w tym czasie przez ciało. Przeanalizujmy przykład.

Przykład. Kasia wyznaczała prędkość swojego marszu. Dysponowała stoperem i taśmą mierniczą.

1. Najpierw zastanowiła się, jakiego wyniku może się spodziewać. Przypomniała sobie, że na wycieczce w ciągu godziny pokonywała kilka kilometrów. Przyjęła więc, że powinna otrzymać wynik nie mniejszy niż $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ i nie większy niż $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
2. Na chodniku narysowała kredą dwie kreski. Pierwsza kreska oznaczała początek drogi, a druga – jej koniec.
3. Taśmą mierniczą zmierzyła długość drogi. Pomiar wykonała trzykrotnie, a wyniki wpisała do tabeli.
4. Następnie trzykrotnie przeszła zaznaczoną drogę, za każdym razem mierząc czas i zapisując wyniki pomiarów.
5. Obliczyła średnie wyniki pomiarów i zaokrągliła otrzymane liczby.

Mierzona wielkość	Pomiar 1.	Pomiar 2.	Pomiar 3.	Średni wynik pomiarów
Droga s	45,66 m	46,12 m	45,83 m	45,87 m
Czas t	29 s	26 s	30 s	28,3 s



Prędkościomierz rowerowy informuje także o przebytej drodze i czasie jazdy.

Ćwiczenie. Sprawdź, czy wynik pomiarów Kasi zgadzał się z jej oszacowaniem.

Na podstawie średnich wyników pomiarów obliczyła prędkość.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{45,87 \text{ m}}{28,3 \text{ s}} = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tę prędkość przeliczyła na jednostki częściej stosowane w życiu codziennym, czyli kilometry na godzinę. Skoro w ciągu 1 s przeszła 1,62 m, to w ciągu 1 h (czyli 3600 s) przejdzie:

$$s = 3600 \cdot 1,62 \text{ m} = 5832 \text{ m} \approx 6 \text{ km}$$

Odpowiedź: Kasia maszeruje z prędkością około $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

■ Niedokładność pomiaru drogi i czasu

Kasia mierzyła trzykrotnie tę samą drogę, ale ponieważ żaden pomiar nie jest idealnie dokładny, otrzymała nieco różne wyniki. Co prawda taśma miernicza ma podziałkę co 1 mm, lecz na długim odcinku trudno poprowadzić taśmę idealnie prosto, więc pomiar wykonujemy z mniejszą dokładnością niż 1 mm.

Inna jest przyczyna różnic w pomiarze czasu. Tym razem czas ruchu naprawdę nie był taki sam za pierwszym razem, jak za drugim lub trzecim, bo Kasia nie szła z taką samą prędkością.

■ Pomiary twojej prędkości marszu lub biegu

Ty także możesz zaplanować i wykonać pomiar swojej prędkości biegu lub marszu. Możesz skorzystać z zamieszczonego na końcu tematu planu doświadczenia. Wyniki zanotuj w tabeli narysowanej samodzielnie w zeszycie, podobnej do zamieszczonej na stronie 47. Pamiętaj o jednostkach.

Podsumowanie

- Prędkość przemieszczania się możemy wyznaczyć, mierząc przebytą drogę i czas, w którym ta droga została przebyta.
- Podobnie jak w innych doświadczeniach, pomiary wykonujemy kilkakrotnie, aby zmniejszyć niedokładność pomiaru.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. W tabeli przedstawiono wyniki pomiarów drogi i czasu, w jakim przebył ją samochódzik na baterie. Pomiar obydwu wielkości wykonano czterokrotnie. Oblicz średnie wyniki pomiarów i prędkość zabawki. Pamiętaj o zaokrągleniu wyniku do dwóch cyfr znaczących.

Mierzona wielkość	Pomiar 1.	Pomiar 2.	Pomiar 3.	Pomiar 4.
Droga s	95 cm	96 cm	94 cm	95 cm
Czas t	8 s	9 s	9 s	10 s

2. Odpowiedz na pytania.

a) Jakie wielkości trzeba zmierzyć, aby wyznaczyć prędkość ciała?

b) Jakie przyrządy służą do tych pomiarów?

3. Uczniowie wyznaczyli prędkość swojego marszu. Otrzymali następujące wyniki:

Ania: $0,48 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Basia: $6,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,

Czarek: $4,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Darek: $53 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Wskaż tych uczniów, którzy na pewno się pomylili. Uzasadnij odpowiedź.

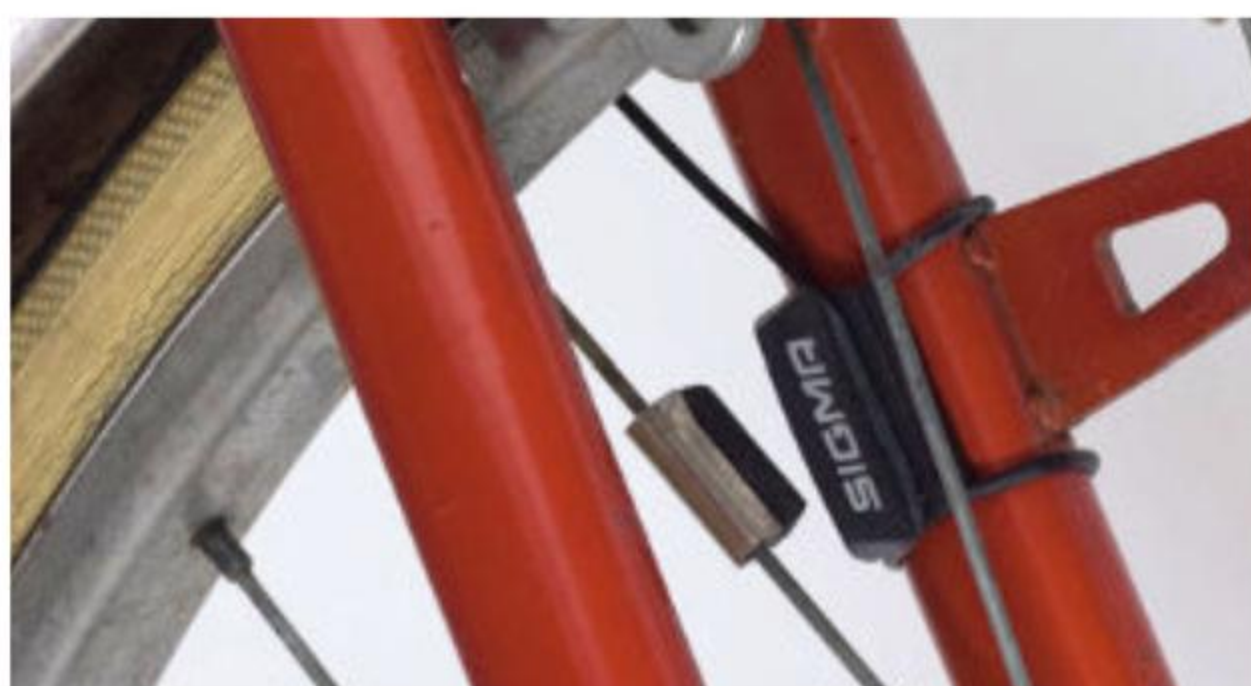
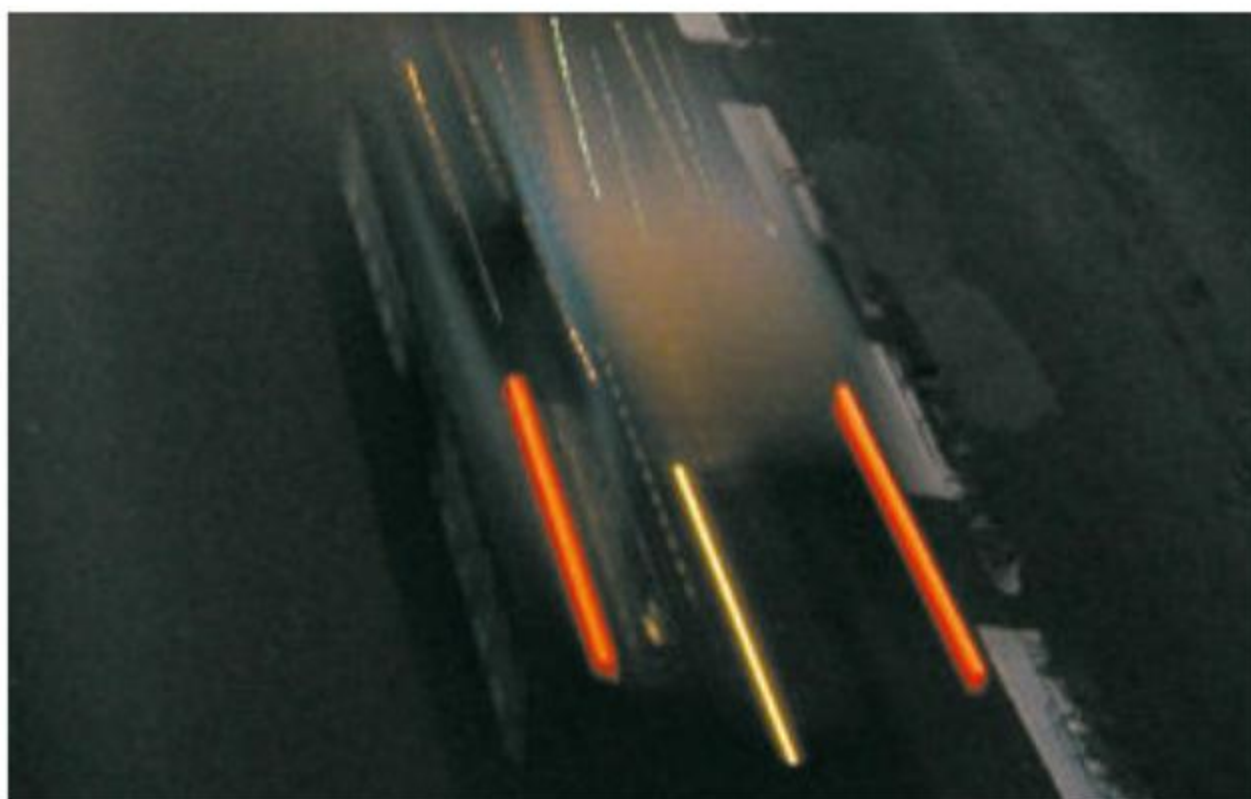
4. Przeczytaj ciekawostkę zamieszczoną poniżej. Oblicz prędkość rowerzysty, jeśli koło jego roweru górskiego wykonuje jeden obrót w czasie 0,5 s. Wynik podaj w kilometrach na godzinę.

Ciekawostka

Jak działa prędkościomierz rowerowy

Podczas obrotu koła przymocowany do niego magnes przesuwają się obok czujnika zamontowanego na ramie. Na podstawie sygnału z czujnika prędkościomierz mierzy czas obrotu koła. Droga przebyta przez rower równa jest obwodowi tego koła, dlatego – montując prędkościomierz – musimy wpisać do niego ten obwód. Obwód koła w rowerze górskim to najczęściej około 2 m.

5. Zdjęcie poniżej, przedstawiające tylne światła samochodu, zostało wykonane nocą przy czasie otwarcia migawki 0,1 s. Każdy z pasów widoczny na drodze ma w rzeczywistości długość 1 m. Przyjrzyj się zdjęciu i za pomocą linijki wykonaj odpowiedni pomiar. Oblicz przybliżoną prędkość samochodu. Wynik podaj w kilometrach na godzinę.



Doświadczenie

Prędkość pęcherzyka powietrza

1. Dużą przezroczystą butelkę szamponu odwróć dnem do góry, a później ponownie odwróć i obserwuj przesuwający się do góry pęcherzyk powietrza.
2. Zaproponuj sposób pomiaru prędkości tego pęcherzyka. Zdecyduj, jakie wielkości fizyczne należy zmierzyć i jak to można zrobić.
3. Wykonaj pomiary i zapisz ich wyniki w zeszycie w przygotowanej wcześniej tabeli.
4. Pomiary powtórz trzy razy i oblicz średni wynik.
5. Oblicz prędkość pęcherzyka.
6. Zastanów się, czy jeśli pęcherzyk będzie większy, to jego prędkość będzie większa czy mniejsza. Spróbuj najpierw oszacować wynik, a następnie sprawdź swoje przewidywania doświadczalnie.
7. Wniosek zapisz w zeszycie.



Doświadczenie ⚠**Tvoja prędkość**

Doświadczenie przeprowadź na boisku szkolnym. Przygotuj stoper (np. w telefonie komórkowym) i taśmę mierniczą. W zeszycie sporządź tabelę do zapisywania wyników pomiarów (np. taką jak na s. 47).

Bieg

1. Poproś kolegę lub koleżankę, aby zmierzyli za pomocą stopera twój czas w biegu na 100 m. Wynik wpisz do tabeli.
2. Powtórz pomiar jeszcze dwa razy, zanotuj wyniki.
3. Oblicz średni czas biegu i wpisz do tabeli.
4. Oblicz prędkość biegu i wpisz do tabeli. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

Marsz

5. Zmierz w podobny sposób jak wcześniej, ile czasu zajmie ci pokonanie tej odległości, gdy idziesz.
6. Porównaj prędkości biegu i marszu. Zanotuj w zeszycie wniosek.



Uwaga! Jeśli np. z powodu brzydkiej pogody nie możesz przeprowadzić tego doświadczenia na boisku szkolnym, zmierz w podobny sposób prędkości dwóch różnych zabawek z napędem elektrycznym (np. kolejki elektrycznej i samochodu).



D Prędkość średnia



Jeśli dowiedzieliśmy się, że pani Beata wyjechała o 9⁰⁰ z domu i o 13⁰⁰ dojechała do innego miasta odległego o 200 km, to nie możemy określić, z jaką prędkością poruszała się np. o 12⁰⁰. Być może pędziła autostradą, a może stała przed światłami.

Nie możemy więc odpowiedzieć jednoznacznie na pytanie, z jaką prędkością jechała pani Beata w określonej chwili.

Możemy jednak powiedzieć, że pani Beata przejechała 200 km w ciągu 4 h, czyli średnio przebyła 50 km w ciągu godziny. Mówimy, że **prędkość średnia** jej samochodu wynosiła $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Prędkość średnią obliczamy, dzieląc całkowitą przebytą drogę przez całkowity czas trwania ruchu:

$$\text{prędkość średnia} = \frac{\text{całkowita droga}}{\text{całkowity czas}} \quad v_{\text{sr}} = \frac{s_c}{t_c}$$

W odróżnieniu od prędkości średniej, prędkość w danej chwili nazywamy **prędkością chwilową**.

Przykład 1. Kierowca wyjechał z Krakowa o 14³⁰ i o godzinie 17⁰⁵ dotarł do Wrocławia. Przebył drogę 270 km. Jaka była prędkość średnia samochodu?

Czas jazdy najłatwiej obliczyć według schematu:

$$14^{30} \xrightarrow{30 \text{ min}} 15^{00} \xrightarrow{2 \text{ h}} 17^{00} \xrightarrow{5 \text{ min}} 17^{05}$$

Tak więc:

$$t = 2 \text{ h } 35 \text{ min} = 2 \frac{35}{60} \text{ h} = 2,58 \text{ h}$$

Teraz możemy obliczyć prędkość średnią na drodze $s = 270 \text{ km}$.

$$v_{\text{sr}} = \frac{270 \text{ km}}{2,58 \text{ h}} = 105 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Prędkość średnia samochodu wynosiła $105 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Prędkościomierz wskazuje prędkość chwilową.

■ Szacowanie wyniku

Aby rozwiązać przykład 1., musieliśmy wykonać obliczenia, w których łatwo można się pomylić. Dlatego warto najpierw oszacować wynik, czyli obliczyć go w przybliżeniu w pamięci. W przykładzie 1. droga wynosi około 250 km, a czas jazdy to około 2,5 h. Dlatego spodziewamy się, że prędkość średnia powinna wynosić około $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Po wykonaniu obliczeń sprawdzamy, czy dokładny wynik jest zbliżony do szacowanego. Jeśli tak nie jest, musimy poszukać błędu. W naszym przykładzie obliczona prędkość średnia wynosiła $105 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, czyli jest to wynik zbliżony do spodziewanego.

Przykład 2. Rowerzysta jechał przez godzinę z prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następnie przez 20 min z prędkością $12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz, jaka była jego prędkość średnia na całej trasie.

Ruch odbywał się w dwóch etapach. W pierwszym z nich rowerzysta jechał przez 1 h z prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Przebył więc drogę:

$$s_1 = 10 \text{ km}$$

Symbol s_1 oznacza drogę przebytą w pierwszym etapie. W drugim etapie rowerzysta jechał z prędkością $12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ przez 20 min, czyli przez $\frac{1}{3}$ h. Przebył wówczas drogę:

$$s_2 = v_2 \cdot t_2 = 12 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} = 4 \text{ km}$$

Całkowita droga była równa:

$$s_c = s_1 + s_2 = 10 \text{ km} + 4 \text{ km} = 14 \text{ km}$$

Całkowity czas ruchu wynosił:

$$t_c = t_1 + t_2 = 1 \text{ h} + \frac{1}{3} \text{ h} = \frac{4}{3} \text{ h}$$

Zatem prędkość średnia wynosiła:

$$v_{\text{sr}} = \frac{s_c}{t_c} = \frac{14 \text{ km}}{\frac{4}{3} \text{ h}} = 14 \cdot \frac{3}{4} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Odpowiedź: Rowerzysta przebył trasę z prędkością średnią wynoszącą $10,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



Podsumowanie

- Prędkość średnią obliczamy, dzieląc całkowitą drogę przez całkowity czas trwania ruchu.
- Prędkość średnią trzeba odróżniać od prędkości w danym momencie ruchu ciała, zwanej prędkością chwilową.
- Zanim wykonasz bardziej skomplikowane obliczenia, postaraj się najpierw oszacować wynik, czyli obliczyć go w przybliżeniu w pamięci.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Samochód wyjechał z Kutna o 9⁵⁵ i przyjechał do Torunia o 12¹⁰. Przebył drogę 117 km. Oblicz jego prędkość średnią.

2. Policja karze kierowców mandatami za przekroczenie prędkości. Oceń, czy chodzi o prędkość średnią czy chwilową. Odpowiedź uzasadnij.

3. Na olimpiadzie w 2016 roku złote medale otrzymali m.in. zawodnicy wymienieni w tabeli. Oblicz, z jaką prędkością średnią poruszał się każdy z nich. Oceń, czy zawodnicy poruszali się ruchem jednostajnym.

Konkurencja	Zawodnik	Kraj	Czas
Bieg na 100 m kobiet	Elaine Thompson	Jamajka	10,71 s
Pływanie stylem dowolnym na 100 m kobiet	Penny Oleksiak	Kanada	52,70 s
Maraton mężczyzn (42,195 km)	Eliud Kipchoge	Kenia	2 h 8 min 44 s
Pływanie na 10 km mężczyzn	Ferry Weertman	Holandia	1 h 52 min 59,8 s

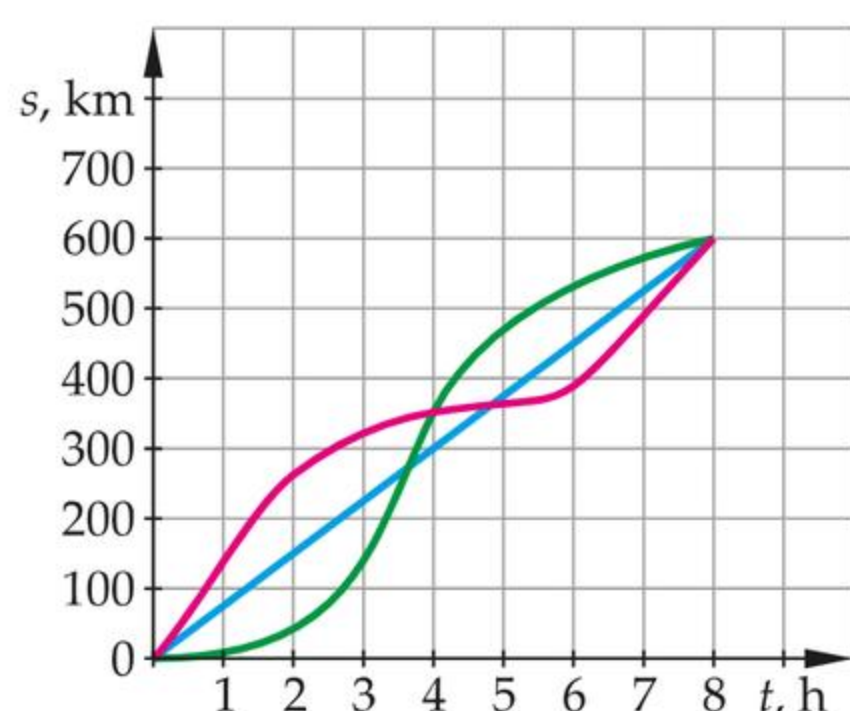
4. Wykresy opisują ruch trzech pociągów.

a) Określ, jakim kolorem oznaczono ruch pociągu, który nie zmieniał prędkości.

b) Oblicz jego prędkość.

Wskazówka. Odczytaj, jaką drogę przebył ten pociąg w ciągu 4 h lub w ciągu 8 h.

c) Oblicz prędkość średnią każdego z pozostałych pociągów.



5. Oblicz, ile czasu zajmuje pokonanie drogi 960 km ze Świnoujścia do Wetliny z prędkością średnią $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Ustal, o której godzinie dotrzemy na miejsce, jeśli wyjedziemy o 5¹⁵ rano.

6. Samochód jechał przez godzinę z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a potem przez pół godziny z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz jego prędkość średnią na całej trasie.

7. Samochód przebył drogę 20 km, jadąc z prędkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a potem przez 30 min jechał z prędkością $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz prędkość średnią samochodu.

Doświadczenie

Jak szybko idziesz do szkoły

1. Zmierz dowolną metodą (w terenie lub na mapie) drogę, którą przebywasz, idąc (jadąc) do szkoły.
2. Zmierz czas, w którym pokonujesz tę drogę.
3. Oblicz w zeszycie prędkość średnią swojego ruchu. Wynik podaj w metrach na sekundę i w kilometrach na godzinę.

D Prędkość względna

Gdy patrzysz przez okno jadącego pociągu, widzisz, że ustawione przy torach słupy się poruszają. Widoczny za oknem człowiek idący drogą porusza się względem ziemi i względem pociągu. Jednak jego prędkość względem pociągu jest na ogół znacznie większa niż względem ziemi.

Prędkość ciała jest względna. Musimy ustalić, względem jakiego ciała ją rozpatrujemy.

W szkole podstawowej zajmiemy się jedynie względnością prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym.

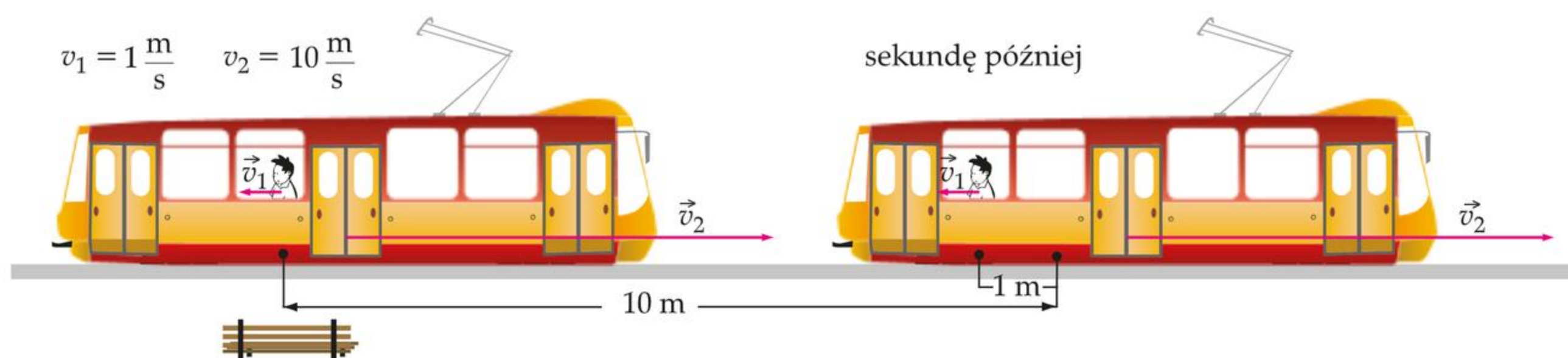
Ćwiczenie A. Co by było, gdyby człowiek poruszał się w tę samą stronę co tramwaj? Jaka byłaby wtedy jego prędkość względem ziemi? Wykonaj w zeszycie odpowiedni rysunek schematyczny.

■ Prędkość pasażera pojazdu względem ziemi

Na rysunku poniżej pokazano położenie tramwaju w pewnej chwili i sekundę później. W czasie 1 sekundy tramwaj przejechał drogę 10 m, a człowiek w tym czasie przeszedł w wagonie drogę 1 m (w przeciwną stronę niż jechał tramwaj). Człowiek ten w ciągu 1 sekundy przemieścił się względem ziemi o 9 m.

Prędkość człowieka względem ziemi jest różnicą prędkości tramwaju względem ziemi i prędkości człowieka względem tramwaju.

$$\text{prędkość względna: } v_w = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Przykład. Taśma na ruchomej bieżni nachylonej pod pewnym kątem do podłoża ma długość 1,2 m i porusza się z prędkością $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w dół. Na dół bieżni wdrapała się koszatniczka i pobięła wzdłuż taśmy do góry z prędkością $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ względem taśmy. W jakim czasie wbiegnie na górę taśmy?

Prędkość koszatniczki względem taśmy: $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

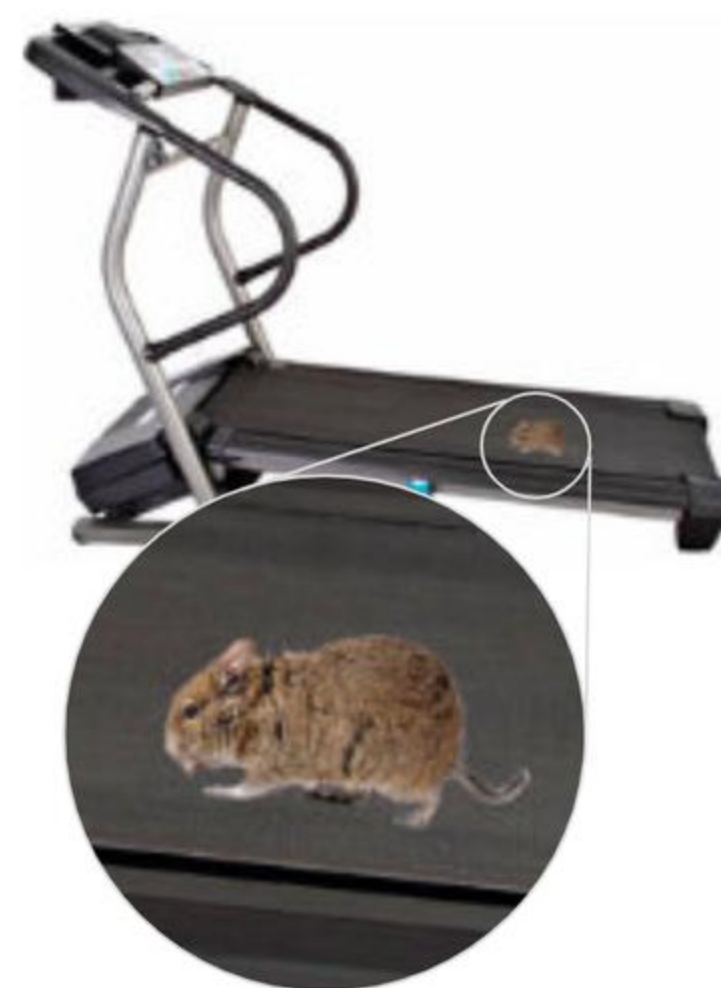
Prędkość taśmy względem ziemi: $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Prędkość koszatniczki względem ziemi: $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Długość taśmy: 1,2 m

Czas biegu: $t = \frac{1,2 \text{ m}}{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4 \text{ s}$

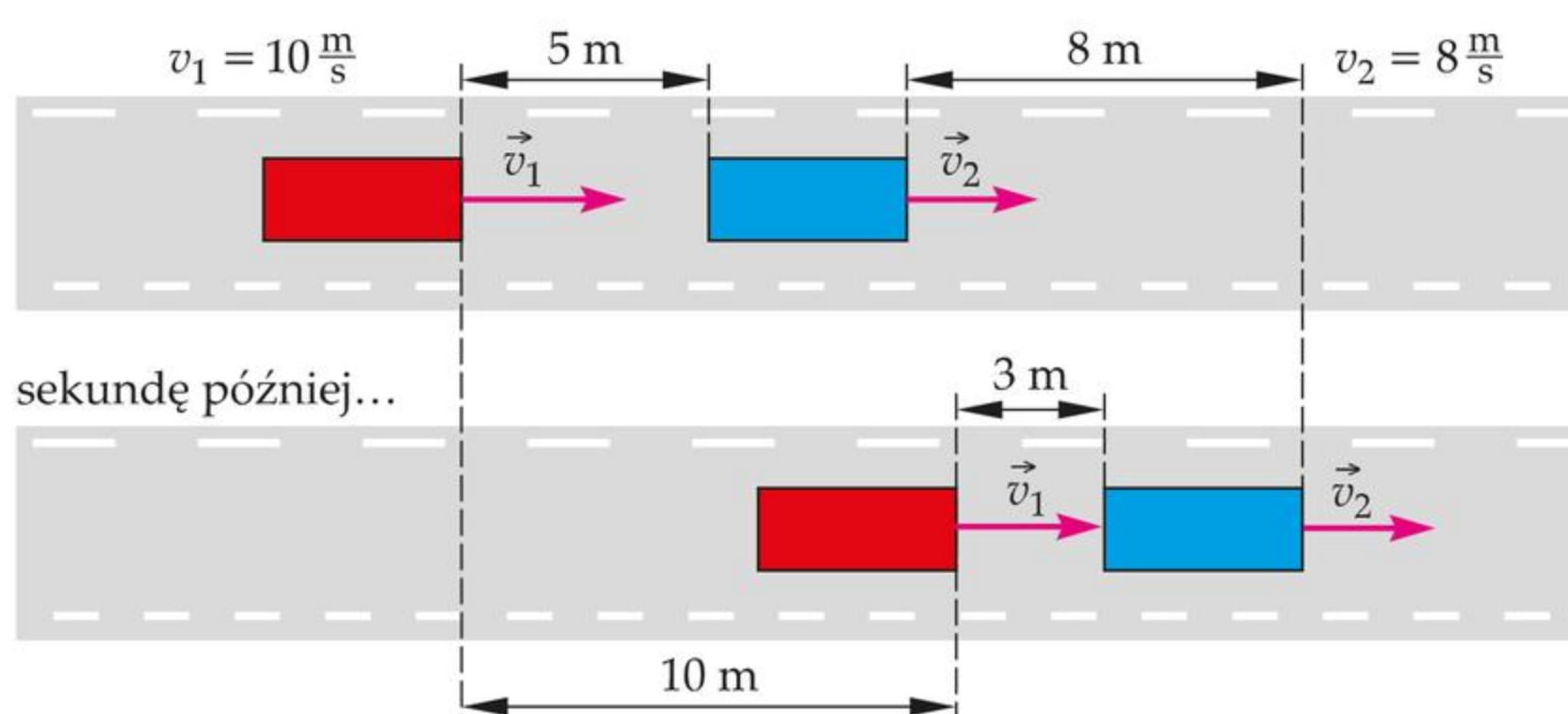
Odpowiedź: Koszatniczka wbiegnie na górę taśmy w czasie 4 s.



■ Prędkość względna dwóch pojazdów

Rysunek przedstawia położenie dwóch samochodów w pewnej chwili i w sekundę później. Czerwony samochód przejechał w tym czasie 10 m, a niebieski – tylko 8 m. Odległość między samochodami zmniejszyła się o 2 m – tak jakby jeden stał, a drugi zbliżał się do niego z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Prędkość względna samochodów wynosi $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i jest równa różnicy ich prędkości.

$$\text{prędkość względna: } v_w = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Ćwiczenie B. Jaka byłaby prędkość względna, gdyby samochody jechały naprzeciw siebie? Wykonaj w zeszycie odpowiedni rysunek schematyczny.

■ Prędkość względna i wypadki drogowe

Jeśli dwa samochody jadą w przeciwnie strony, każdy z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (względem ziemi), to ich względna prędkość (tzn. prędkość jednego z nich względem drugiego) wynosi $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Gdy natomiast samochód, który jedzie z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, uderzy w drugi samochód jadący w tę samą stronę z prędkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to ich względna prędkość wynosi tylko $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Dlatego najgroźniejszym w skutkach wypadkiem drogowym jest zderzenie czołowe dwóch pojazdów.

Podsumowanie

- Ruch ciała możemy rozważać tylko względem innych ciał. Na przykład ciało nieruchome względem jadącego samochodu porusza się względem ziemi.
- Gdy pasażer idzie w tę samą stronę, w którą porusza się tramwaj:

$$\text{prędkość pasażera względem ziemi} = \text{prędkość pasażera względem tramwaju} + \text{prędkość tramwaju względem ziemi}$$
- Gdy pasażer idzie w przeciwną stronę, prędkości odejmujemy.
- Prędkość względna dwóch pojazdów to różnica ich prędkości (jeśli jadą w tę samą stronę) albo suma ich prędkości (gdy jadą w przeciwnie strony).

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. W pociągu jadącym z prędkością $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ podróżny idzie z prędkością $8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wzdłuż korytarza. Oblicz prędkość podróżnego względem ziemi. Rozważ różne możliwości.

2. Gdyby w stojący na lotnisku samolot uderzył ptak, nie uszkodziłby samolotu i prawdopodobnie nie zrobiłby sobie krzywdy. Często się jednak zdarza, że ptaki uderzające w lecące samoloty powodują poważne awarie, a same giną. Dlaczego?

3. Ruchome schody jadą w górę z prędkością $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Człowiek, któremu bardzo się spieszy, wbiega po nich z prędkością $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, ile czasu zajmie mu dotarcie na górę schodów, jeśli mają one długość 20 m.

4. Szosa z Warszawy do Sosnowca ma długość 280 km. Pierwszy samochód jechał z Warszawy do Sosnowca z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a drugi – z prędkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ z Sosnowca do Warszawy. Oblicz, po jakim czasie się minęły.

5. Łódź płynie w dół rzeki z prędkością $14 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ względem brzegów, a w górę rzeki – z prędkością $12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz, z jaką prędkością względem wody płynęłaby ta łódź po jeziorze oraz jaka jest prędkość wody w rzece względem brzegu.

6. Koparka na gąsienicach jedzie z prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz prędkość względem ziemi i względem koparki ogniwa gąsienicy dotykającego w danej chwili ziemi oraz ogniwa znajdującego się na górze.



Doświadczenie

Zderzenia puszek po napojach

1. Weź dwie podobnej wielkości puste puszki po napojach w kształcie walca (lub dwie jednakowe piłki).
2. Potocz jedną z puszek (piłek) po podłodze. Za nią potocz – nieco szybciej – następną, tak aby dogoniła pierwszą i zderzyła się z nią.
3. Potocz puszki z podobnymi prędkościami jak poprzednio, ale naprzeciw siebie.
4. Kiedy zderzenie było gwałtowniejsze? Wyjaśnij to na podstawie wiadomości z ostatniej lekcji.

12 Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

Doświadczenie

To doświadczenie wykonaj wspólnie z kolegą lub koleżanką. Przygotujcie: okrągły ołówek, papierową taśmę, flamaster lub krede, grubą książkę, stół lub długą ławkę.

1. Unieście lekko stół, podkładając pod dwie jego nogi książkę.
2. Połóżcie na stole okrągły ołówek tak, aby mógł się staczać.
3. Jedno z was będzie mówić co sekundę „BUM”, a drugie – zaznaczać flamastrem na papierowej taśmie rozłożonej wzdłuż stolika kolejne położenia ołówka.
4. Zmierzcie odległości od początkowego położenia ołówka do jego kolejnych położań.
5. Zapiszcie wyniki w tabeli – w zeszycie lub na kartce.
6. Sporządźcie wykres zależności drogi od czasu.
7. Porównajcie go z analogicznym wykresem dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.
8. Wykonajcie w zeszycie schematyczny rysunek doświadczenia.

Ołówek staczający się z ławki lub ruszający samochód to przykłady ciał, których prędkość wzrasta. Jeśli mocniej przechylisz ławkę, ołówek będzie się szybciej staczał. Motocykl w krótszym czasie niż ciężarówka rozpędzi się np. do $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Na najbliższych lekcjach będzie nas interesowało, jak szybko ciała się rozpędzają.

Ćwiczenie A. Podaj dwa (inne niż w tekście) przykłady ruchów ciał, w których prędkość wzrasta.

■ Przyspieszenie

Wyobraźmy sobie, że samochód sportowy w pewnej chwili poruszał się z prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a potem zaczął przyspieszać, czyli zwiększać prędkość, w następujący sposób:

początek przyspieszania	po 1 s	po 2 s	po 3 s	po 4 s...
$4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \dots$
	$+ 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ więcej	$+ 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ więcej	$+ 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ więcej	$+ 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ więcej

Ćwiczenie B. Z jaką prędkością poruszał się samochód po 5 s?

W każdej sekundzie ten samochód zwiększał prędkość o $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Mówimy, że jego przyspieszenie wynosiło $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ na sekundę, czyli $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przyspieszenie informuje nas, o ile zmienia się prędkość ciała w ciągu jednej sekundy.

Ćwiczenie C. Oblicz przyspieszenie samochodu, jeżeli jego prędkość wzrosła o $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w ciągu 1 s.

Jednostka $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ jest mało wygodna w zapisie, dlatego używamy skróconej formy $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (metr na sekundę kwadrat). Taką jednostkę otrzymamy, gdy przekształcimy ułamek $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ zgodnie z zasadami działań na ułamkach zwykłych.

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} : \text{s} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

■ Przyspieszenie jako wektor

Podobnie jak prędkość przyspieszenie jest wektorem. Zajmiemy się teraz przypadkiem, gdy ciało porusza się po linii prostej. Wówczas wektor przyspieszenia jest skierowany:

- w tę samą stronę co wektor prędkości, jeśli prędkość ciała wzrasta,
- w przeciwną stronę niż wektor prędkości, jeśli prędkość ciała maleje.

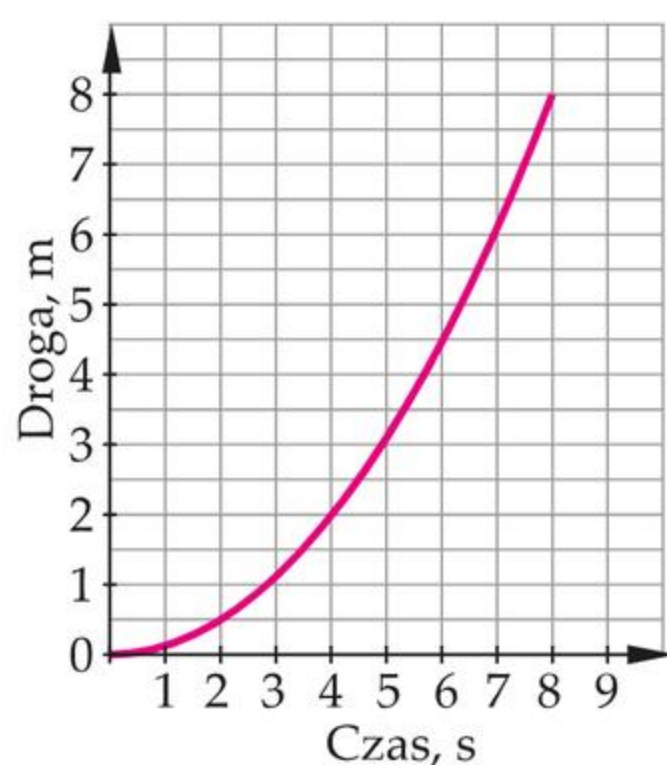


Samochód przyspiesza. Wektor przyspieszenia jest skierowany do przodu.

Samochód hamuje. Wektor przyspieszenia jest skierowany do tyłu, ale samochód jedzie do przodu.

■ Ruch jednostajnie przyspieszony

Ruch jednostajnie przyspieszony to taki ruch, w którym przyspieszenie się nie zmienia.



Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.

Obok przedstawiamy przykładowy wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym. Podobny wykres powinniście otrzymać po analizie wyników doświadczenia, które przeprowadziliście na początku lekcji. Zauważ, że wykres jest coraz bardziej stromy (nachylony pod większym kątem do osi czasu), ponieważ prędkość ciała jest coraz większa.

■ Wzór na obliczanie przyspieszenia

Załóżmy, że w ciągu 5 s ciało zostało rozpędzone od $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jego prędkość wzrosła o $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ($30 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). Zmiana prędkości nastąpiła w czasie 5 s. Zatem w każdej sekundzie prędkość wzrosła o $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli przyspieszenie wynosiło $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

$$\begin{aligned}\text{przyspieszenie} &= \frac{\text{prędkość końcowa} - \text{prędkość początkowa}}{\text{czas zmiany prędkości}} = \\ &= \frac{\text{zmiana prędkości}}{\text{czas zmiany prędkości}}\end{aligned}$$

Jeżeli prędkość końcową oznaczmy symbolem v_k , prędkość początkową – symbolem v_p , a przyspieszenie – symbolem a , to możemy zapisać wzór:

$$a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

Uwaga. Znak Δ to wielka grecka litera delta, odpowiednik naszego D. Używamy jej do oznaczania zmian różnych wielkości. Symbol a pochodzi od angielskiego słowa *acceleration*.

W szkole podstawowej będziemy opisywać tylko ruch ze stałym przyspieszeniem.

Przykład. Rowerzysta jechał z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a następnie w ciągu 6 s rozpędził się do prędkości $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Z jakim przyspieszeniem poruszał się rowerzysta?

Sposób I

Rowerzysta rozpędził się od $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli zwiększył swoją prędkość o $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ta zmiana prędkości trwała 6 s. Zatem w ciągu jednej sekundy prędkość wzrosła o $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Rowerzysta poruszał się więc z przyspieszeniem $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Sposób II

Rozwiązując zadanie w szkole, nie musisz pisać długich komentarzy. Znacznie wygodniej jest posłużyć się symbolami literowymi. Zanim zaczniesz rozwiązywać zadanie, wypisz wielkości dane (znane z treści zadania) oraz szukane (te, które masz obliczyć).

Dane:

$v_p = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość początkowa

$v_k = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość końcowa

$t = 6 \text{ s}$ – czas zmiany prędkości

Szukane:

$a = ?$ – przyspieszenie

$$a = \frac{v_k - v_p}{t}, \text{ zatem } a = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \text{ s}} = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \text{ s}} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Rowerzysta poruszał się z przyspieszeniem $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Jazda z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, czyli $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, to niewielki wysiłek dla rowerzysty.

Ćwiczenie D. Wyraż występujące w przykładzie wartości prędkości w kilometrach na godzinę. Zapisz obliczenia w zeszycie.

Podsumowanie

- Przyspieszenie informuje nas, o ile zmieniła się prędkość ciała w czasie jednej sekundy.

$$\begin{aligned} \text{przyspieszenie} &= \frac{\text{prędkość końcowa} - \text{prędkość początkowa}}{\text{czas zmiany prędkości}} = \\ &= \frac{\text{zmiana prędkości}}{\text{czas zmiany prędkości}} \end{aligned}$$

$$a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

- Ruch jednostajnie przyspieszony to ruch, w którym nie zmienia się przyspieszenie.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Trzy kłody drewna zaczęły się staczać z góry. Pierwsza po 5 s od startu rozpędziła się do prędkości $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Druga po 4 s rozpędziła się do prędkości $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Trzecia osiągnęła prędkość $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ dopiero po 10 s. Oblicz przyspieszenie każdej kłody.

2. Oblicz przyspieszenie w opisanej poniżej sytuacji.

a) Koń w czasie 5 s rozpędził się od prędkości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Rakieta kosmiczna w ciągu 10 s od startu osiągnęła prędkość $800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

3. Kamila przyjechała na stację rowerem. Gdy pociąg ruszał, dziewczynka pojechała drogą wzdłuż torów i początkowo wyprzedzała pociąg. Dopiero po chwili pociąg zaczął ją wyprzedzać i wkrótce zniknął jej z oczu. Oceń, czy na początku ruchu Kamila poruszała się z większym przyspieszeniem niż pociąg i czy później pociąg rozpędził się do prędkości większej niż Kamila. Odpowiedź uzasadnij.

4. Aby wznieść się na odpowiednią wysokość, pchła musi podczas odbicia uzyskać prędkość $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Tę prędkość uzyskuje w czasie 0,8 ms – przez tak krótki czas jej nogi mają kontakt z podłożem. Oblicz przyspieszenie pchły i porównaj je z przykładowymi wartościami na stronie 63.

Ciekawostka

Nawet najszybciej kurczący się mięsień nie nadałby zwierzęciu tak dużego przyspieszenia, jak obliczysz w zadaniu 4.

Pchła ma w swoich nogach swego rodzaju „sprężynę”. Owad przez stosunkowo długi czas ściska tę „sprężynę” mięśniami. Po zwolnieniu „sprężyna” nadaje mu dużą prędkość w bardzo krótkim czasie.

5. Oblicz, z jakim przyspieszeniem porusza się samochód, jeżeli od $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ rozpędza się w czasie:

a) 17 s, b) 14 s, c) 7,5 s.

13 Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony

■ Ruch opóźniony

Do tej pory rozważaliśmy przykłady ruchu ciał, które zwiększały prędkość. Równie często spotykamy się z sytuacjami, w których ciała zmniejszają prędkość. Wyobraź sobie dwa samochody. Jeden z nich w ciągu 1 s zwiększył prędkość o $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wiesz już, że ten samochód poruszał się z przyspieszeniem $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Jak natomiast opisać ruch drugiego samochodu, który w czasie 1 s **zmniejszył** prędkość o $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$? Otóż umówimy się, że przyspieszenie tego samochodu wyrazimy za pomocą liczby ujemnej: $a = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Z wykorzystaniem liczb ujemnych do opisu zmian różnych wielkości mamy do czynienia w wielu sytuacjach. Na przykład na wyciągu bankowym wypłaty z rachunku zapisuje się zwykle jako „ujemne wpłaty”. Podobnie zapis przyspieszenia ze znakiem minus oznaczać będzie, że prędkość się zmniejsza.

Gdy ciało zwalnia (tj. gdy zmniejsza się jego prędkość), to jego przyspieszenie zapisujemy ze znakiem minus.

Nasza umowa ma tę zaletę, że przyspieszenie możemy obliczać zawsze z tego samego wzoru.

Przykład 1. Łódź, która płynęła z prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, po 10 s zwolniła do $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz jej przyspieszenie.

$$a = \frac{v_k - v_p}{t}, \text{ zatem } a = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = \frac{-2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = -0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Odpowiedź: Przyspieszenie wynosi $-0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przypomnijmy, że gdy ciało zwalnia, przyspieszenie jako wektor jest skierowane przeciwnie do wektora prędkości. W naszym przykładzie jego wartość wynosi $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Znak minus oznacza **zwrot** przyspieszenia, natomiast wartość jest dodatnia.



Prędkość hamującej motorówki maleje w czasie.



Autokar podczas ruszania z przystanku porusza się ruchem przyspieszonym, a przy hamowaniu – ruchem opóźnionym.

Ruch, w którym poruszające się ciało zwalnia, nazywamy **ruchem opóźnionym**. Jeśli przyspieszenie tego ciała się nie zmienia, ruch nazywamy **jednostajnie opóźnionym**.

■ Obliczanie prędkości końcowej

Przykład 2. Autokar ruszył i przez 10 s jechał z przyspieszeniem $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz, jaką osiągnął prędkość.

Sposób I

Skoro w każdej sekundzie prędkość autobusu zwiększała się o $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to po 10 s zwiększyła się ona o $10 \cdot 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Skoro prędkość zwiększyła się o $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a początkowo była równa $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to autobus osiągnął prędkość $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Sposób II

Zamiast opisywać słownie etapy rozwiązywania zadania, możemy używać wzorów.

$$a = \frac{\Delta v}{t}, \text{ więc } \Delta v = a \cdot t,$$

$$\text{czyli } \Delta v = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ s} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta v = v_k - v_p, \text{ więc } v_k = v_p + \Delta v,$$

$$\text{czyli } v_k = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Autobus po 10 s od ruszenia osiągnął prędkość $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ćwiczenie. Rozwiąż w zeszycie przykład 3. bez użycia wzorów.

Przykład 3. Kierowca jadący z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zauważył przeszkodę i nacisnął hamulec. Samochód zaczął się poruszać z przyspieszeniem $-5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, ale po 4 s uderzył w nieruchomą przeszkodę. Z jaką prędkością zderzył się z przeszkodą?

$$v_p = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{90\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta v = a \cdot t = -5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ s} = -20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_k = v_p + \Delta v = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} + (-20) \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Samochód uderzył w przeszkodę z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Taka prędkość to inaczej $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Po zderzeniu samochód na pewno będzie wymagał naprawy, ale kierowcy nic poważnego się nie stało, jeśli miał zapięte pasy.

■ Obliczanie czasu ruchu

Przykład 4. Myśliwiec leci z przyspieszeniem $20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jak długo będzie się rozpędzał od $100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$?

Sposób I

Myśliwiec ma zwiększyć prędkość o $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. W każdej sekundzie zwiększa ją o $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, więc będzie się rozpędzał przez $200 : 20 = 10 \text{ s}$.

Sposób II

Do tego samego wniosku dojdziemy, korzystając ze wzorów.

Dane:

Szukane:

$v_p = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość początkowa $t = ?$ – czas rozpędzania się

$v_k = 300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość końcowa

$a = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – przyspieszenie

$a = \frac{v_k - v_p}{t}$, więc $t = \frac{v_k - v_p}{a}$

$$t = \frac{300 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{200 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{200}{20} \frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{s}}} \cdot \frac{\text{s}^2}{\cancel{\text{m}}} = 10 \text{ s}$$

Odpowiedź: Myśliwiec rozpędza się od $100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w 10 s .



Potężne silniki odrzutowe umożliwiają myśliwcowi osiągnięcie bardzo dużych przyspieszeń.

Przyspieszenia duże i małe

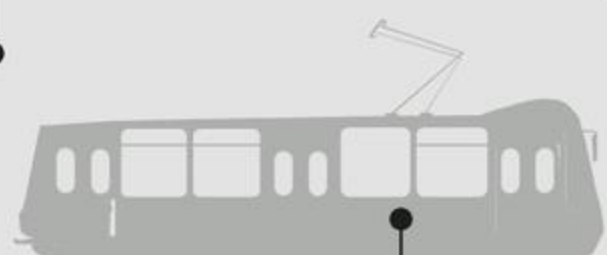
Oto przykłady przyspieszeń różnych ciał.

Zauważ, że chociaż pociąg może jeździć szybciej niż tramwaj, to jednak rozpędzanie się zajmuje mu więcej czasu.

Przyspieszenie to co innego niż maksymalna prędkość.



Pociąg $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



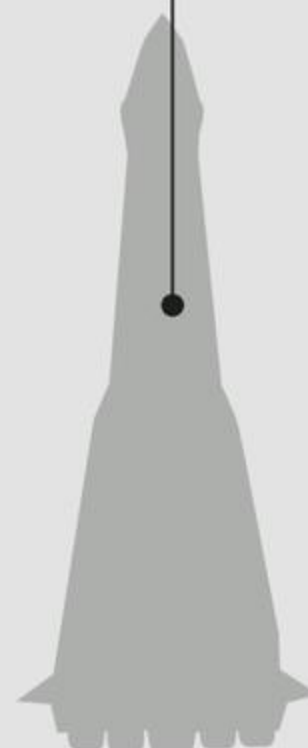
Tramwaj $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Samochód osobowy $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



Spadający kamień $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Rakieta kosmiczna $30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



Pocisk w lufie karabinu $900\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Piłka w chwili kopnięcia $3000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



Przykład 5. Samochód jechał z prędkością $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, następnie przez 5 s rozpędzał się z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jaką prędkość osiągnął? Przyspieszenie $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ oznacza zwiększenie prędkości o $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w ciągu jednej sekundy. W ciągu 5 s samochód zwiększył prędkość 5 razy więcej niż w ciągu 1 s, czyli:

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

Ponieważ już na początku samochód jechał z prędkością $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, rozpędził się do:

$$8 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Samochód po 5 s osiągnął prędkość $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Podsumowanie

- Gdy prędkość ciała się zmniejsza, jego przyspieszenie jest ujemne. Taki ruch nazywamy ruchem opóźnionym. Jeśli przyspieszenie tego ciała się nie zmienia, tzn. prędkość maleje o tę samą wartość w równych odstępach czasu, ruch nazywamy jednostajnie opóźnionym.
- Z definicji przyspieszenia: $a = \frac{\Delta v}{t}$ wynikają wzory na czas rozpędzania: $t = \frac{\Delta v}{a}$ i zmianę prędkości ciała: $\Delta v = a \cdot t$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Oblicz przyspieszenie w opisanej poniżej sytuacji.

a) Samolot lądował awaryjnie i w czasie 10 s jego prędkość z $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zmniejszyła się do $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Samochód zaczął hamować przed światłami i w ciągu 5 s zwolnił z $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

2. Pociąg ruszył z miejsca. Oblicz, jaką prędkość osiągnął, jeśli rozpędzał się przez:

a) 10 s z przyspieszeniem $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

b) 30 s z przyspieszeniem $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

3. Oblicz, jaką prędkość uzyskał samolot, jeśli leciał z prędkością:

a) $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a następnie przez 10 s poruszał się z przyspieszeniem $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

b) $150 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a następnie przez 20 s poruszał się z przyspieszeniem $-6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

4. Oblicz, ile czasu będzie trwało rozpędzanie samochodu od $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$:

a) jeśli jego przyspieszenie $a = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

b) jeśli jego przyspieszenie $a = 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

5. Oblicz, ile czasu zajmie rozpędzanie (lub hamowanie) ciała:

a) od $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ z przyspieszeniem $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

b) od $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ z przyspieszeniem $-5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



6. Odpowiedz na pytania.

a) Czy w czasie startu rakiety kosmicznej można wskazać moment, gdy porusza się ona z prędkością ślimaka ($0,002 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)?

b) Jeśli nie, to dlaczego?

c) Jeśli tak, to po jakim czasie od rozpoczęcia ruchu następuje ta chwila? Przyjmij, że przyspieszenie rakiety wynosi $30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

d) Dlaczego wydaje nam się, że rakieta od razu porusza się z dużą prędkością?



D Droga w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Umiesz już obliczać drogę przebytą przez ciało, gdy jego prędkość jest stała. Teraz dowiesz się, jak obliczać drogę, gdy ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Dla uproszczenia ograniczymy się do sytuacji, kiedy ruch zaczyna się od prędkości równej zero, jak było np. w doświadczeniu ze staczającym się ołówkiem w temacie 12.

Ciało poruszające się z przyspieszeniem a w czasie t , liczonym od chwili rozpoczęcia ruchu, przebędzie drogę:

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

Uzasadnienie tego wzoru poznasz w szkole ponadpodstawowej.

■ Jak zmienia się droga

Przykład 1. Pociąg rusza z przyspieszeniem $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

a) Jaką drogę przebędzie w czasie 10 s?

b) Jaką drogę przebędzie w czasie 30 s?

Dane:

Szukane:

$a = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – przyspieszenie

$s = ?$ – droga

$t_a = 10 \text{ s}$ – czas ruchu podany w punkcie a

$t_b = 30 \text{ s}$ – czas ruchu podany w punkcie b

Ad **a)** $s = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 \cancel{\text{s}^2} = 20 \text{ m}$

Ad **b)** $s = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (30 \text{ s})^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 900 \cancel{\text{s}^2} = 180 \text{ m}$

Odpowiedź: W ciągu 10 s pociąg przebędzie 20 m, a w ciągu 30 s przebędzie 180 m.

Ćwiczenie. Korzystając ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym, wykonaj w zeszycie rachunek jednostek miary. Jeżeli przyspieszenie podajemy w metrach na sekundę kwadrat, a czas w sekundach, to w jakich jednostkach otrzymasz drogę?

Zauważ, że w **trzy** razy dłuższym czasie pociąg przebył drogę **dziewięć** razy dłuższą.

We wzorze na drogę czas występuje w drugiej potęgze. Zatem gdy czas zwiększy się 3 razy, droga zwiększy się $3^2 = 9$ razy. Jest to ważna właściwość zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.

Przykład 2. Samochód, poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym, w pierwszych 6 sekundach ruchu przebył drogę 45 m. Jaką drogę przebył w pierwszych 2 sekundach ruchu? Zauważyliśmy, że ciało w 3 razy dłuższym czasie przebywa 3^2 razy dłuższą drogę (we wzorze czas występuje w drugiej potęgze). Podobnie w czasie 3 razy krótszym przebywa drogę 3^2 , czyli 9 razy krótszą:

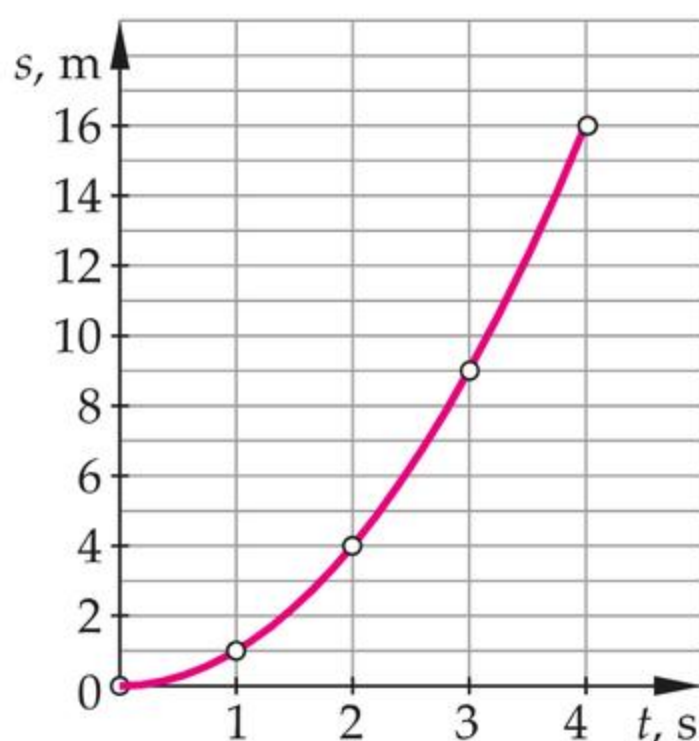
$$s = \frac{45 \text{ m}}{3^2} = \frac{45 \text{ m}}{9} = 5 \text{ m}$$

Odpowiedź: Samochód w ciągu pierwszych 2 s ruchu przebył drogę 5 m.

■ Wykres zależności drogi od czasu

Korzystając ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym, narysujemy dokładniejszy wykres tego ruchu niż w temacie 12 (s. 58).

Wybermy przykładową wartość przyspieszenia, dla której łatwo będzie wykonać obliczenia, np. $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Droga przebyta w ciągu 1 s wynosi 1 m, w ciągu 2 s – 4 m, w ciągu 3 s – 9 m, w ciągu 4 s – 16 m itd.



Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.

Czas t	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	...
Droga s	1 m	4 m	9 m	16 m	25 m	36 m	...

Wykresem zależności drogi od czasu nie jest prosta, ale fragment linii zwanej parabolą, o której więcej dowiesz się w szkole ponadpodstawowej. Przypominamy, że linia na wykresie jest coraz bardziej stroma, ponieważ ciało porusza się coraz szybciej.

Podsumowanie

- Drogę przebytą przez ciało poruszające się z przyspieszeniem a w czasie t , liczoną od rozpoczęcia ruchu, można obliczyć ze wzoru:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

- W czasie 2 razy dłuższym ciało przebywa drogę 2^2 , czyli 4 razy dłuższą, w czasie 3 razy dłuższym drogę 3^2 , czyli 9 razy dłuższą itd.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Samochód ruszył z przyspieszeniem $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- a) Oblicz, jaką prędkość osiągnął po 5 s jazdy.
b) Oblicz, jaką drogę przebył w tym czasie.

2. Sprężyk to mały owad z rodziny chrząszczy. Gdy przewróci się na grzbiet, nie macha bezradnie nogami jak inne chrząszcze, ale składa się jak scyzoryk i odbija grzbietem od ziemi. Podskakuje nawet kilkadziesiąt centymetrów do góry. Odbijając się od podłoża, owad porusza się z przyspieszeniem $3800 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Trwa to 0,6 ms. Oblicz, jaką drogę przebywa sprężyk w czasie odbijania się od ziemi.



3. Pociąg ruszył ze stacji Szczepieszyń i jadąc ze stałym przyspieszeniem, w ciągu 10 s rozpędził się do prędkości $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz drogę przebytą przez pociąg w tym czasie.

4. Oblicz drogę, jaką przebywa samochód w czasie rozpędzania się od $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, jeżeli porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, a rozpędzanie trwa:

- a) 20 s, b) 16 s, c) 8 s.

5. W czasie pierwszych 20 s ruchu jednostajnie przyspieszonego ciało przebyło drogę 40 m. Oblicz drogę przebytą przez to ciało w czasie pierwszych:

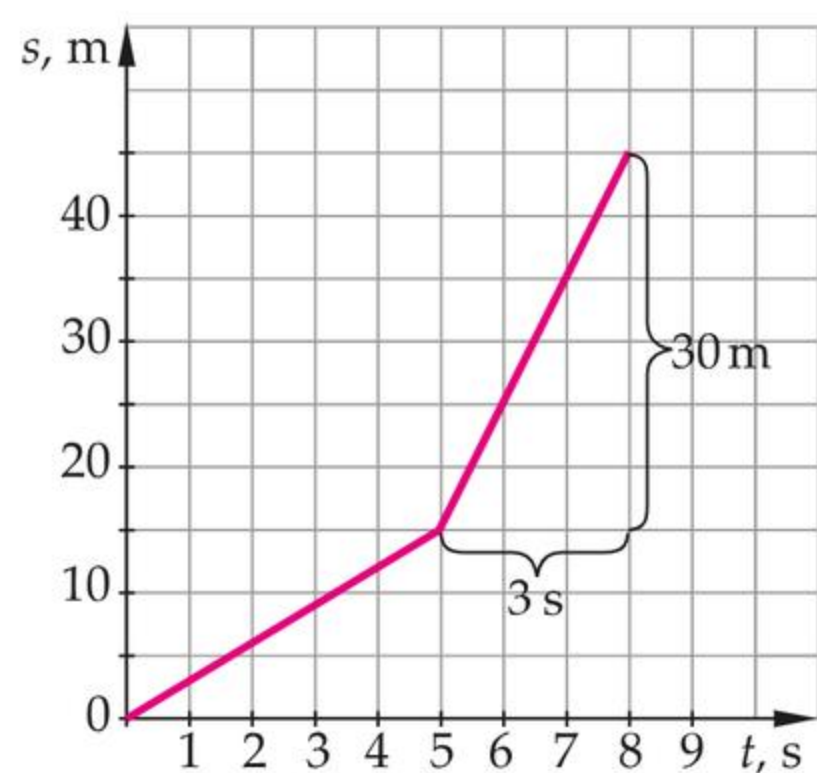
- a) 10 s ruchu, b) 40 s ruchu.

6. Samolot Boeing 747 (*jumbo jet*) rozpędza się na pasie startowym ze średnim przyspieszeniem $0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Od ziemi odrywa się dopiero, gdy jego prędkość osiągnie $80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz minimalną długość pasa startowego, z którego może startować ten samolot.

 7. Przez pierwsze 10 sekund ruchu jednostajnie przyspieszonego ciało przebyło drogę l . Oblicz drogę, jaką przebędzie w ciągu następnych 10 sekund ruchu.



14 Analiza wykresów przedstawiających ruch



Wykres I

Proste zadania z wykresami poznaliśmy już na wcześniejszych lekcjach. Teraz nauczysz się uzyskiwać z wykresów jeszcze więcej informacji niż dotychczas. Będziemy omawiać wykresy przedstawiające zmiany różnych wielkości, a nie tylko zależność drogi od czasu. Pamiętaj więc, aby zawsze najpierw sprawdzić, jakie wielkości przedstawiono na osiach wykresu.

Przykład 1. Wykres I przedstawia zależność drogi – pokonanej przez rowerzystę – od czasu.

a) W którym momencie rowerzysta zmienił prędkość?

b) Z jaką prędkością poruszał się przed zmianą prędkości, a z jaką jechał później, po jej zmianie?

Ad **a)** Analizując wykres, zauważamy, że w chwili $t = 5$ s zmienia się nachylenie wykresu, a więc – i prędkość.

Ad **b)** Przez pierwsze 5 s rowerzysta przejechał 15 m, a więc poruszał się z prędkością:

$$v_1 = \frac{15 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

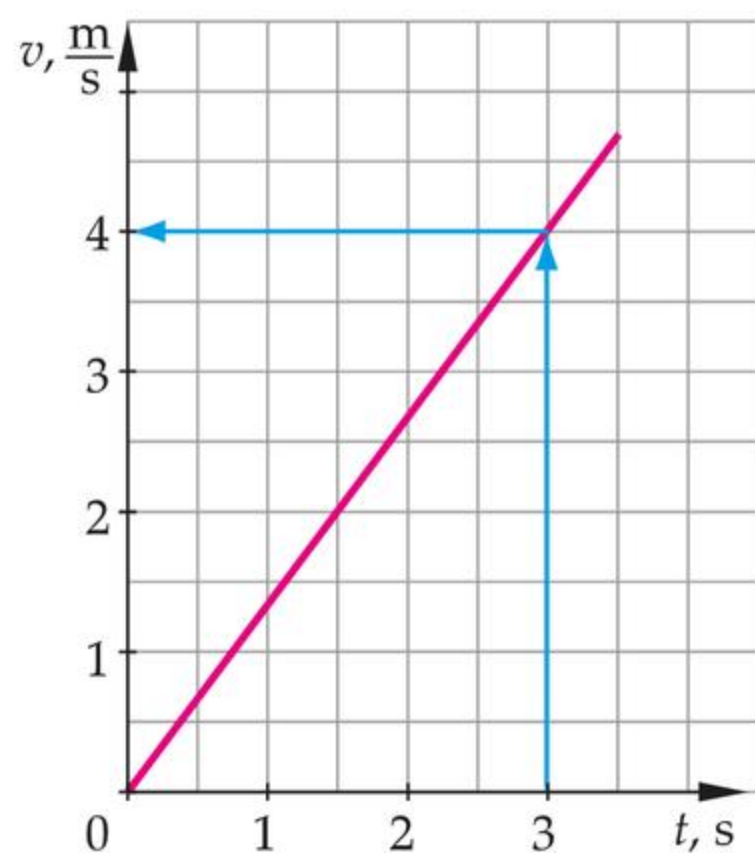
Później jechał jeszcze przez 3 s (od $t = 5$ s do $t = 8$ s) i przejechał 30 m (od 15. metra do 45. metra), a więc jechał z prędkością:

$$v_2 = \frac{30 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

■ Wykres zależności prędkości od czasu

Na wykresach możemy przedstawiać nie tylko zależność drogi od czasu, ale także inne zależności między wielkościami opisującymi ruch, np. zależność prędkości od czasu.

Niebieskie strzałki na wykresie II pokazują, jak odczytać z niego prędkość ciała w chwili $t = 3$ s. Widzimy, że wynosi ona $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Wykres II



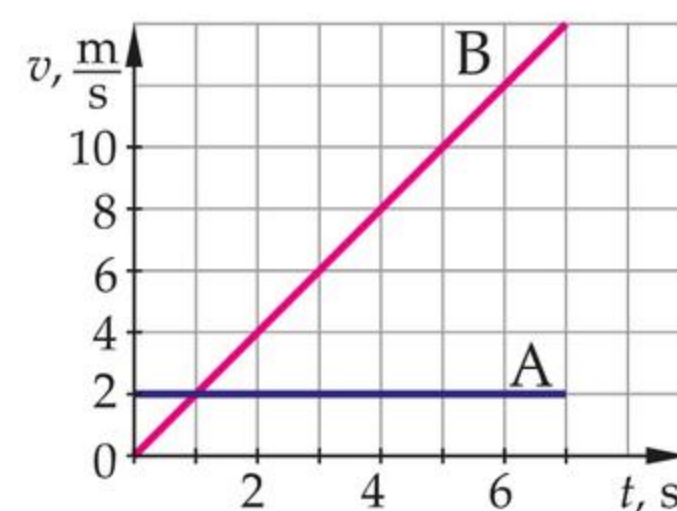
Przykład 2. Wykres III przedstawia zależność prędkości od czasu dla dwóch ciał A i B. Ciało A poruszało się ruchem jednostajnym, a ciało B – ruchem jednostajnie przyspieszonym.

a) Odczytaj z wykresu, ile wynosiła prędkość ciała A.

b) Wyznacz przyspieszenie ciała B.

Ad a) Z wykresu odczytujemy, że prędkość ciała A to $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ad b) Z wykresu możemy odczytać, że po 1 s ruchu ciało B rozpędziło się od $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a więc jego przyspieszenie wynosiło $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Wykres III

Przykład 3. Wykres IV przedstawia zależność prędkości od czasu dla ruchu pociągu.

a) Kiedy pociąg poruszał się ruchem jednostajnym? Z jaką prędkością?

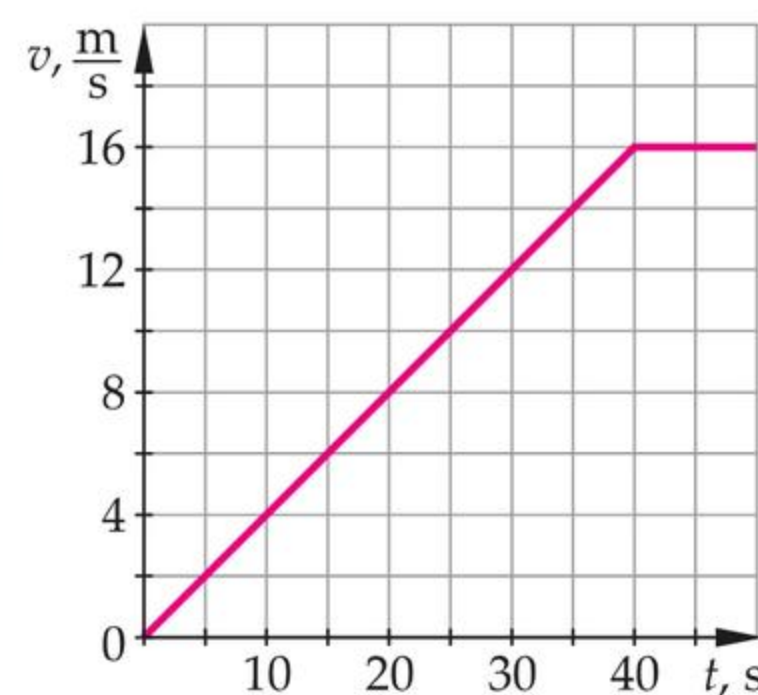
b) Kiedy pociąg poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym? Z jakim przyspieszeniem?

c) Jaką drogę przejechał pociąg w czasie 50 s?

Ad a) Z wykresu odczytujemy, że pociąg najpierw się rozpędzał, a od chwili $t = 40 \text{ s}$ zaczął jechać ze stałą prędkością $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ad b) Pociąg poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym w ciągu pierwszych 40 s ruchu. W tym czasie rozpędził się od $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a więc jego przyspieszenie wynosiło:

$$a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{16 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40 \text{ s}} = \frac{16}{40} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Wykres IV

Ad c) Możemy osobno obliczyć drogę pokonaną w czasie rozpędzania, a osobno – w czasie jazdy ze stałą prędkością.

W czasie rozpędzania:

$$s_1 = \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (40 \text{ s})^2 = 320 \text{ m}$$

W czasie jazdy ze stałą prędkością:

$$s_2 = v t_2 = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} = 160 \text{ m}$$

Łącznie droga wynosiła: $s = s_1 + s_2 = 320 \text{ m} + 160 \text{ m} = 480 \text{ m}$.

Podsumowanie

- Na wykresie można przedstawiać m.in. jak zmienia się prędkość ciała w czasie.
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym wykres zależności prędkości od czasu jest poziomą prostą (prostą równoległą do osi czasu), ponieważ prędkość się nie zmienia, natomiast w ruchu jednostajnie przyspieszonym jest nim prosta nachylona pod pewnym kątem do osi czasu.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



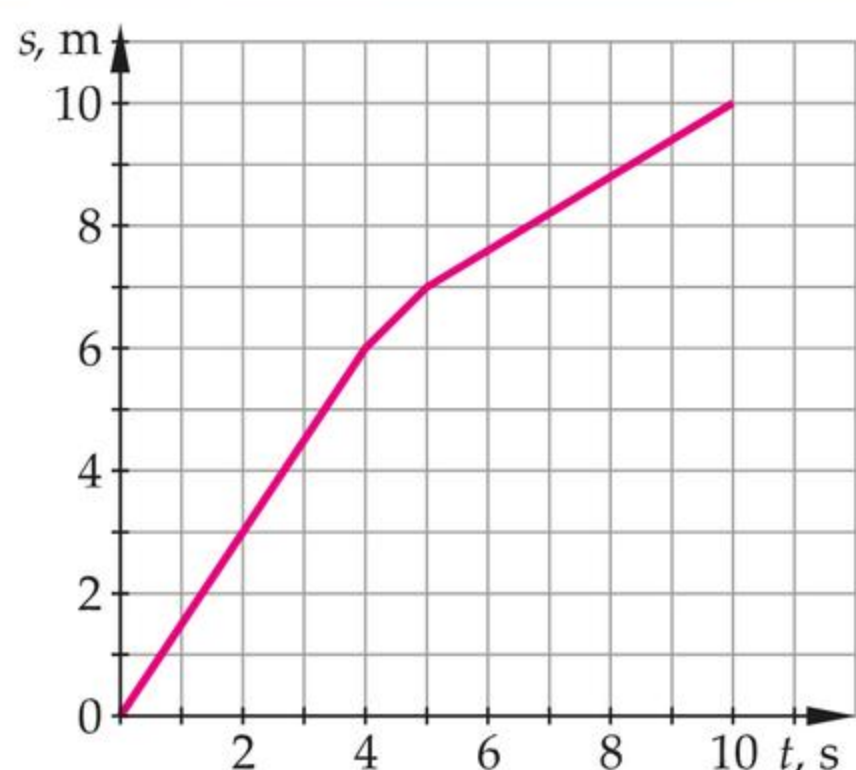
1. Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez pewne ciało od czasu.

a) Odczytaj, jaką drogę przebyło ciało w ciągu pierwszych 5 s.

b) Odczytaj, jaką drogę przebyło ciało w czwartej sekundzie (tj. od chwili, gdy minęły 3 s, do chwili, gdy minęły 4 s).

c) Oblicz, z jaką prędkością poruszało się w pierwszej, a z jaką w ostatniej sekundzie ruchu.

d) Oblicz, jaka była prędkość średnia ciała w czasie 10 s ruchu.



2. Narysuj w zeszycie wykres zależności drogi od czasu i wykres zależności prędkości od czasu dla każdego z opisanych ruchów.

a) Rowerzysta jechał przez 20 min z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a potem nagle przyspieszył do $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i jechał z tą prędkością przez 10 min.

b) Rowerzysta jechał przez godzinę z prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a potem się zmęczył i zrobił sobie 10 min przerwy, po której jechał jeszcze przez pół godziny z prędkością $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

c) Rowerzysta jechał przez 10 min z prędkością $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a potem przez 20 min – z prędkością $12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

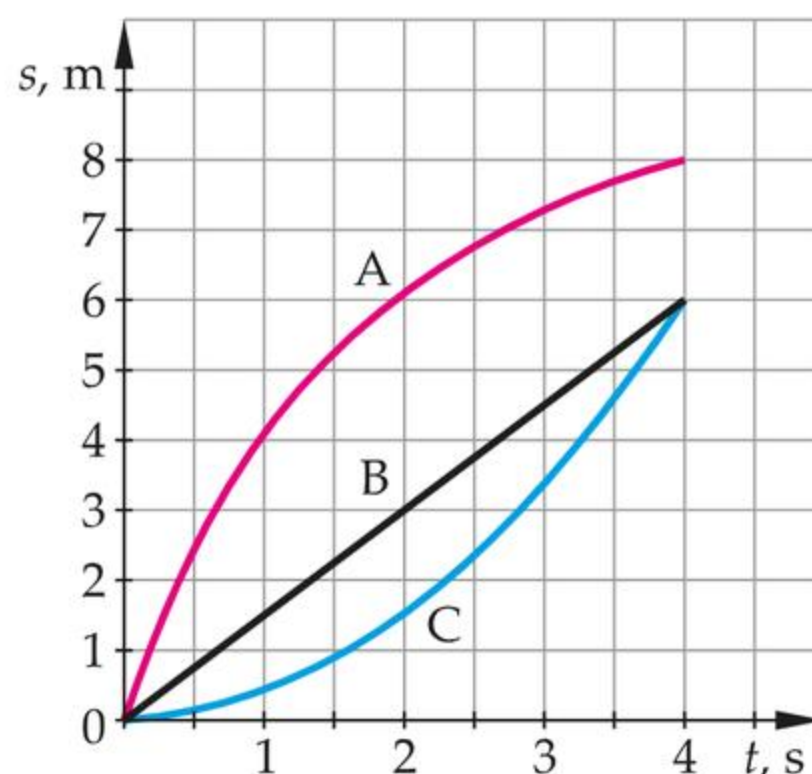
3. Wykres przedstawia ruch ciał A, B i C.

a) Ustal, które z tych ciał poruszało się ruchem jednostajnym.

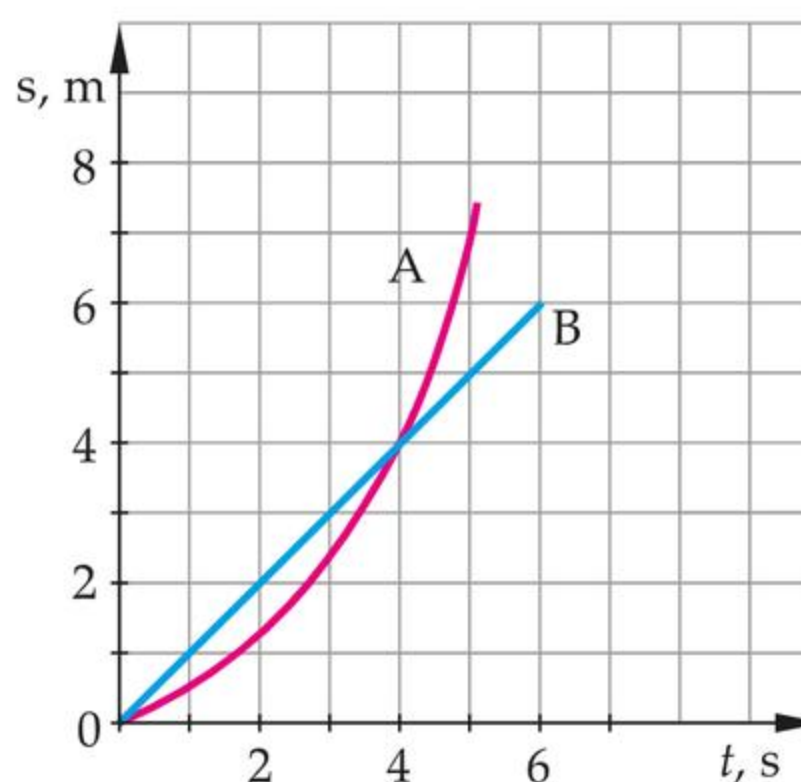
b) Ustal, które ciało poruszało się coraz szybciej, a które – coraz wolniej.

c) Oblicz prędkość ciała, które poruszało się ruchem jednostajnym.

d) Oblicz prędkości średnie ciał, które poruszały się ze zmienną prędkością.



4. Wykres przedstawia zależność drogi od czasu dla ruchu samochodów A i B.



a) Określ, jakim ruchem poruszał się samochód A, a jakim – samochód B.

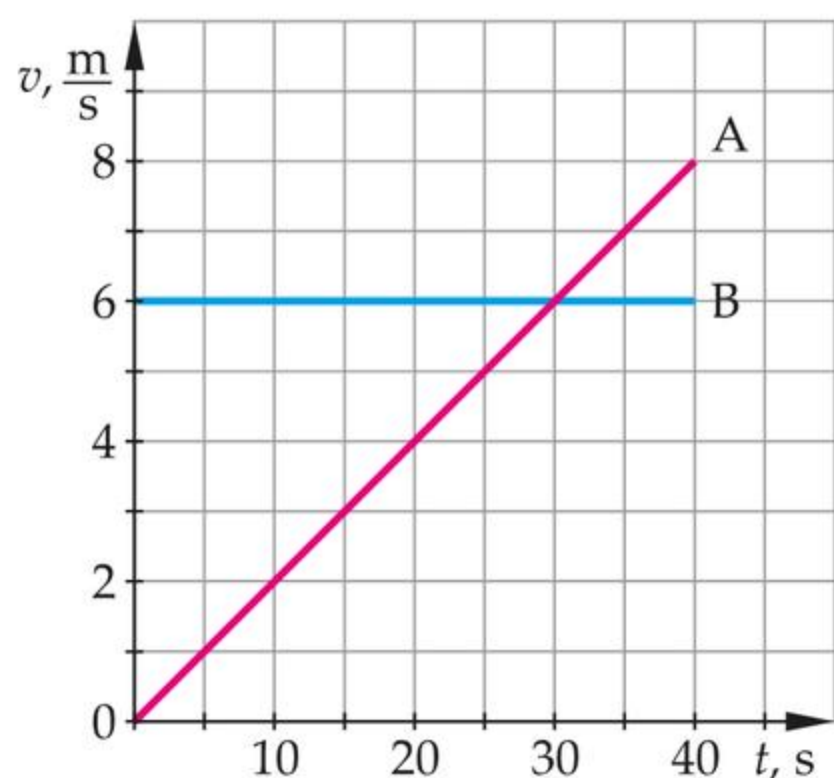
b) Ustal, który z nich rozpoczął ruch z większą prędkością.

c) Wyjaśnij, co się stało w chwili $t = 4$ s.

d) Ustal, który samochód miał większą prędkość średnią w pierwszych 5 sekundach ruchu.

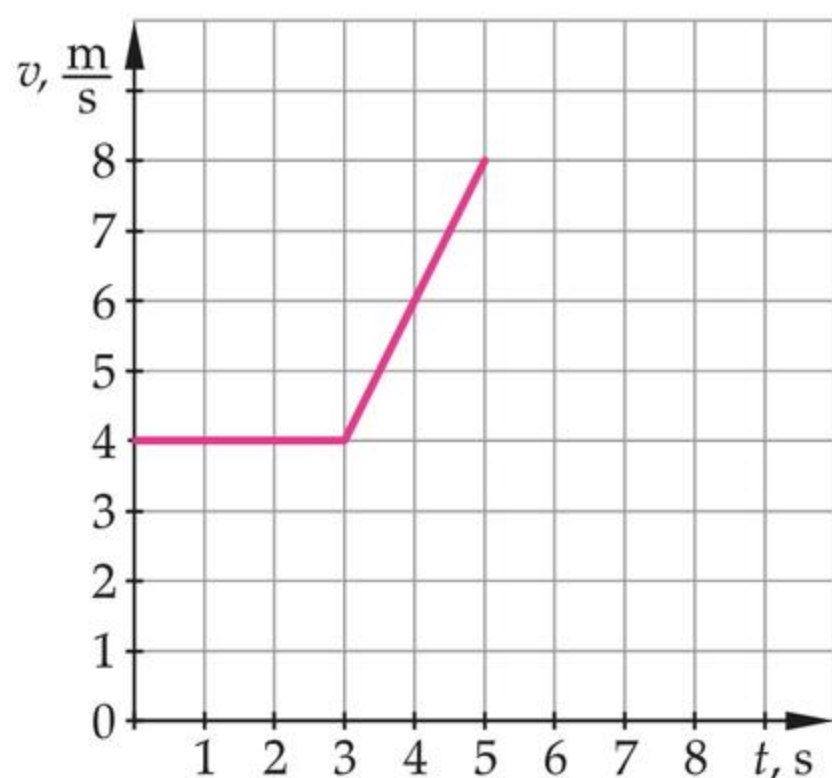


- 5.** Wykres przedstawia zależność prędkości od czasu dla dwóch rowerzystów.



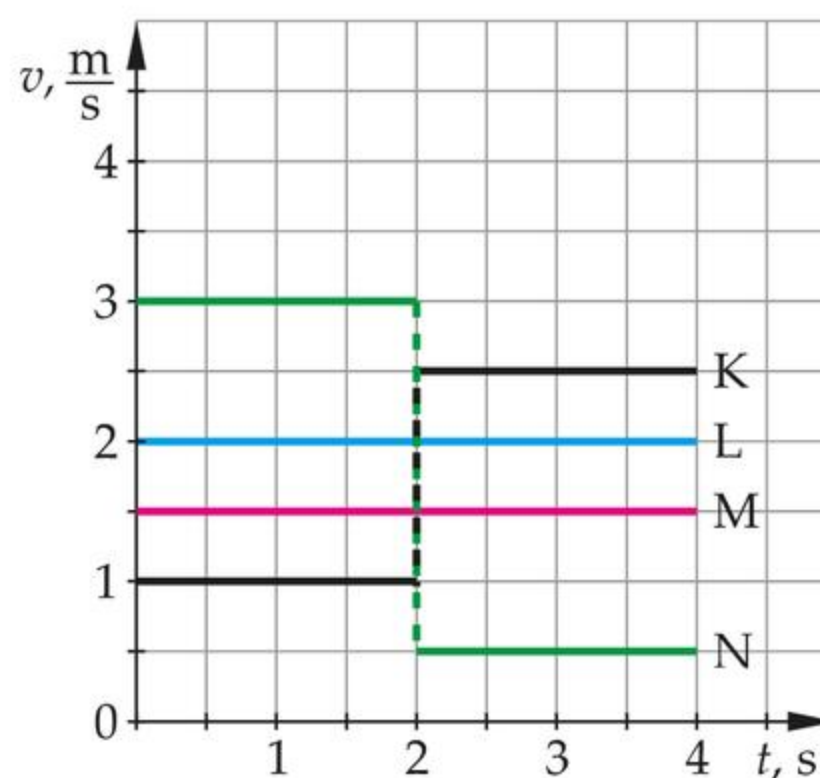
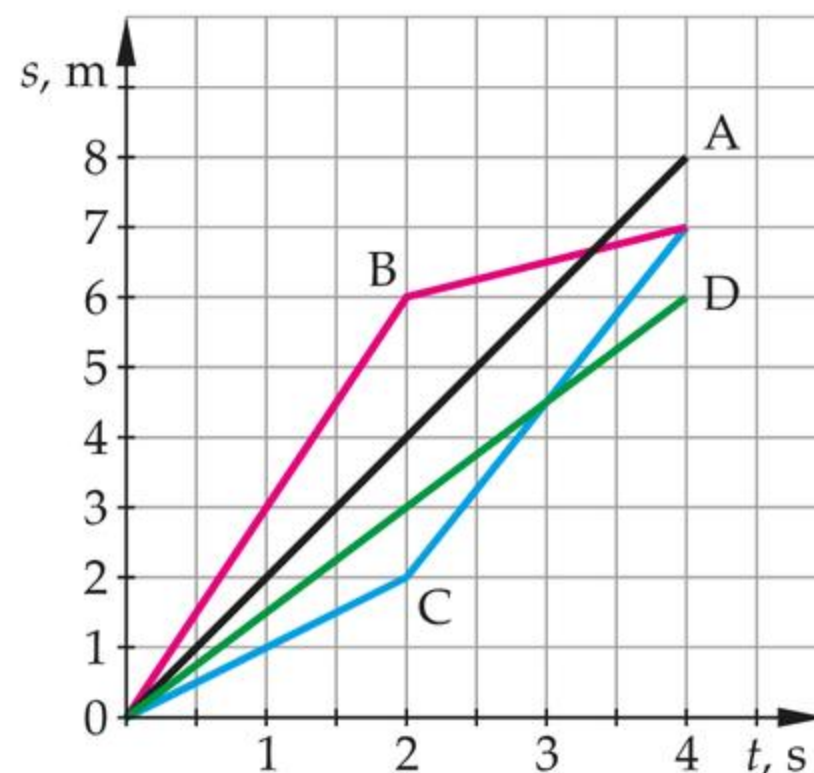
- a) Ustal, który rowerzysta poruszał się ruchem jednostajnym. Podaj jego prędkość.
- b) Ustal, który rowerzysta się rozpędzał.
- Oblicz jego przyspieszenie oraz prędkość, jaką osiągnął po 10 s ruchu.

- 6.** Wykres przedstawia zależność prędkości pewnego samochodu od czasu.

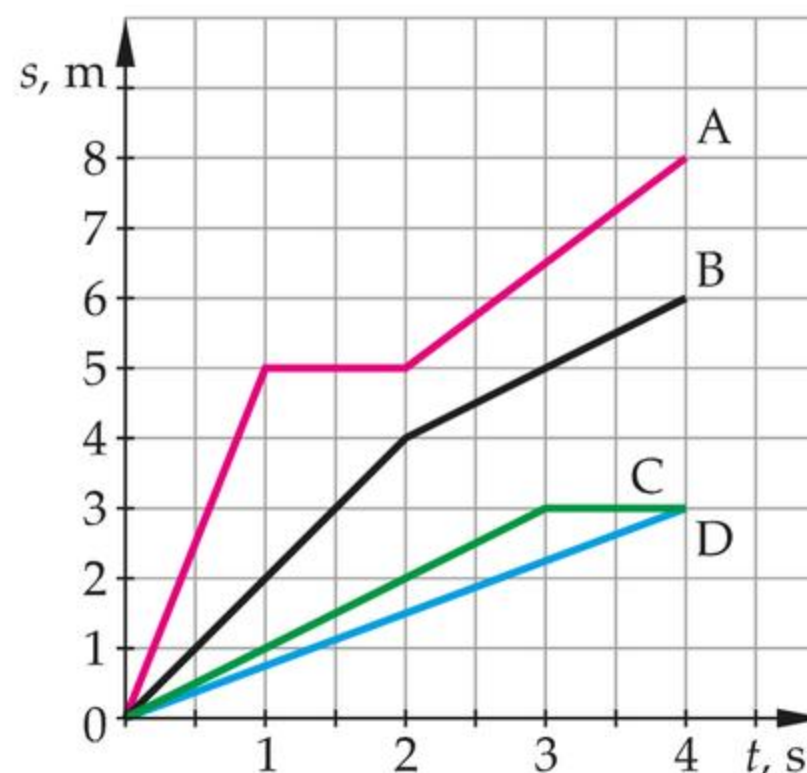


- a) Podaj, w którym momencie samochód zaczął przyspieszać.
- b) Oblicz przyspieszenie, z jakim się poruszał, gdy przyspieszał.
- c) Oblicz, o ile wzrosła jego prędkość w ciągu pierwszych dwóch sekund przyspieszania.
- d) Oblicz, jaką prędkość osiągnął po dwóch sekundach przyspieszania.

- 7.** Dopasuj wykresy zależności drogi od czasu do wykresów zależności prędkości od czasu. Odpowiedź zapisz w zeszycie.



- 8.** Naskicuj w zeszycie wykres zależności prędkości od czasu dla każdego z ciał A–D, dla których przedstawiono wykresy zależności drogi od czasu.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Ruch polega na zmianie położenia ciała. Ruch jest względny, to znaczy trzeba się zawsze umówić, względem jakiego ciała go rozpatrujemy. Drogę mierzymy wzdłuż toru, czyli linii, po której ciało się porusza (a nie zawsze w linii prostej między startem a meta).
2. Ruch ciała można zilustrować graficznie za pomocą wykresu przedstawiającego zależność przebytej drogi od czasu. Im bardziej stromy wykres, tym szybciej porusza się ciało. Na wykresie można także zilustrować np. zależność prędkości od czasu.
3. W ruchu jednostajnym prędkość informuje nas, jaką drogę przebywa ciało w ciągu sekundy. Na przykład prędkość $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oznacza, że w ciągu 1 s ciało przebywa 5 m.
- 4*. W ruchu niejednostajnym musimy odróżniać prędkość średnią od prędkości chwilowej.
- 5*. Prędkość względna dwóch pojazdów to różnica ich prędkości (jeśli jadą w tę samą stronę) albo suma ich prędkości (jeśli jadą w przeciwną stronę).
6. Przyspieszenie to wielkość informująca, o ile zwiększa się prędkość w ciągu jednej sekundy. Na przykład przyspieszenie $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (czyli w skrócie $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) oznacza, że w ciągu 1 s prędkość zwiększa się o $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Przyspieszenie zapisujemy ze znakiem minus, gdy ciało zwalnia (zmniejsza się jego prędkość). Ruch jednostajnie przyspieszony (opóźniony) to ruch, w którym przyspieszenie jest stałe.
- 7*. Drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym można obliczyć ze wzoru: $s = \frac{1}{2} at^2$.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



To musisz umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Rowerzysta przejechał 20 km w ciągu 2 h, poruszał się więc z prędkością

- A. $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. C. $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
B. $22 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. D. $400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

2. Jeleń przebiegł 200 m z prędkością $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jego bieg trwał

- A. 0,08 s. C. 45 s.
B. 12,5 s. D. 3200 s.

3. Jadąc przez 5 godzin z prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, rowerzysta przebył

- A. 4 km. C. 40 km.
B. 25 km. D. 100 km.

4. Samochód sportowy zwiększył swoją prędkość o $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w ciągu 4 s, czyli poruszał się z przyspieszeniem

- A. $24 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. C. $16 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
B. $80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. D. $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

5. Oblicz, o ile metrów na sekundę zwiększyła się prędkość samolotu, który w ciągu 20 s poruszał się z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

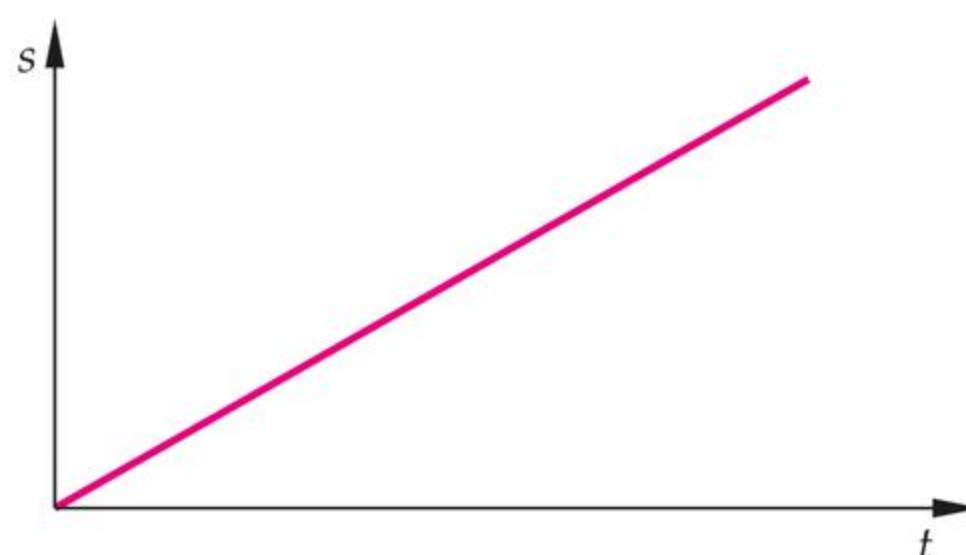
- A. o $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ C. o $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
B. o $22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ D. o $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

6*. Ciało poruszające się z przyspieszeniem $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ w ciągu pierwszych 6 s od rozpoczęcia ruchu przebędzie drogę

- A. 24 m. C. 72 m.
B. 12 m. D. 144 m.

7. Wykres przedstawia zależność drogi przebytej przez pewne ciało od czasu. Wynika z niego, że ciało

- A. nie poruszało się.
B. poruszało się ruchem przyspieszonym.
C. poruszało się ruchem opóźnionym.
D. poruszało się ze stałą prędkością.



8. Samochód, którego ruch opisano na wykresie poniżej, poruszał się z prędkością

- A. $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. C. $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
B. $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. D. $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–9. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Samochód jadący z prędkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ przebędzie drogę 100 m w czasie

- A. 0,8 s. B. 1,25 s. C. 4,5 s. D. 8 s.

2. Maksymalna prędkość dozwolona w Polsce w obszarze niezabudowanym wynosi $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, czyli

- A. $0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. C. $90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
B. $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. D. $324 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



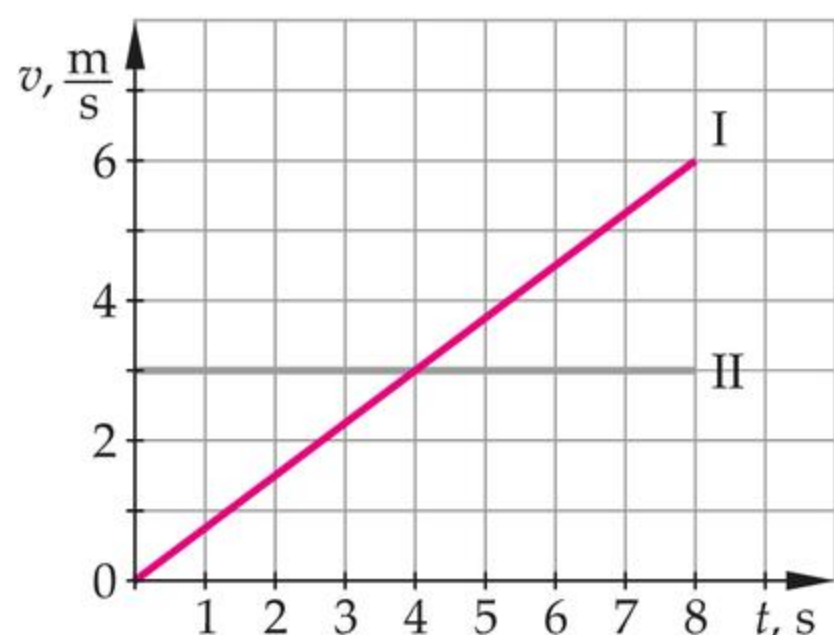
3. Samochód rozpędził się od $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $110 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ w ciągu 10 s. Jakie było jego przyspieszenie?

- A. $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ C. $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
B. $9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $250 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

4. Aby jak najdokładniej wyznaczyć prędkość biegu wokół boiska, należy użyć

- A. centymetra krawieckiego i stopera.
B. taśmy mierniczej i stopera.
C. taśmy mierniczej i zegara słonecznego.
D. linijki i klepsydry.

Rysunek do zadań 5.–7.



5. Przyspieszenie ciała I wynosiło

- A. $1,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ C. $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
B. $0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

6. Przyspieszenie ciała II wynosiło

- A. $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ C. $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
B. $0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ D. $0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

7. W chwili $t = 4$ s

- A. ciała się zderzyły.
B. ciało I wyprzedziło ciało II.
C. ciało II wyprzedziło ciało I.
D. ciała miały jednakową prędkość.

8*. Motocykl jadący z prędkością $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wyprzedza ciężarówkę jadącą z prędkością $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Prędkość motocykla względem ciężarówki wynosi

- A. $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ C. $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
B. $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ D. $8000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

9. Wskaż, jak dużo czasu zajmie kierowcy hamowanie od prędkości $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ do $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ z przyspieszeniem $-2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- A. około 5 s C. 80 s
B. 20 s D. 72 s

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1*. Oblicz prędkość średnią samochodu, który 120 km przejechał z prędkością $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a następne 120 km – z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

- A. $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ C. $75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ B. $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ D. $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

2*. Motorówka może płynąć po jeziorze z prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, a w dół rzeki – z prędkością $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Oblicz prędkość, z jaką motorówka może płynąć w górę rzeki.

- A. $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ C. $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ B. $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ D. $45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

3*. Na rzece ląduje kaczka. Dwóch ludzi wrzuca kawałki chleba do wody. Jeden z nich znajduje się w odległości 10 m od kaczki w górę rzeki, a drugi w odległości 10 m od kaczki w dół rzeki. Do którego kawałka chleba kaczka może dopłynąć w krótszym czasie?

- A. Szybciej dopłynie do chleba w górze rzeki.
B. Szybciej dopłynie do chleba w dole rzeki.
C. Do obu kawałków chleba dopłynie w tym samym czasie.
D. To zależy od prędkości, z jaką płynie kaczka, i od prędkości prądu rzeki.

4. Chcemy wyznaczyć prędkość marszu z domu do szkoły. Która z wielkości **nie** jest do tego potrzebna?

- A. Godzina wyjścia z domu.
- B. Godzina przyścia do szkoły.
- C. Długość budynku szkoły.
- D. Przebyta droga.

5. Które ze zdań jest prawdziwe?

- A. Ruszający ślimak od razu porusza się z dużą prędkością.
- B. Startująca rakietą od razu porusza się z dużą prędkością.
- C. Pocisk wylatuje z lufy karabinu od razu z dużą prędkością.
- D. Żadne z powyższych zdań nie jest prawdziwe.

Rysunek do zadań 6.–7.



6. Jakim ruchem poruszało się ciało B?

- A. Jednostajnym.
- B. Jednostajnie przyspieszonym.
- C. Najpierw jednostajnym, później jednostajnie przyspieszonym.
- D. Najpierw jednostajnie przyspieszonym, później jednostajnym.

7. Wskaż **fałszywe** dokończenie zdania.

W chwili $t = 9$ s

- A. droga przebyta przez ciało A była mniejsza niż droga przebyta przez ciało B.
- B. prędkość ciała A była taka sama jak prędkość ciała B.
- C. przyspieszenie ciała A było mniejsze niż przyspieszenie ciała B.
- D. każde z ciał poruszało się z takim samym przyspieszeniem jak w chwili $t = 8$ s.

Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Świetnie, jeśli to umiesz

1. Pewnego dnia z Krakowa do Warszawy wyjechał samochód z prędkością $60 \frac{km}{h}$. W tej samej chwili z Warszawy do Krakowa wyleciała jaskółka z prędkością $90 \frac{km}{h}$. Leciła wzdłuż szosy, a gdy spotkała samochód, zawróciła do Warszawy. W Warszawie znowu zawróciła w kierunku Krakowa, spotkała samochód, zawróciła do Warszawy, i tak dalej – aż samochód dotarł na miejsce.

Z Krakowa do Warszawy jest 300 km. Oblicz drogę, jaką przebyła jaskółka.

2*. Z Górek Górnych do Górek Dolnych (w dół rzeki) motorówka płynie 3 h. Powrót zajmuje jej aż 4 h. Oblicz czas, w którym tratwa przepłynie z Górek Górnych do Górek Dolnych.



Sfilmuj i zbadaj

Uwaga. Tę pracę badawczą najlepiej wykonywać w grupie.

1. Ze strony <http://physlets.org/tracker/> ściągnijcie darmowy program Tracker.

2. Zapoznajcie się z jego instrukcją.

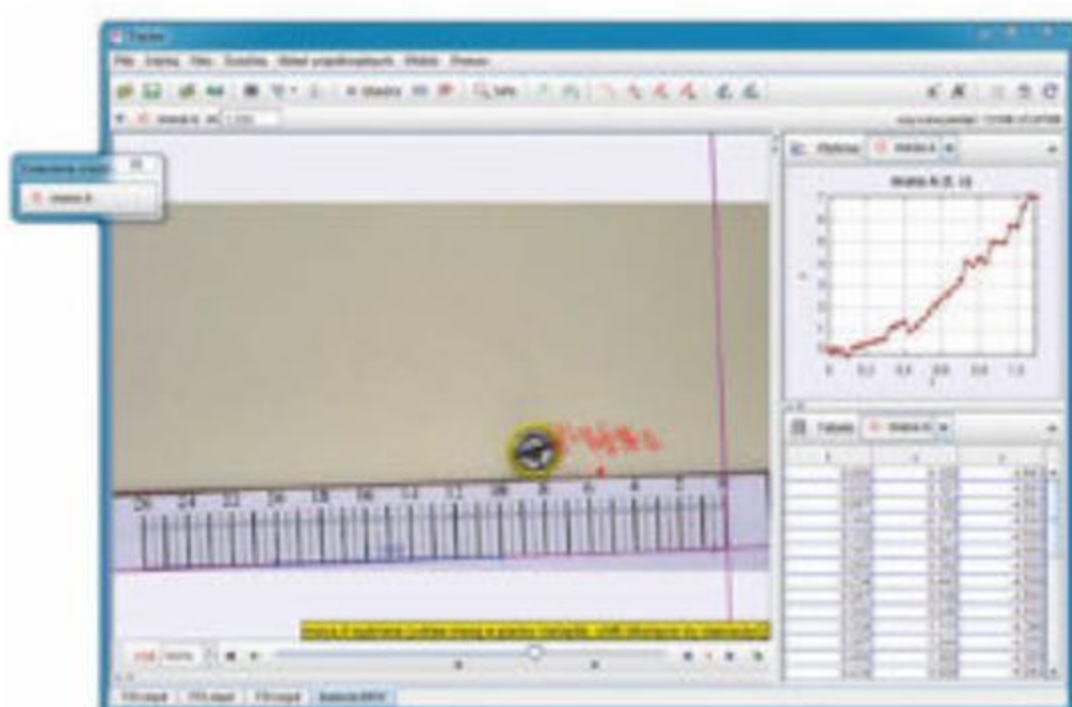
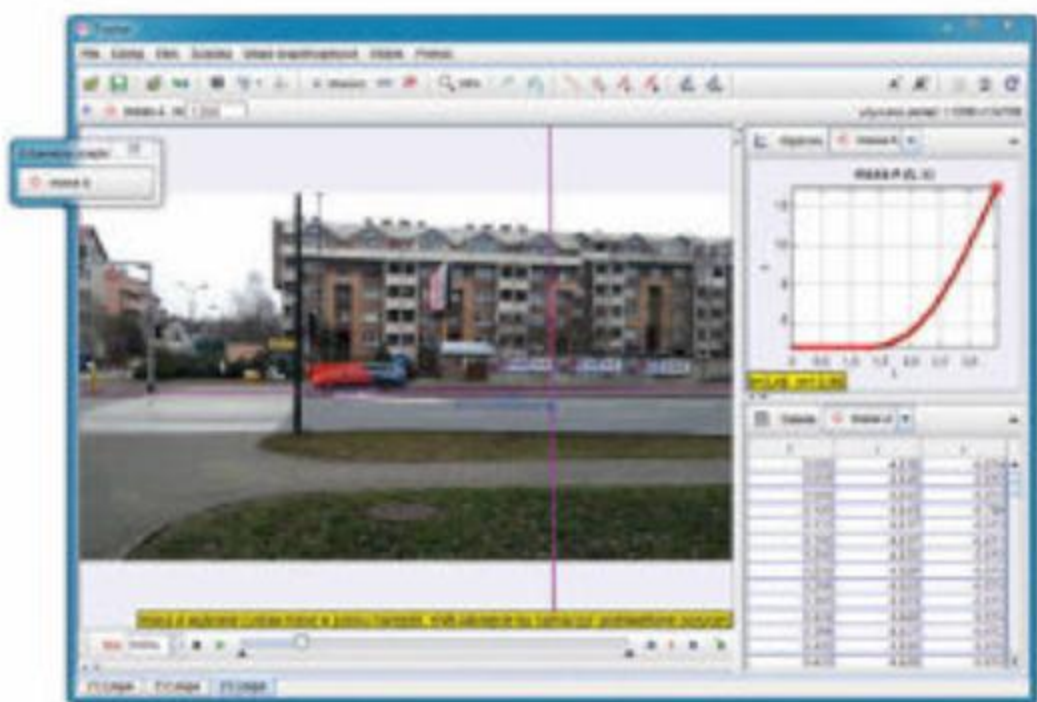
3. Nagrajcie za pomocą kamery w telefonie komórkowym kilka filmów przedstawiających nieskomplikowane przykłady ruchu ciał, np. zabawkę jadącą ze stałą prędkością, okrągły przedmiot (np. baterię) staczający się z przechylnego stołu, wahadło (np. nakrętkę zawieszoną na nitce). Wykonanie filmów możecie rozdzielić między osoby w grupie.

4. Odtwórzcie filmy w komputerze i przeanalizujcie je za pomocą programu Tracker. Obejrzyjcie wykresy zależności położenia, prędkości i przyspieszenia od czasu. Spróbujcie wyciągnąć z nich jak najwięcej wniosków.

5. Sfilmujcie różne poruszające się ciała w waszym otoczeniu. Możecie także poszukać w internecie interesujących przykładów ruchu ciał. Przeanalizujcie je za pomocą programu Tracker.

Uwagi.

- Badane ciało powinno przez cały czas znajdować się w podobnej odległości od kamery. Gdy się oddala, staje się pozornie mniejsze, więc porusza się pozornie wolniej.
- Skalę można ustalić na podstawie wymiarów filmowanego ciała. Jeśli jest to zabawka, możemy ją zmierzyć, jeśli prawdziwy samochód – sprawdzić dane techniczne w internecie.
- Tracker pozwala analizować ruch krzywoliniowy, dlatego macie możliwość badania dwóch współrzędnych (x i y), prędkości w poziomie i w pionie (v_x i v_y) oraz analogicznie poziomego i pionowego przyspieszenia (a_x i a_y). Jeśli jednak zamierzacie zajmować się tylko ruchem prostoliniowym, ustawcie układ współrzędnych tak, aby oś pozioma odpowiadała kierunkowi ruchu, a następnie zajmujcie się tylko kierunkiem x . Prędkość v_x i przyspieszenie a_x będą po prostu waszymi v i a .



A background image of an ice hockey game. In the foreground, a player in a dark blue jersey with the number 12 is crouched, ready to receive a pass. Behind him, several players in red and white jerseys are visible, some in motion. The scene is set on an ice rink with a yellow safety barrier in the background.

Znasz już wielkości fizyczne opisujące ruch. Z tego rozdziału dowiesz się, jakim prawom podlegają poruszające się ciała.

Raz uderzony krążek hokejowy może przebyć całe lodowisko, choć nic go nie popycha.

Siła wpływa na ruch

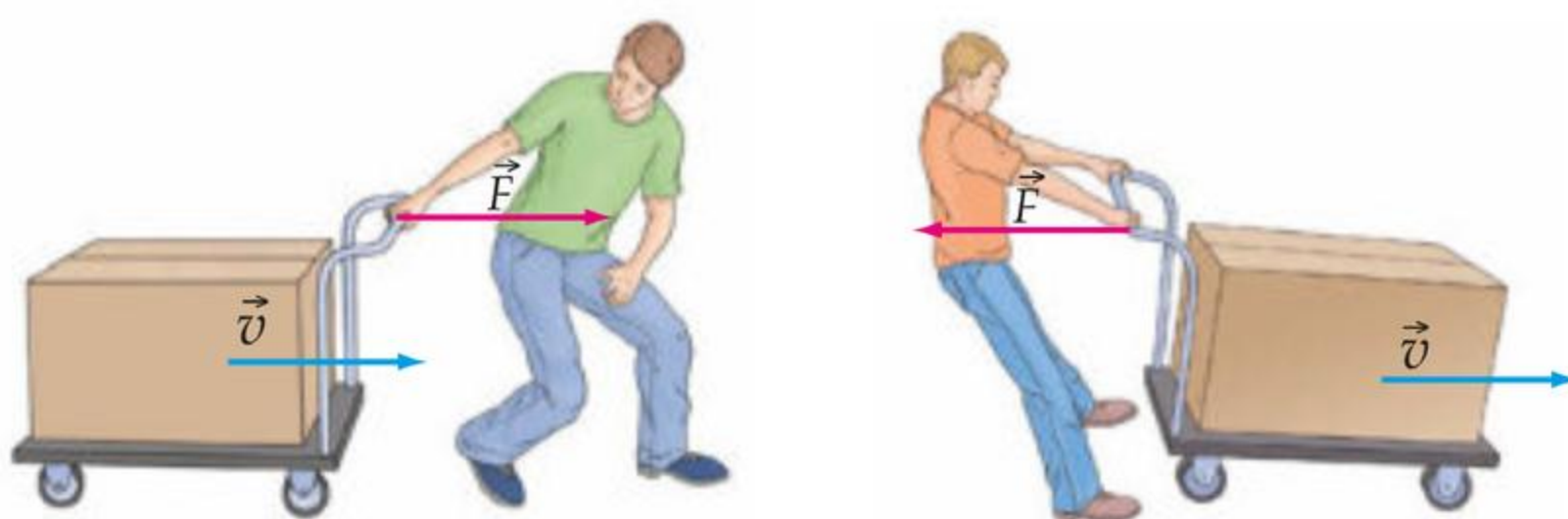


15 Druga zasada dynamiki

Pierwszą zasadę dynamiki znasz już z tematu 6. Mówi ona, co się dzieje, gdy na ciało nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się. Jeśli takie ciało nie poruszało się, to pozostaje w spoczynku. Jeśli natomiast poruszało się, to nadal będzie się poruszać z tą samą prędkością i w tę samą stronę.

■ Co się dzieje, gdy działa siła

Co się dzieje, gdy siła wypadkowa jest różna od zera? Łatwo się domyślić, że jeśli siła ciągnie ciało „do przodu” (w stronę, w którą ciało się porusza), to ciało przyspiesza, a gdy ciągnie je „do tyłu”, ciało zwalnia.



Siła i prędkość skierowane są w tę samą stronę – ciało przyspiesza.

Siła i prędkość skierowane są w przeciwne strony – ciało zwalnia.

Gdy na ciało działa stała siła wypadkowa (różna od zera), porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym lub jednostajnie opóźnionym.

■ Od czego zależy przyspieszenie ciała?

Aby się przekonać, od czego zależy przyspieszenie ciała, wykonajmy doświadczenie z następnej strony.

Doświadczenie ⚠

1. Przygotuj dwa samochodziki (wagoniki) zabawki oraz plastelinę i obciążnik (ciało o masie podobnej do masy zabawek). Przydadzą się także dwa siłomierze.
2. Jeśli masz do dyspozycji siłomierz, zaczep go do zabawki i ciągnij ją po stole, działając raz większą, a raz mniejszą siłą. Jeśli nie masz siłomierza, popychaj zabawkę raz mocniej, a raz słabiej, oceniając różnicę sił na oko. W którym przypadku zabawka porusza się z większym przyspieszeniem?
3. Zamocuj obciążnik na jednej zabawce. Wpraw zabawki w ruch, działając na każdą z nich z taką samą siłą. Która zabawka porusza się z większym przyspieszeniem?



Podczas przeprowadzania doświadczenia mogliśmy zobaczyć, że gdy na ciało działa większa siła, porusza się ono z większym przyspieszeniem. Potwierdza to wiele codziennych obserwacji. Na przykład jeśli dwie osoby rozpędzają do takiej samej prędkości wózki o jednakowej masie, to w krótszym czasie zrobi to człowiek silniejszy (tj. działający większą siłą). Można wykazać doświadczalnie (choć w warunkach szkoły podstawowej jest to trudne), że przyspieszenie ciała zwiększa się tyle razy, ile razy zwiększyła się działająca na nie siła.

Druga część doświadczenia przekonuje nas, że przyspieszenie zależy również od masy ciała. Także ten fakt znamy z życia codziennego. W krótszym czasie rozpędzisz do określonej prędkości wózek o masie 10 kg niż wózek o masie 50 kg.

Można też wykazać, że przy określonej sile przyspieszenie jest tyle razy większe, ile razy mniejsza jest masa.

■ Druga zasada dynamiki

Zależność przyspieszenia od masy ciała i działającej na nie siły opisaliśmy słownie. Można ją także zapisać za pomocą wzoru. Dzięki temu będziemy mogli obliczać przyspieszenie.

Druga zasada dynamiki:

Ciało o masie m , na które działa stała siła wypadkowa F (różna od zera), porusza się ze stałym przyspieszeniem a , które można obliczyć ze wzoru:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła}}{\text{masa}} \quad a = \frac{F}{m}$$

Zauważ, że ostatni wzór zgadza się z tym, co mówiliśmy wcześniej o zależności przyspieszenia od siły i masy. Siła stanowi licznik ułamka $\frac{F}{m}$, a im większy licznik, tym większy ułamek, np. $\frac{2}{3} > \frac{1}{3}$. Masa stanowi mianownik tego ułamka, a im większy mianownik, tym mniejszy ułamek, np. $\frac{1}{4} < \frac{1}{3}$.

■ Definicja niutona

Na podstawie wzoru: $a = \frac{F}{m}$ możemy określić jednostkę siły. Jeżeli podstawimy do niego jednostkę masy i przyspieszenia, otrzymamy:

$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{?}{\text{kg}}$$

Aby po obu stronach znaku „=” była ta sama jednostka, jednostką siły musi być $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Sprawdźmy to:

$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{kg}}$$

Jednostka $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ to znany ci już **niuton** – jednostka siły.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ciekawostka

Opisane w przykładzie przyspieszenie $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ to duża wartość dla samochodu osobowego. Jednak pojazdy wyścigowe osiągają nawet czterokrotnie większe przyspieszenie. Przepisy wyścigów określają nie tylko maksymalną pojemność silnika samochodu, ale także minimalną masę pojazdu. Czy domyślasz się dlaczego?



Siła o wartości 1 N to siła, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

■ Przykłady obliczeń

Przykład. Samochód wraz z pasażerami i ładunkiem ma masę 1200 kg. Oblicz wartość siły, która nada mu przyspieszenie $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Sposób I

Analizujemy wzór: $a = \frac{F}{m}$. Wartość siły (w niutonach) podzielona przez 1200 kg da nam wynik $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Tę wartość obliczymy, mnożąc 1200 kg przez $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Podobnie postąpimy w innych wypadkach. Aby obliczyć wartość siły, mnożymy masę przez przyspieszenie. Możemy to zapisać za pomocą wzoru:

$$F = m \cdot a$$

W naszym wypadku:

$$F = m \cdot a, \text{ czyli } F = 1200 \text{ kg} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3600 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3600 \text{ N} = 3,6 \text{ kN}$$

Sposób II

Wzór $a = \frac{F}{m}$ można przekształcić do postaci:

$$F = m \cdot a$$

Obliczenia wykonujemy tak, jak w sposobie I.

Odpowiedź: Siła ta ma wartość 3,6 kN.

Podsumowanie

- Gdy na ciało działa stała siła wypadkowa (różna od zera), porusza się ono ze stałym przyspieszeniem.
- Przyspieszenie jest tym większe, im większa jest siła i im mniejsza jest masa ciała.
- Przyspieszenie można obliczyć, dzieląc siłę przez masę.
- Siłę można obliczyć, mnożąc masę przez przyspieszenie: $F = m \cdot a$.
- Jednostka siły – niuton – jest zdefiniowana następująco: $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Siła 1 N nadaje ciału o masie 1 kg przyspieszenie $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Odpowiedz na pytania, korzystając z drugiej zasady dynamiki.

a) Pewien majsterkowicz zamontował w furgonetce silnik małego samochodu osobowego. Czy furgonetka będzie mogła poruszać się z takim przyspieszeniem, jak mały samochód osobowy? Uzasadnij odpowiedź.

b) Tygrys polujący na łosia i kot domowy polujący na mysz rozpędzały się do skoku z jednakowym przyspieszeniem. Czy oba drapieżniki odpychały się od ziemi z taką samą siłą? Uzasadnij odpowiedź.

2. Na kilogramową sztabę żelaza i na kilogramowy worek pierza działa taka sama siła wypadkowa. Które z tych ciał będzie się poruszać z większym przyspieszeniem? Przyjmij, że oba ciała znajdują się w próżni i nie działa na nie opór powietrza.

3. Oblicz, z jakim przyspieszeniem będzie się poruszać ciało:

- a) o masie 4 kg pod działaniem siły 10 N,
- b) o masie 10 kg pod działaniem siły 5 N,
- c) o masie 3 t pod działaniem siły 50 kN.

4. Oblicz, jaka siła jest potrzebna, aby ciało o masie m mogło osiągnąć przyspieszenie a .

a) $m = 2 \text{ kg}, a = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $m = 500 \text{ g}, a = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

c) $m = 60 \text{ dag}, a = 5 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$

d) $m = 750 \text{ g}, a = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



5. Za górami, za lasami żył sobie król, który nakazał w swoim królestwie, aby jako jednostki długości używać długości królewskiego łokcia, jako jednostki masy – masy jego korony, a jako jednostki czasu – czasu królewskiego ziewnięcia.

a) Pewna siła nadaje ciału o masie 4 koron przyspieszenie 5 łokci na ziewnięcie kwadrat ($\frac{1}{z^2}$). Oblicz przyspieszenie, jakie nada ta siła ciału o masie 2 koron.

b) Siła F nadaje pewnemu ciału przyspieszenie $2 \frac{1}{z^2}$. Oblicz, jaka siła nada temu ciału przyspieszenie $10 \frac{1}{z^2}$.

c) Zaproponuj, w jaki sposób można by utworzyć jednostkę siły z królewskiego układu jednostek. Wymyśl dla niej nazwę.



16 Druga zasada dynamiki a ruch ciał

Ćwiczenie A. Przypomnij sobie treść drugiej zasady dynamiki. Co się dzieje z ciałem, na które działa stała siła, i jakim ruchem się ono porusza?

Na ostatniej lekcji dowiedzieliśmy się, jak przyspieszenie ciała jest związane z działającą na nie siłą. Z poprzedniego rozdziału wiesz, jak zmienia się prędkość i jaką drogę przebywa ciało, poruszając się z określonym przyspieszeniem. Teraz pokażemy, jak można połączyć te wiadomości, aby dowiedzieć się czegoś o ruchu ciał.

Przykład 1. Ciało o masie 10 kg poruszało się w prawo ze stałą prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Potem w czasie 3 s działała na nie siła 50 N również skierowana w prawo. Jaką prędkość osiągnęło ciało?

Najpierw obliczamy przyspieszenie, korzystając z drugiej zasady dynamiki:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{50 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 5 \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{kg}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Przyspieszenie $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ oznacza, że w każdej sekundzie prędkość zwiększa się o $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. W takim razie w ciągu 3 s prędkość zwiększyła się 3 razy bardziej niż w ciągu 1 s, więc w sumie zmieniła się o:

$$\Delta v = 3 \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Skoro ciało poruszało się z prędkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a następnie prędkość wzrosła o $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to na koniec wynosiła ona:

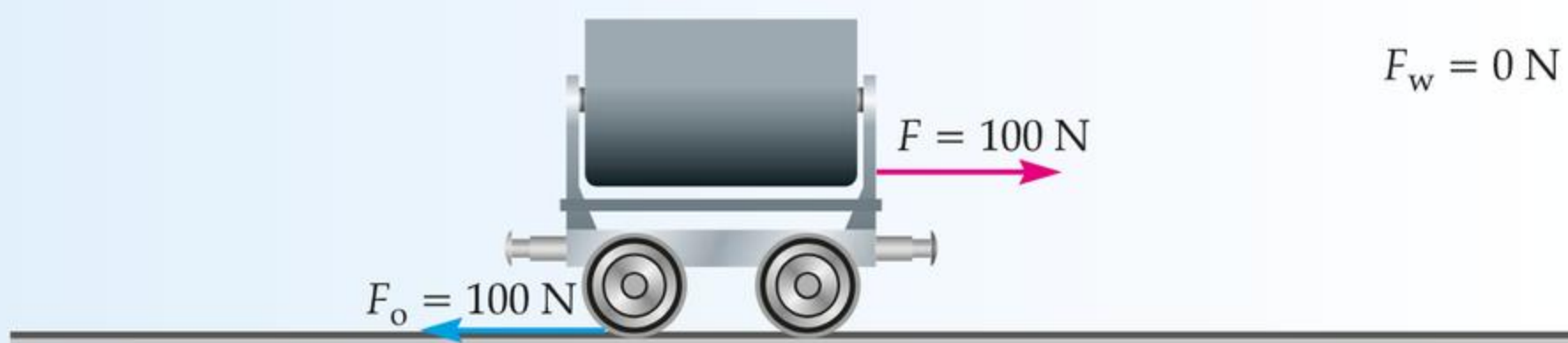
$$v_k = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Ciało osiągnęło prędkość $19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ćwiczenie B. Zapisz w zeszycie obliczanie prędkości końcowej ciała z przykładu 1. za pomocą wzoru.

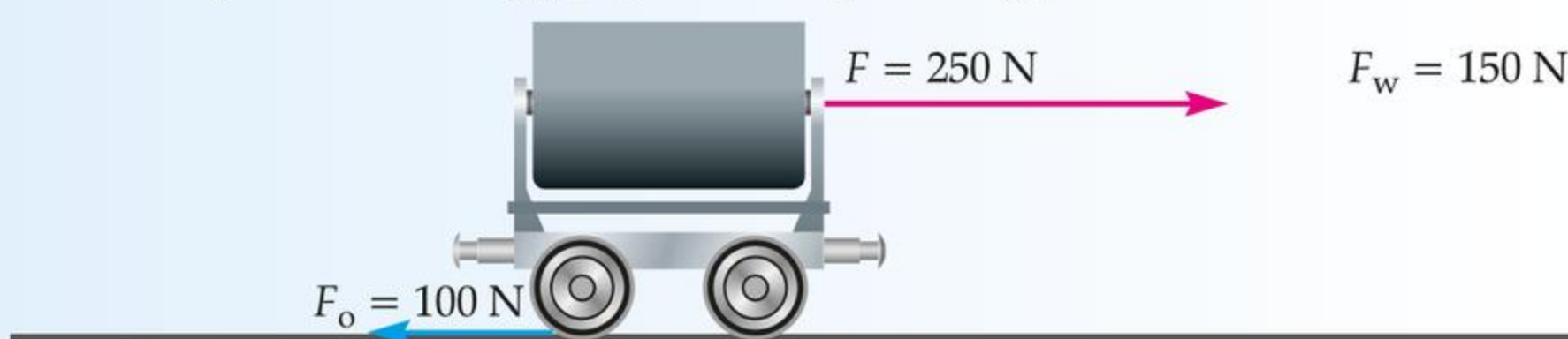
Przykład 2. Wagon o masie 100 kg poruszał się ze stałą prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ciągnięty siłą 100 N. Na czas 4 s siłę zwiększono do 250 N. Jaką prędkość osiągnął wagon?
Zakładamy, że opory ruchu są stałe.

I etap ruchu: Najpierw wagon ciągnięto siłą 100 N i poruszał się on ze stałą prędkością $v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Jeśli prędkość się nie zmieniała, to siła wypadkowa była równa zero niutonów. Siła 100 N tylko równoważyła siłę oporu ruchu.

II etap ruchu: Gdy siła ciągnąca wagon wzrosła do 250 N, a opory ruchu się nie zmieniły, pojawiła się siła wypadkowa równa 150 N.



$$F_w = 250 \text{ N} - 100 \text{ N} = 150 \text{ N}$$

Teraz zadanie rozwiązujemy podobnie jak poprzednie:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{150 \text{ N}}{100 \text{ kg}} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Korzystamy z definicji przyspieszenia: $a = \frac{\Delta v}{t}$ oraz $\Delta v = v_k - v_p$. Otrzymujemy:

$$\Delta v = a \cdot t = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ s} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_k = v_p + \Delta v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Wagon osiągnął prędkość $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Przykład 3. Elektrowóz o masie 120 t ruszył w wyniku działania siły wypadkowej 50 kN.

Jaką drogę przebył w czasie pierwszych 10 s ruchu, jeśli w tym czasie działająca siła wypadkowa nie uległa zmianie?

Dane:

$$m = 120 \text{ t} = 120\,000 \text{ kg}$$

$$F = 50 \text{ kN} = 50\,000 \text{ N}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Szukane:

$$s = ? - \text{droga}$$

Najpierw obliczmy przyspieszenie:

$$a = \frac{F}{m}, \text{ czyli } a = \frac{50 \text{ kN}}{120 \text{ t}} = \frac{50\,000 \text{ N}}{120\,000 \text{ kg}} \approx 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ćwiczenie C. Jaką długość miałaby strzałka przedstawiająca siłę wypadkową w II etapie ruchu?



Chociaż nowoczesne elektrowozy mogą poruszać się z dużą prędkością, to osiągnięte przez nie przyspieszenia są niewielkie.

Teraz obliczmy drogę zgodnie ze wzorem na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym:

$$s = \frac{1}{2}at^2, \text{ czyli } s = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s})^2 = 20 \text{ m}$$

Odpowiedź: Elektrowóz przebył drogę 20 m.

Podsumowanie

- Korzystając z drugiej zasady dynamiki oraz z wiadomości o ruchu jednostajnie przyspieszonym, możemy obliczać wielkości opisujące ruch ciała, na które działa dana siła, np. przebytą drogę, osiągniętą prędkość.

Pytania i zadania

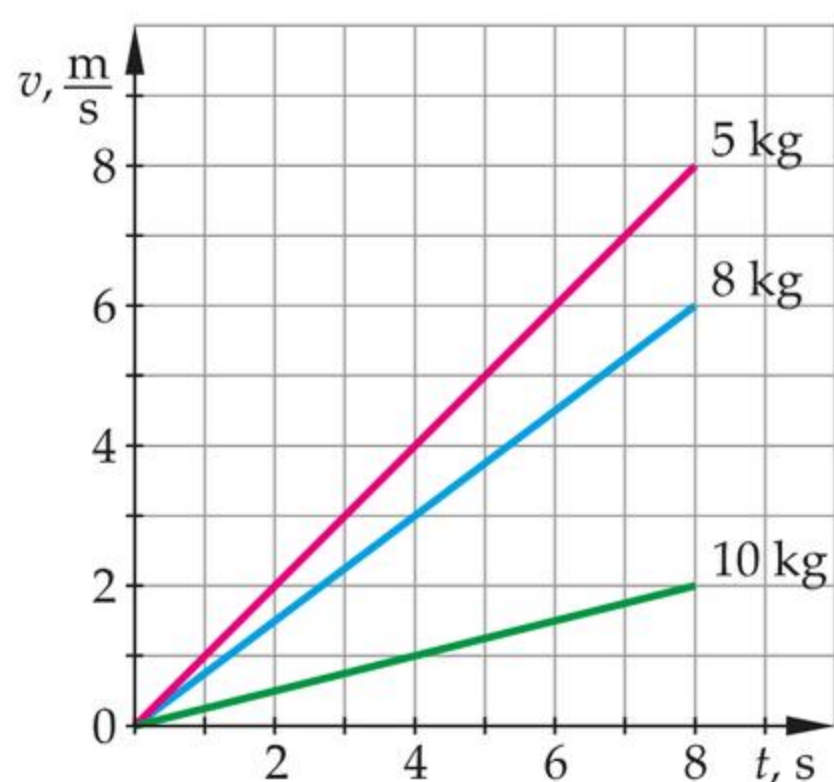
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Na ciało o masie 10 kg działa siła wypadkowa 5 N. Oblicz:

- z jakim przyspieszeniem porusza się ciało;
- do jakiej prędkości rozpędzi się ciało po 12 s od rozpoczęcia ruchu;
- po jakim czasie od rozpoczęcia ruchu ciało osiągnie prędkość $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

2. Na wykresie zależności prędkości od czasu, zamieszczonym poniżej, zilustrowano ruch trzech ciał o różnych masach. Oblicz wartość siły działającej na każde z tych ciał.



3. Lokomotywa ciągnęła jeden wagon o masie 20 t. Gdy na wagon działała siła 1 kN, poruszał się on ze stałą prędkością $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Do jakiej prędkości rozpędzi się wagon, gdy przez 60 s będzie na niego działała siła 5 kN?

4. Samolot o masie 100 t rozpędza się na pasie startowym. Działa na niego siła wypadkowa 120 kN. Samolot oderwie się od ziemi, gdy jego prędkość przekroczy $72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, jak długi musi być pas startowy.

5. Czy potrafisz działać siłą 30 N? Tak, taka właśnie siła jest potrzebna, aby podnieść ciało o masie 3 kg.

a) Oblicz prędkość, jaką osiągnie pocisk o masie 3 g, jeżeli przez 0,1 s będzie na niego działać siła 30 N.

b) Wykaż, wykonując odpowiednie obliczenia, że prędkość ta jest większa niż prędkość pocisku wystrzeliwanego z karabinu ($900 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).

c) Z porównania w punkcie b można wyciągnąć wniosek, że zamiast strzelać z karabinu, należy rzucać pociskami. Jest to i tańsze, i bardziej skuteczne. Wyjaśnij, gdzie tkwi błąd w takim rozumowaniu.

17 Masa a siła ciężkości

■ Siła ciężkości

Wszystkie ciała swobodnie upuszczone spadają na ziemię. Dzieje się tak, ponieważ Ziemia działa na każde ciało pewną siłą, przyciągając je. Dlaczego więc balony nie spadają? O tym przeczytasz w rozdziale „Ciśnienie i siła wyporu”.

Ziemia przyciąga każde ciało siłą zwaną siłą ciężkości. Tę siłę oznaczamy literą Q .

Ziemia przyciąga także ciała, które znajdują się na jej powierzchni. Jednak w tym wypadku podłoże (stół, podłoga...) działa na leżące na nim ciało siłą skierowaną w górę, która równoważy siłę ciężkości.

■ Jak obliczamy siłę ciężkości

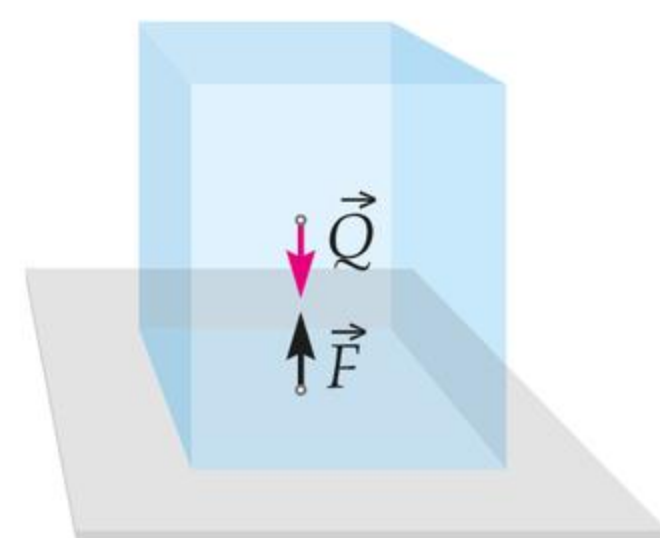
Ziemia przyciąga ciało o masie 1 kg siłą o wartości 9,81 N (czyli około 10 N).

W zadaniach będziemy przyjmowali, że na ciało o masie 1 kg działa siła ciężkości 10 N. Zatem na ciało o masie 5 kg działa siła ciężkości 50 N itd. Aby obliczyć siłę ciężkości działającą na ciało, mnożymy jego masę przez stałą wielkość $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Tę wielkość oznaczamy literą g .

$$\text{siła ciężkości} = \text{masa} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \quad Q = m \cdot g$$

■ Siła ciężkości poza Ziemią

Jeśli jakieś ciało znajduje się na Księżycu, to Księżyc przyciąga je siłą ciężkości. Okazuje się jednak, że Księżyc przyciąga ciało 6 razy słabiej niż Ziemia. Na ciało o masie 1 kg działa tam siła zaledwie 1,6 N, a nie 10 N.



Podłoga działa na leżące na niej pudełko siłą F , która skierowana jest w górę i równoważy siłę ciężkości Q działającą na pudełko.

Ćwiczenie A. Porównaj, jaka siła ciężkości działa na ciało o masie 2 kg, a jaka na ciebie.

Ćwiczenie B. Oblicz, jaką masę ma ciało, jeśli na Księżycu działa na nie siła ciężkości 100 N.

Aby na Księżycu podnieść odważnik o masie 120 kg, potrzebowalibyśmy takiej siły, jaka jest potrzebna do podniesienia 20 kg na Ziemi.

Zauważmy, że jednostkę $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$ można zapisać także jako $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, bo $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Czyżby stała g oznaczała jakieś przyspieszenie? Zajmiemy się tym w następnym temacie.

Przykład. Maciek podniesie na Ziemi ciało o masie do 40 kg. Jaką maksymalną masę może mieć ciało, które mógłby podnieść na Księżycu?

Ponieważ na Księżycu działa 6 razy mniejsza siła ciężkości, działając taką samą siłą, można podnieść ciało o sześć razy większej masie: $6 \cdot 40 \text{ kg} = 240 \text{ kg}$.

Odpowiedź: Maciek na Księżycu mógłby podnieść ciało o masie nawet 240 kg.



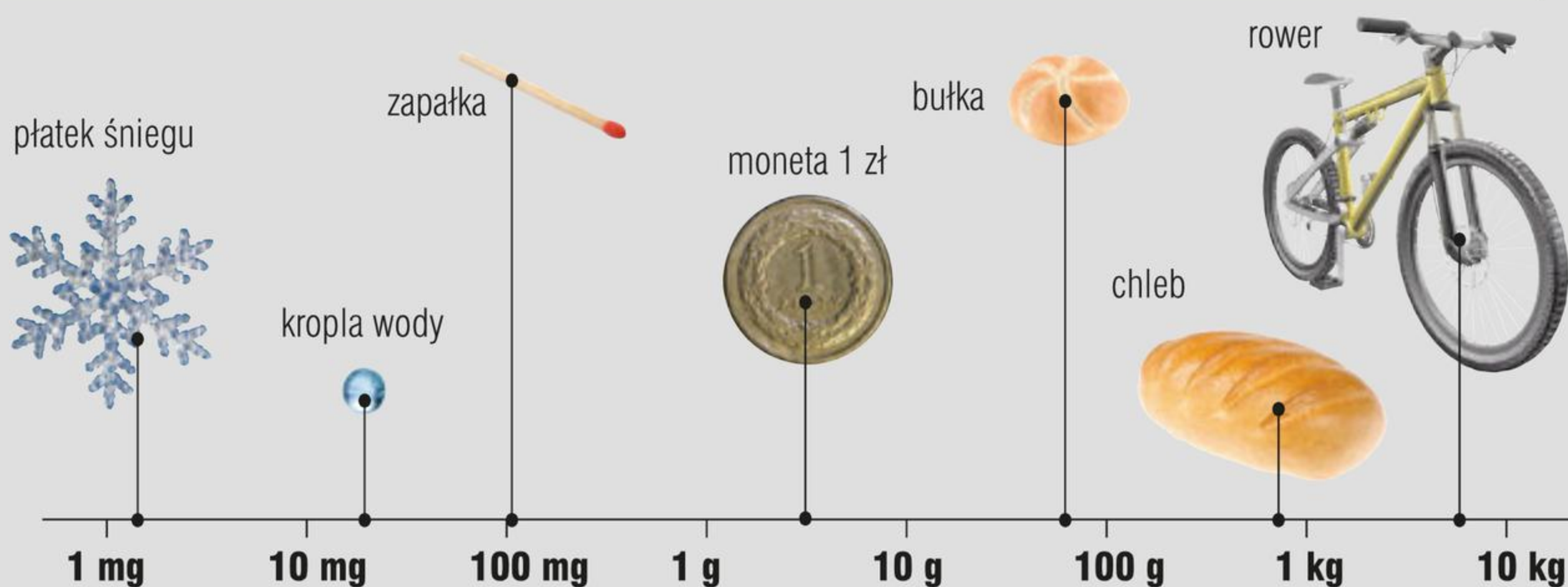
Zawodnikom grającym w koszykówkę na Księżycu skacze się dużo łatwiej, a ich skoki są dużo wyższe niż na Ziemi.

■ Masa a siła ciężkości

Przypomnijmy, że to masa (a nie siła ciężkości!) określa bezwładność ciała. Hokeista na Księżycu musi uderzać krążek taką samą siłą, jak gdyby gra toczyła się na Ziemi. Siła ta zależy od masy, a nie od siły ciężkości. Hokej na Księżycu nie różniłby się więc od ziemskiego. Inaczej natomiast wyglądałaby koszykówka.

Porcja 250 g wody tak samo ugasi pragnienie człowieka na Księżycu, jak na Ziemi. Odczulibyśmy tylko, że na Księżycu szklanka z wodą jest lżejsza.

Masy duże i małe



Daleko poza skalą:

Cząsteczka wody $3 \cdot 10^{-23} \text{ g} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,03 \text{ g}$

Bakteria $10^{-12} \text{ g} = 0,000\,000\,000\,001 \text{ g}$

■ Jak wyobrazić sobie, ile to jest 1 niuton

Czy umiesz sobie wyobrazić, jak dużą siłą jest np. 150 N? Czy jesteś dość silny, aby działać taką siłą na jakieś ciało?

Aby odpowiedzieć na te pytania, warto wyobrazić sobie ciało, na które działa (na Ziemi) siła ciężkości równa 150 N. Umiesz już obliczyć, że ma ono masę 15 kg. Zatem 150 N to siła potrzebna do podniesienia np. zgrzewki dziesięciu półtoralitrowych butelek wody.

■ Co właściwie mierzy waga

Zasada działania wagi zależy od jej rodzaju i przeznaczenia. Sprężynowe i elektroniczne wagi łazienkowe, a także wagi sklepowe mierzą nacisk ciała na szalkę. W wadze sprężynowej nacisk ten powoduje uginanie się sprężyny – im większy nacisk, tym mocniej się ona ugina. W przypadku wagi elektronicznej zasada działania jest bardziej skomplikowana, ale tutaj również mamy do czynienia z pomiarem siły nacisku.

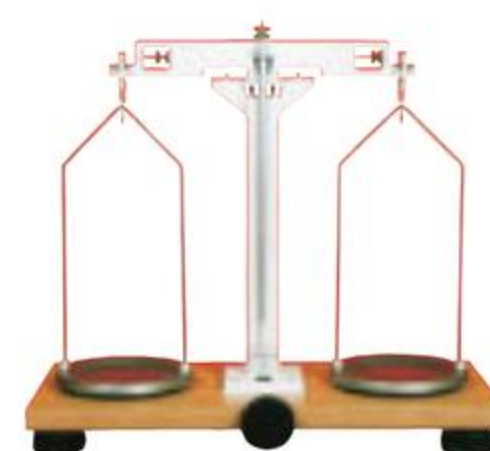
Waga sprężynowa jest w rzeczywistości siłomierzem i nie mierzy bezpośrednio masy ciała, lecz działającą na nie siłę ciężkości. Dla wygody użytkowników została wyskalowana w kilogramach, a nie w niutonach. Gdybyśmy jednak chcieli używać takiej wagi na Księżycu, pokazywałaby błędne wyniki. Należałoby zmienić jej skalę albo mnożyć wskazania wagi przez 6.

Inaczej działa waga szalkowa. Porównuje ona siłę ciężkości działającą na ciało z siłą ciężkości działającą na odważniki. Takiej wagi można używać na Księżycu, bo obie siły są tam tyle samo razy mniejsze.

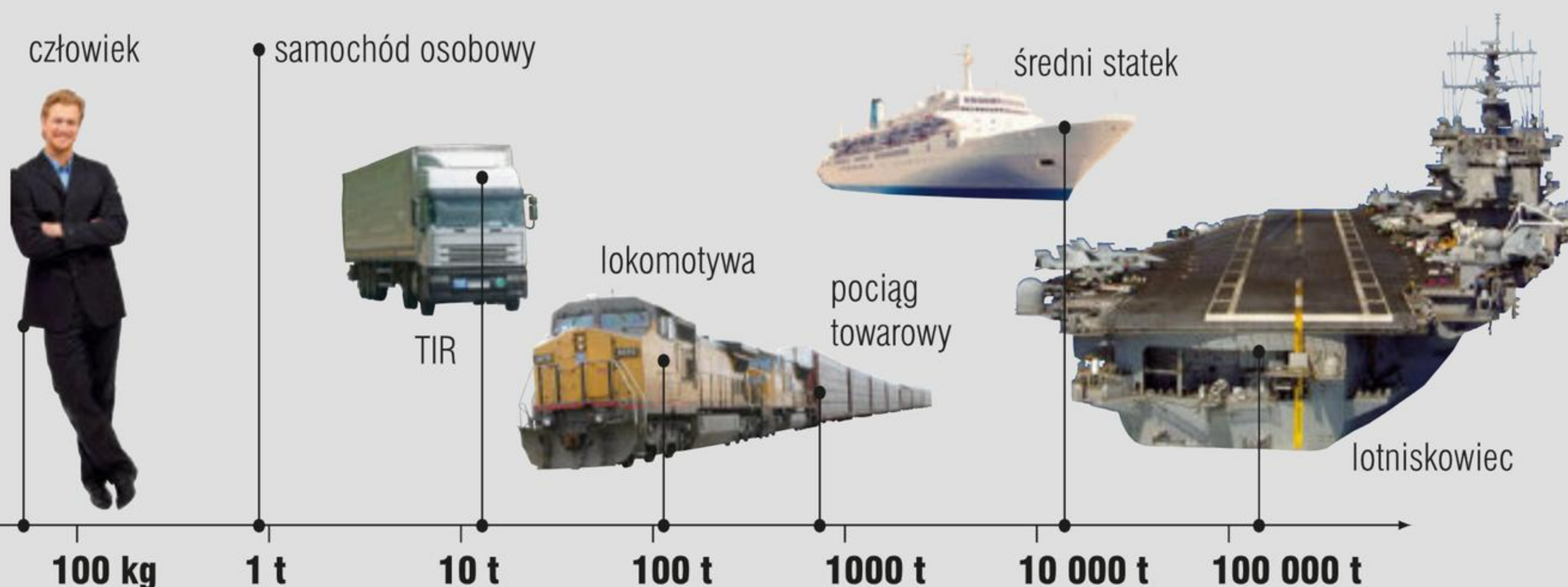
Ćwiczenie C. Czy mógłbyś działać siłą 20 000 N?



Sprężynowa waga łazienkowa.



Szalkowa waga laboratoryjna.



Ziemia $6 \cdot 10^{21} \text{ t} = 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ t}$

Proton	$1,67 \cdot 10^{-27}$ t = 0 000 000 000 000 000 000 000 000 t
Słońce	$2 \cdot 10^{27}$ t = 2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 t

Podsumowanie

- Ziemia przyciąga wszystkie ciała siłą zwaną siłą ciężkości, którą oznaczamy symbolem Q .
- Aby obliczyć siłę ciężkości działającą na ciało, mnożymy jego masę przez stałą wielkość $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

$$Q = m \cdot g$$

- Na ciało o masie 1 kg na Ziemi działa siła ciężkości około 10 N.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Oblicz, jaka siła ciężkości działa na ciało o masie:

- a) 5 kg, b) 25 dag, c) 7 g, d) 3 t.

2. Oblicz, jaką masę ma ciało, na które działa siła ciężkości:

- a) 0,3 N, b) 15 N, c) 800 N, d) 25 kN.

3. Podaj znany z życia codziennego przykład ciała, na które działa dana siła ciężkości.

- a) 1 N b) 10 N c) 1 kN d) 10 kN

4. Dopasuj masy do zwierząt. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

1. Pchła

2. Zając

3. Pszczoła

4. Jeż

5. Wilk

6. Wróbel



a) 0,5 mg

b) 25 g

c) 100 kg

d) 5 kg

e) 100 mg

f) 50 kg

g) 25 kg

h) 1 kg

Doświadczenie

Waga

1. Zbuduj wagę szalkową z dwóch kubeczków po serku, patyka długości 20–30 cm (np. do szaszłyków) i nitki.

2. W zaznaczonych miejscach na patyku wykonaj nożem nacięcia, aby sznurek się nie ślizgał. Ważne, aby odległości punktów zawieszenia kubeczków od punktu zawieszenia wagi były równe.

3. Sznurek zaczepiony pośrodku przywiąż do statywu, np. lampy albo innego dogodnego miejsca.

4. Jeśli waga przechyliła się na jedną stronę, obciąż odpowiedni kubeczek odrobiną plasteliny.

5. Zważ na niej kilka drobnych przedmiotów, np. gumkę do ścierania, ołówek, długopis. Jako odważników użyj monet. Ich masy podajemy w tabeli na stronie 238.



18 Spadek swobodny

■ Z jakim przyspieszeniem spada ciało

Doświadczenie

Weź dwie monety różnej wielkości i upuść je jednocześnie na stół z wysokości kilkudziesięciu centymetrów. Czy można zaobserwować różnice w czasie ich spadania?



Choć monety mają różną masę, spadają tak samo długo. Sprawdźmy, czy zgadza się to z naszą wiedzą z fizyki.

Popatrz na rysunki obok. Na wózek o dwa razy większej masie działa dwa razy większa siła. Z drugiej zasady dynamiki wynika, że oba wózki będą się poruszać z takim samym przyspieszeniem. Podobnie jest z ciałami spadającymi. Ciało o dwa razy większej masie Ziemia przyciąga dwa razy większą siłą. W rezultacie oba spadają z jednakowym przyspieszeniem. To przyspieszenie można obliczyć, korzystając z drugiej zasady dynamiki.

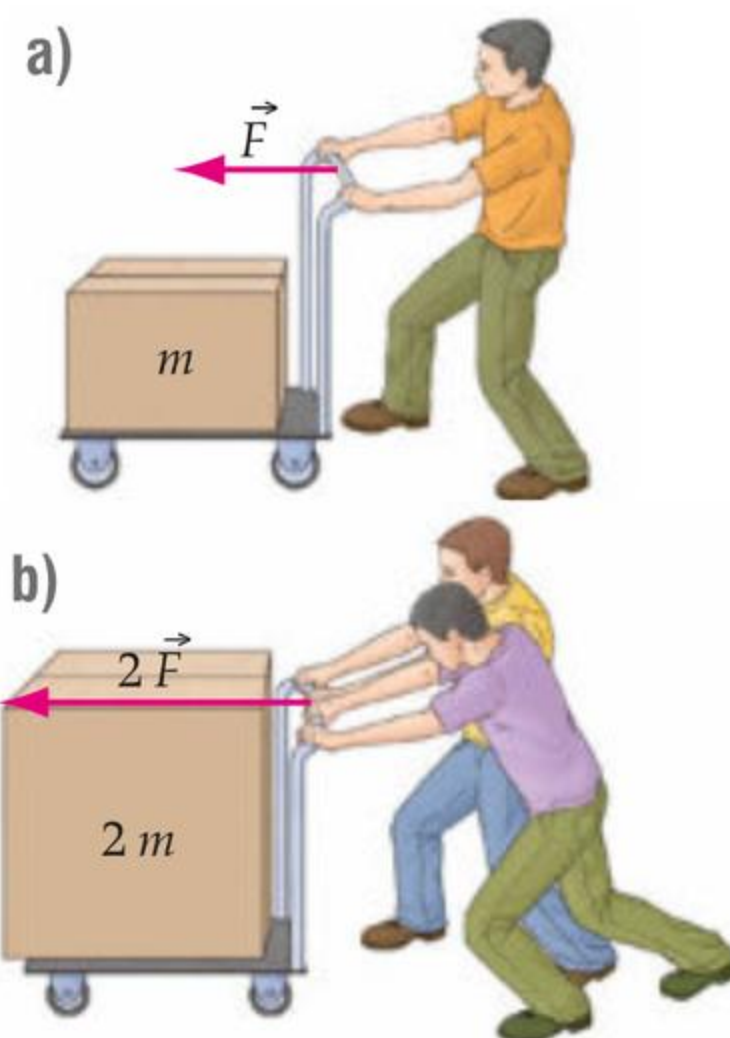
$$a = \frac{Q}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

Większa masa to większa siła ciężkości...
... ale i większa bezwładność.

Wszystkie ciała upuszczone swobodnie (bez oporu powietrza!) spadają z jednakowym przyspieszeniem
 $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przyspieszenie g nazywamy **przyspieszeniem ziemskim**. Ogólna nazwa, obejmująca także g na innych planetach i Księżycu, to **przyspieszenie grawitacyjne**.

Teraz widzimy, że liczba, przez którą mnożyliśmy masę, aby obliczyć siłę ciężkości, to przyspieszenie ziemskie.



Przyspieszenie wózków w przykładach a) i b) jest jednakowe.

Z historii

Ruchem spadających ciał zajmował się Galileusz. Podobno zrzucił przedmioty z Krzywej Wieży w Pizie. Wiemy, że badał ciała staczające się z pochylni, ale najważniejsze były jego „eksperymenty myślowe” – rozważania, jak spadałyby ciała w próżni. W czasach Galileusza próżni nie można było wytworzyć. Gdy jednak po wielu latach ludzie nauczyli się wypompowywać powietrze z naczyń, okazało się, że w pustej (bez powietrza) rurze piórko spada tak samo długo, jak kamień czy kawałek metalu. Galileusz miał rację!



Krzywa Wieża w Pizie.

Przykład. Oblicz:

- po jakim czasie od momentu strącenia w przepaść kamień osiągnie prędkość $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$,
- jaką drogę kamień przebędzie w tym czasie.

Ad **a)** Strącony kamień miał prędkość początkową: $v_p = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, zatem jego prędkość wzrosła o:

$$\Delta v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Korzystamy z definicji przyspieszenia: $a = \frac{\Delta v}{t}$ oraz $a = g$

Przekształcamy wzór i podstawiamy dane:

$$t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{14 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,4 \text{ s}$$

Ad **b)** Korzystamy ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym:

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1,4 \text{ s})^2 \approx 10 \text{ m}$$

Odpowiedź: Kamień rozwinie taką prędkość po czasie 1,4 s i przebędzie do tego momentu drogę 10 m.

Możemy zatem powiedzieć, że samochód uderzający w masywną przeszkodę z prędkością $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ulegnie podobnym zniszczeniom, jak po zrzuceniu go w przepaść o głębokości 10 m (odpowiada to wysokości trzeciego piętra).

Opór powietrza

Dlaczego piórko albo kawałek papieru nie spada tak samo jak moneta i kamień? W naszych obliczeniach nie uwzględnialiśmy oporu powietrza. To właśnie on odpowiada za różnicę w spadaniu ciał. W próżni piórko spada tak szybko, jak kamień.

Doświadczenie

Wytnij z papieru nieco mniejszy od monety krążek. Połóż go na niej i upuść oba ciała na podłogę. Co obserwujesz?



To doświadczenie powinno cię przekonać, że nawet kawałek papieru spada tak samo szybko, jak metal, jeśli nie hamuje go powietrze. W doświadczeniu opór powietrza „bierze na siebie” moneta, więc krążek papieru może spadać bez oporów. Gdyby „sam z siebie” miał spadać wolniej od monety, pozostałby za nią w tyle. Przecież nie jest do niej przymocowany!

Podsumowanie

- Na Ziemi wszystkie ciała spadające bez oporu powietrza poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z jednakowym przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Piórko spada w próżni tak samo jak kamień. Różnica między czasem spadku piórka i kamienia w powietrzu wynika z tego, że na piórko działa inna siła oporu powietrza niż na kamień.

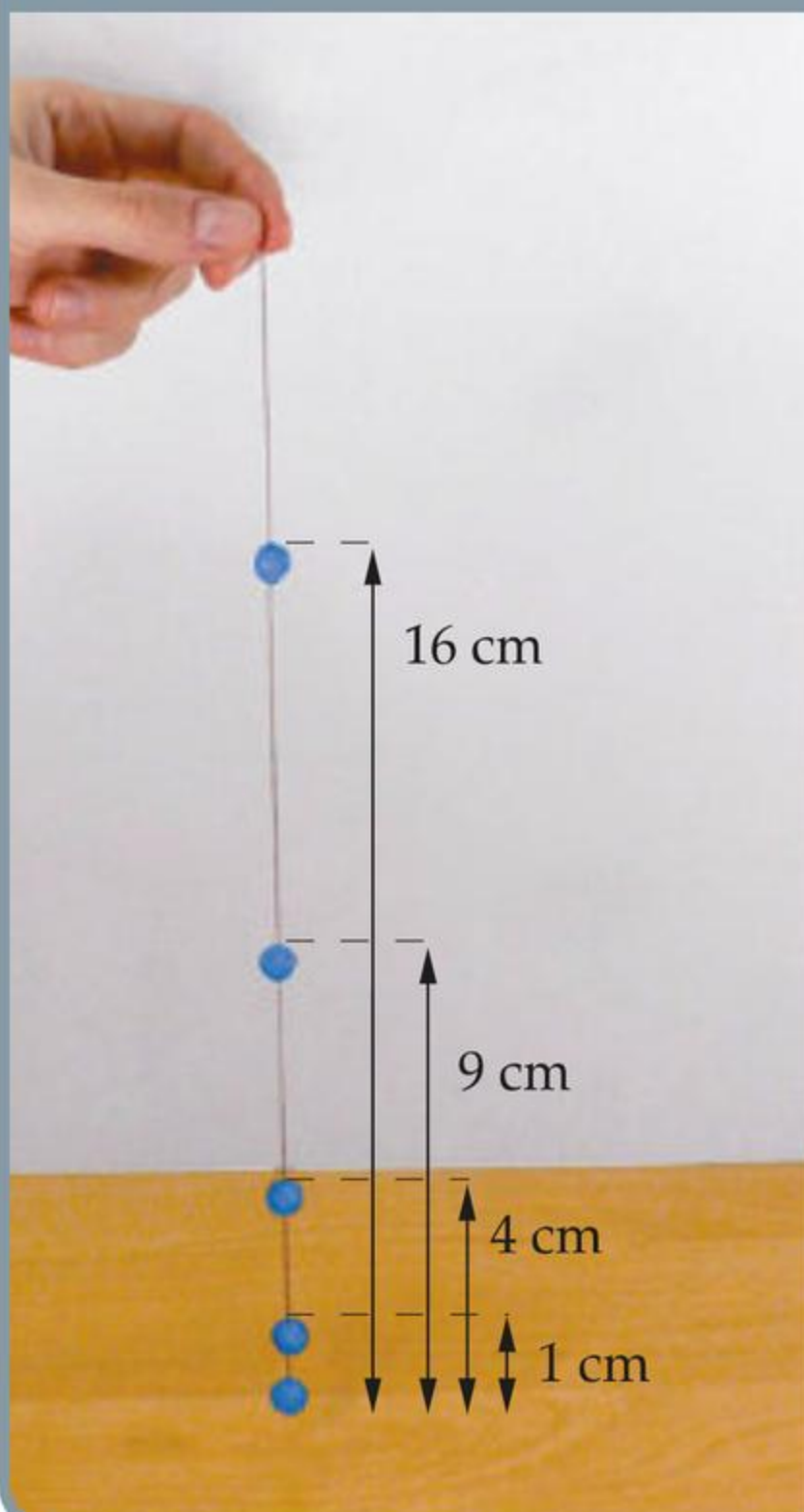
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Ołowiana kulka, spadając w próżni, przebywa pierwszy metr w ciągu około 0,45 s. Oblicz, w jakim czasie przebędzie tę odległość spadająca w próżni kulka styropianu.
2. Oceń, co spada szybciej: piłeczka pingpongowa w próżni czy stalowa śruba w powietrzu. Uzasadnij odpowiedź.
3. Oblicz prędkość, jaką osiągnie młotek w czasie pierwszych 2 s spadku swobodnego. Wyjaśnij, jak zmieniłaby się odpowiedź, gdyby uwzględnić opór powietrza.
4. Oblicz, po jakim czasie spadający kamień osiągnie prędkość:
a) $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, b) $80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, c) $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, d) $300 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
5. Na Księżycu nie ma powietrza, a więc i oporu powietrza. Przyspieszenie grawitacyjne jest tam sześć razy mniejsze niż na Ziemi. Podaj przykład ciała, które upuszczone z wysokości 1 m na Księżycu będzie spadało szybciej niż na Ziemi, i ciała, które w tej sytuacji na Księżycu będzie spadało wolniej.

Doświadczenie



Sznurek z kulkami

1. Na nitce długości ponad 100 cm przyklep małe kulki z plasteliny: jedną na końcu nitki, kolejne w odległościach $1^2 = 1 \text{ cm}$, $2^2 = 4 \text{ cm}$, ..., $10^2 = 100 \text{ cm}$ od końca nitki.
 2. Chwyć nitkę za wolny koniec i ustaw na takiej wysokości, aby nitka swobodnie zwisała i dotykała obciążonym końcem podłogi.
 3. Puść nitkę i uważnie słuchaj uderzeń kulek o podłogę.
- Odległości między kulkami są coraz większe (1 cm, 3 cm, 5 cm, ...).
- Czy odstęp między uderzeniami także są coraz dłuższe? Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.

19 Trzecia zasada dynamiki

Doświadczenie ⚠

Stań na wrotkach albo deskorolce obok ściany i popchnij tę ścianę. Zacznesz się poruszać. Jakie ciało zadziało na ciebie siłą?



Odpowiedź „Ja” na pytanie z doświadczenia nie jest poprawna. Spróbuj się popchnąć, stojąc na deskorolce z dala od ściany! Uważaj! Możesz się przewrócić. Poprawna, choć może zaskakująca, odpowiedź brzmi: „To ściana mnie popchnęła”. Nie będzie ona aż tak zaskakująca, jeśli zrozumiesz, że gdy jedno ciało działa pewną siłą na drugie, drugie zawsze „odpowiada” mu siłą zwaną siłą reakcji.

Trzecia zasada dynamiki:

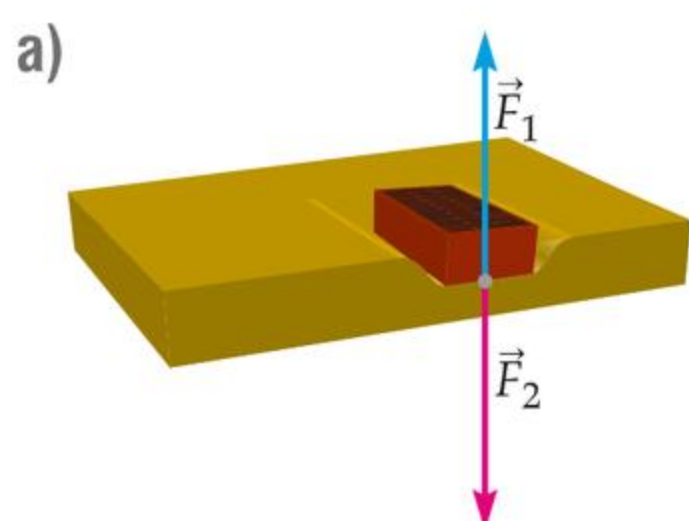
Gdy ciało A działa na ciało B pewną siłą F_1 , to ciało B działa na ciało A siłą F_2 o tej samej wartości, ale skierowaną w przeciwną stronę.

Gdy pchasz ścianę (siła akcji), ściana pcha ciebie (siła reakcji).

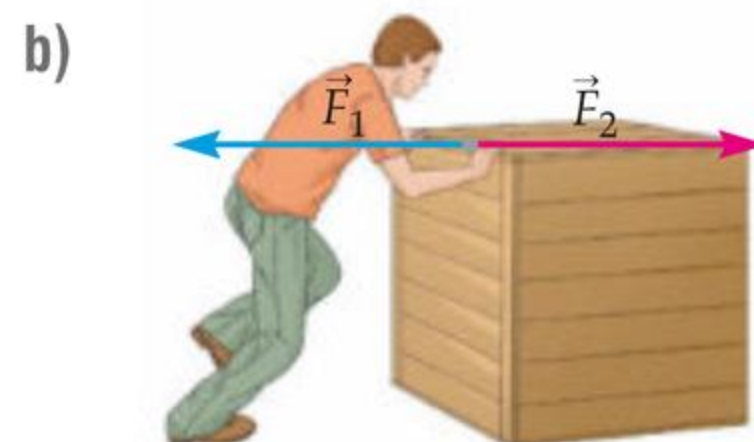
■ Przykłady sił reakcji

Gdy położymy cegłę na materacu (patrz rys. a), działa ona na materac siłą powodującą zmianę jego kształtu (ugięcie). Materac także działa siłą na cegłę. Ta siła równoważy siłę ciężkości, dzięki czemu cegła się nie porusza.

Siła podtrzymująca ciało leżące na jakimś podłożu to siła reakcji określona przez trzecią zasadę dynamiki.



$\vec{F}_1$ – siła reakcji działająca na cegłę,
 $\vec{F}_2$ – siła akcji działająca na materac.



$\vec{F}_1$ – siła reakcji działająca na pchającego,
 $\vec{F}_2$ – siła akcji działająca na skrzynię.

Siły akcji i reakcji nigdy się nie równoważą, ponieważ działają na różne ciała.

Na rysunku a) (s. 92) jedna siła działa na cegłę, a druga – na materac. Gdy pchasz skrzynkę po podłodze, działasz na nią pewną siłą (rys. b s. 92). Czujesz jednak, że i skrzynka działa na ciebie pewną siłą, która cię zatrzymuje. Gdyby nie ta siła, można by poruszać się szybciej.

Równe siły, różne efekty

Z poprzednich lekcji wiesz, że Ziemia przyciąga jabłko o masie 0,2 kg siłą 2 N. Okazuje się, że zgodnie z trzecią zasadą dynamiki i jabłko przyciąga Ziemię siłą 2 N. Dlaczego więc jabłko spada na Ziemię, a Ziemia nie spada na jabłko?

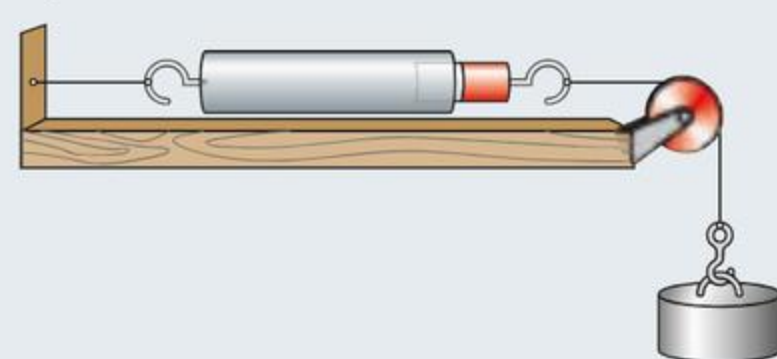
Skutki działania sił o jednakowej wartości mogą być różne. Masa Ziemi jest około 10^{25} (czyli 10 000 000 000 000 000 000 000 000) razy większa od masy jabłka, więc uzyskiwane przez nią przyspieszenie jest 10^{25} razy mniejsze niż przyspieszenie jabłka. Ruchu z takim przyspieszeniem nie możemy zaobserwować, i to nie tylko dlatego, że poruszamy się razem z Ziemią, ale także dlatego, że jest ono po prostu zbyt małe.

Doświadczenie z siłą reakcji

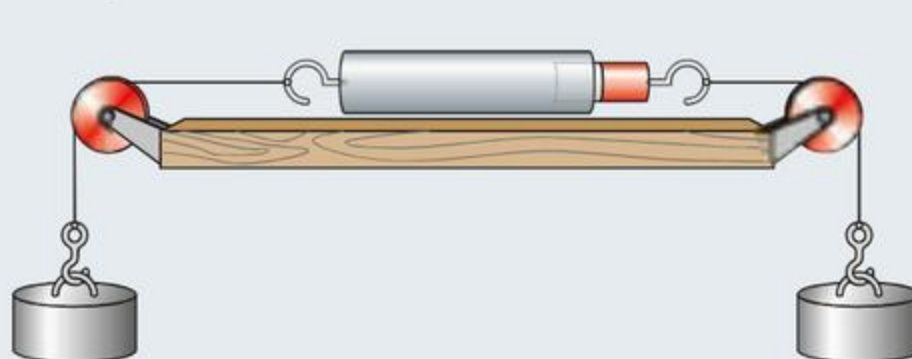
Doświadczenie

1. Zamocuj siłomierz tak jak na rysunku a). Powieś na nitce odważnik. Zanotuj w zeszycie wskazanie siłomierza.

a)



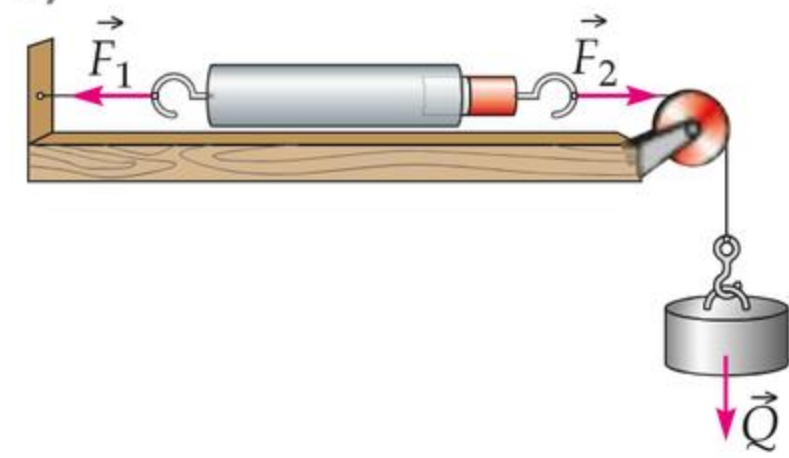
b)



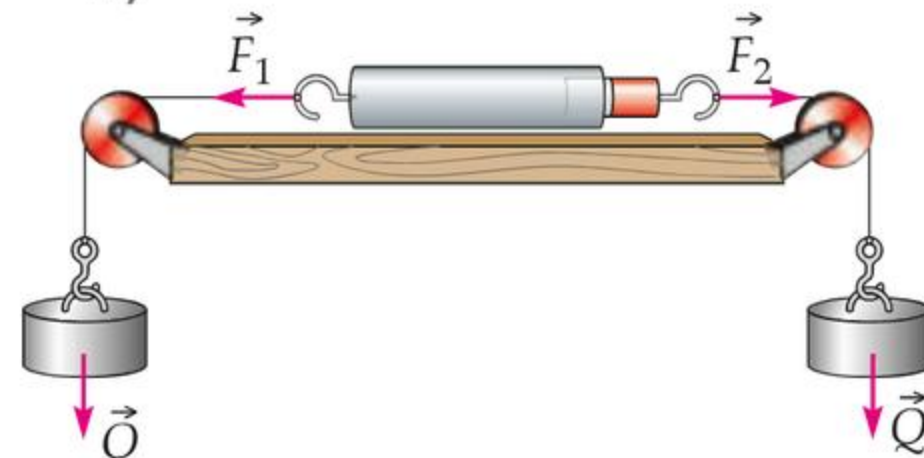
2. Z dwóch stron siłomierza powieś dwa takie same odważniki (rysunek b). Czy umiesz przewidzieć, jaką siłę wskaże siłomierz? Sprawdź swoje przewidywania.

W drugiej części doświadczenia z każdej strony działa siła równa sile ciężkości Q działającej na odważniki. Wynik doświadczenia jest taki sam, jak w sytuacji, gdy koniec siłomierza przymocowany jest do ściany, tyle że tutaj jedną z sił jest siła reakcji ściany.

a)



b)



$$F_1 = F_2 = Q$$

Na rysunkach a) i b) wskazania siłomierzy są jednakowe.

Podsumowanie

- Gdy jedno ciało działa na drugie pewną siłą, to drugie ciało działa na pierwsze siłą reakcji o tej samej wartości, ale zwróconą w przeciwną stronę.
- Siły te nie równoważą się, ponieważ działają na różne ciała. Z równości wartości tych sił nie wynika także, że mają jednakowy skutek.
- Nie można działać siłą na samego siebie. Jeśli podskakując, odpychasz się od Ziemi, to działasz na Ziemię pewną siłą, a Ziemia „odpowiada” ci siłą reakcji. Siła reakcji Ziemi powoduje twój ruch do góry.
- Korzystając z trzeciej zasady dynamiki, można wyjaśnić zjawisko odrzutu (patrz infografika poniżej).

Siła reakcji umożliwia ruch

Zjawisko odrzutu nie ogranicza się do odrzutowców. Polega ono na tym, że zwierzę (lub pojazd) działa pewną siłą na powietrze, wodę lub ziemię, dzięki czemu działa na nie siła reakcji. Ta siła wprawia go w ruch.



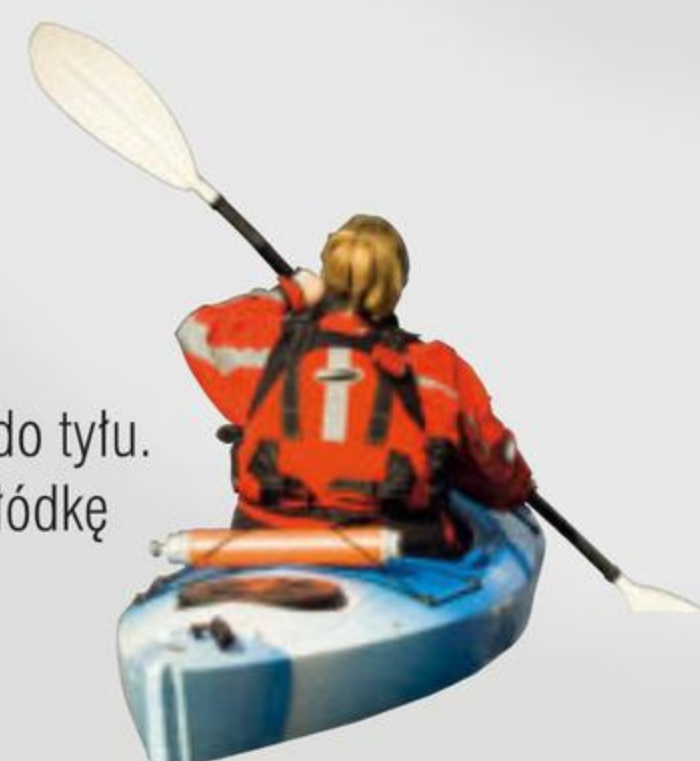
- Skrzydło odpycha powietrze w dół. Powietrze pcha ptaka w górę.



- Samochód pcha powierzchnię jezdni do tyłu. Zwróć uwagę na poruszane przez niego kamyczki! Nawierzchnia jezdni pcha samochód do przodu.



- Ośmiornica wyrzuca strumień wody i sama porusza się w przeciwną stronę na zasadzie odrzutu.



- Wioślarz odgarnia wodę do tyłu. Woda popycha łódkę do przodu.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Nazwij siłę reakcji, która działa w każdej z opisanych sytuacji:

- a) szafa naciska na podłogę,
- b) Tomek pcha wózek,
- c) Magda podnosi paczkę do góry.

2. Określ, jakie ciało działa na pływaka siłą popychającą go do przodu:

- a) w chwili, gdy odbija się od brzegu basenu,
- b) gdy płynie w basenie z dala od brzegu?



- Śmigło odpycha powietrze do tyłu. Powietrze pcha samolot do przodu.



- Wirnik pcha powietrze w dół. Powietrze pcha helikopter w górę.



- Silnik odrzutowca wyrzuca strumień gazów do tyłu. Gazy pchają samolot do przodu.

3. Helikopter, na który działa siła ciężkości 20 kN, unosi się na stałej wysokości. Oblicz wartość siły, jaką jego śmigło działa na powietrze.

4. Paweł ma masę 60 kg. Oblicz siłę, jaką Paweł przyciąga Ziemię. Wyjaśnij, dlaczego Paweł spada na Ziemię, a nie Ziemia na Pawła.

5. Jeśli pcham wózek siłą 100 N, to wózek pcha mnie taką samą siłą skierowaną w przeciwną stronę. Dlaczego te siły się nie równoważą?

 6. Dwoje dzieci chce zerwać sznurek. Czy łatwiej im będzie to osiągnąć, gdy będą ciągnąć z dwóch stron, czy też powinny przywiązać jeden koniec do słupa i wspólnie ciągnąć za drugi? Uzasadnij odpowiedź.

Doświadczenia

Odrzutowiec za złotówkę

Zademonstruj zjawisko odrzutu, wykorzystując balonik.

Samochodzik i książka

1. Przygotuj kilka książek w twardych oprawkach o różnej grubości.
2. Jedną z nich połóż na dwóch okrągłych ołówkach lub pisakach.
3. Weź samochodzik napędzany sprężyną lub kołem zamachowym. Wpraw jego koła w ruch i postaw go na książce.
4. Zmieniając książki, zaobserwuj, jak odrzut książki zależy od jej masy.



20 Tarcie

Doświadczenie

Do pustej butelki po napoju wsyp (do pełna) suchego ryżu. Potrząśnij butelką, a następnie dosyp ryżu. Włóż do niej długopis, a następnie podnieś go. Jeżeli wysuwa się z butelki, włóż go i wyjmij. Czynność tę powtórz kilka razy.

W końcu butelka się podniesie zawieszona na długopisie.

Butelkę można podnieść dzięki sile tarcia. Wspominaliśmy już o oporach ruchu. Należy do nich tarcie. Teraz zajmiemy się nim dokładniej.

Doświadczenie

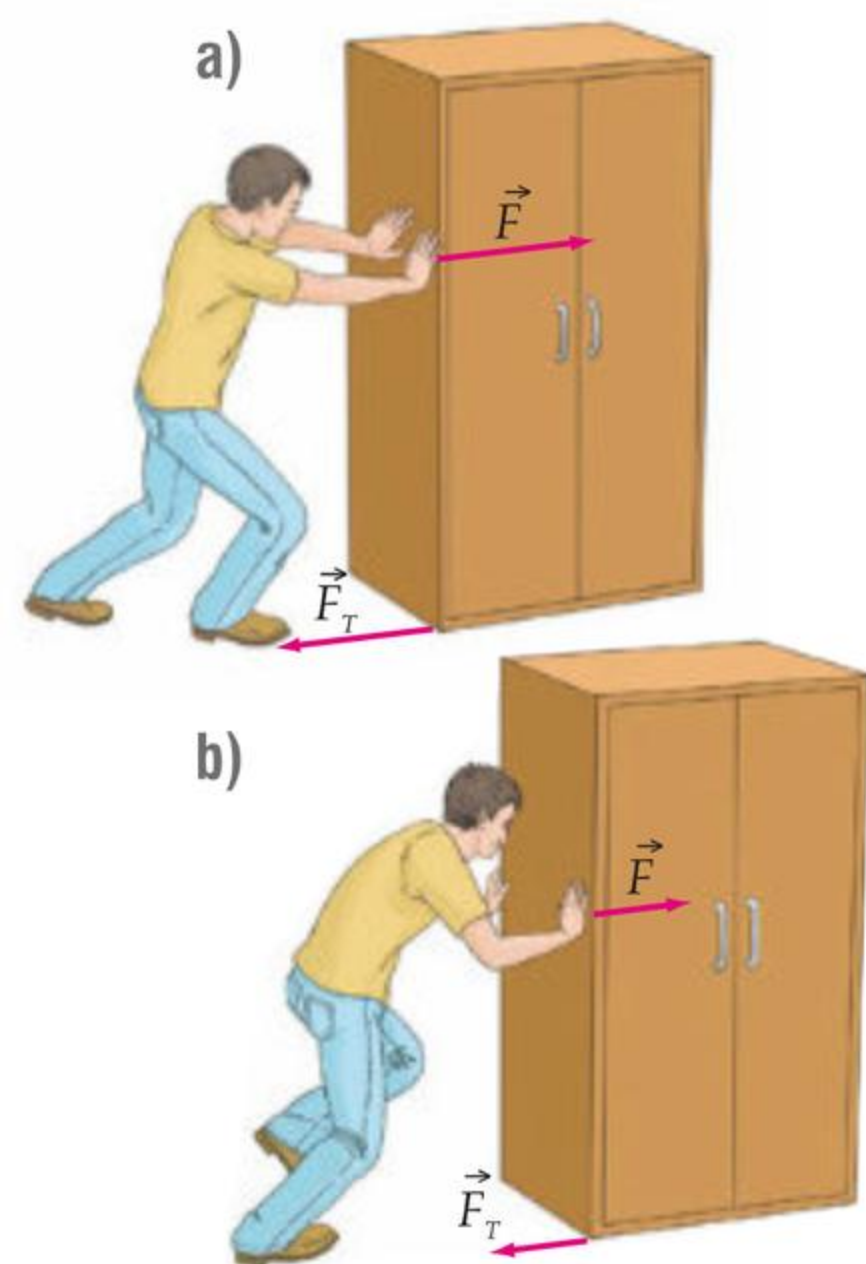
Połóż na ławce swój plecak. Do jego uchwyty przymocuj siłomierz i ciągnij go poziomo, stopniowo zwiększając siłę. Zwróć uwagę na wskazania siłomierza. Jaka siła jest potrzebna, aby poruszyć plecak? Jaka siła jest potrzebna, aby utrzymać go w ruchu?

■ Tarcie statyczne i kinetyczne

Gdy zaczynasz ciągnąć plecak, nie porusza się on, choć działasz na niego siłą. Jak to możliwe? Otóż pojawia się siła tarcia $\vec{F}_T$, która równoważy twoją siłę. Im większą siłą działasz, tym większa jest siła tarcia.

Siłę tarcia, która działa na spoczywające ciało i uniemożliwia jego ruch, nazywamy **siłą tarcia statycznego (tarciem statycznym)**.

Siła tarcia statycznego zwiększa się wraz z działającą siłą tylko do pewnej wartości. Jest to **maksymalna wartość siły tarcia statycznego**. Gdy działająca siła jest od niej większa, ciało zaczyna się



Człowiek, próbując przesunąć szafę, działa na nią siłą $\vec{F}$,

$\vec{F}_T$ – siła tarcia,

a) szafa spoczywa

– tarcie statyczne,

b) szafa porusza się

– tarcie kinetyczne.

poruszać. W ruchu nadal działa na nie siła tarcia, którą nazywamy **siłą tarcia kinetycznego (tarcie kinetycznym)**. Jak można zaobserwować, siła tarcia kinetycznego jest mniejsza od maksymalnej siły tarcia statycznego.

Tarcie statyczne występuje, gdy ciało jest nieruchome, a tarcie kinetyczne – gdy ciało porusza się. Wartość siły tarcia kinetycznego jest mniejsza od maksymalnej wartości siły tarcia statycznego.

■ Zmniejszanie tarcia

Tarcie powoduje, że aby wykonać określoną czynność, np. przesunąć mebel, wprowadzić w ruch koła roweru, musimy działać dużą siłą. Prowadzi ono także do zużycia części w maszynach. Często więc staramy się je zmniejszać.

Ćwiczenie. Romek chce przesunąć po podłodze ciężką szafę pełną ubrań. Nie wystarcza mu jednak siły. Co powinien zrobić? Podaj jak najwięcej sposobów.

Tarcie zależy od nacisku. Im mocniej ciało naciska na podłoże, tym większe jest tarcie. W wypadku szafy stojącej na podłodze nacisk jest równy działającej na nią sile ciężkości, więc wyjmując z niej rzeczy, zmniejszamy tarcie.

Tarcie zależy także od rodzaju stykających się powierzchni. Łatwiej jest przesunąć przedmiot po lodzie niż po ziemi. W wielu maszynach trące o siebie części pokrywamy smarem, dzięki czemu tarcie jest mniejsze.

Możemy też wykorzystać fakt, że tarcie jest znacznie mniejsze przy toczeniu niż przy przesuwaniu ciał. Już budowniczowie egipskich piramid podkładali pod blok kamienia belki drewna, dzięki czemu znacznie łatwiej było go ciągnąć.

Dziś to samo zjawisko wykorzystujemy w łożyskach. Przesuwanie się jednej części po drugiej zamieniamy na ruch obrotowy kulek lub wałeczków łożyska.

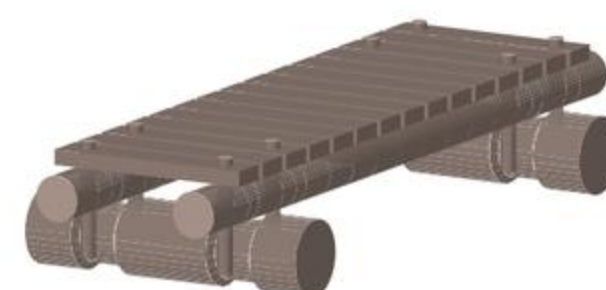
Siła tarcia zależy od nacisku, rodzaju stykających się powierzchni i jest mniejsza przy toczeniu niż przy przesuwaniu.

■ Pożyteczne tarcie

Jak już wiesz, często staramy się zmniejszać tarcie. Są jednak sytuacje, w których jest ono pożyteczne. Gdy chcemy zatrzymać rower, dociskamy klocki hamulcowe do obręczy kół. Tarcie obręczy o klocki powoduje zatrzymanie roweru. Podobnie działają hamulce w samochodzie.

Z historii

Koło wynaleziono 5000 lat temu. Nie stało się to od razu. Najpierw pod przesuwany ciężar podkładano okrągłe kłody drewna. Później zbudowano „wóz” leżący na dwóch kłodach, ale do nich nieprzymocowany.



Z czasem kłody zastąpiła osie sztywno umocowanymi kołami (co utrudnia skręcanie – na zakręcie koła powinny obracać się z różnymi prędkościami). Później wynaleziono koła obracające się na nieruchomej osi. Ciekawe, że wysoko rozwinięte cywilizacje Majów i Azteków w Ameryce nie znały koła. Ten wynalazek na kontynent amerykański przywieźli dopiero Europejczycy.



Łożyska.



Klocki hamulcowe dociskane do obręczy kół w rowerze.



Gdy odpychasz ziemię siłą $\vec{F}_1$,
ziemia działa na nogę siłą $\vec{F}_2$.

Tarcie wykorzystujemy jednak nie tylko do hamowania, ale i do nadawania ciałom prędkości. Gdy idziesz, twój but nie przesuwają się po ziemi, ponieważ między nim a podłożem działa siła tarcia. Jeśli tarcie jest bardzo małe, na przykład na lodzie, trudno jest chodzić. Gdyby tarcie nie było, w ogóle nie moglibyśmy chodzić, nieustannie byśmy się ślizgali.

Podobnie tarcie między oponami samochodu a jezdnią umożliwia jego rozpędzanie. Większe tarcie występuje latem, gdy powierzchnia jest sucha, niż zimą na oblodzonej nawierzchni.

Podsumowanie

- Gdy chcemy poruszyć ciało, pojawia się siła tarcia statycznego. Zwiększa się ona wraz z siłą, którą działamy, i równoważy ją aż do pewnej maksymalnej wartości. Gdy działamy siłą większą od tej maksymalnej wartości, ciało zaczyna się poruszać.
- Na poruszające się ciało działa siła tarcia kinetycznego. Jest ona mniejsza od maksymalnej siły tarcia statycznego.
- Tarcie jest tym większe, im większy jest nacisk ciała na podłoże. Tarcie zależy także od rodzaju powierzchni.
- Tarcie butów lub opon o podłoże umożliwia nam chodzenie i jeżdżenie.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Aby szybciej zahamować, jadąc na rowerze, mocniej przyciskasz hamulec. Dlaczego?
2. Wskaż, które z zaznaczonych części roweru służą do zmniejszania, a które – do zwiększania tarcia.



3. Odpowiedz na poniższe pytania.

a) Czy tarcie skórki od banana o podłogę jest większe czy mniejsze niż tarcie butów o podłogę?

b) Czy tarcie skórki od banana o buty jest większe czy mniejsze niż tarcie tej skórki o podłogę? Od czego to zależy?

4. Pewien uczeń powiedział: „Na stojącą szafę działa siła tarcia. Tej siły nic nie równoważy, więc szafa powinna się sama poruszać”. Na czym polega jego błąd?

5. Adam próbuje pchnąć ciężkie pudło siłą 100 N. Pudło się nie porusza. Jaka siła tarcia działa na pudło?

Doświadczenia

Taśma i ołówek

1. Na przechylony ołówek nałóż rolkę taśmy klejącej. Ustaw go tak, aby taśma się nie zsuwała.
2. Gdy nieco obrócisz ołówek dookoła własnej osi (nie zmieniając jego nachylenia), taśma się zsunie. Dlaczego? Przypomnij sobie, co wiesz o tarcii kinetycznym i statycznym.



Sklejone bez kleju

1. Weź dwie książki podobnej wielkości w miękkiej oprawie. Połóż je obok siebie i „potasuj” ich kartki tak, jak wprawni gracze tasują karty (zdjęcie 1.).
2. Zbliź książki do siebie tak bardzo, jak to tylko jest możliwe.
3. Podnieś teraz jedną z książek za grzbiet.

Druga książka „wisi” w powietrzu, choć jej nie trzymasz!

1.



2.



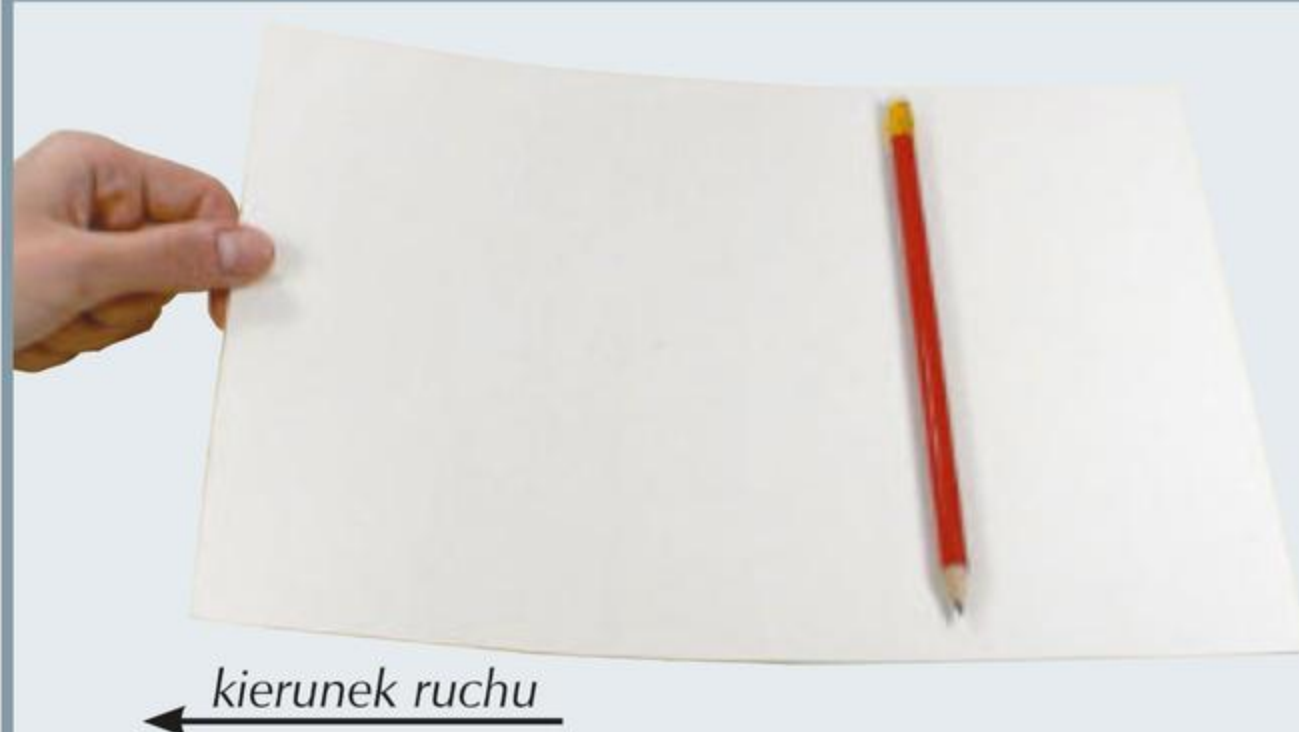
3.



D Jeszcze o bezwładności ciał

■ Ruch po prostej

Doświadczenie



1. Połóż ołówek lub długopis (okrągły, bez zatyczki lub innych elementów utrudniających toczenie) na kartce papieru. Szybko pociągnij za kartkę. Co się stało?

2. Połóż ołówek z powrotem na kartce i zacznij ją ciągnąć, podtrzymując ołówek. Gdy kartka będzie się poruszać, puść ołówek. Czy teraz ołówek zostaje w tyle? Zatrzymaj kartkę. Co się stało z ołówkiem?

Ołówek spadł z kartki po jej pociągnięciu, ponieważ został na swoim miejscu, gdy kartka się poruszyła. Podobnie, gdy kartka się zatrzymała, ołówek dalej poruszał się ze stałą prędkością.

Gdyby na kartce siedziała mrówka, wydawałoby się jej, że coś szarpnęło ołówek, przez co stoczył się do tyłu. Potem, przy hamowaniu, zobaczyłaby, że ołówek nagle zaczął się toczyć do przodu. Mrówka odczułaby także, że działa na nią „siła” powodująca, że spada z kartki.

Podobne wrażenia mamy w przyspieszających i hamujących pojazdach. Gdy samochód przyspiesza, czujemy, że jakaś tajemnicza siła skierowana przeciwnie do kierunku ruchu samochodu wciska nas w fotel. W rzeczywistości nie działa na nas żadna „siła wgniatająca” – my tylko „chcemy” poruszać się ze stałą prędkością, a samochód zmienia prędkość. Naprawdę działa więc na nas siła skierowana w stronę, w którą jedzie samochód. To fotel naciska na nasze plecy, aby nadać nam większą prędkość. Gdyby nie ta siła, zostalibyśmy z tyłu za samochodem.

Gdy znajdujemy się w pojeździe poruszającym się z pewnym przyspieszeniem, odczuwamy pozorną siłę. W rzeczywistości jest ona tylko wynikiem bezwładności – dążenia ciała do zachowania stałej prędkości.

■ Ruch po krzywej

Gdy samochód skręca w prawo, mamy wrażenie, że jakaś siła odciąga nas w lewo. Również w tym wypadku jest to tylko nasze odczucie. My „chcemy” jechać prosto, a samochód skręca.

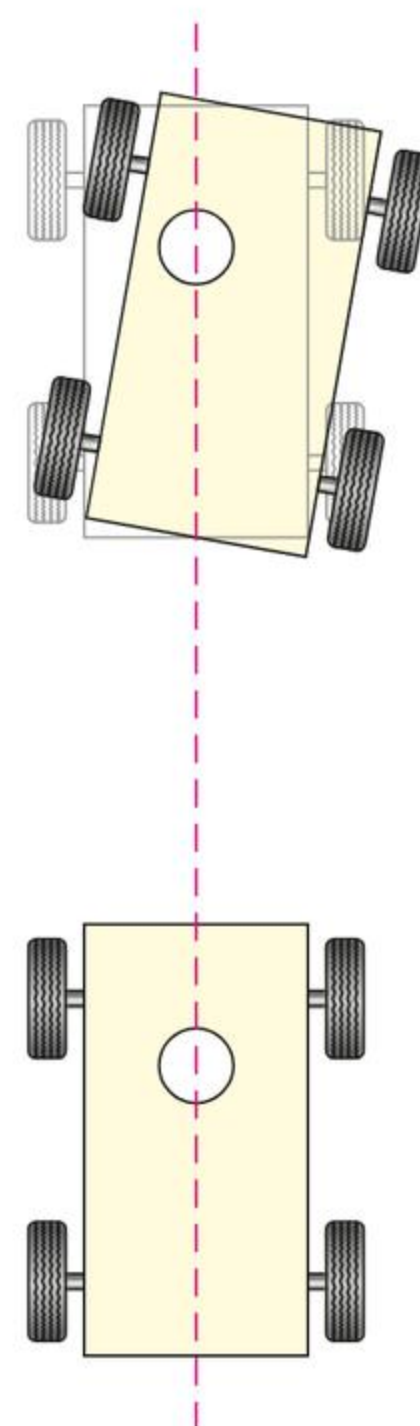
W ruchu po okręgu odczuwamy pozorną siłę skierowaną od środka na zewnątrz okręgu, nazywaną siłą odśrodkową. Również ta siła jest tylko złudzeniem; wynika z bezwładności ciała.



Krzesółko obracającej się karuzeli wykonuje ruch po okręgu, siedzący na nim człowiek odczuwa siłę odśrodkową.

■ Dlaczego wydaje się nam, że działa siła

Gdy znajdujemy się w jadącym pojeździe, myślimy raczej o swoim ruchu względem pojazdu, a nie względem ziemi. Jeśli tramwaj ruszy, a pasażer poczuje siłę ciągnącą go w tył, to pomyśli, że musiała zadziałać na niego jakaś siła. Nie będzie wyglądał przez okno i sprawdzał, czy porusza się względem przystanku.



Piłka leżąca na skręcającym w prawo wózku porusza się po prostej (względem ziemi), jednak osobie siedzącej na wózku wydaje się, że piłka toczy się w lewo.

Podsumowanie

- Gdy pojazd hamuje, jego pasażerowie czują, jakby jakaś siła ciągnęła ich do przodu. W rzeczywistości nic ich nie ciągnie – poruszają się nadal z tą samą prędkością, a pojazd zostaje w tyle. Analogicznie jest, gdy pojazd przyspiesza – pasażerowie czują, jakby jakaś siła wgniatała ich w fotele, a w rzeczywistości to fotele popychają ich do przodu, aby nie pozostali w tyle za pojazdem.
- Gdy pojazd skręca w lewo, pasażerowie odczuwają pozorną siłę działającą w prawo (i odwrotnie).

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Mateusz siedzi w pociągu tyłem do kierunku jazdy. Oceń, kiedy odczuwa „siłę” wciskającą go w fotel – gdy pociąg przyspiesza, czy gdy zwalnia.

2. Pan Rafał położył na siedzeniu w pociągu ciężką walizkę. Boi się jednak, że przy nagłym hamowaniu może mu ona spaść na podłogę. Określ, z której strony powinien ją położyć. Odpowiedź uzasadnij.



3. Wirówka ma bęben z dziurkami, przez które nie przedostaną się ubrania, ale może przepłynąć woda. Gdy bęben się obraca, woda wypływa przez dziurki na zewnątrz. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

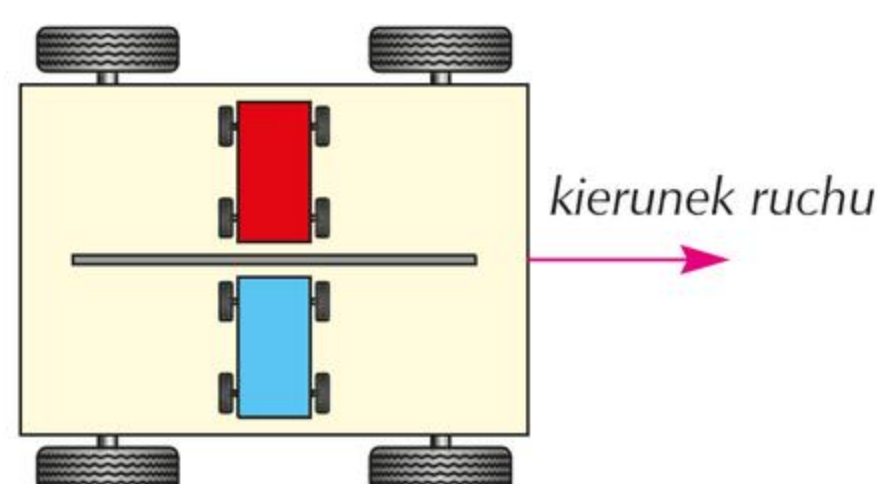
4. Fotografia przedstawia, jak należy rąbać duże kawałki drewna.



Zauważ, że drwal trzyma siekierę ostrzem do góry – drewno jest nad nią, a nie pod nią! Wyjaśnij, dlaczego drewno pęka po uderzeniu obucha siekiery w pień.

5. Na dużym wózku ustawiono trwałą перегородę i dwa małe wózek. Powiedz, który z nich spadnie, gdy większy wózek skreśli:

a) w lewo, b) w prawo.



Doświadczenie

Bezwładność monety

- Położ na wierzchu kubka kartkę papieru, a na niej – monetę.
- Gdy powoli pociągniesz kartkę, moneta odsunie się razem z nią. Jeśli szarpniesz kartkę, moneta pozostanie nad kubkiem i wpadnie do środka.
- Omów to doświadczenie z punktu widzenia mrówki siedzącej na kartce.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Pierwsza zasada dynamiki: jeśli siła wypadkowa działająca na ciało jest równa zeru, to ciało albo nie porusza się, albo jeśli wcześniej się poruszało, nadal będzie się poruszać z tą samą prędkością i w tę samą stronę.
2. Druga zasada dynamiki: jeśli na ciało o masie m działa stała siła wypadkowa F różna od zera, to porusza się ono ze stałym przyspieszeniem: $a = \frac{F}{m}$.
3. Ziemia przyciąga każde ciało siłą zwaną siłą ciężkości. Dla ciała o masie 1 kg ma ona wartość ok. 10 N.
4. Wszystkie ciała w próżni na Ziemi spadają z jednakowym przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Nazywamy je przyspieszeniem ziemskim (ogólnie mówimy o przyspieszeniu grawitacyjnym, które jest inne na Księżycu niż na Ziemi). Różnice w spadaniu ciał w powietrzu wynikają tylko z oporu powietrza.
5. Trzecia zasada dynamiki: gdy jedno ciało działa na drugie pewną siłą, to także drugie działa na pierwsze taką samą siłą, tyle że zwróconą w przeciwną stronę. Ta druga siła zwana jest czasem siłą reakcji. Dwie wymienione siły nigdy się nie równoważą, bo działają na różne ciała. Siła reakcji powoduje zjawisko odrzutu.
6. Gdy próbujesz poruszyć leżące ciało, ale się to nie udaje, to znaczy, że twoją siłę równoważy siła tarcia statycznego. W miarę, jak zwiększa się twoja siła, zwiększa się też siła tarcia. Jednak po przekroczeniu pewnej maksymalnej wartości siła tarcia nie może już się dalej zwiększać i ciało zaczyna się poruszać. Na poruszające się ciało także działa siła tarcia, zwana siłą tarcia kinetycznego, mniejsza od maksymalnej wartości siły tarcia statycznego.
7. Siła tarcia zależy od nacisku, rodzaju stykających się powierzchni i jest mniejsza przy toczeniu niż przy przesuwaniu. Dzięki sile tarcia możemy nie tylko zatrzymywać, ale i rozpędzać ciała.
- 8*. Jeśli znajdujesz się w samochodzie, który nagle przyspiesza, wydaje ci się, że jakaś siła wgniata cię w fotel. To odczucie jest skutkiem twojej bezwładności. Analogicznie przy hamowaniu odczuwasz, że jakaś siła ciągnie cię do przodu. Gdy samochód skręca w lewo, odczuwasz siłę działającą w prawo i odwrotnie.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To musisz umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Jednakową siłę przyłożyliśmy do wózka dziecięcego i do samochodu. Który z pojazdów poruszy się z większym przyspieszeniem?

- A. Wózek będzie poruszał się z większym przyspieszeniem.
- B. Samochód będzie poruszał się z większym przyspieszeniem.
- C. Oba będą miały zawsze jednakowe przyspieszenie.
- D. Oba będą miały jednakowe przyspieszenie, ale tylko w próżni.

2. Dwa ciała o różnych masach były początkowo nieruchome. Następnie na każde z nich zaczęła działać siła 100 N. Które z nich potrzebuje więcej czasu na osiągnięcie prędkości $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$?

- A. Ciało o większej masie.
- B. Ciało o mniejszej masie.
- C. Oba tyle samo, bo mają osiągnąć tę samą prędkość.
- D. Oba tyle samo, bo działa na nie taka sama siła.

3. Na ciało o masie 20 kg działa siła wypadkowa 100 N. Z jakim przyspieszeniem porusza się ciało?

- | | |
|--|--------------------------------------|
| A. $20\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | C. $5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ |
| B. $50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | D. $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ |

4. Siła ciężkości działająca na dorosłego człowieka może mieć wartość

- | | |
|----------|------------|
| A. 7 N. | C. 700 N. |
| B. 70 N. | D. 7000 N. |

5. Spadochroniarz spada ruchem jednostajnym, ponieważ

- A. działa na niego stała siła wypadkowa.
- B. siła ciężkości działająca na niego się nie zmienia.
- C. wypadkowa siły ciężkości i siły oporu powietrza nie jest stała.
- D. wypadkowa siły ciężkości i siły oporu powietrza wynosi 0 N.

6. Czy tarcie jest potrzebne, aby samochód mógł zwolnić czy aby mógł przyspieszyć?

- A. Tylko po to, aby mógł zwolnić.
- B. Tylko po to, aby mógł przyspieszyć.
- C. Zarówno po to, aby mógł zwolnić, jak i po to, aby mógł przyspieszyć.
- D. Ani po to, aby mógł zwolnić, ani po to aby mógł przyspieszyć.

7*. Jeśli w czasie jazdy w furgonetce otworzyły się tylne drzwi, to

- A. nie należy ostro hamować, ponieważ ładunek może wypaść.
- B. można ostro hamować (jeśli pozwalają na to warunki ruchu), ponieważ ładunek na pewno się nie poruszy.
- C. można ostro hamować (jeśli pozwalają na to warunki ruchu), ponieważ jeśli przy hamowaniu ładunek się przesunie, to tylko do przodu.
- D. można ostro hamować (jeśli pozwalają na to warunki ruchu), ponieważ jeśli przy hamowaniu ładunek się przesunie, to tylko w bok.

Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**Dobrze, jeśli to umiesz**

Uwaga. W zadaniach 1.–6. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Ciało ma masę 5 kg. Gdy przez 4 s działała na nie stała siła, jego prędkość zmniejszyła się z $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jaka siła działała na to ciało?

- A. 10 N, skierowana w stronę, w którą poruszało się ciało.
- B. 10 N, skierowana w przeciwną stronę, niż poruszało się ciało.
- C. 2,5 N, skierowana w stronę, w którą poruszało się ciało.
- D. 2,5 N, skierowana w przeciwną stronę, niż poruszało się ciało.

2. Odważnik, który na Ziemi ma masę 6 kg, na Księżycu ma masę

- A. 1 kg.
- B. 6 kg.
- C. 36 kg.
- D. $\frac{1}{6}$ kg.

3. Lokomotywa wjeżdża na górę, ciągnąc wagon. Wówczas

- A. lokomotywa ciągnie wagon w przód większą siłą niż wagon lokomotywę w tył.
- B. lokomotywa ciągnie wagon w przód taką samą siłą jak wagon lokomotywę w tył.
- C. lokomotywa ciągnie wagon w przód mniejszą siłą niż wagon lokomotywę w tył.
- D. wagon nie ciągnie lokomotywy, ponieważ nie ma silnika.

4. Jaką prędkość osiągnie ciało spadające swobodnie po 3 s od upuszczenia?

- A. $7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- B. $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- C. $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- D. $45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5. Zjawisko odrzutu wykorzystuje się do napędu

- A. tylko samolotów odrzutowych.
- B. zarówno samolotów odrzutowych, jak śmigłowych.
- C. tylko samolotów śmigłowych.
- D. tylko helikopterów.

6. Ania pcha szafę stojącą na środku pokoju siłą 125 N. Szafa się nie porusza. Jaka jest siła tarcia między szafą a podłogą?

- A. Mniejsza niż 125 N.
- B. Równa 125 N.
- C. Większa niż 125 N, ale mniejsza niż 250 N.
- D. Równa 250 N.



Test 3.

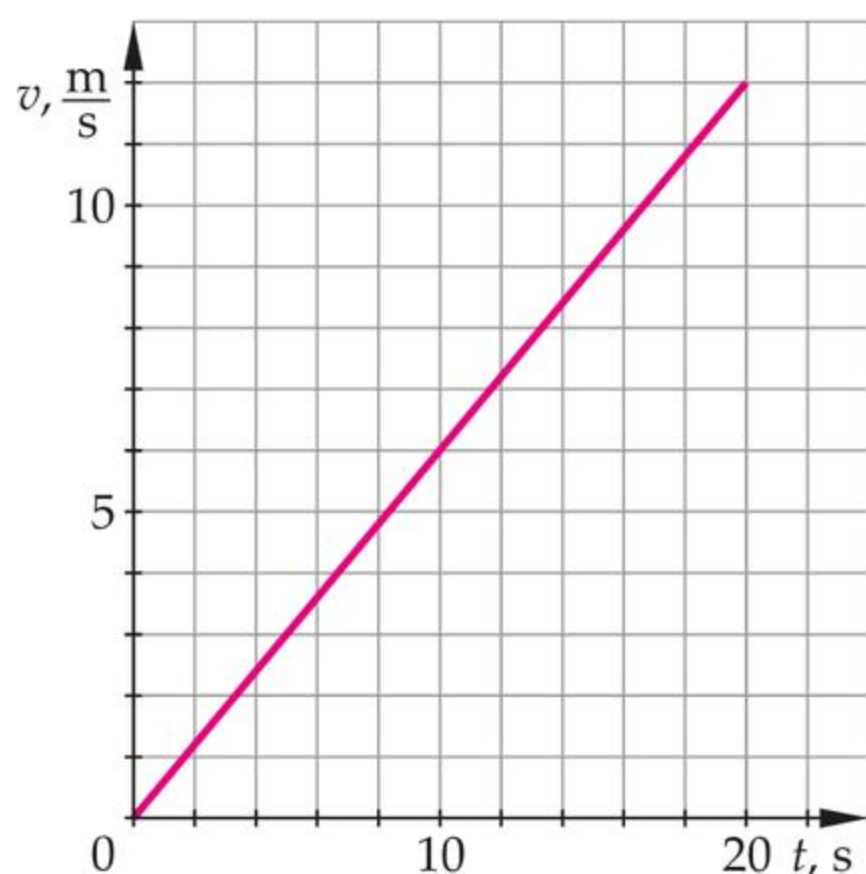
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Na wykresie pokazano, jak zmienia się w czasie 20 s prędkość rowerzysty. Oblicz siłę, jaka rozpędzała rower z rowerzystą, jeśli ich łączna masa wynosiła 80 kg.



- A. 480 N
- B. 48 N
- C. 400 N
- D. 40 N

2. Tarcie kinetyczne, działające na przesuwającą się po stole książkę o masie 800 g, wynosi 1 N. Marek zaczął ciągnąć książkę coraz większą siłą, aż przy sile 1,2 N książka zaczęła się poruszać. Marek działał nadal tą samą siłą. Książka poruszała się z przyspieszeniem

- A. $0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- B. $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- C. $0,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- D. $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

3. Na Marsie działająca na ciało siła ciężkości jest około 2,5 raza mniejsza niż na Ziemi. Masa pewnego astronauty wraz ze skafandrem

wynosi 125 kg. Siła ciężkości działająca na niego na Marsie wyniosłaby

- A. 125 kg.
- B. 50 kg.
- C. 50 N.
- D. 500 N.

4. Wartość siły ciężkości działającej na ciało rośnie z szerokością geograficzną. Kamil ma masę 50 kg, w Krakowie działa na niego siła ciężkości 490,5 N. W Gdańsku

- A. Kamil ma masę 50 kg i działa na niego siła ciężkości nieco większa niż 490,5 N.
- B. Kamil ma masę nieco większą od 50 kg i działa na niego siła ciężkości nieco większa od 490,5 N.
- C. Kamil ma masę nieco mniejszą od 50 kg i działa na niego siła ciężkości nieco mniejsza od 490,5 N.
- D. Kamil ma masę 50 kg i działa na niego siła ciężkości nieco mniejsza od 490,5 N.

5. Zanim kamień rozpędziłby się do $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, spadałby przez

- A. 9 s.
- B. 90 s.
- C. 25 s.
- D. 2,5 s.

- 6*. Wagon o masie 1 t stał nieruchomo, a później zaczęła na niego działać siła wypadkowa 500 N. W czasie pierwszych 10 s ruchu wagon przejedzie

- A. 5 m.
- B. 20 m.
- C. 25 m.
- D. 100 m.

7*. Wyobraź sobie, że siedzisz w pociągu. Za oknem nic nie widać, ponieważ jest noc. Nagle odczuwasz siłę ciągnącą cię do przodu. W których z opisanych niżej sytuacji jest to możliwe?

- I. Siedzisz przodem do kierunku jazdy, a pociąg zahamował.
- II. Siedzisz tyłem do kierunku jazdy, a pociąg zahamował.

III. Siedzisz przodem do kierunku jazdy, a pociąg przyspieszył.

IV. Siedzisz tyłem do kierunku jazdy, a pociąg przyspieszył.

- A. Tylko w I.
- B. Tylko w II.
- C. W I i IV.
- D. W II i III.

Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Świetnie, jeśli to umiesz

1. Czy, ruszając samochodem na śliskiej drodze, należy dodawać dużo gazu czy raczej mało? Uzasadnij dlaczego.

2. Siłacz stoi na łódce i ciągnie za cumę okrętu stojącego na wodzie obok łódki. Silnik okrętu jest wyłączony.

Założmy, że siłacz jest tak silny, że mógłby poruszyć okręt. Czy uda mu się tego dokonać w opisanej sytuacji? Uzasadnij dlaczego.

3. Dorota podnosi pionowo książkę o masie 500 g z przyspieszeniem $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Oblicz wartość siły, jaką książka naciska na dłoń Doroty.

4. Wyjaśnij, gdzie tkwi błąd w rozumowaniu:

„Rowerzysta rozpędził się od prędkości $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ w ciągu 10 s. Poruszał się więc z niewielkim przyspieszeniem $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jeśli będzie z tą samą siłą naciskał na pedały, to jego przyspieszenie się nie zmieni (stała siła wywołuje stałe przyspieszenie). Wobec tego po 30 minutach (czyli po 1800 s) rozwinie prędkość:

$$1800 \text{ s} \cdot 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1300 \frac{\text{km}}{\text{h}},$$

czyli prędkość ponaddźwiękową. Grunt to nie przestawać pedałować! ”.



Środek ciężkości

Ziemia przyciąga wszystkie cząsteczki, z których zbudowane jest ciało. Okazuje się jednak, że siła przyciągania ziemskiego działa tak, jakby cała przyłożona była do jednego punktu. Ten punkt nazywamy **środkiem ciężkości ciała**.



1. Weź prostokątny kawałek tektury i połóż go na wyciągniętym w górę kciuku tak, aby nie spadał. Zaznacz miejsce, w którym podpierałeś tekturę. To miejsce to właśnie środek ciężkości. Ściślej mówiąc, środek ciężkości znajduje się wewnątrz tektury, w połowie jej grubości.

2. Obetnij jeden z rogów prostokąta.

Jak myślisz, w którą stronę przesunął się środek ciężkości? Sprawdź to!

3. Weź puste pudełko po zapalkach. Postaw je na najmniejszym boku i odchyl nieco od pionu.

Jak zachowa się pudełko?

Jak daleko możesz je odchylić, aby wróciło do pierwotnego położenia, a nie wywróciło się?

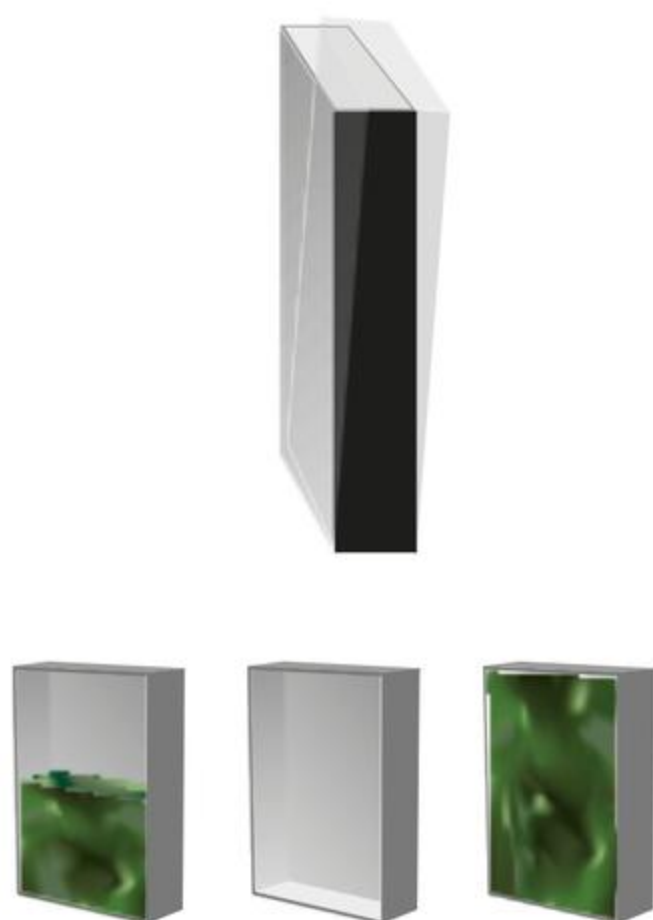
4. Spróbuj określić, jak położony jest środek ciężkości pudełka przy maksymalnym odchyleniu, przy którym pudełko się nie wywraca.

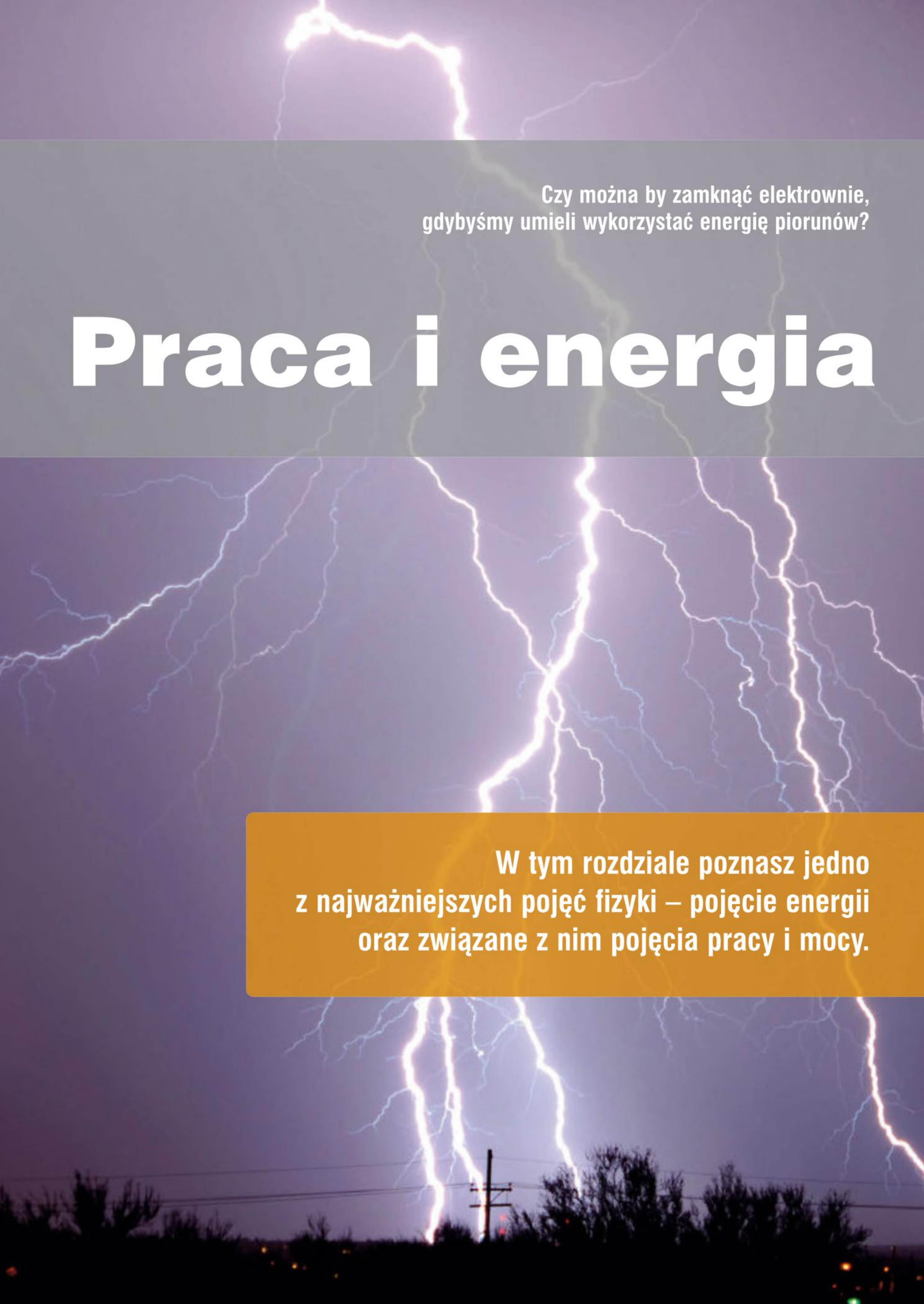
5. Wypełnij połowę pudełka od zapalek plasteliną. Drugie pudełko pozostaw puste, a trzecie wypełnij nią całkowicie.

Które z pudełek można najbardziej odchylić od pionu zanim się przewróci? W którym z pudełek środek ciężkości znajduje się najwyżej, a w którym – najniżej?

Pudełko wypełnione do połowy wykorzystaj w doświadczeniu dwukrotnie, tak aby plastelina była raz w dolnej, a raz w górnej części.

6. Dowiedz się, jakie znaczenie ma obniżanie środka ciężkości w budowlach i urządzeniach. Wykonaj lub znajdź fotografie i rysunki przedstawiające kilka przykładów.





Czy można by zamknąć elektrownie,
gdybyśmy umieli wykorzystać energię piorunów?

Praca i energia

**W tym rozdziale poznasz jedno
z najważniejszych pojęć fizyki – pojęcie energii
oraz związane z nim pojęcia pracy i mocy.**

21 Praca

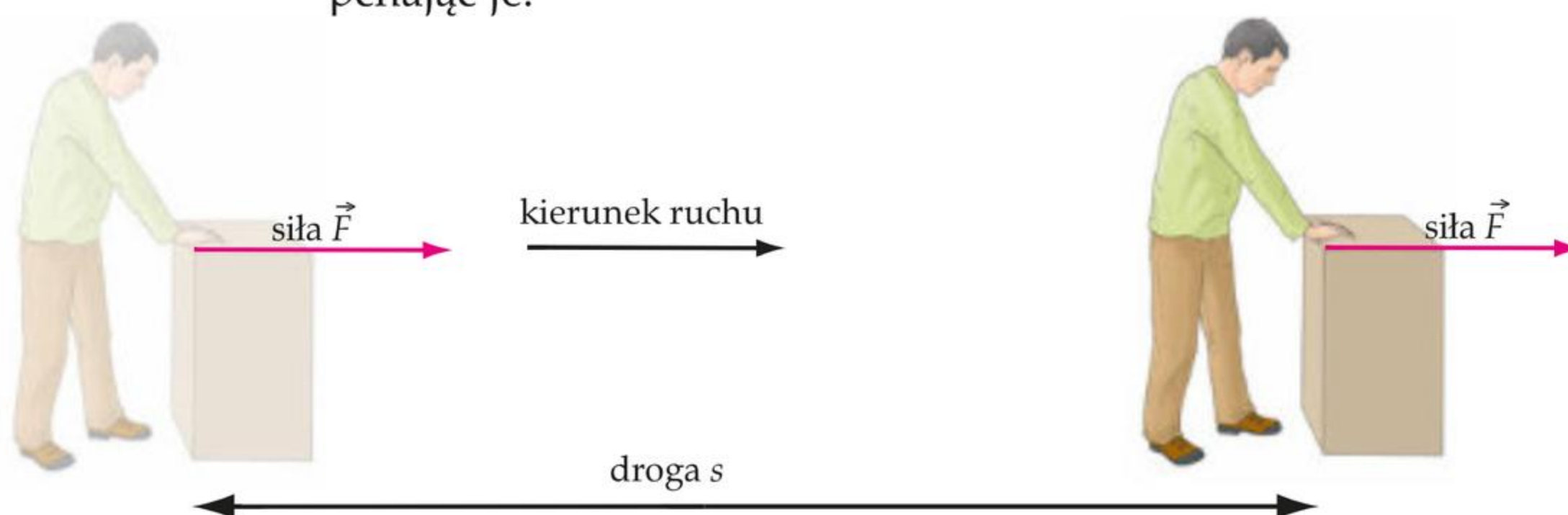
Ćwiczenie A. Jacek ciągnął wózek, działając na niego siłą 120 N, i przesunął go o 5 m. Marek ciągnął mniejszy wózek, działając na niego siłą 60 N, i przesunął go o 10 m. Wskaż, który z nich bardziej się napracował.

Na pytanie postawione w ćwiczeniu nie sposób odpowiedzieć jednoznacznie, bo „napracować się” to określenie potoczne, a nie naukowe. W fizyce istnieje jednak pojęcie „praca” (albo „praca mechaniczna”), które ma nieco odmienne znaczenie niż w języku potocznym.

W fizyce o pracy mówimy wtedy, gdy siła powoduje przemieszczenie ciała.

■ Obliczanie pracy

Wyobraźmy sobie, że ciało przemieściło się pod wpływem działania siły. Na przykład chłopiec przesunął pudełko po podłodze, pchając je.



Jeśli siła działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało, to pracę obliczamy, mnożąc wartość siły przez drogę.

Sposób obliczania pracy możemy zapisać za pomocą wzoru:

$$\text{praca} = \text{siła} \cdot \text{droga}$$

$$W = F \cdot s$$

Symbol pracy W pochodzi od angielskiego słowa *work*.

■ Jednostka pracy

W układzie SI siłę mierzymy w niutonach, a drogę w metrach. Mnożąc siłę przez drogę, otrzymujemy pracę w jednostkach „niuton razy metr”. Taka jednostka nosi nazwę **dżul** na cześć Jamesa Joule’a (patrz s. 173). Dżul oznaczamy literą J.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Jeden dżul jest równy pracy wykonanej podczas przemieszczenia ciała o 1 m w wyniku działania siły 1 N. Taką pracę wykonujesz np. podnosząc tabliczkę czekolady (100 g) na wysokość 1 m.

■ Napracowaliśmy się, a nie wykonaliśmy pracy

Podczas odrabiania zadania domowego nie wykonujesz żadnej pracy w sensie fizycznym. W fizyce nie zajmujemy się pracą umysłową.

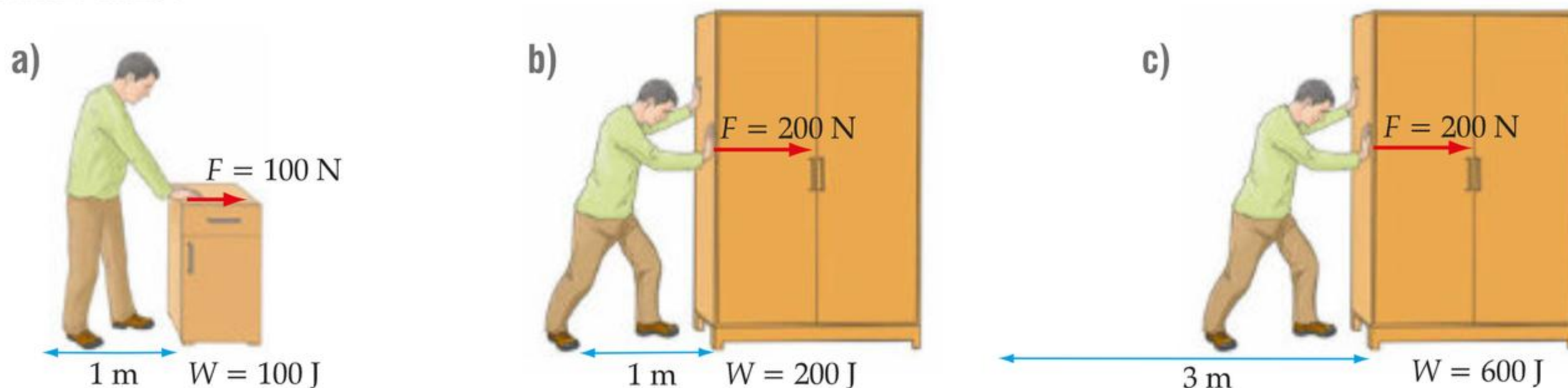
Czasem nie wykonujesz pracy, nawet jeśli działasz pewną siłą. Dzieje się tak wówczas, gdy ta siła nie powoduje przesunięcia ciała, na przykład kiedy trzymasz książkę przed sobą, w wyprostowanej ręce. Równie dobrze można by książkę położyć na półce, a przecież półka nie wykonuje żadnej pracy.

Dlaczego więc męczymy się, trzymając jakiś przedmiot? Otóż nasze mięśnie drżą (na przemian kurczą się i rozluźniają), a więc wykonują pracę. Praca nie jest potrzebna do utrzymania ciała; jest potrzebna do poruszania drżących mięśni. Dla nas to oczywiście wszystko jedno, bo nie potrafimy „wyłączyć” ich drżenia.

Aby wykonać pracę w sensie fizycznym, musimy działać na wybrane ciało siłą i spowodować jego przesunięcie. Szczególnym przypadkiem przemieszczenia jest odkształcenie ciała, np. podczas rozciągania sprężyny, kiedy jedna część ciała przemieszcza się względem drugiej. A zatem pracę wykonujemy również wtedy, gdy ściskamy lub rozciągamy jakieś ciało.

■ Jak praca zależy od siły i od drogi

Ze wzoru na pracę wynika, że jeśli na tej samej drodze działamy dwa razy większą siłą, to wykonujemy dwa razy większą pracę (rys. a i b). Jeśli zaś taką samą siłą działamy na trzy razy dłuższej drodze, wykonujemy trzy razy większą pracę (rys. b i c). Praca jest więc proporcjonalna do działającej siły i do drogi przebytej przez ciało.



Ćwiczenie B. Oblicz, jaką pracę wykonał Jacek, a jaką – Marek z poprzedniego ćwiczenia. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



Przykład 1. Jaką pracę wykonamy, gdy ciało pchane przez nas siłą 50 N przesunie się o 2 m w kierunku, w którym je pchamy?

Dane:

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

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

Szukane:

$$W = ? - \text{praca}$$

Zgodnie z definicją pracy:

$$W = F \cdot s = 50 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 100 \text{ N} \cdot \text{m} = 100 \text{ J}$$

Odpowiedź: Wykonamy pracę równą 100 J.

Przykład 2. O ile musisz przesunąć ciało, działając na nie siłą 10 N, aby wykonana przez ciebie praca wynosiła 15 J?

Dane:

$$F = 10 \text{ N}$$

$$W = 15 \text{ J}$$

Szukane:

$$s = ? - \text{droga}$$

Sposób I

Działając siłą 10 N na drodze 1 m, wykonamy pracę 10 J.

W zadaniu mowa o pracy 1,5 raza większej (bo $\frac{15 \text{ J}}{10 \text{ J}} = 1,5$), droga zatem musi być 1,5 raza większa:

$$s = 1,5 \cdot 1 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

Sposób II

Zgodnie z definicją pracy: $W = F \cdot s$.

Przekształcając ten wzór, otrzymujemy: $s = \frac{W}{F}$.

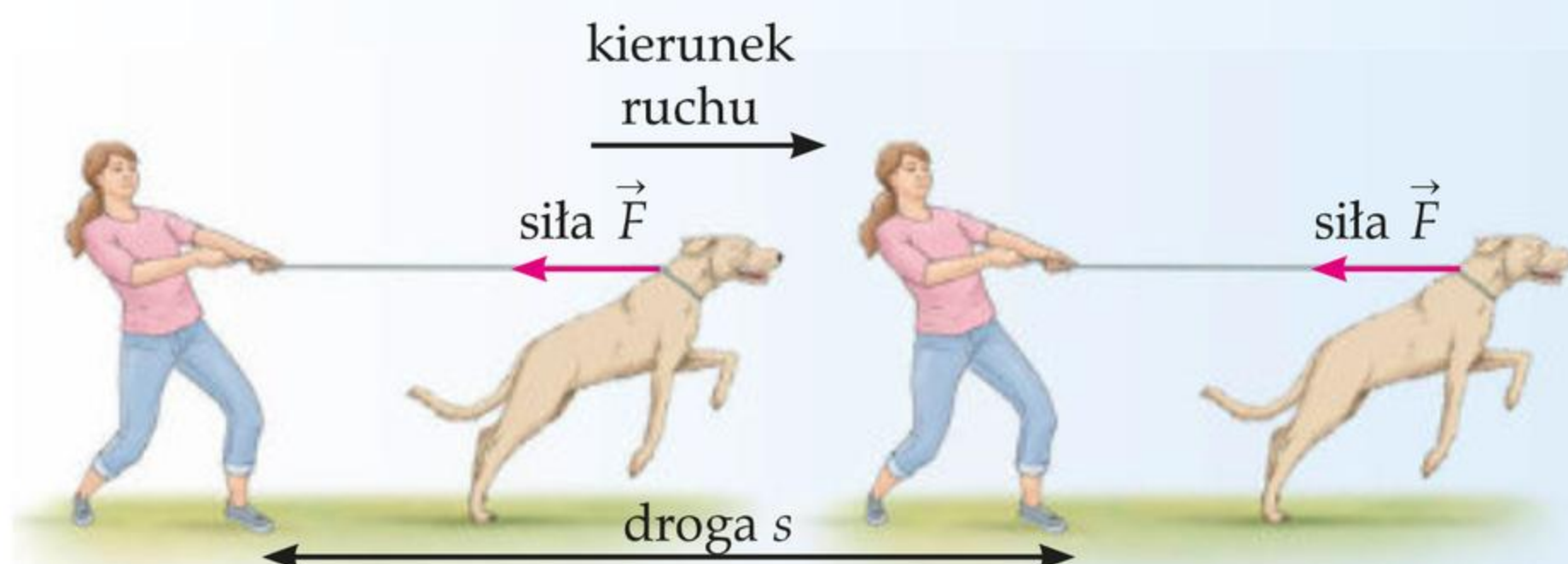
Podstawiamy dane do wzoru:

$$s = \frac{15 \text{ J}}{10 \text{ N}} = 1,5 \frac{\text{J}}{\text{N}} = 1,5 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = 1,5 \text{ m}$$

Odpowiedź: Ciało trzeba przesunąć o 1,5 m.

■ Obliczanie pracy w innych sytuacjach

Zdarza się, że działamy siłą „do tyłu”, tzn. w stronę przeciwną niż strona, w którą przemieszcza się ciało. Przykładem może być próba zatrzymania poruszającego się ciała. Pracę ujemną



wykonuje np. dziewczyna na rysunku na s. 112, a także siła tarcia, która hamuje ciało. Podobnie jest wtedy, gdy opuszczasz ciało; działasz siłą skierowaną w górę (aby ciało nie spadło swobodnie, ale opuszczało się powoli), a ciało porusza się w dół. W tym przypadku wykonujesz pracę ujemną.

Jeśli siła działa w przeciwną stronę, niż porusza się ciało,

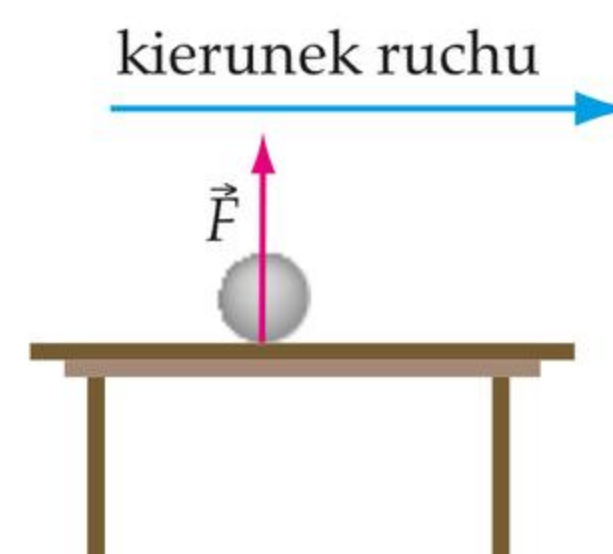
$$W = -F \cdot s.$$

Co się dzieje, gdy siła ma inny kierunek niż kierunek ruchu?

Gdy siła jest prostopadła do kierunku ruchu, praca jest równa zero.

Na przykład gdy kulka toczy się po stole, stół działa na nią pewną siłą równoważącą siłę ciężkości. Ta siła jest jednak prostopadła do kierunku ruchu, a więc nie możemy powiedzieć, że stół wykonuje pracę (praca wykonana przez stół równa jest 0 J).

Jeśli siła nie jest ani prostopadła, ani równoległa do kierunku ruchu, to obliczanie pracy jest bardziej skomplikowane. Tym zagadnieniem nie będziemy się zajmować w szkole podstawowej.



Ponieważ siła działająca na toczącą się kulkę jest prostopadła do kierunku ruchu, to praca wykonana przez stół jest równa 0 J.

Podsumowanie

- O pracy mówimy wtedy, gdy działamy na ciało siłą, a ciało się przemieszcza.
- Kiedy siła działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało, pracę obliczamy ze wzoru

$$W = F \cdot s$$
- Jednostką pracy w układzie SI jest džul: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Uwaga. W zadaniach 1.–3. należy założyć, że siła działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało.

1. Oblicz pracę wykonaną w przypadkach gdy:

- a)** człowiek przesunął po podłodze skrzynię o 1,5 m, ciągnąc ją siłą 100 N,
- b)** samolot pasażerski przebył drogę 5000 km, popychany przez swój silnik odrzutowy siłą 700 kN.

2. Jak zmieni się wykonana praca, jeśli:

- a)** droga zmniejszy się 2 razy, a siła pozostanie bez zmian?

b) siła zwiększy się 2 razy, a droga pozostanie bez zmian?

c) siła zmniejszy się 3 razy, a droga zwiększy się 6 razy?

3. Pchanie pewnego samochodu wymaga siły 200 N. Oblicz, na jakiej drodze, pchając ten samochód, wykonamy pracę:

- a)** 600 J, **b)** 2 kJ, **c)** 10 J.

4. Opory ruchu działające na pewien rower mają wartość 25 N. Oblicz pracę, jaką wykonał rowerzysta, który przejechał na tym rowerze 2 km ze stałą prędkością.

22 Energia

Energia to jedno z najważniejszych pojęć fizyki, ważne także w innych dziedzinach wiedzy i w życiu codziennym.

■ Kiedy mówimy o energii

Wiesz dobrze, że każde urządzenie musi być w jakiś sposób zasilane. Samochód spala paliwo. Elektrowóz jest napędzany prądem elektrycznym. Ale i prąd elektryczny trzeba wytworzyć: dzięki spalaniu węgla, wykorzystaniu siły wody spływającej z gór, siły wiatru itp. Każdy organizm także potrzebuje „zasilania” – w przypadku ludzi i zwierząt jest nim pożywienie, a w przypadku roślin – światło słoneczne potrzebne do fotosyntezy. W fizyce do opisu podobnych sytuacji używamy pojęcia „energia”. Mówimy na przykład, że samochód czerpie energię z paliwa, człowiek – z pożywienia, a roślina lub bateria słoneczna – z promieni słonecznych.

Energia to zdolność do wykonania pracy.

Energia nie może powstać z niczego, ale tylko z innej formy energii. Na przykład energia słoneczna pozwoliła na rozwój roślinom żyjącym w czasach prehistorycznych. Gdy te rośliny zmieniły się w węgiel, energia pozostała w nim – uwięziona – do dzisiaj. Spalając węgiel w elektrowni, zamieniamy energię węgla w energię gorącej pary wodnej, a następnie – w energię ruchu turbin i wreszcie w energię elektryczną. Tę energię zmieniamy w domach w najróżniejsze formy energii: energię ruchu powietrza w odkurzaczu, energię związaną z temperaturą wody w czajniku elektrycznym, energię dźwięku w odtwarzaczu płyt itd.

Ilustracja na następnej stronie przedstawia kilka najczęściej spotykanych form energii. O wszystkich tych formach energii będziemy mówili na lekcjach fizyki. Ciało w ruchu ma **energię kinetyczną**. Jeśli podnosi się ono do góry, to wzrasta jego **energia potencjalna grawitacji**. Jeśli świeci – wysyła **energię promieniowania**.



Ogniwa baterii słonecznych w elektrowni.

Różne formy energii

• Energia kinetyczna

Związana z ruchem;
im szybciej porusza się dane ciało,
tym większą ma energię kinetyczną.



• Energia potencjalna grawitacji

Gdy podnosimy ciało na pewną wysokość,
zwiększamy jego energię potencjalną.
Jest ona tym większa, im wyżej znalazło się ciało.



• Energia potencjalna sprężystości

Napięta sprężyna ma pewną energię, dzięki czemu
może np. napędzić samochodzik
na sprężynę lub zegar mechaniczny.



• Energia wewnętrzna

Energia cząsteczek ciała związana z jego temperaturą
i stanem skupienia. Gdy podgrzewamy ciało,
zwiększamy jego energię wewnętrzną.



• Energia chemiczna

Spalając węgiel czy benzynę, wyzwalamy zawartą
w nich energię. Jest to obecnie główne źródło
energii dla ludzkości. Każdy z nas może żyć tylko
dzięki energii chemicznej zawartej w pożywieniu.



• Energia elektryczna

Jest to postać energii najłatwiejsza do przesyłania
i zamiany na inne rodzaje. Dlatego większość
urządzeń, z których korzystamy, zasilana
jest właśnie tą formą energii.



• Energia jądrowa

Korzystamy z niej w elektrowniach jądrowych.
Ale nie tylko: także Słońce świeci
dzięki przemianom jądrowym zachodzącym
w jego wnętrzu.



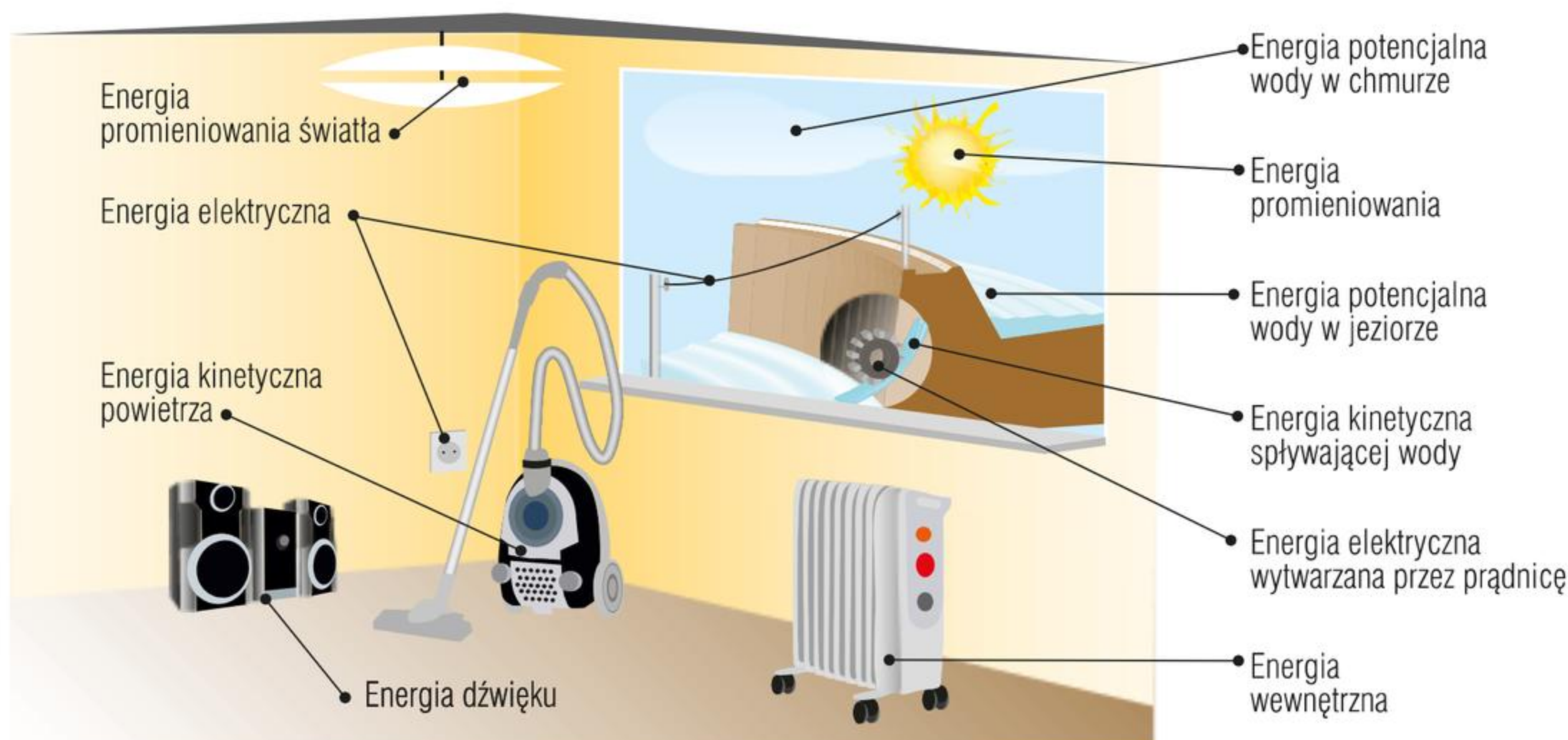
• Energia promieniowania

Światło, mikrofae w kuchence mikrofalowej,
ultrafiolet powodujący opalanie, promienie
rentgenowskie używane do prześwietleń,
fale radiowe – wszystkie niosą pewną energię.



■ Przemiany energii

Spadający kamień porusza się coraz szybciej, rośnie więc jego energia kinetyczna. Maleje jednak jego energia potencjalna grawitacji, gdyż kamień znajduje się coraz niżej. Jeśli pominiemy opór powietrza, okaże się, że energia kinetyczna powiększyła się o tyle samo, o ile zmniejszyła się energia potencjalna grawitacji. W takiej sytuacji mówimy, że energia potencjalna **zmieniła się** w energię kinetyczną.



Przykłady form energii.

W samochodziku na sprężynie energia potencjalna sprężystości zmienia się w energię kinetyczną. W żarówce energia elektryczna zmienia się w energię światła i energię wewnętrzną. Wentylator zmienia energię elektryczną w energię kinetyczną powietrza, a elektrownia wiatrowa – na odwrót: energię kinetyczną powietrza w energię elektryczną.

■ Zasada zachowania energii

Czasem może się wydawać, że energia znikła. Na przykład gdy samochód jedzie z wyłączonym silnikiem po równej drodze, jego energia kinetyczna maleje, a energia potencjalna się nie zmienia. Wiemy jednak, że zmniejszanie prędkości wynika tylko z oporów ruchu. Między różnymi częściami samochodu występuje tarcie. Samochód musi także pokonywać opór powietrza. Jak wynika z doświadczenia, z tarciami związane jest ogrzewanie ciał, a więc wzrost ich energii wewnętrznej. A zatem energia kinetyczna samochodu nie znika, lecz zmienia się w energię wewnętrzną. Energii nie można wyprodukować. Potocznie mówi się na przykład, że elektrownia jądrowa „produkuje energię elektryczną”, ale w rzeczywistości zamienia ona jedną formę energii na inną (np. energię jądrową na energię elektryczną). Energia może zmieniać postać, ale nigdy nie powstaje z niczego ani nie znika. Jej całkowita ilość jest stała.

Doświadczenie

Potrzyj dłonie mocno o siebie. Co czujesz?

Zasada zachowania energii:

Energia nie powstaje z niczego ani nie znika, może tylko zmieniać postać.

Z historii

Przez całe wieki ludzie próbowali zbudować maszynę, która wytwarzałaby energię z niczego. Miała ona już nawet swoją łacińską nazwę: *perpetuum mobile* (wiecznie ruchome), ale oczywiście nigdy nie udało się jej zbudować, gdyż jest to niemożliwe. Warto natomiast pracować nad wykorzystaniem energii Słońca, wiatru, pływów morskich itp. Jest to bardzo pożyteczne i – w przeciwieństwie do *perpetuum mobile* – realne.

Ciekawostka

„Spadające gwiazdy” to także przykład przemiany energii kinetycznej w inne formy energii. Obserwujemy je, gdy meteoroid – drobne ciało znajdujące się w przestrzeni kosmicznej – wpadnie z wielką prędkością w atmosferę Ziemi. Jego hamowanie w atmosferze powoduje tak duże ogrzanie, że meteoroid się spala. Tylko czasem do Ziemi doleci pozostały kawałek – meteoryt.



Na tle nieba jest widoczny ślad przelatującego meteoru.

Podsumowanie

- Energia to zdolność do wykonania pracy.
- Energia może przyjmować wiele postaci, np. energii kinetycznej (związanej z ruchem ciała), energii potencjalnej grawitacji (związanej z wysokością, na której ciało się znajduje), energii potencjalnej sprężystości, energii chemicznej, elektrycznej, jądrowej, energii promieniowania.
- Zasada zachowania energii: energia może zmieniać postać, ale nie znika i nie powstaje z niczego.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Podrzucona piłka porusza się do góry. Określ, czy jej energia kinetyczna rośnie czy maleje. A energia potencjalna?
2. Uzasadnij stwierdzenie, że większość energii wykorzystywanej przez człowieka pochodzi (na ogół pośrednio) ze Słońca.
3. Pewien uczeń powiedział: „Widziałem, jak samochód przyspieszał, jadąc pod górę. Rosła zatem zarówno jego energia kinetyczna, jak i potencjalna. To jest sprzeczne z zasadą zachowania energii”. Na czym polega błąd w rozumowaniu tego chłopca?
4. Oceń, czy samochód z włączonym radiem zużywa podczas jazdy więcej, mniej czy tyle samo benzyny co samochód jadący z wyłączonym radiem. Wyjaśnij dlaczego.
5. Jakie przemiany energii zachodzą w zjawiskach opisanych niżej? Skorzystaj z ilustracji na stronie 115.
 - a) W lokomotywie spalinowej silnik Diesla napędza prądnicę, która zasila silnik elektryczny poruszający koła.
 - b) Aby w staroświeckim zegarze kukłka kukła, trzeba podciągać ciężarek napędzający mechanizm.
 - c) Antek pompuje wodę ze studni za pomocą elektrycznej pompy. Prąd pochodzi z elektrowni, w której spala się węgiel. Węgiel powstał z roślin, a te wyrosły przed milionami lat dzięki procesowi fotosyntezy.
 - d) Podczas pracy wiertarki elektrycznej wiertło się rozgrzewa.

23 Energia potencjalna grawitacji

Doświadczenie

Na nachylonej książce połów pudełko zapalek i samochodzik, tak jak na zdjęciu poniżej. Samochodzik zjeżdża, pchając przed sobą pudełko.



Znasz już z poprzedniej lekcji pojęcie energii potencjalnej grawitacji. Tę energię ma każde ciało, ponieważ jest przyciągane przez Ziemię siłą ciężkości, inaczej zwaną siłą grawitacji.

Energia związana z położeniem ciała na określonej wysokości względem wybranego poziomu nazywa się energią potencjalną grawitacji. Zwiększa się ona, gdy ciało podnosimy.

Jeśli nie grozi to nieporozumieniem, mówimy: „energia potencjalna”. Określenie „potencjalna” pochodzi od łacińskiego słowa *potentia* (czyt. *potentia* albo *potencja*) oznaczającego „możliwość”.

■ Symbol i jednostka energii

Energię oznaczamy literą E . Jej jednostka jest taka sama, jak jednostka pracy – dżul. Jeśli na przykład, podnosząc ciało, wykonaliśmy pracę 10 J, ciało zyskało energię 10 J.

Doświadczenie



1. Weź dwie kulki metalowe o różnej masie oraz kawałek plasteliny.
2. Uformuj z plasteliny płaski „placek” i z tej samej wysokości spuść na niego obie kulki. Która kulka pozostawiła wyraźniejszy ślad w plastelinie? Która wykonała większą pracę, rozgniatając plastelinę? Która miała na początku większą energię potencjalną?
3. Ponownie uformuj „placek” z plasteliny. Tym razem spuść na niego tę samą kulkę dwa razy, z różnych wysokości. Kiedy ślad w plastelinie był wyraźniejszy? Kiedy kulka wykonała większą pracę, rozgniatając plastelinę? Kiedy początkowa energia potencjalna kulki była większa?

■ Od czego zależy energia potencjalna

Z ostatniego doświadczenia wynika, że energia potencjalna grawitacji jest tym większa, im większa jest masa ciała i im wyżej się ono znajduje. Zgadza się to z zależnością między energią potencjalną a pracą. Podnosząc ciało o większej masie, wykonujemy większą pracę, niż podnosząc ciało o mniejszej masie.

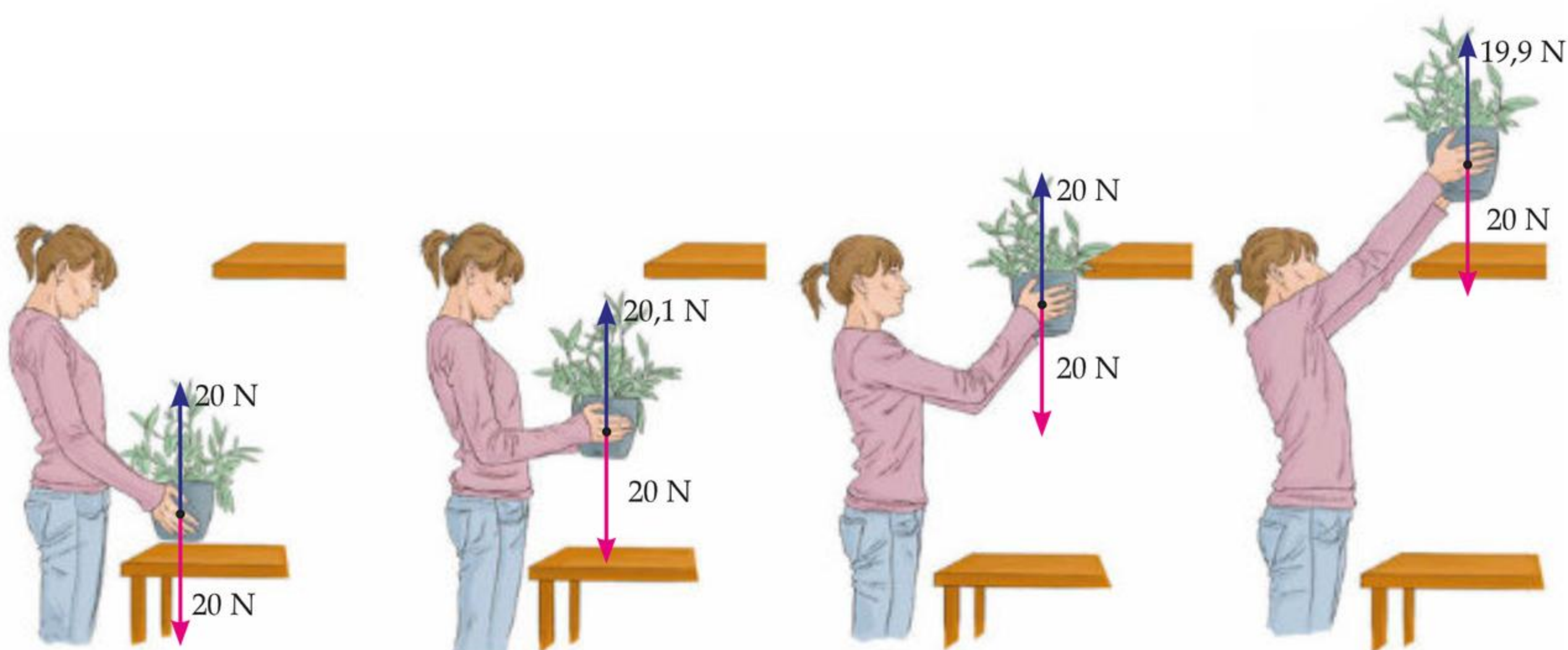
Większą pracę wykonujemy także wówczas, gdy podnosimy ciało na większą wysokość.

■ Obliczanie energii potencjalnej

Przypomnijmy, że:

Jeśli podnosząc ciało, wykonujesz pracę W , to energia potencjalna zwiększa się o W .

Umiesz już obliczać pracę. Należy się zastanowić, jaką siłą trzeba działać, aby podnieść ciało.



Założmy, że na ciało działa siła ciężkości 20 N. Gdy trzymamy to ciało w ręku, musimy działać siłą 20 N, aby nie spadło.

Jeśli chcemy je podnieść, musimy zadziałać choćby przez chwilę siłą nieco większą od 20 N, aby zaczęło poruszać się w górę.

Gdy ciało zacznie się już poruszać, wystarczy działać na nie siłą 20 N. Wypadkowa sił działających na ciało jest równa zero, więc porusza się ono do góry ze stałą prędkością.

Aby ciało zatrzymało się na odpowiedniej wysokości, przez chwilę działamy na nie siłą nieco mniejszą od 20 N. Siła wypadkowa jest skierowana w dół, a ciało hamuje.

Gdy podnosimy ciało ruchem jednostajnym, działamy na nie siłą równą sile ciężkości.

Na początku ruchu działamy siłą nieco większą, a na końcu – nieco mniejszą. Wykonujemy jednak taką pracę, jakbyśmy od początku do końca ruchu działali siłą równą sile ciężkości działającej na ciało.

Siłę ciężkości działającą na dane ciało będziemy także nazywać **ciężarem ciała**. Możemy powiedzieć, że podnosząc ciało, działamy średnio siłą równą jego ciężarowi.

Uwaga.

Przypomnijmy, że litera Δ (delta) oznacza zmianę wielkości. Będziemy jej więc używać na oznaczenie zmiany energii potencjalnej (ΔE_p), podobnie jak wcześniej na oznaczenie zmiany prędkości (Δv).

Przykład 1. Ciało o ciężarze 30 N podniesiono na wysokość 2 m. O ile zwiększyła się jego energia potencjalna?

Dane:

$$Q = 30 \text{ N}$$

$$s = h = 2 \text{ m}$$

Szukane:

$$\Delta E_p = ? - \text{przyrost energii potencjalnej}$$

Ta energia jest równa pracy, którą wykonamy, aby podnieść to ciało na wysokość 2 m.

$$\Delta E_p = W = F \cdot s$$

Podnosząc ciało, działamy siłą równą ciężarowi ciała.

Droga równa jest wysokości, na którą chcemy podnieść ciało:

$$s = h = 2 \text{ m}$$

Wobec tego:

$$W = Q \cdot h = 30 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 60 \text{ J}$$

Odpowiedź: Energia potencjalna ciała zwiększyła się o 60 J.

Jak wynika z przykładu, przyrost energii potencjalnej możemy obliczyć, mnożąc ciężar ciała przez wysokość, na której ciało się znajduje.

przyrost energii potencjalnej grawitacji = ciężar · wysokość

$$\Delta E_p = Q \cdot h$$

Przypomnijmy jeszcze, że przyrost energii potencjalnej równy jest pracy wykonywanej przy podnoszeniu ciała. Siła działająca przy podnoszeniu równa jest ciężarowi ciała Q , a przebyta droga równa jest wysokości h . Energia potencjalna jest więc proporcjonalna do ciężaru ciała i do wysokości, na której ciało się znajduje.

Jeśli chcemy zapisać wzór na energię potencjalną w zależności od masy, musimy sobie przypomnieć, że ciężar to masa pomnożona przez przyspieszenie ziemskie (lub ogólniej: przez przyspieszenie grawitacyjne).

$$\text{ciężar} = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie}$$

$$Q = m \cdot g$$

Zatem:

$$\begin{array}{l} \text{przyrost energii} \\ \text{potencjalnej} \\ \text{grawitacji} \end{array} = \text{masa} \cdot \begin{array}{l} \text{przyspieszenie} \\ \text{ziemskie} \end{array} \cdot \text{wysokość}$$

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

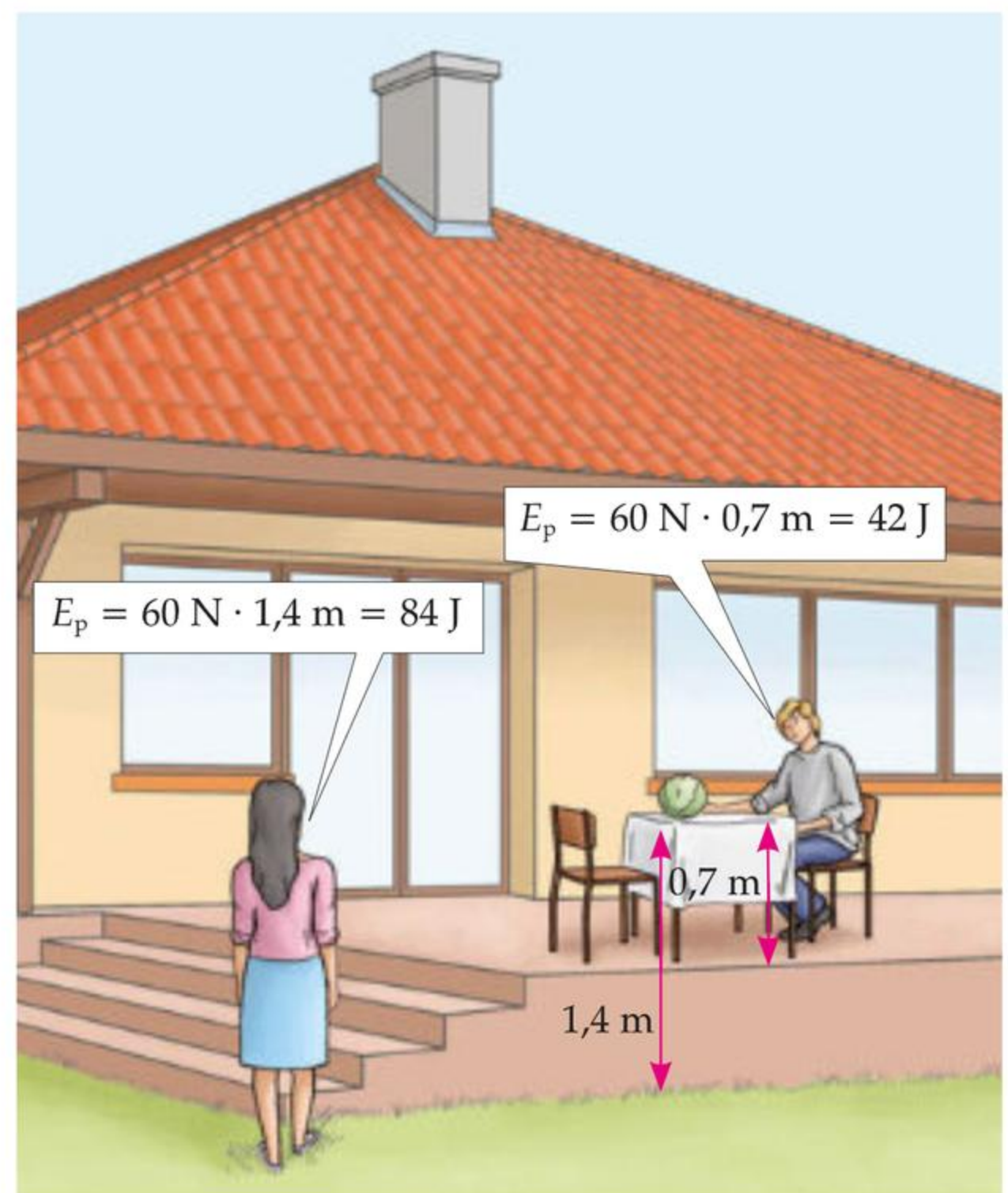
Jednostką energii potencjalnej, podobnie jak każdej innej formy energii, jest **dżul** (1 J). Sprawdźmy, że zgadza się to ze wzorem:

$$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

■ Energia potencjalna względem pewnego poziomu

Aby uniknąć ciągłego stosowania przyrostu energii potencjalnej, często wybieramy jakiś poziom (np. poziom ziemi lub podłogi) i umawiamy się, że energia potencjalna ciał na tym poziomie jest równa zero. Wówczas zamiast „przyrost energii potencjalnej względem wybranego poziomu” możemy mówić krótko „energia potencjalna względem wybranego poziomu”. Energia potencjalna zależy więc od wyboru poziomu zerowego, co przedstawia rysunek. Inna praca jest potrzebna do podniesienia arbuza z podłogi tarasu, a inna – do podniesienia go z ziemi.

Mówiąc o energii potencjalnej, musimy ustalić, względem jakiego poziomu ją określamy.



Przykład 2. Na jakiej wysokości ciało o masie 1 kg ma energię potencjalną 200 J?

Dane:

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

$$E_p = 200 \text{ J}$$

Szukane:

$$h = ? - \text{wysokość}$$

Sposób I

Obliczmy najpierw ciężar ciała:

$$Q = m \cdot g = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10 \text{ N}$$

Na wysokości $h_1 = 1 \text{ m}$ to ciało będzie miało energię potencjalną:

$$E_{p1} = Q \cdot h_1 = 10 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$$

Na szukanej wysokości energia jest 20 razy większa ($\frac{200 \text{ J}}{10 \text{ J}} = 20$), a więc i wysokość musi być 20 razy większa niż 1 m, czyli:

$$h = 20 \cdot 1 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

Sposób II

Wzór na energię potencjalną: $E_p = m \cdot g \cdot h$,

przekształcamy do postaci: $h = \frac{E_p}{m \cdot g}$.

W naszym przypadku:

$$h = \frac{200 \text{ J}}{1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 20 \frac{\text{J}}{\text{N}} = 20 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = 20 \text{ m}$$

Odpowiedź: Ciało o masie 1 kg ma energię 200 J na wysokości 20 m.

Podsumowanie

- Im wyżej znajduje się ciało, tym większą ma energię potencjalną grawitacji. Na danej wysokości ciało o większej masie ma większą energię potencjalną grawitacji.
- Przyrost energii potencjalnej równy jest pracy, którą trzeba wykonać, aby podnieść ciało na daną wysokość.
- Przyrost energii potencjalnej obliczamy, mnożąc ciężar ciała przez wysokość, na którą podnosimy ciało:

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

- Określając energię potencjalną, musimy ustalić, względem jakiego poziomu mierzymy wysokość.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Zapisz w zeszycie, czy energia potencjalna opisanych zwierząt zwiększyła się czy zmniejszyła, i o ile dżuli.

- a) Kot o masie 3 kg wskoczył na płot o wysokości 1 m.
- b) Puchacz o masie 2,5 kg sfrunął na trawę z gałęzi znajdującej się 7 m nad ziemią.
- c) Mrówka o masie 10 mg weszła na pień o wysokości 20 cm.
- d) Słoń o masie 4 t wszedł na pagórek o wysokości 10 m.

2. Oblicz wysokość, na jaką podniesiono ciało o masie 3 kg, jeśli zyskało ono energię potencjalną:

- a) 30 J, b) 9 J, c) 0,3 J.

3. Oblicz ciężar i masę ciała, które:

- a) podniesione o 4 m zwiększa swoją energię potencjalną o 16 J,
- b) podniesione o 200 m zwiększa swoją energię potencjalną o 5 kJ.

4. Czy energia potencjalna tego samego ciała jest większa:

- a) względem podłogi na pierwszym piętrze czy względem ziemi?
- b) względem podłogi w piwnicy czy względem ziemi?

 5. Błat stołu znajduje się 75 cm nad podłogą. Ciało o masie 2 kg ma względem blatu stołu energię potencjalną 20 J. Oblicz jego energię potencjalną względem podłogi.

 6. Lądownik o masie 1200 kg znajduje się 20 m nad powierzchnią Księżyca. Oblicz jego energię potencjalną (względem tej powierzchni).

Uwaga.

Przypomnijmy, że na Księżycu ciężar ciała jest 6 razy mniejszy niż na Ziemi.

24 Energia kinetyczna

Doświadczenie

Na stole połóż pudełko po zapalniczkach. Puść swobodnie mały samochodzik, tak aby uderzył w pudełko i popchnął je. Jak myślisz, dlaczego samochodzik jest w stanie wykonać pracę?



Podczas rozpędzania samochodzika wykonujesz pewną pracę. Następnie samochodzik wykonuje pracę, przesuwając pudełko. Rozpędzając samochodzik, sprawiasz więc, że staje się on zdolny do wykonania pracy. Mówimy, że nadajesz samochodzikowi pewną energię.

Z poprzednich lekcji wiesz, że:

Energia związana z ruchem ciała nazywa się energią kinetyczną.

Określenie „kinetyczna” pochodzi od greckiego słowa *κινετικός* (czyt. kinetikos) oznaczającego „ruchomy”. Przypomnij sobie inne pojęcia fizyczne, w którym występuje słowo „kinetyczny”.

Energia kinetyczna jest równa pracy, którą wykonujemy, aby rozpędzić ciało.

Rozpędzone ciało może wykonać taką samą pracę, jaką wykonaliśmy, rozpędzając je. Traci ono wówczas swoją energię kinetyczną i zatrzymuje się.

Aby rozpędzić ciało do większej prędkości, trzeba wykonać większą pracę. Rozpędzając ciało o większej masie, także wykonamy większą pracę. Dlatego ciało ma tym większą energię kinetyczną, im szybciej się porusza i im większą ma masę.

Ćwiczenie A.



Samochód wyścigowy osiąga 3 razy większą prędkość niż furgonetka, ale ma 3 razy mniejszą masę. Który z nich może mieć większą energię kinetyczną?

Te zależności łatwo sobie wyobrazić: ciężarówka ma większą energię kinetyczną niż rower jadący z tą samą prędkością, a z dwóch identycznych ciężarówek większą energię ma ta, która porusza się szybciej. **Uwaga.** Jeśli ciało porusza się z 3 razy większą prędkością, jego energia kinetyczna jest aż 9 razy większa. Mówimy, że energia kinetyczna jest **proporcjonalna do kwadratu** (drugiej potęgi) prędkości.

■ Obliczanie energii kinetycznej

Energia kinetyczna ciała jest równa pracy wykonanej przy jego rozpędzaniu. Wyraża się ona wzorem:

$$\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \cdot \text{masa} \cdot \text{prędkość}^2 \quad E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Jeśli masę wyrażamy w kilogramach, a prędkość w metrach na sekundę, to energię otrzymujemy w dżulach. Można to sprawdzić w następujący sposób:

$$\text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

Przykład 1. Samochód o masie 1200 kg jedzie z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jaka jest jego energia kinetyczna?

Dane:

$$m = 1200 \text{ kg}$$

$$v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Szukane:

$$E_k = ? - \text{energia kinetyczna}$$

Jednostkę prędkości musimy zamienić na metry na sekundę.

$$v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{90\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Teraz możemy obliczyć energię.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1200 \text{ kg} \cdot \left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 375\,000 \text{ J} = 375 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Energia kinetyczna tego samochodu wynosi 375 kJ.

■ Energia kinetyczna i praca

Niektóre problemy związane z ruchem ciał łatwiej rozwiązać, korzystając z pojęcia energii kinetycznej.

Przykład 2. Samochód o masie 1000 kg ruszył i na dystansie 75 m rozpędził się do prędkości $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jaka działała na niego siła wypadkowa? Zakładamy, że siła ta była stała.

Dane:

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$s = 75 \text{ m}$$

$$v = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$F = ? - \text{siła wypadkowa}$$

Samochód uzyskał energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 112\,500 \text{ J}$$

Uzyskana energia równa jest pracy wykonanej przy rozpędzaniu pojazdu. A więc praca także wynosi: $W = 112\,500 \text{ J}$.

Ta praca wykonana została na drodze $s = 75 \text{ m}$.

Gdyby na drodze działać siłą 1 N , wykonana praca byłaby równa 75 J . W omawianym przypadku praca jest 1500 razy większa ($112\,500 : 75 = 1500$), a więc siła była 1500 razy większa niż 1 N .

Odpowiedź: Na samochód działała siła wypadkowa równa 1500 N .

Przykład 3. Samochód o masie 1000 kg , jadąc z prędkością $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, zaczął hamować. Siła hamująca ma wartość 5000 N . Ile wynosi droga hamowania tego samochodu? Ile wynosiłaby droga hamowania samochodu, gdyby zaczął hamować, jadąc z prędkością $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

Dane:

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$F = 5000 \text{ N}$$

$$v_1 = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v_2 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Szukane:

$$s_1 = ? - \text{droga hamowania przy prędkości } v_1$$

$$s_2 = ? - \text{droga hamowania przy prędkości } v_2$$

Jednostkę prędkości musimy zamienić na metry na sekundę.

$$v_1 = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{36\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Energia kinetyczna samochodu wynosi:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 50\,000 \text{ J}$$

Ta energia jest równa pracy wykonanej przeciwko sile hamowania $F = 5000 \text{ N}$.

Możemy więc obliczyć drogę, na jakiej praca zostanie wykonana.

$W = F \cdot s$, więc $s = \frac{W}{F}$, w omawianym przypadku:

$$s_1 = \frac{50\,000 \text{ J}}{5000 \text{ N}} = 10 \frac{\text{J}}{\text{N}} = 10 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = 10 \text{ m}$$

Gdyby prędkość samochodu wynosiła $v_2 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, trzeba by wykonać te same działania, podstawiając inne liczby.

$$E_{k2} = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 200\,000 \text{ J}$$

$$s_2 = \frac{200\,000 \text{ J}}{5000 \text{ N}} = 40 \text{ m}$$

Odpowiedź: Droga hamowania samochodu jadącego z prędkością $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wynosi 10 m , a poruszającego się z prędkością $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wynosi 40 m .

Ćwiczenie B.

Oblicz w zeszycie drogę, nie korzystając z przekształcania wzorów.

Uwaga.

Zauważ, że **dwukrotnie** większa prędkość oznacza aż **4 razy** dłuższą drogę hamowania. Pamiętaj o tym, kiedy będziesz kierowcą!

Podsumowanie

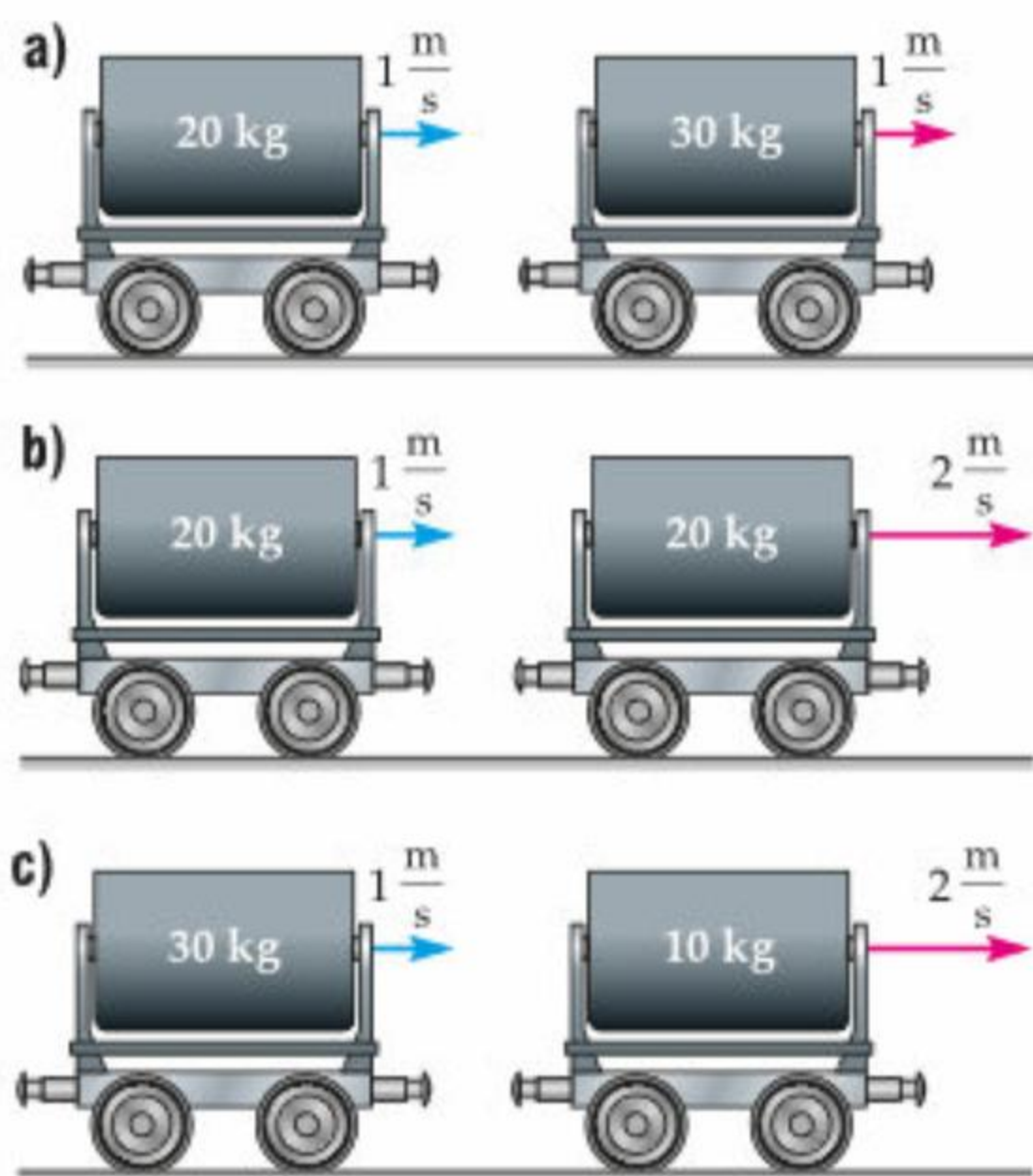
- Gdy ciało się porusza, ma energię kinetyczną zależną od jego masy i prędkości.
- Energię kinetyczną oblicza się ze wzoru: $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$.
- Energia kinetyczna jest proporcjonalna do masy ciała oraz do kwadratu jego prędkości. Gdy ciało porusza się np. 10 razy szybciej, jego energia jest aż $10^2 = 100$ razy większa.
- Energia kinetyczna jest równa pracy, którą trzeba wykonać, aby ciało rozpędzić od stanu spoczynku, a także pracy, którą ciało może wykonać, zatrzymując się.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wskaż w każdym przypadku ciało, które ma większą energię kinetyczną.



2. Pewien samochód ma energię kinetyczną 100 kJ. Jaka będzie jego energia kinetyczna, gdy jego prędkość:

- zwiększy się 3 razy?
- zmniejszy się 2 razy?

3. Oblicz energię kinetyczną zwierząt:

- zająca o masie 5 kg biegnącego z prędkością $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,
- kangura o masie 90 kg poruszającego się z prędkością $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,
- strusia o masie 120 kg biegnącego z prędkością $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$,
- wieloryba o masie 150 t płynącego z prędkością $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4. Pewien samochód zaczął hamować, gdy jego prędkość miała wartość $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Zanim się zatrzymał, przejechał 20 m. Oblicz, jaka byłaby droga hamowania, gdyby początkowa prędkość samochodu miała wartość $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Wskazówka: Skorzystaj z wniosku zamieszczonego w uwadze przy przykładzie 3.

5. Samochód o masie 1000 kg zaczął hamować, gdy jego prędkość miała wartość $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. W czasie hamowania przebył drogę 50 m. Oblicz:

- siłę tarcia działającą na ten samochód, zakładając, że ta siła jest stała,
- przyspieszenie, z jakim się poruszał.



25 Przemiany energii mechanicznej

Doświadczenie

Zbuduj wahadło, wieszając jabłko na długiej nitce. Rozhuśtaj je i przyjrzyj się jego ruchowi.

W którym punkcie jabłko porusza się najszybciej, a w którym – najwolniej? Kiedy energia kinetyczna jabłka jest największa, a kiedy – najmniejsza? A energia potencjalna?



Mówiliśmy już, że gdy jabłko na nitce porusza się w dół lub gdy spada kamień, jego energia potencjalna zmienia się w energię kinetyczną (ciało znajduje się coraz niżej i porusza się coraz szybciej). Gdy się wznosi, energia kinetyczna zmienia się w potencjalną (ciało znajduje się coraz wyżej i porusza się coraz wolniej).

Sumę energii potencjalnej i kinetycznej nazywamy **energią mechaniczną ciała**.

Z zasady zachowania energii wynika, że:

Gdy ciało porusza się bez oporów ruchu i bez napędu, jego energia mechaniczna jest stała.

Umiesz już obliczać energię kinetyczną i potencjalną, możesz więc rozwiązywać zadania o przemianach tych rodzajów energii.

Przykład 1. Ciało o masie 2 kg podrzucono do góry z prędkością $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Na jaką wysokość wzniesie się to ciało? Pomijamy opór powietrza.

Dane:

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

$$v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szukane:

$$h = ? - \text{wysokość}$$

☐ $E_k = 0 \text{ J}, E_p = 25 \text{ J}$

☐ $E_k = 3 \text{ J}, E_p = 22 \text{ J}$

☐ $E_k = 15 \text{ J}, E_p = 10 \text{ J}$

☒ $E_k = 25 \text{ J}, E_p = 0 \text{ J}$

W każdej chwili energia mechaniczna (suma energii kinetycznej i potencjalnej) jest stała.



Sposób I

Energia kinetyczna ciała w chwili startu wynosi:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 25 \text{ J}$$

W najwyższym punkcie ciało ma prędkość równą zero, więc jego energia kinetyczna jest także równa zero. Cała początkowa energia kinetyczna zmienia się w energię potencjalną: $E_p = E_k = 25 \text{ J}$.

Obliczmy wysokość, na jakiej ciało o masie 2 kg ma energię potencjalną 25 J. Podobne zadania już rozwiązywaliśmy (przykład 2, s. 121).

Ciało o masie 2 kg na wysokości 1 m ma energię potencjalną:

$$E_{p1} = 2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$$

Na szukanej wysokości energia jest 1,25 razy większa (bo $25 : 20 = 1,25$). Oczywiście, jest tak na wysokości 1,25 razy większej niż 1 m, czyli $h = 1,25 \text{ m}$.

Sposób II

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2, E_p = m \cdot g \cdot h$$

Cała początkowa energia kinetyczna zmienia się w energię potencjalną, zatem:

$$E_p = E_k$$

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

Tę równość dzielimy stronami przez m :

$$g \cdot h = \frac{1}{2} v^2$$

Wyznaczamy h .

$$h = \frac{\frac{1}{2} \cdot v^2}{g} = \frac{v^2}{2g} \qquad h = \frac{\left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,25 \text{ m}$$

Odpowiedź: Ciało wzniesie się na wysokość 1,25 m.

Widoczną na pierwszy rzut oka zaletą drugiego sposobu jest to, że do rozwiązania nie jest potrzebna znajomość masy. Rzeczywiście, gdyby ciało miało masę np. 10 kg, jego energia kinetyczna byłaby 5 razy większa, ale też 5 razy większa energia byłaby potrzebna, aby ciało wzniosło się na tę samą wysokość. Ostateczny wynik byłby taki sam.

Podsumowanie

- Energia kinetyczna może zmieniać się w energię potencjalną, a energia potencjalna – w kinetyczną.
- Sumę energii potencjalnej i energii kinetycznej nazywamy energią mechaniczną ciała.
- Jeżeli ciało porusza się bez oporów ruchu i bez napędu, energia mechaniczna pozostaje bez zmian.



Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Podrzucony kamień najpierw leciał do góry, a potem spadł. Który z opisów dotyczy wznoszenia się, a który – spadania?

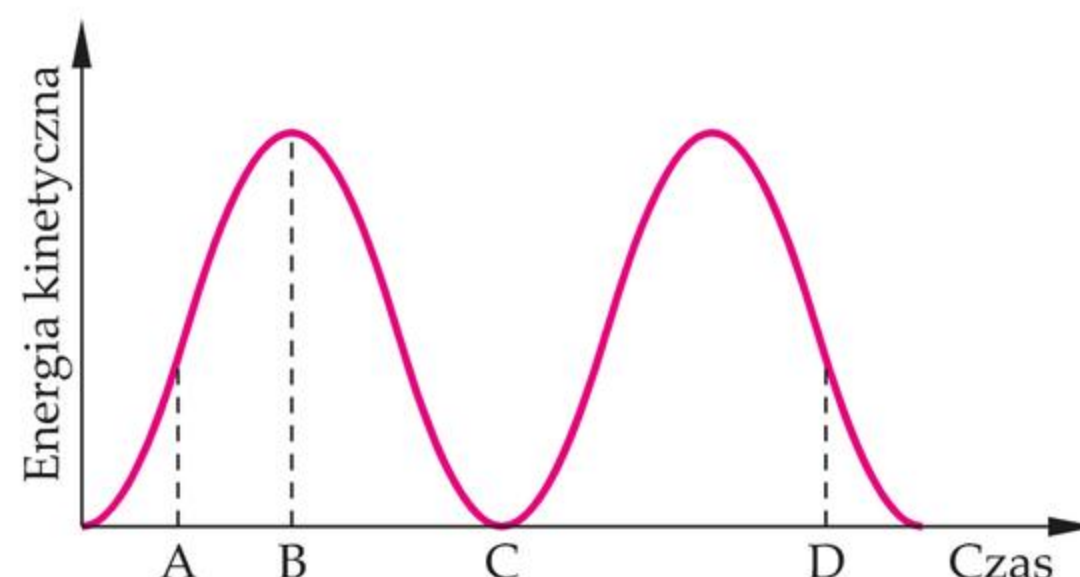
I. Energia potencjalna rośnie, energia kinetyczna rośnie.

II. Energia potencjalna rośnie, energia kinetyczna maleje.

III. Energia potencjalna maleje, energia kinetyczna rośnie.

IV. Energia potencjalna maleje, energia kinetyczna maleje.

4. Wyobraź sobie kulkę wahającą się na nici. Wykres przedstawia zależność zmiany energii kinetycznej tej kulki od czasu. Jaka literą oznaczono chwilę, gdy kulka znajdowała się w najwyższym położeniu, a jaką – gdy znajdowała się najniżej? Odpowiedź wraz z uzasadnieniem zapisz w zeszycie.



2. Torebka cukru o masie 1 kg spada ze stołu o wysokości 70 cm. Oblicz energię kinetyczną, jaką będzie miała tuż nad podłogą.

3. Galago (małpiałka) ma masę 200 g i podskakuje pionowo z prędkością $6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz wysokość, na jaką może ona podskoczyć. Pomiń opór powietrza.

Doświadczenie

Mocne nerwy

1. Powieś na framudze drzwi wahadło wykonane z mniej więcej 1,5 m nitki i zawieszonego na niej ciała, np. jabłka.
2. Usiądź na krześle przed drzwiami i przybliż wahadło do twarzy (w razie potrzeby przestaw krzesło).
3. Puść wahadło.
4. Jak myślisz, czy musisz uciec, zanim wahadło wróci i cię uderzy? A może zatrzyma się w ostatniej chwili? Sprawdź to w praktyce i wyjaśnij wynik doświadczenia.



D Energia, człowiek i środowisko

■ Energia i organizm człowieka

Energię potrzebną do życia czerpiemy z pożywienia. Pod względem zawartości energii najbogatsze są tłuszcze, a następnie węglowodany i białka. Jak wszystkie zwierzęta stałocieplne, człowiek znaczną część energii zużywa na utrzymanie temperatury ciała. Wiele energii pochłania praca organów wewnętrznych. Tylko część dostarczonej energii możemy przeznaczyć na pracę fizyczną. Przez tysiące lat ludzie bardzo ciężko pracowali, mieszkali w słabo ogrzewanych pomieszczeniach i często bywali głodni. Dlatego organizm człowieka przystosował się do pobierania pokarmu na zapas i magazynowania nadwyżek energii w postaci energii chemicznej tłuszczu. Współcześnie ten zapas nie jest zużywany, bo pożywienia mamy pod dostatkiem. Prowadzi to do otyłości. Aby jej zapobiegać, trzeba nie tylko właściwie się odżywiać, ale także zmusić organizm do wysiłku fizycznego, pozwalającego na bieżąco zużywać dostarczaną energię.



Właściwe odżywianie się jest podstawą zdrowia.

■ „Ile kalorii zjadłeś?”

Informację o energii chemicznej zawartej w produktach spożywczych (czyli wartości energetycznej pożywienia) znajdziesz na opakowaniach i w specjalnych tabelach. Tradycyjnie ten rodzaj energii wyraża się w kilokaloriach:

$$1 \text{ kcal} \approx 4200 \text{ J}$$

Uwaga. Kilokalorie są potocznie nazywane kaloriami, choć kaloria to jednostka 1000 razy mniejsza.

Przykład. Tabliczka czekolady o masie 100 g ma wartość energetyczną 600 kcal. Na jaką wysokość można by podnieść samochód o masie 1 t, zamieniając energię chemiczną tabliczki czekolady na energię potencjalną samochodu?

Przeliczamy wartość energetyczną tabliczki czekolady na dżule:

$$E = 600 \text{ kcal} = 600 \cdot 4200 \text{ J} = 2\,520\,000 \text{ J}$$

Obliczamy wysokość, podobnie jak w przykładzie ze s. 121. Samochód na wysokości 1 m ma energię potencjalną:

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 10\,000 \text{ J}$$

Energia dostarczona przez tabliczkę czekolady jest 252 razy większa ($2\,520\,000 : 10\,000 = 252$), więc samochód można by podnieść na wysokość 252 m.

Odpowiedź: Otrzymany wynik to 252 m, czyli w przybliżeniu wysokość Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie.

Ćwiczenie. Dlaczego więc po zjedzeniu tabliczki czekolady nie zdołasz podnieść samochodu nawet o metr?



■ Energia i środowisko

Oprócz energii dla własnego organizmu człowiek potrzebuje także energii do ogrzania i oświetlenia mieszkań, przygotowywania pożywienia, poruszania pojazdów, zasilania urządzeń itp.

Korzystanie z energii najczęściej jest obciążeniem dla środowiska przyrodniczego.

W Polsce i w większości innych krajów najwięcej energii uzyskuje się na skutek spalania paliw kopalnych: węgla, ropy i gazu. Powoduje to zanieczyszczenie powietrza i przyczynia się do globalnego ocieplenia (o efekcie cieplarnianym opowiemy w ósmej klasie). Samo wydobywanie węgla wiąże się z niszczeniem środowiska. Zapadają się opróżnione chodniki w kopalniach, powstają zapałiska, a słona woda wypompowana z kopalń zanieczyszcza rzeki.

Ropa naftowa transportowana jest głównie olbrzymimi statkami – tankowcami. Ropa rozlana na morzu w wyniku katastrofy tankowca powoduje śmierć zwierząt morskich.

Tych problemów nie stwarzają elektrownie jądrowe, ale i one mają wady. Obecnie działające elektrownie jądrowe, a także badawcze reaktory jądrowe wytwarzają odpady promieniotwórcze, które należy bezpiecznie przechowywać.

Czystym źródłem energii jest samo Słońce. Niestety, jeszcze nie wykorzystujemy go na wielką skalę, bo choć promienie słoneczne są za darmo, to budowa elektrowni słonecznych jest kosztowna. Podobnie jest z wykorzystaniem energii pływów (przyływów i odpływów) morskich. Zanim ludzkość opanuje wykorzystanie nowych źródeł energii, najlepszym sposobem dbania o środowisko jest oszczędzanie energii.



Nawet elektrownie wodne i wiatrowe, choć przyjazne środowisku, mają wady. Na przykład elektrownie wodne wymagają zalewania dużych obszarów i utrudniają wędrówki ryb, a elektrownie wiatrowe zajmują znaczne obszary ziemi oraz są niebezpieczne dla ptaków i nietoperzy. Zwierzęta te zderzają się ze śmigłami wiatraków i giną.



Panele słoneczne umożliwiają podgrzewanie wody do mycia kosztem energii słonecznej, bez spalania gazu, węgla czy zużywania energii elektrycznej.

■ Przykłady energii

Rodzaj energii	Przykład	Energia, J	czyli:
<i>Energia kinetyczna</i>	Samochód o masie 1 t jadący z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	300 000	300 kJ
	Rowerzysta o masie 100 kg (wraz z rowerem) jadący z prędkością $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	1 500	1,5 kJ
<i>Energia potencjalna grawitacji</i>	Ciało o masie 100 kg na wysokości 1 m	1 000	1 kJ
	Samolot o masie 200 t na wysokości 10 km	20 000 000 000	20 GJ
<i>Energia chemiczna</i>	Mleko (wartość odżywcza 1 litra)	2 400 000	2,4 MJ
	Węgiel kamienny (1 kg)	35 000 000	35 MJ
	Benzyna (1 litr)	30 000 000	30 MJ
<i>Energia elektryczna</i>	Godzina pracy 100-watowej żarówki	360 000	360 kJ
	Pełny cykl prania w pralce automatycznej	3 000 000	3 MJ
	Piorun	1 000 000 000	1 GJ
<i>Energia jądrowa</i>	Bomba zrzucona na Hiroszimę	50 000 000 000 000	50 TJ (teradżuli)
	Energia 1 kg paliwa do elektrowni jądrowej	88 000 000 000 000	88 TJ

Uwaga. Jeśli nie wiesz, jak przeczytać jednostki w ostatniej kolumnie, skorzystaj z tablicy na stronie 238.

Podsumowanie

- Organizm człowieka czerpie energię z pożywienia i zużywa ją w znacznej części na utrzymanie stałej temperatury.
- Energię chemiczną pokarmów wyraża się zwykle w kilokaloriach: $1 \text{ kcal} \approx 4200 \text{ J}$.
- Większą część energii ludzie uzyskują z paliw kopalnych: węgla, ropy naftowej i gazu. Prowadzi to do zanieczyszczenia środowiska.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Korzystając z zamieszczonej wyżej tabeli, oblicz:

- ile piorunów ma energię równą energii bomby zrzuconej na Hiroszimę;
- ile litrów benzyny można by zaoszczędzić, gdyby udało się wykorzystać energię pioruna;
- ile litrów benzyny ma energię chemiczną równą energii zawartej w 1 kg paliwa jądrowego.



2. Wartość energetyczna 100 g masła to 700 kcal. Wykaż, że energia chemiczna 1 kg masła jest większa niż energia potencjalna himalaisty wraz z ekwipunkiem na wysokości Mount Everestu. Oceń, czy z tego wynika, że idąc na Mount Everest, wystarczy zabrać jako prowiant kilogram masła. Odpowiedź uzasadnij.

3. Wyjaśnij, dlaczego przyczyniasz się do zanieczyszczenia powietrza, zużywając zbyt dużo ciepłej wody. Ustal, czy jest tak również w wypadku używania zimnej wody.

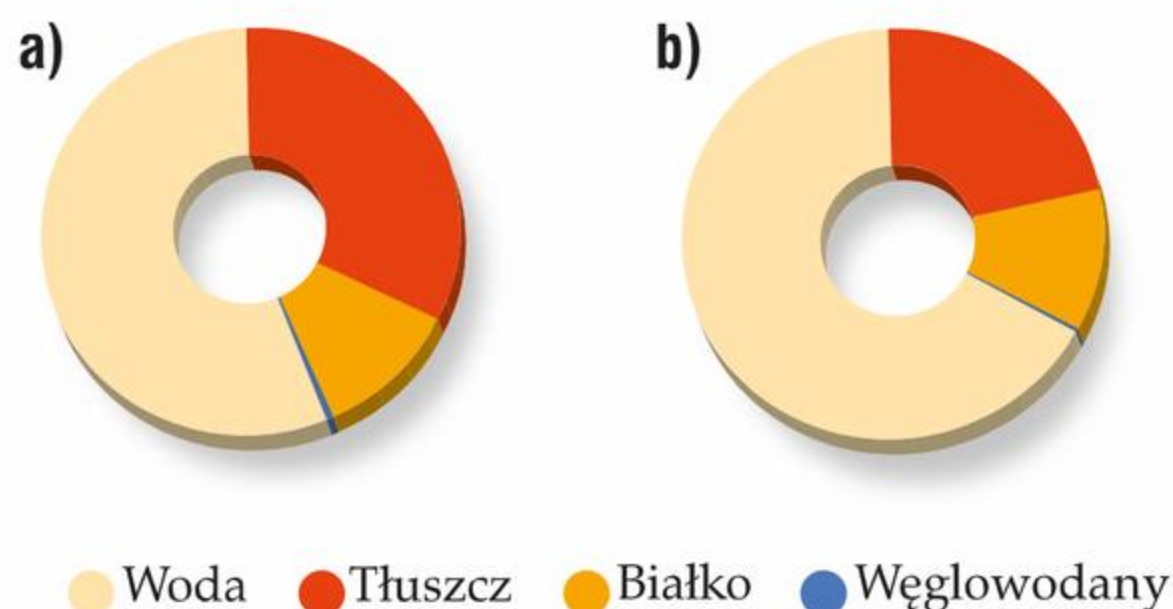
4. Pokonując biegiem 1 kilometr, człowiek zużywa około 4000 J energii na kilogram masy swojego ciała. Na przykład osoba o masie 70 kg zużywa wtedy $70 \cdot 4000 \text{ J} = 280\,000 \text{ J}$.

a) Ile energii zużyje osoba o masie 60 kg, pokonując 1 kilometr? A ile – pokonując 2 kilometry?

b) Witek pomyślał: „Zjem jeszcze jedną tabliczkę czekolady (600 kcal), potem trochę pobiegam i nie utyję”. Witek ma masę 60 kg. Oblicz, ile kilometrów powinien przebiec, aby spalić energię 600 kcal.

5. Diagramy przedstawiają skład mleka, którym niedźwiedzice dwóch gatunków karmią swoje młode. Który diagram dotyczy

niedźwiedzia polarnego, a który – brunatnego? Uzasadnij swój wybór.



6. Wyobraź sobie samochód o masie 1 t, poruszający się bez oporów ruchu, który w 100% wykorzystuje energię paliwa. Oblicz:

a) ile litrów benzyny trzeba by spalić, aby rozpędzić go do prędkości $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;

b) ile litrów benzyny spalałby na 100 km, aby utrzymać tę prędkość na prostej poziomej drodze.

26 Moc



W czasie uderzenia pioruna wyzwala się energia około 1 GJ (1 gigadżul to miliard dżuli). Czy to dużo? Przeciętna rodzina zużywa rocznie kilkakrotnie więcej energii elektrycznej. Dlaczego więc piorun kojarzy nam się z wielką energią? Dlatego, że jego energia wyzwalamana jest w ułamku sekundy.

Jeśli na dach remontowanego domu wciągamy na linie wiadro, wykonana praca nie zależy od tego, jak szybko ciągniemy linę. Również siła jest jednakowa, równa ciężarowi wiadra (kiedy już porusza się ono ze stałą prędkością). Zgodzimy się jednak z opinią, że ktoś, kto umie wykonać tę pracę w krótszym czasie, jest mocniejszy.

Ćwiczenie. Pracę 15 J wykonano w czasie 3 s. Jaką pracę wykonano w czasie 1 s? Jakie działanie trzeba było wykonać, aby to obliczyć?

■ Moc

Powyższe przykłady świadczą o tym, że czasem może nas interesować nie tylko praca czy energia, lecz także to, jak szybko praca została wykonana. Dlatego wprowadzono pojęcie mocy, które oznacza pracę wykonaną w jednostce czasu, np. w ciągu sekundy.

Moce duże i małe

Na rysunku zaznaczono tempo zużycia energii przez organizm w spoczynku, a nie w czasie wysiłku.



Moc informuje nas o tym, jak szybko została wykonana praca, czyli jaka praca została wykonana w jednostce czasu, np. w ciągu 1 sekundy.

Aby obliczyć pracę wykonaną w ciągu 1 sekundy, dzielimy pracę przez czas jej wykonania.

Zatem:

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}} \quad P = \frac{W}{t}$$

Symbol mocy P pochodzi od angielskiego słowa *power*.

Z tego wzoru wynika, że w układzie SI jednostką mocy jest $1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$.

Ta jednostka ma własną nazwę: wat (W).

Jeden wat to moc urządzenia, które w czasie 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula.

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

Przykład 1. Agnieszka podniosła z podłogi plecak o masie 8 kg i położyła go na półce zawieszanej 180 cm nad podłogą. Zajął jej to 1,5 s. Jak szybko wykonywała tę pracę? Odpowiedź podaj, określając moc.

Agnieszka zwiększyła energię potencjalną plecaka:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 8 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,8 \text{ m} = 144 \text{ N} \cdot \text{m} = 144 \text{ J}$$

Energia ta równa jest wykonanej pracy, więc Agnieszka wykonała pracę: $W = 144 \text{ J}$ w czasie $t = 1,5 \text{ s}$.

Zatem czynność wykonała z mocą:

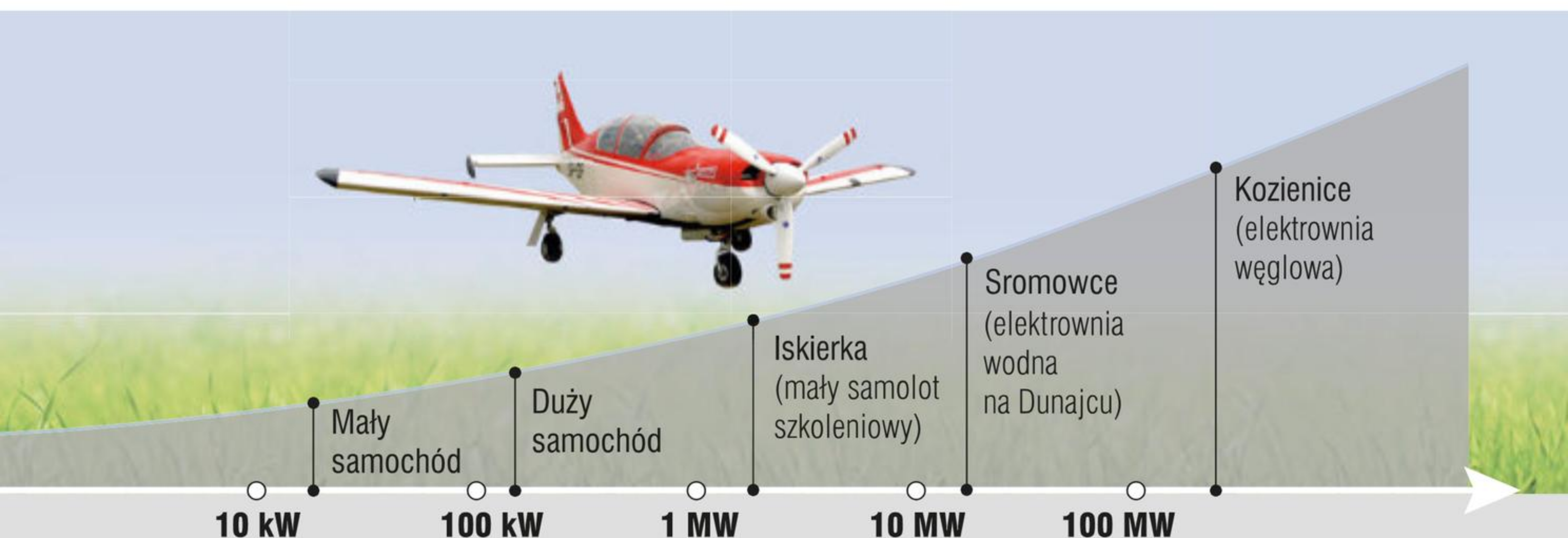
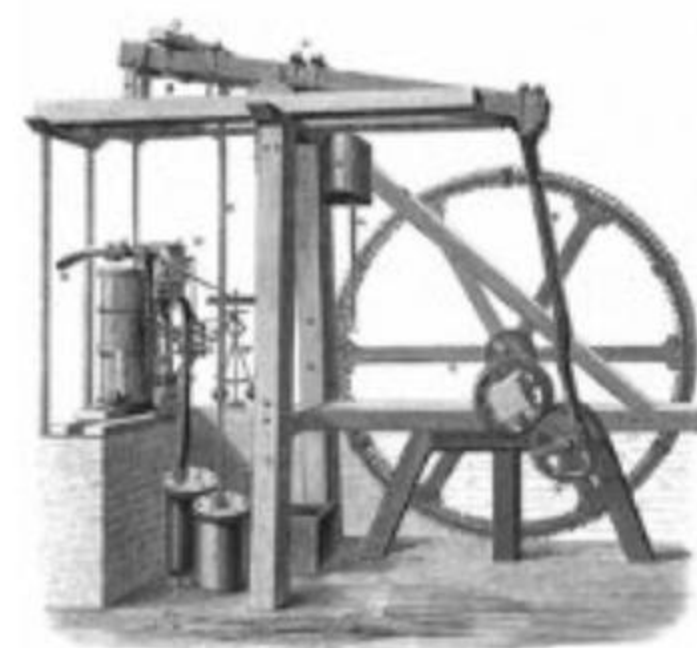
$$P = \frac{W}{t} = \frac{144 \text{ J}}{1,5 \text{ s}} = 96 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 96 \text{ W}$$

Odpowiedź: Agnieszka położyła plecak na półce z mocą 96 W.

Faktycznie jej mięśnie musiały pracować z większą mocą, której część „zmarnowała się” na poruszanie rękami, pokonywanie oporu powietrza itp.

Z historii

Maszynę parową zbudowano już w starożytności, nie miała ona jednak większych zastosowań praktycznych, bo praca niewolników była tańsza od opału. Dopiero w II poł. XVIII w. James Watt [czyt. dżejms łot] zbudował pierwszą maszynę parową, z której zrobiono użytek: napędzała ona pompę usuwającą wodę z kopalni. Wkrótce maszyna parowa zaczęła napędzać parowozy, statki, elektrownie i fabryki. Na cześć wynalazcy jednostkę mocy nazwano watem. Sam Watt wprowadził inną jednostkę mocy – konia mechanicznego (KM), odpowiadającą mocy konia. Wielkość tę każdy znał z doświadczenia. Do dziś koni mechanicznych tradycyjnie używa się przy określaniu mocy silników samochodów: $1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W}$.





Przykład 2. Ile energii zużywa 40-watowa żarówka w ciągu 5 godzin świecenia? Inaczej mówiąc: jaką pracę wykonuje prąd elektryczny, aby żarówka działała przez 5 godzin?

Sposób I

Moc: $P = 40 \text{ W}$

Czas: $t = 5 \text{ h} = 5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 18\,000 \text{ s}$

Moc 40 W oznacza, że w ciągu sekundy prąd wykonuje pracę 40 J .

W czasie $18\,000 \text{ s}$ wykonuje pracę $18\,000$ razy większą, czyli $18\,000 \cdot 40 \text{ J} = 720\,000 \text{ J} = 720 \text{ kJ}$.

Sposób II

Przekształcamy wzór: $P = \frac{W}{t}$

do postaci:

$$W = P \cdot t$$

Podstawiamy dane:

$$W = 40 \text{ W} \cdot 18\,000 \text{ s} = 40 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 18\,000 \text{ s} = 720\,000 \text{ J} = 720 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: 40-watowa żarówka w ciągu 5 godzin zużywa 720 kJ energii.

Jak wynika z przykładu, moc nie zawsze wiąże się z pracą mechaniczną. W ogólnym ujęciu moc określa, jak szybko jedna forma energii zamienia się w inną.

■ Kilowatogodzina

W tym podręczniku posługujemy się jednostkami z układu SI, w którym jednostką pracy i energii jest dżul. Trzeba jednak wspomnieć o jednostce energii używanej na co dzień, np. przy pobieraniu opłat za energię elektryczną. Jest nią kilowatogodzina (kWh), równa energii zużytej przez urządzenie o mocy 1 kW w ciągu 1 godziny. Łatwo przeliczyć ją na dżule, pamiętając, że:

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W}, \text{ a } 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Podsumowanie

- Moc informuje nas o tym, jak szybko została wykonana praca, czyli jaka praca została wykonana w jednostce czasu, np. w ciągu sekundy.
- Moc obliczamy, dzieląc pracę przez czas, w jakim została wykonana: $P = \frac{W}{t}$.
- Jednostką mocy w układzie SI jest wat: $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$.
- Kilowatogodzina to jednostka energii: $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.



Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Oblicz moc w opisanych sytuacjach.

a) Żarówka zużyła 120 J energii elektrycznej w ciągu 6 s.

b) Człowiek pcha wózek, działając siłą 100 N. Drogę 5 m przebył w czasie 2 s.

c) Odkurzacz zużył 1,8 MJ energii elektrycznej w ciągu 1 godziny.

2. Oblicz:

a) jaką pracę wykona silnik o mocy 2 kW w ciągu 1 min,

b) w jakim czasie silnik o mocy 5 kW wykona pracę 2 MJ.

3. Boisko oświetla 16 lamp o mocy 500 W każda. Oblicz, ile kilowatogodzin energii elektrycznej zużyją lampy w czasie czterech godzin pracy. Przelicz kilowatogodziny na dzule.

4. W domu włączone są: dwie żarówki o mocy 100 W, dwie żarówki o mocy 40 W i pralka o mocy 1000 W. Oblicz, ile kilowatogodzin energii elektrycznej zużyją w ciągu 20 minut. Przelicz otrzymany wynik na dzule. Oblicz, ile trzeba zapłacić za tę energię.

Uwaga. Przyjmijmy, że 1 kWh energii elektrycznej kosztuje 50 gr.



5. Stary zegar z kukułką ma dwa ciężarki zawieszone na łańcuchach. Jeden z nich napędza mechanizm zegara, a drugi kukułkę.

a) Ciężarek napędzający mechanizm zegara ma masę 2,5 kg. Wisi on na łańcuszku długości 90 cm. O całą tę długość przesuwa się w czasie 12 h. Jaka jest moc tego napędu?

b) Drugi ciężarek zegara, mający taką samą masę, napędza kukułkę. W czasie kukania łańcuszek przesuwa się z prędkością $8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Oblicz moc napędu kukułki.

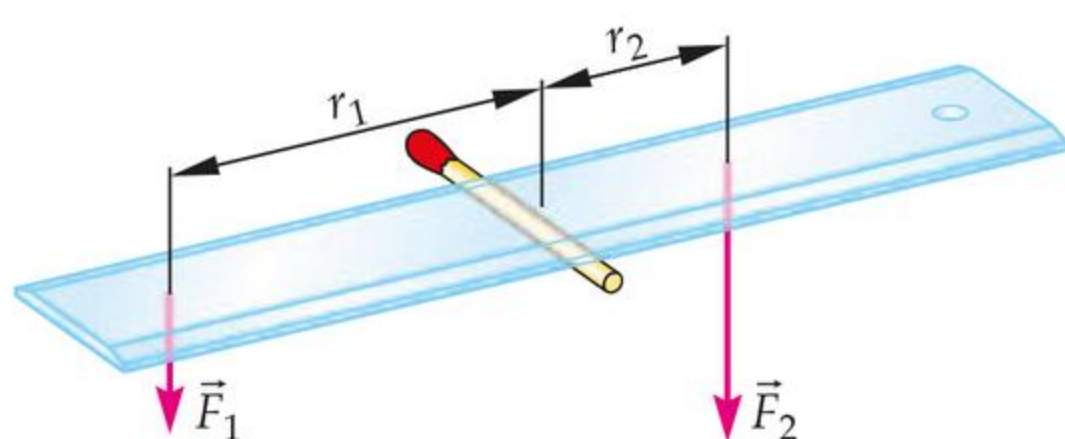
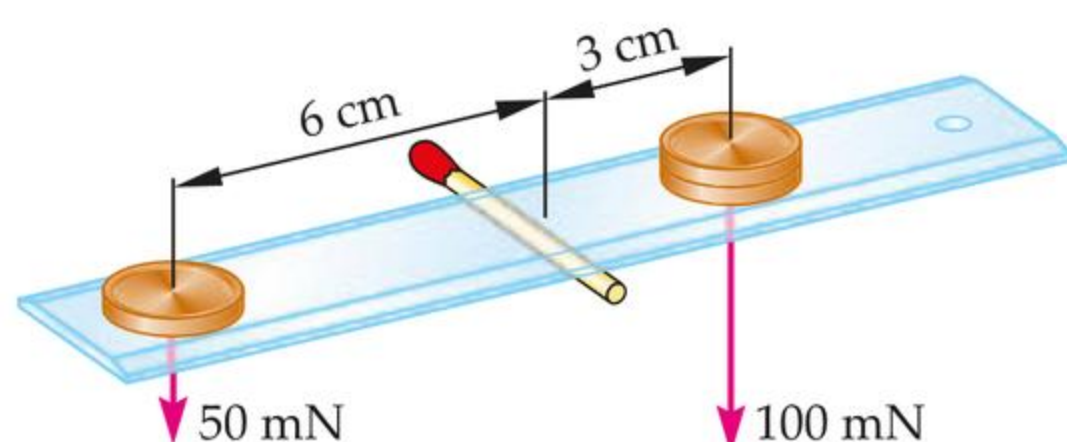
Wskazówka. Oblicz, jak zmieni się energia potencjalna ciężarka w czasie 1 s.



D Dźwignie

Doświadczenie

1. Połóż 20-centymetrową linijkę na zapalce, tak jak na zdjęciu. Jeśli podeprzesz ją w połowie długości, nie powinna opadać w żadną stronę. Jeśli to konieczne, możesz ją obciążyć odrobiną plasteliny.
2. Połóż dwie złotówki (jedna na drugiej) w odległości 3 cm od środka linijki (liczy się odległość środka monety od środka linijki).
3. Spróbuj teraz położyć jedną złotówkę na linijce z drugiej strony zapalki, tak aby linijka nie opadała w żadną stronę. W jakiej odległości od środka linijki należy położyć monetę?



Ciężar jednej monety równoważy ciężar dwóch monet (a więc siłę dwukrotnie większą), gdyż przyłożony jest dwukrotnie dalej od osi obrotu (w opisanym wypadku – od zapalki).

Zauważ, że gdy ciężar monety pomnożymy przez jej odległość od osi obrotu, otrzymamy dla obu stron tę samą wartość:

$$50 \text{ mN} \cdot 6 \text{ cm} = 300 \text{ mN} \cdot \text{cm}$$

$$100 \text{ mN} \cdot 3 \text{ cm} = 300 \text{ mN} \cdot \text{cm}$$

■ Prawo dźwigni

Linijka na zapalce to prosta dźwignia.

Na rysunku obok zaznaczono działające siły: $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, oraz ich ramiona: r_1 i r_2 .

Prawo dźwigni: Dźwignia jest w równowadze, gdy

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

W przeciwnym razie przechyli się ona w tę stronę, z której iloczyn jest większy.

Uwaga. To prawo jest słuszne, gdy siły działają prostopadle do dźwigni.

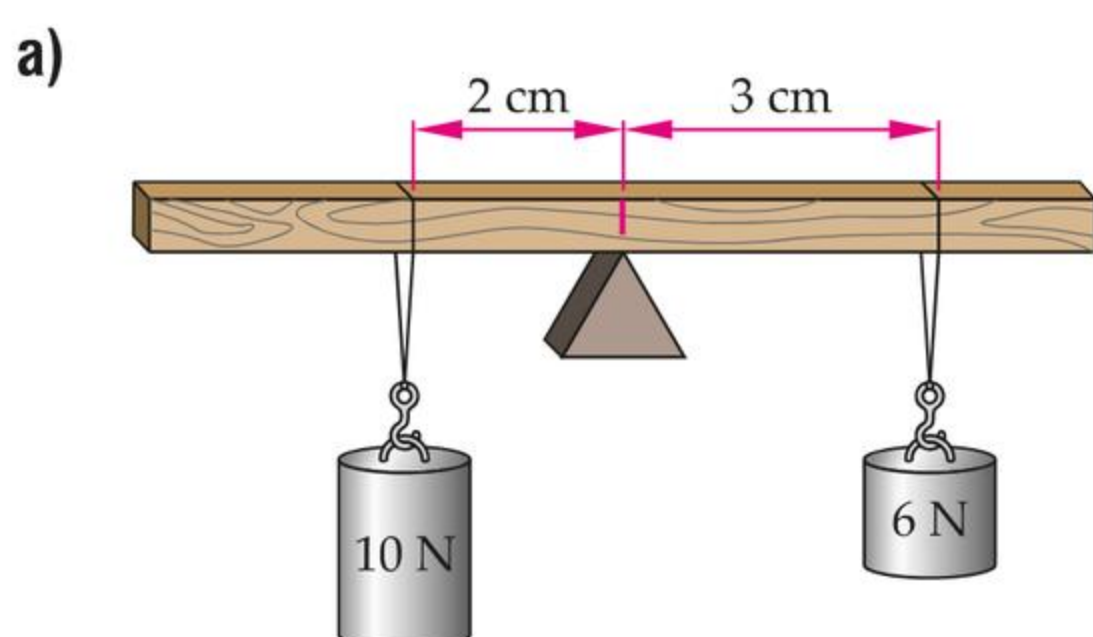
Doświadczenie

Ułóż:

- z jednej strony linijki jedną monetę, a z drugiej strony – trzy monety,
- z jednej strony linijki dwie monety, a z drugiej strony – trzy monety.

Sprawdź, czy iloczyny ciężaru i odległości w stanie równowagi są jednakowe.

Przykład 1. Czy dźwignia przedstawiona na rysunku jest w równowadze? Jeśli nie, w którą stronę się przechyli?



Z lewej strony:

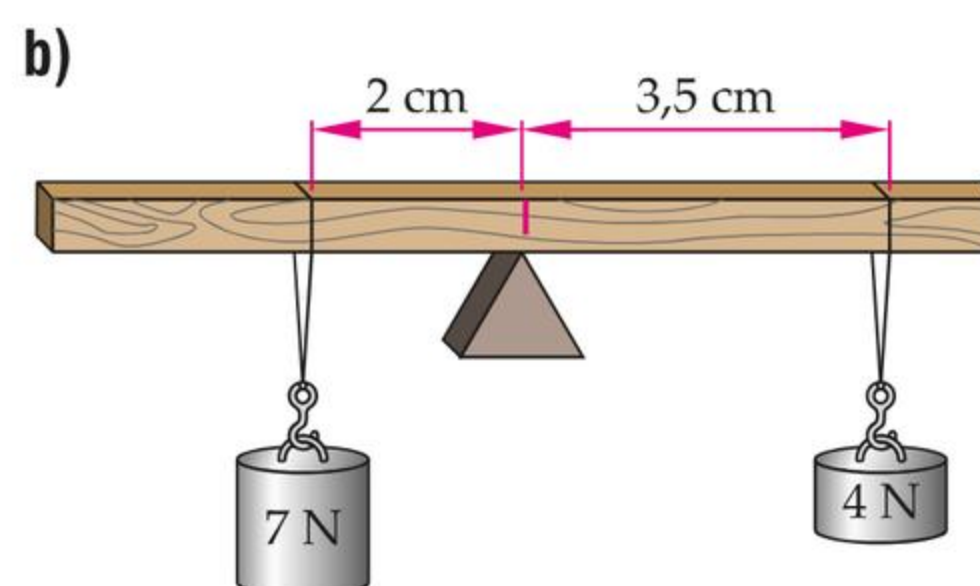
$$F_1 \cdot r_1 = 10 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 20 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Z prawej strony:

$$F_2 \cdot r_2 = 6 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 18 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

$$F_1 \cdot r_1 > F_2 \cdot r_2$$

Odpowiedź: Dźwignia przechyli się w lewo (tzn. lewa strona się obniży).



Z lewej strony:

$$F_1 \cdot r_1 = 7 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 14 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Z prawej strony:

$$F_2 \cdot r_2 = 4 \text{ N} \cdot 3,5 \text{ cm} = 14 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

Odpowiedź: Dźwignia jest w równowadze.

■ Dźwignie i proporcja

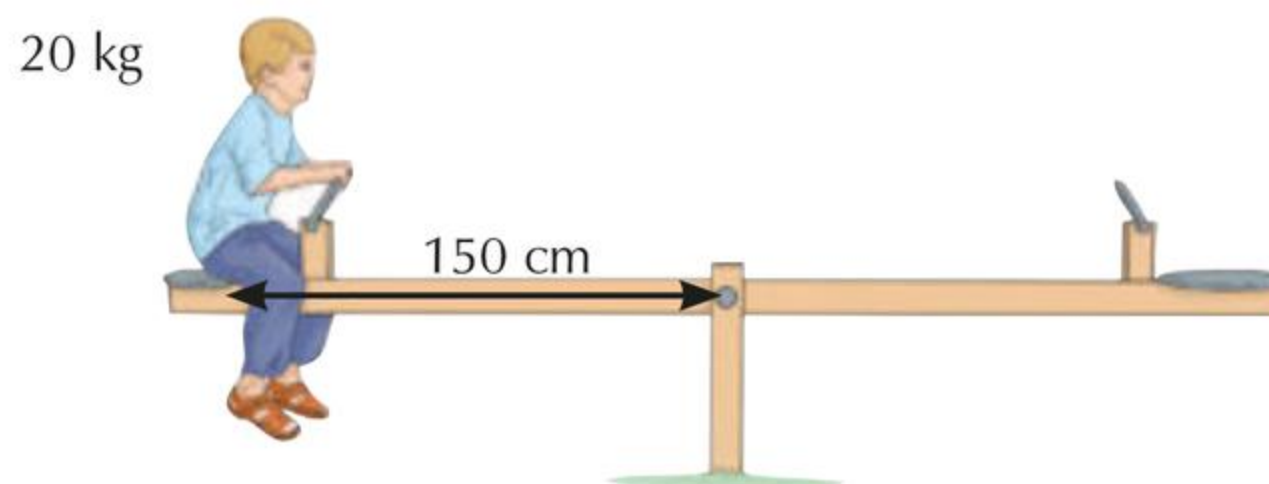
Prawo dźwigni można wyrazić inaczej:

Jeśli siła F_2 jest tyle razy większa od siły F_1 , ile razy dalej od osi obrotu przyłożona jest siła F_1 , to dźwignia jest w równowadze.

Na przykład, jeśli siła F_2 jest 2 razy większa od siły F_1 , ale za to F_1 jest przyłożona 2 razy dalej, to dźwignia jest w równowadze.

Prawo dźwigni w tej postaci pozwala w prosty sposób rozwiązywać wiele zadań.

Przykład 2. Franek usiadł na huśtawce w odległości 150 cm od jej osi obrotu. Masa Franka wynosi 20 kg. W jakiej odległości od osi powinno usiąść drugie dziecko, o masie 30 kg, aby huśtawka była w równowadze?



Drugie dziecko ma ciężar $\frac{300 \text{ N}}{200 \text{ N}} = 1,5$ raza większy od pierwszego, więc musi siedzieć 1,5 raza bliżej, czyli w odległości:

$$\frac{150 \text{ cm}}{1,5} = 100 \text{ cm}$$

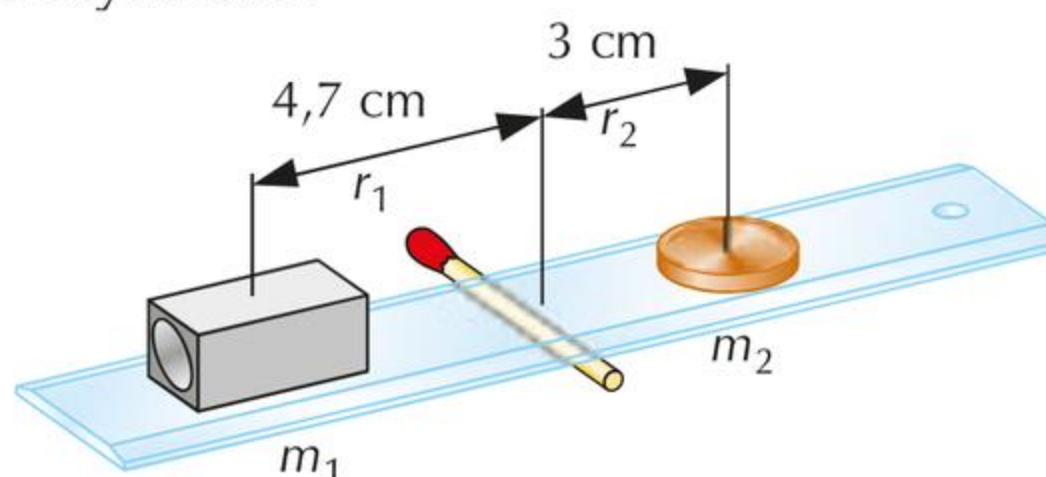
Odpowiedź: Drugie dziecko powinno usiąść w odległości 100 cm od osi huśtawki.

■ Dźwignia jako waga

Dźwignia może służyć do wyznaczania masy ciał.

Przykład 3. Kasia wyznaczała masę temperówki. Wykonała następujące czynności.

r_1 – odległość temperówki od osi obrotu
 r_2 – odległość monety od osi obrotu
 m_1 – masa temperówki
 m_2 – masa monety



1. Położyła linijkę na zapalce jak w doświadczeniu na początku lekcji.
2. Z jednej strony położyła monetę 1 zł, a z drugiej strony – temperówkę.
3. Przygotowała tabelę do zapisywania wyników.

	r_2 , cm	r_1 , cm	Porównanie odległości	m_2 , g	m_1 , g
Pomiar 1.	3	4,7	temperówka 1,567 razy dalej	5	3,19
Pomiar 2.	4	6,1	temperówka 1,525 razy dalej	5	3,28
Pomiar 3.	6	8,9	temperówka 1,483 razy dalej	5	3,37
Średni wynik					3,3

4. Następnie przesuwiała monetę i temperówkę tak, aby linijka nie przechylała się na żadną stronę – aby dźwignia była w równowadze. Nastąpiło to, gdy środek monety znajdował się w odległości 3 cm, a środek temperówki – w odległości 4,7 cm od środka linijki.

5. Obliczyła, ile razy ramię dźwigni od strony temperówki było dłuższe niż od strony monety: $4,7 : 3 \approx 1,567$.

6. Zauważyła, że ciężar temperówki jest tyle samo razy mniejszy od ciężaru monety, ile razy masa temperówki jest mniejsza od masy monety.

Wiedząc, że masa monety 1 zł wynosi 5 g, obliczyła więc masę temperówki: $m = 5 \text{ g} : 1,567 \approx 3,19 \text{ g}$.

7. Wpisała wyniki pomiarów i obliczeń do pierwszego wiersza tabeli. Następnie wykonała pomiary i obliczenia jeszcze dwa razy, także wpisując ich wyniki do tabeli.

8. Na koniec obliczyła średnią z trzech pomiarów masy temperówki i zaokrągliła ją do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: Masa temperówki wynosi 3,3 g.

Podsumowanie

- Mniejsza siła działająca dalej od osi obrotu dźwigni może zrównoważyć większą siłę działającą bliżej osi.
- Jeśli z dwóch stron na dźwignię działają prostopadłe do niej siły F_1 i F_2 , zaczepione w odległościach r_1 i r_2 od osi obrotu, przy czym $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$, to dźwignia jest w równowadze.
- Jeśli siła F_2 jest tyle razy większa od siły F_1 , ile razy dalej od osi obrotu przyłożona jest siła F_1 , to dźwignia jest w równowadze.
- Dźwignię można wykorzystać do wyznaczania masy ciała.

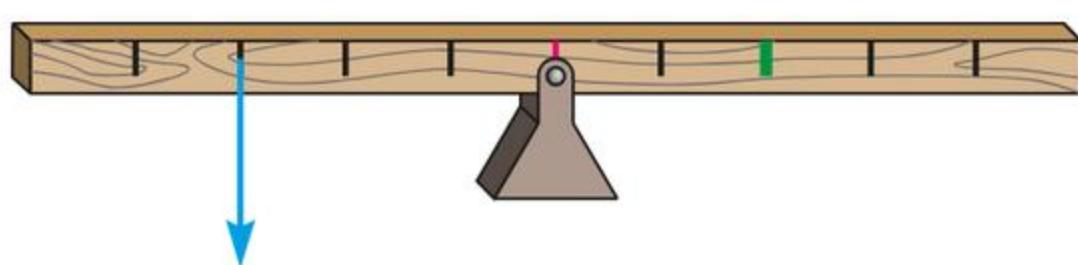
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

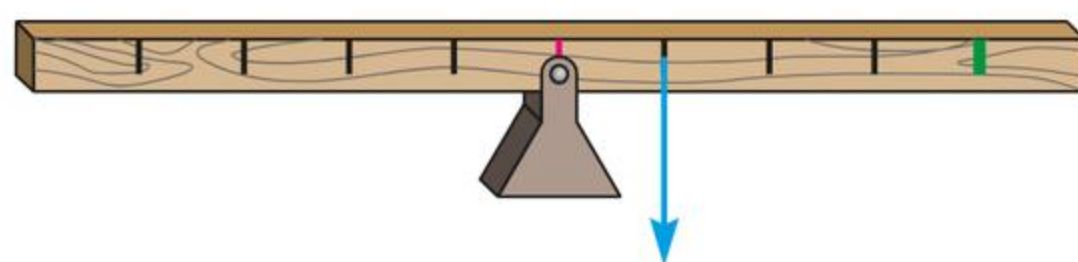


1. Oblicz wartość siły, jaką należy przyłożyć w miejscu zaznaczonym na zielono, aby dźwignia była w równowadze. Wskaż, w którą stronę ta siła powinna działać. Siła oznaczona niebieską strzałką ma wartość 8 N.

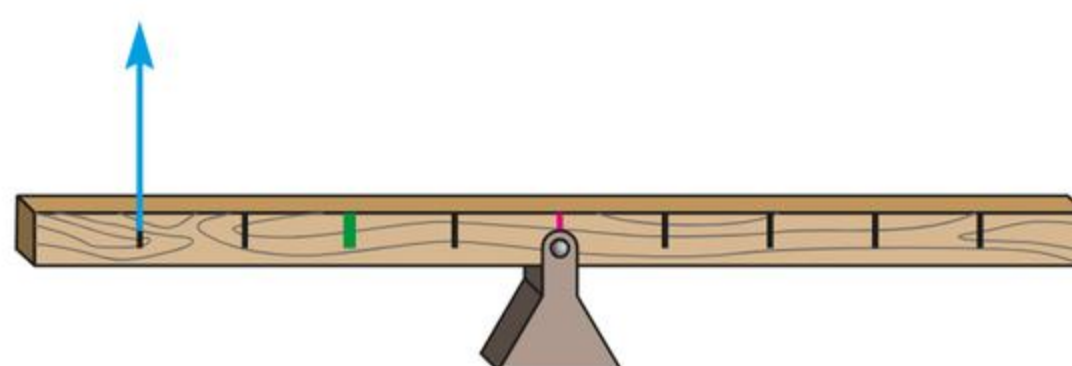
a)



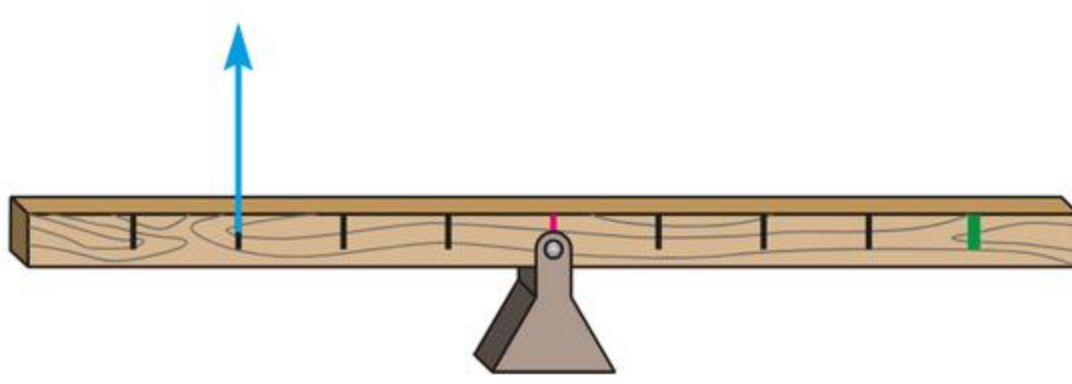
b)



c)

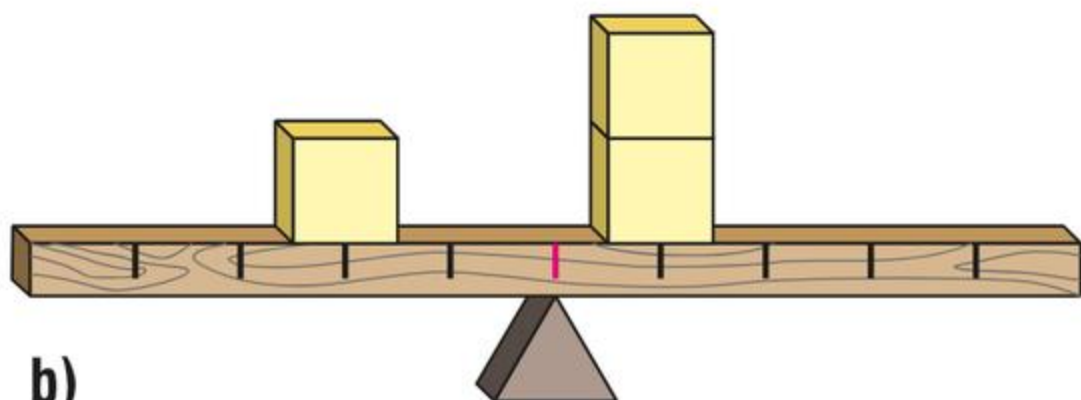


d)

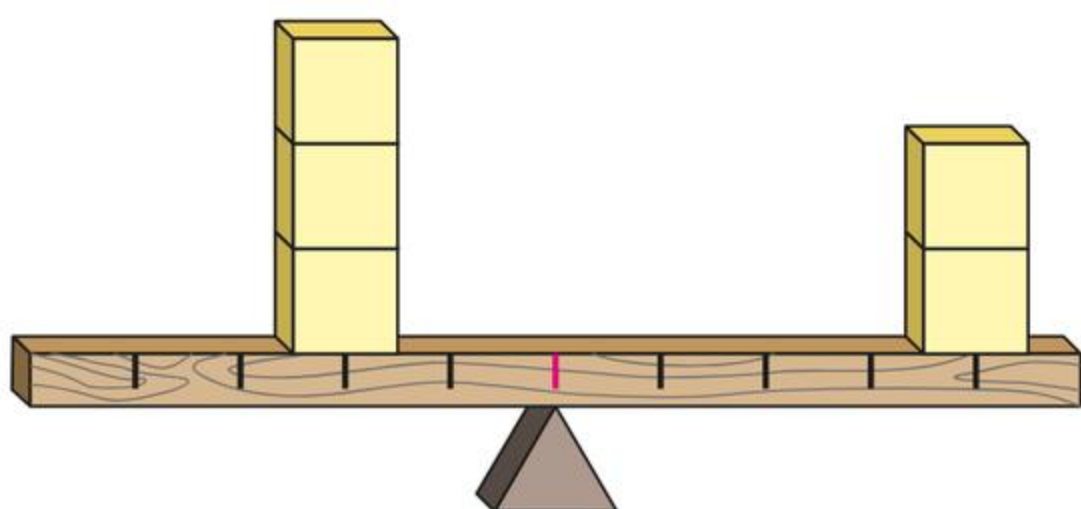


2. Każdy z klocków ma taki sam ciężar. Czy w sytuacji przedstawionej na rysunku dźwignia będzie w równowadze? Jeśli nie, to w którą stronę się przechyli?

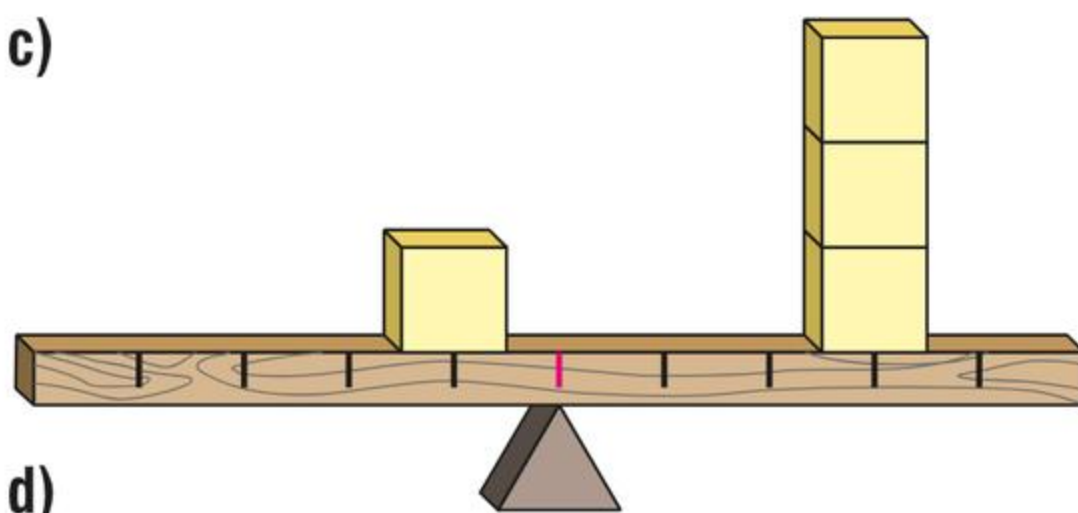
a)



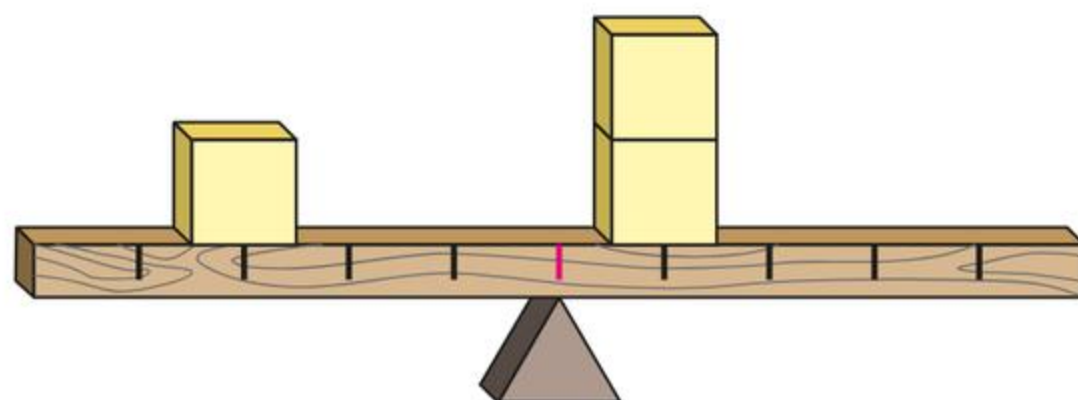
b)



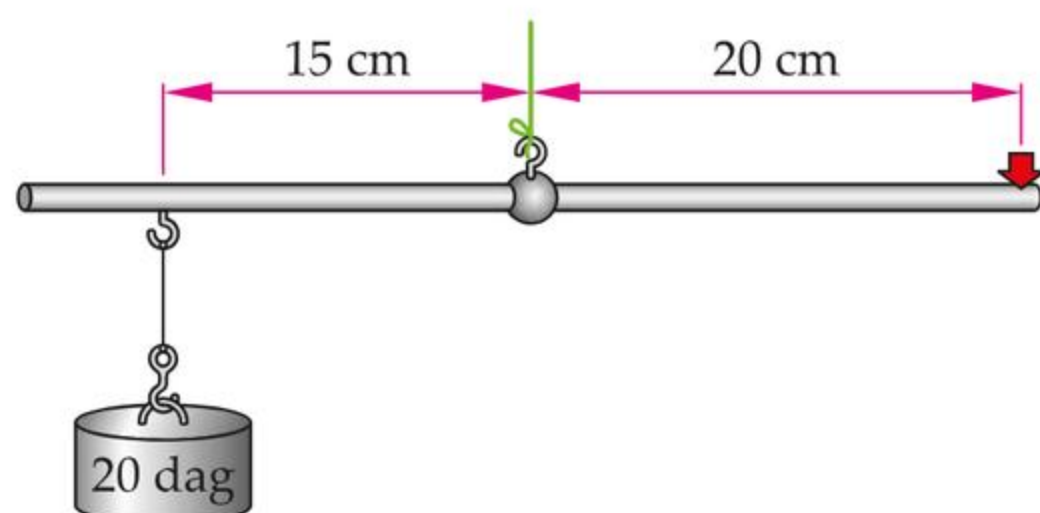
c)



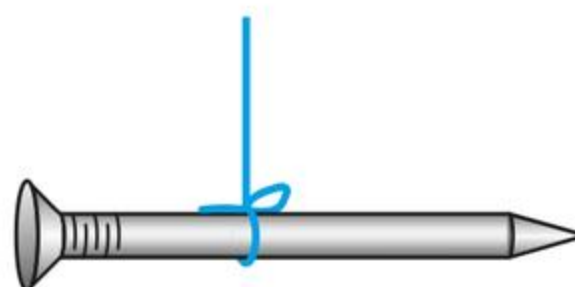
d)



3. Oblicz wartość siły, jaką trzeba przyłożyć do dźwigni w zaznaczonym miejscu, aby była w równowadze. Pomiń ciężar dźwigni.



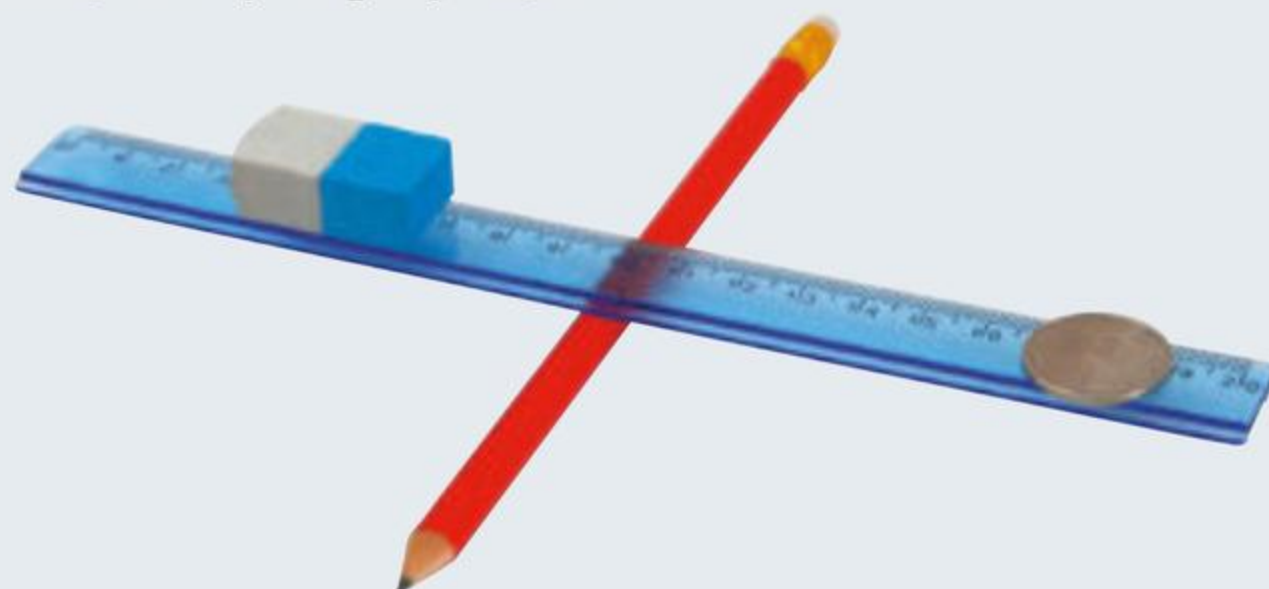
4. Ania powiesiła gwóźdź na nitce tak, aby nie przechylał się w żadną stronę. Następnie przecięła go wzdłuż nitki. Wskaż, która z części gwoździa ma większą masę: ta z łebkiem czy ta z ostrym końcem. A może te masy są równe? Odpowiedź uzasadnij.



Doświadczenie

Linijka jako waga

1. Przygotuj kilka niewielkich przedmiotów. Spróbuj oszacować ich masę. Zapisz w zeszycie wynik swoich przewidywań.
2. Używając linijki jako dźwigni, zważ kilka drobnych przedmiotów i zapisz w zeszycie ich masy. Sposób postępowania opisaliśmy w przykładzie na s. 140. Jeśli będziesz potrzebować cięższych odważników, możesz użyć stosików 2–3 monet. Porównaj wyniki ze swoimi przewidywaniami.
3. Jeśli twoja waga z doświadczenia opisanego na s. 88 zachowała się do tej pory, możesz porównać wyniki ważenia za pomocą obu tych przyrządów.



D Maszyny proste

Doświadczenie

Ułóż linijkę, zapalkę i monetę tak, jak na zdjęciu. Prawe ramię dźwigni przyciśnij palcem. Kiedy musisz działać większą siłą, aby podnieść lewe ramię dźwigni: wtedy, gdy przyłożysz palec blisko osi obrotu, czy wtedy, kiedy twój palec znajdzie się daleko od niej? W której z opisanych sytuacji twój palec przebywa dłuższą drogę?



Prawo dźwigni mówi o dowolnych siłach działających na dźwignię, a nie tylko o ciężarze ciała. Za pomocą dźwigni możemy podnieść ciało, działając siłą mniejszą od jego ciężaru, ale musimy wówczas działać tą siłą na dłuższej drodze. Dźwignia nie pozwala więc „zaoszczędzić pracy”.

■ Dźwignie dwustronne i jednostronne

Doświadczenie

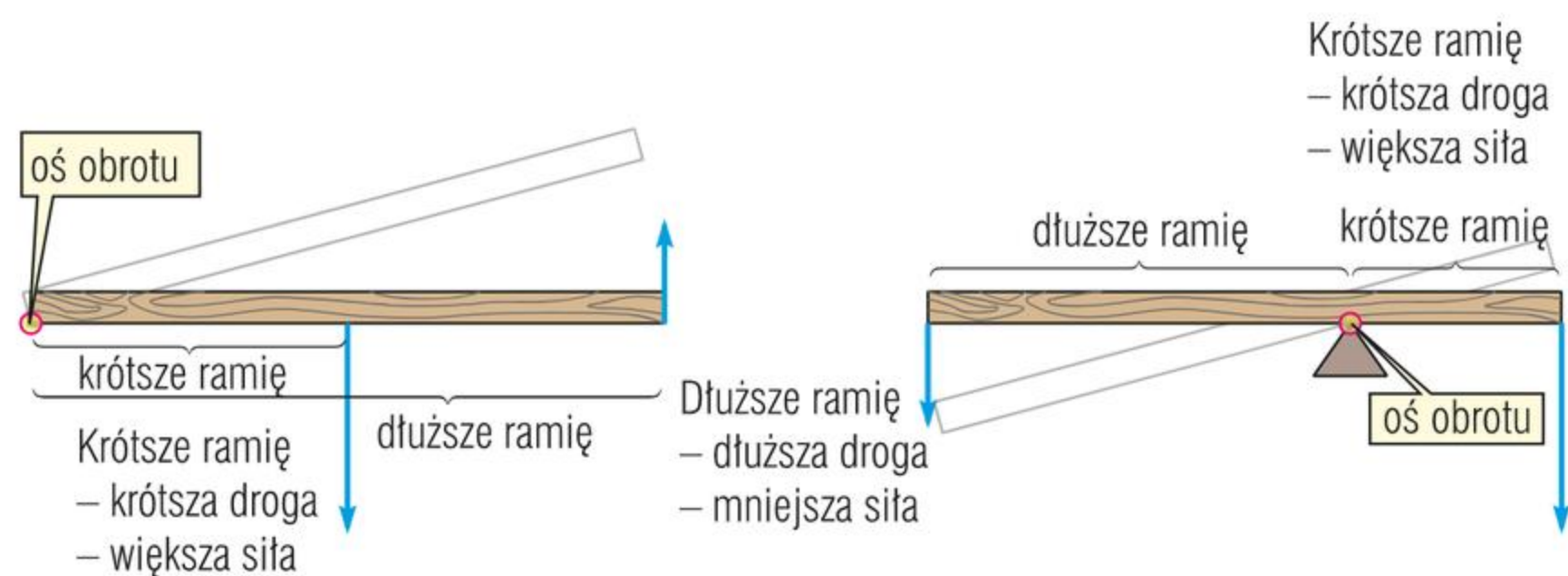
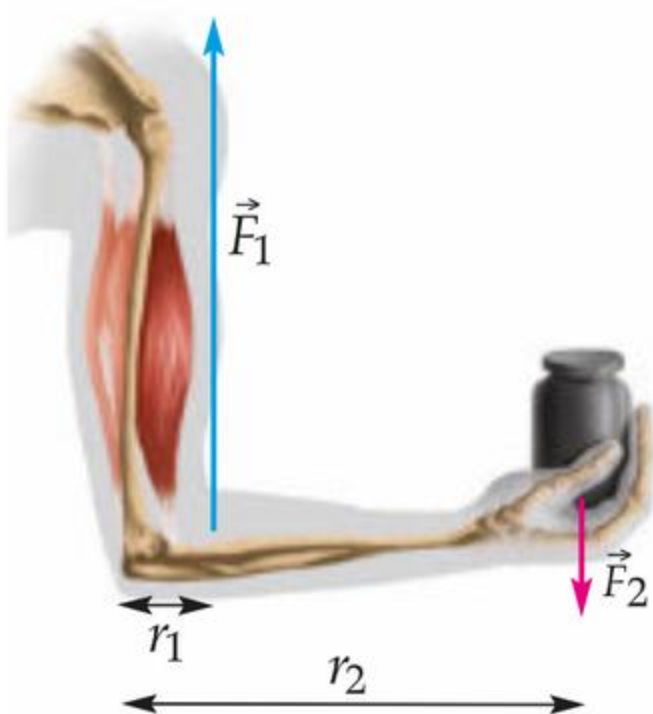
Weź długi przedmiot (kij od szczotki, rurę od odkurzacza itp.). Jeden jego koniec oprzyj o stół, drugi podeprzyj dłonią. Powieś na nim (bliżej punktu oparcia o stół) dość ciężki przedmiot, np. swój plecak. Spróbuj podnieść plecak, naciskając od dołu na kij (rurę). Kiedy jest do tego potrzebna większa siła: wtedy, gdy naciskasz bliżej końca kija (rury), czy wtedy, gdy naciskasz bliżej punktu oparcia o stół?



W tym doświadczeniu również mamy do czynienia z dźwignią, ale jednostronną: siła, którą działasz, i ciężar plecaka działają z tej samej strony osi obrotu. W poprzednim doświadczeniu powstała natomiast dźwignia dwustronna.

Ciekawostka

Rysunek przedstawia mięsień zginający rękę w łokciu. Jest on przyczepiony do kości przedramienia w pobliżu stawu łokciowego. Dzięki temu maksymalna siła, którą możemy działać, zmniejsza się, ale zwiększa się prędkość ruchu ręki. W czasie, gdy mięsień kurczy się o 1 cm, dłoń przesuwa się o ok. 10 cm. Podobnie jest z innymi mięśniami w naszym ciele. Takie rozwiązanie świadczy o przystosowaniu ewolucyjnym naszych przodków. Prędkość ucieczki przed drapieżnikami i pogoni za zwierzyną bardziej zwiększała szanse przeżycia niż duża siła. Czy utrzymasz ciało o masie 20 kg? Gdyby nie dźwignia w twojej ręce, utrzymałbyś nawet 200 kg. Ale wtedy poruszałbyś ręką 10 razy wolniej.



Z oboma typami dźwigni mamy do czynienia na co dzień.



Dziadek do orzechów
(dźwignia jednostronna)



Nożyczki
(dźwignia dwustronna)



Taczka
(dźwignia jednostronna)

■ Przykład obliczeń

W obliczeniach dotyczących wykorzystywania dźwigni postępujemy podobnie, jak przy badaniu równowagi. Także w tym wypadku korzystamy z równości:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

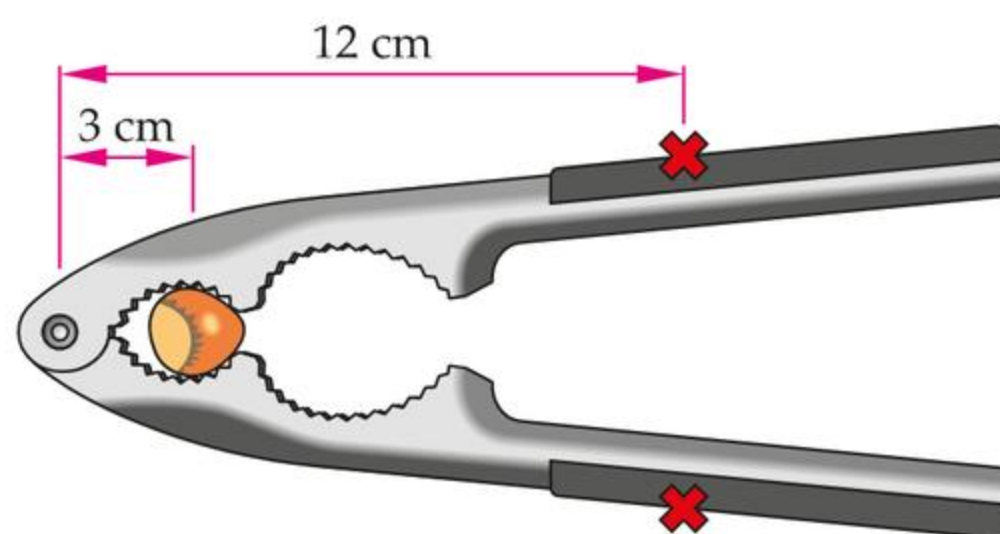
Przykład. Orzech pęknie, gdy z dwóch stron zadziałają na niego siły 500 N. Jaką siłą należy działać na dziadka do orzechów w miejscach zaznaczonych krzyżykami?

Dane:

$$\begin{aligned} r_1 &= 12 \text{ cm} \\ F_2 &= 500 \text{ N} \\ r_2 &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Szukane:

$$F_1 = ? - \text{siła}$$



Sposób I

Ramię siły działającej na orzech jest 4 razy krótsze niż ramię siły, którą ściskamy dziadka ($r_1 = 4 \cdot r_2$), więc dźwignia zwiększa siłę 4 razy. Wystarczy więc działać siłą 4 razy mniejszą niż 500 N, czyli siłą 125 N.

Sposób II

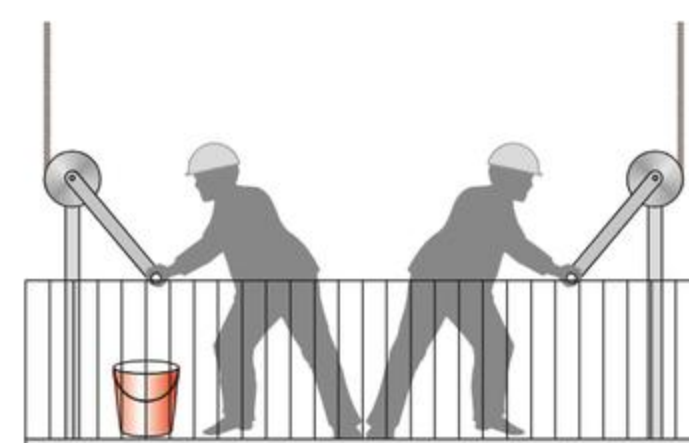
Z równości $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ otrzymujemy:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{r_1} = \frac{500 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} = 125 \text{ N}$$

Odpowiedź: Potrzebna jest siła 125 N.

Kołowrót

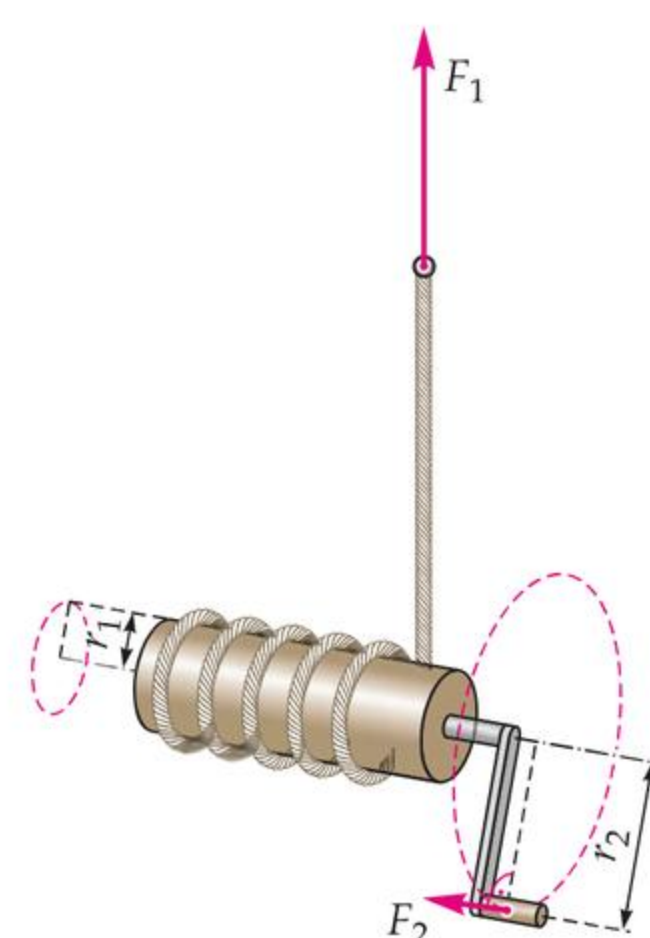
Na zdjęciu widzisz robotników okładających ściany domu styropianem. Stoją oni na wiszącej platformie, którą można podnosić i opuszczać, kręcąc kołowrotem. Platforma wraz z dwoma robotnikami i ich narzędziami jest bardzo ciężka. Jednak dzięki działaniu kołowrotu można ją wciągać na górę stosunkowo niewielką siłą.



Obejrzyjmy kołowrót dokładniej. Przy jednym obrocie koniec korby przebywa pewną drogę, np. 150 cm. W tym czasie na bęben nawija się znacznie krótszy odcinek liny, np. 30 cm, czyli 5 razy mniej. Za to na koniec korby możemy działać odpowiednio mniejszą siłą, w opisywanym przypadku 5 razy mniejszą. Wykonana praca jest taka sama jak wówczas, gdybyśmy bezpośrednio ciągnęli linę, ale na takie bezpośrednie działanie mogłoby nam nie wystarczyć siły.

Kołowrót działa więc podobnie do dźwigni. Potrzebna siła jest tyle razy mniejsza, ile razy promień korby jest dłuższy od promienia bębna. Wzór jest więc identyczny jak w wypadku dźwigni:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$



Mechanizm roweru

Z kołowrotem mamy do czynienia przy pedałach roweru. Pedał sięga dalej niż kółko zębate, a więc można go naciskać słabiej niż należałoby czynić, gdyby sięgał tylko do jego brzegu.

Jednak przełożenie przy pedałach to nie wszystko. Łańcuch obraca kółko zębate przy tylnym kole, które można traktować jako kołowrót działający w drugą stronę.

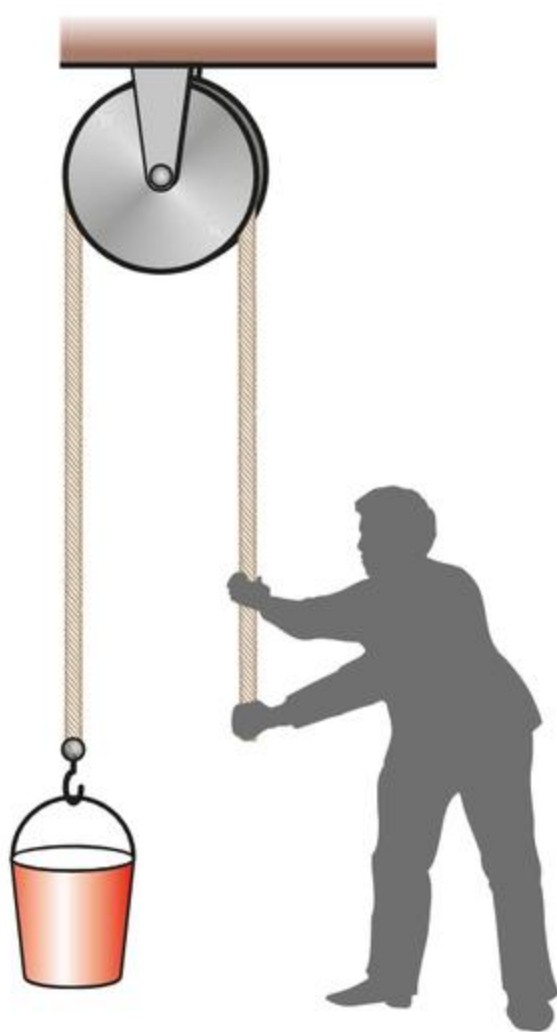


Tym razem zębátka jest mniejsza od koła, więc łańcuch trzeba ciągnąć z większą siłą niż siła potrzebna do bezpośredniego pchania roweru. Koło jednak może się kręcić szybciej.

Im mniejsze kółko zębate przy tylnym kole, tym większa siła jest potrzebna do pedałowania, ale też szybciej można jechać. Takie przełożenie jest wygodne do szybkiej jazdy po płaskiej i równej nawierzchni. Im koło zębate większe, tym mniejsza siła jest potrzebna, łatwiej więc rozpędzać się, jechać pod górę czy po piasku.

Dlatego wiele rowerów zaopatruje się w **przerzutkę** – kilka kółek zębatach różnej wielkości i urządzenie pozwalające przekładać łańcuch z jednego kółka na drugie.

W samochodzie analogiczną rolę pełni skrzynia biegów.



■ Blok nieruchomy

Na koniec jeszcze jedno proste urządzenie – **blok nieruchomy**. Nie pozwala on działać mniejszą siłą, ale umożliwia działanie siłą w tę stronę, w którą jest wygodniej. Łatwiej ciągnąć linę w dół, niż pchać wiadro w górę.

■ Maszyny proste

Dźwignie, kołowrót i blok nieruchomy nazywamy **maszynami prostymi**. Maszyny proste pozwalają zmniejszyć siłę, którą trzeba działać, ale nie pozwalają zmniejszyć pracy do wykonania. Wynika to z zasady zachowania energii. Maszyny proste nie są zasilane energią elektryczną ani chemiczną. Jedynym źródłem energii jest ich użytkownik.

Podsumowanie

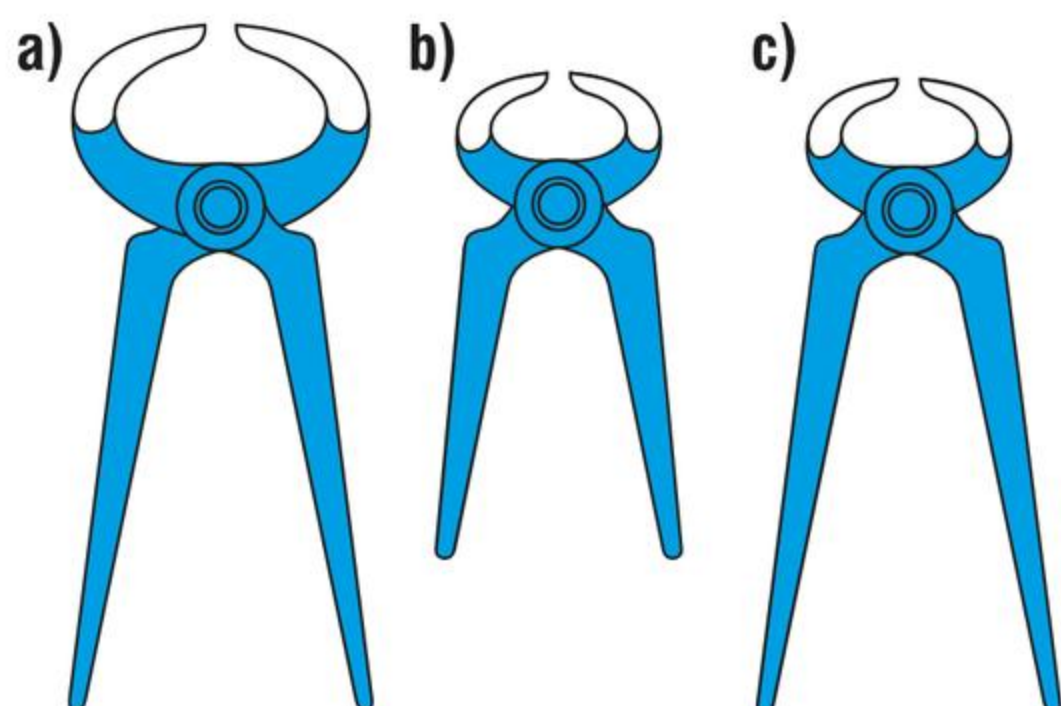
- Kołowrót pozwala działać dużą siłą na nawijaną linę nawet wtedy, gdy siła działająca na korbę jest niewielka.
- Mechanizm napędu roweru działa podobnie jak mechanizm kołowrotu.
- Dźwignie, kołowrót i blok nieruchomy to przykłady maszyn prostych.
- Maszyny proste pozwalają zwiększać lub zmniejszać działającą siłę, ale ich zastosowanie nie zmniejsza pracy do wykonania.
- W obliczeniach dotyczących dźwigni korzystamy z równości: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

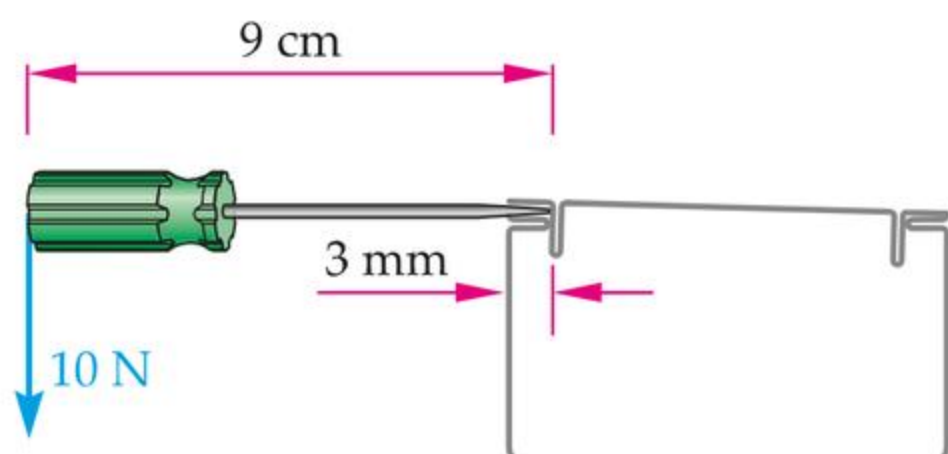


1. Oceń, którymi obcęgami najłatwiej przeciąć drut. Uzasadnij odpowiedź.

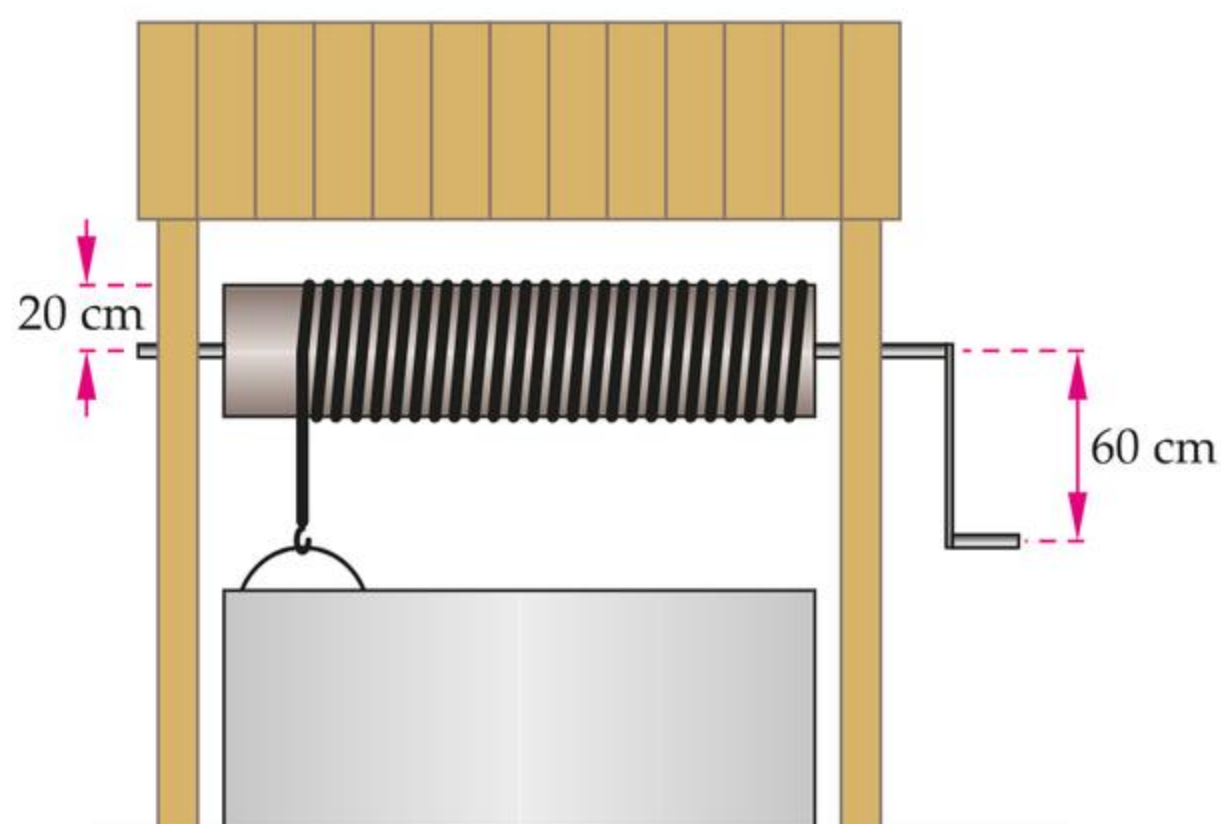


2. Dwie jednakowo obciążone taczki różnią się tylko długością rączek. Ustal, którą z nich łatwiej podnieść: tę z dłuższymi czy tę z krótszymi rączkami. Uzasadnij odpowiedź.

3. Aby otworzyć puszkę farby przedstawioną w przekroju na rysunku poniżej, naciskamy koniec śrubokręta siłą 10 N. Jaką siłą należałoby działać bezpośrednio na brzeg wieczka?

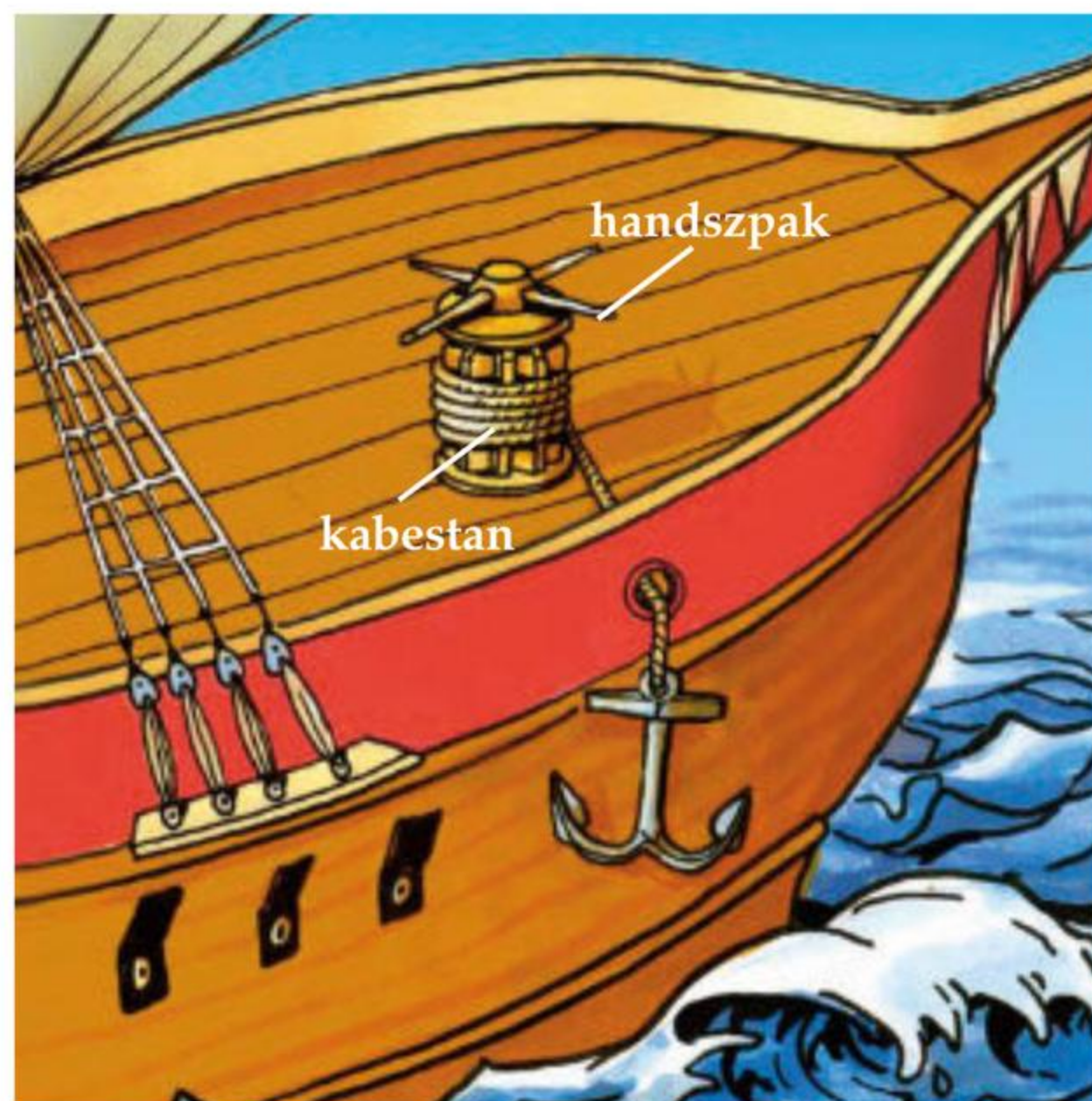


4. Bęben kołowrotu służącego do wyciągania wody ze studni ma promień 20 cm, a korba – 60 cm. Wiadro z wodą i lina mają łączną masę 15 kg. Oblicz wartość siły, jaką trzeba działać na korbę, aby wyciągnąć wiadro.



5. Jedna ze zwrotek piosenki „Morskie opowieści” brzmi:

*Był na Lwowie młodszy majtek
Czort, Rasputin, bestia taka,
Że sam kręcił kabestanem
I to bez handszpak.*

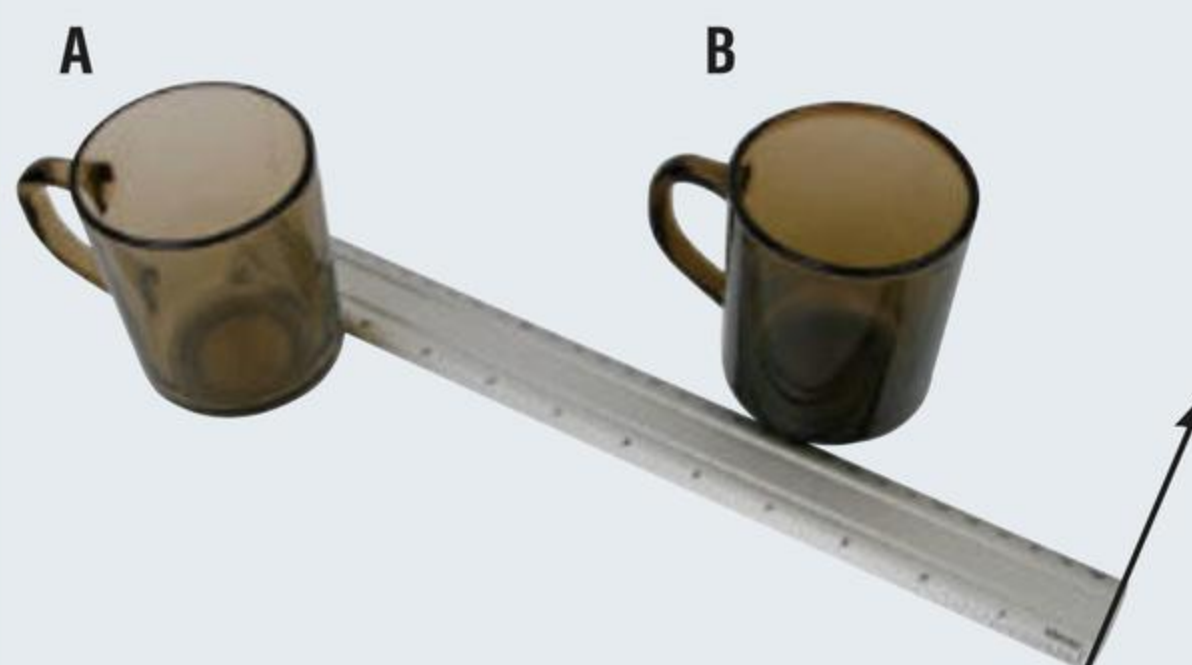


Przyjrzyj się ilustracji i wyjaśnij, dlaczego taka opowieść musi być mocno przesadzona.

Doświadczenie

Dwa kubeczki

1. Ustaw na stole dwa jednakowe kubeczki i połóż między nimi linijkę (jak na zdjęciu).
2. Jak myślisz, czy gdy poruszyś linijkę zgodnie ze strzałką, pierwszy poruszy się kubeczek A czy B? A może poruszą się jednocześnie?
3. Sprawdź doświadczalnie swoje przypuszczenia.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Jeśli siła działa w tę samą stronę, w którą przemieszcza się ciało, to pracę obliczamy, mnożąc wartość siły przez drogę. Możemy to zapisać wzorem: $W = F \cdot s$. Jednostką pracy jest dżul ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$).
2. Energia to zdolność ciała do wykonania pracy. Energię mierzymy w tych samych jednostkach, w których mierzymy pracę, czyli w dżulach. Inne jednostki energii: $1 \text{ kcal} = 4200 \text{ J}$, $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.
3. Zasada zachowania energii: energia nie powstaje z niczego ani nie znika, może tylko zmieniać postać.
4. Istnieje wiele form energii, np.: energia potencjalna grawitacji, energia kinetyczna, energia potencjalna sprężystości, energia wewnętrzna, energia elektryczna, energia chemiczna, energia jądrowa.
5. Energię potencjalną określamy zawsze względem wybranego poziomu. Obliczamy ją ze wzoru $E_p = Q \cdot h = m \cdot g \cdot h$. Energię kinetyczną obliczamy ze wzoru: $E_k = \frac{1}{2} mv^2$.
6. Sumę energii potencjalnej i energii kinetycznej ciała nazywamy jego energią mechaniczną.
7. Moc to wielkość określająca pracę wykonaną w jednostce czasu: $P = \frac{W}{t}$. Jednostką mocy jest wat ($1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$).
- 8*. Nawet mała siła działająca na dźwignię może zrównoważyć dużą siłę, jeśli tylko działa dalej od osi obrotu. Jeśli na dźwignię działają prostopadłe do niej siły F_1 i F_2 przyłożone w odległościach r_1 i r_2 , przy czym $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$, to dźwignia jest w równowadze. Dźwignię można wykorzystywać do porównywania sił ciężkości, a zatem także do pomiaru masy ciała. Dźwignia pozwala działać mniejszą siłą niż byłaby potrzebna bez jej użycia, nie zmniejsza jednak pracy, którą trzeba wykonać. W podobny sposób działa kołowrót.

**Test 1.**

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To musisz umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Praca, jaką wykonasz, jeśli działając siłą 10 N, przesuńiesz ciało o 5 m w stronę, w którą działa siła, wynosi

- A. 2 J. B. 15 J. C. 50 J. D. 500 J.

2. Gdy narciarz rozpędza się, jadąc z góry,

- A. jego energia potencjalna rośnie, a energia kinetyczna maleje.
B. jego energia potencjalna maleje, a energia kinetyczna rośnie.
C. jego energie kinetyczna i potencjalna rosną.
D. jego energie kinetyczna i potencjalna maleją.

3. Gdy narciarz jedzie z góry ze stałą prędkością, jego energia potencjalna

- A. znika.
B. zmienia się w energię kinetyczną.
C. zmienia się w energię wewnętrzną.
D. zmienia się w energię jądrową.

4. W suszarce do włosów energia elektryczna

- A. zmienia się tylko w energię wewnętrzną.
B. zmienia się tylko w energię kinetyczną.
C. zmienia się w energię wewnętrzną i energię kinetyczną powietrza.
D. nie zmienia się ani w energię wewnętrzną, ani w kinetyczną.

5. Silnik wykonał pracę 300 J w ciągu 2 s. Moc tego silnika wynosi

- A. 150 W.
B. 600 W.
C. $\frac{1}{150}$ W.
D. 302 W.

6. W ciągu 10 godzin 40-watowa żarówka zużyje

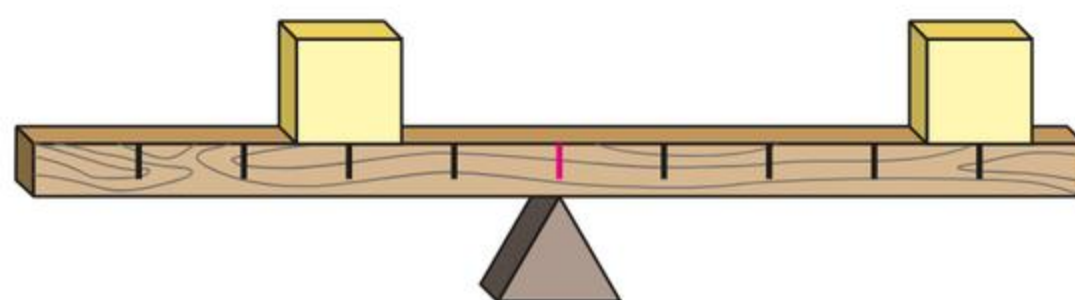
- A. 0,04 kWh energii elektrycznej.
B. 0,4 kWh energii elektrycznej.
C. 4 kWh energii elektrycznej.
D. 40 kWh energii elektrycznej.

7*. Nożyce do cięcia blachy muszą mieć

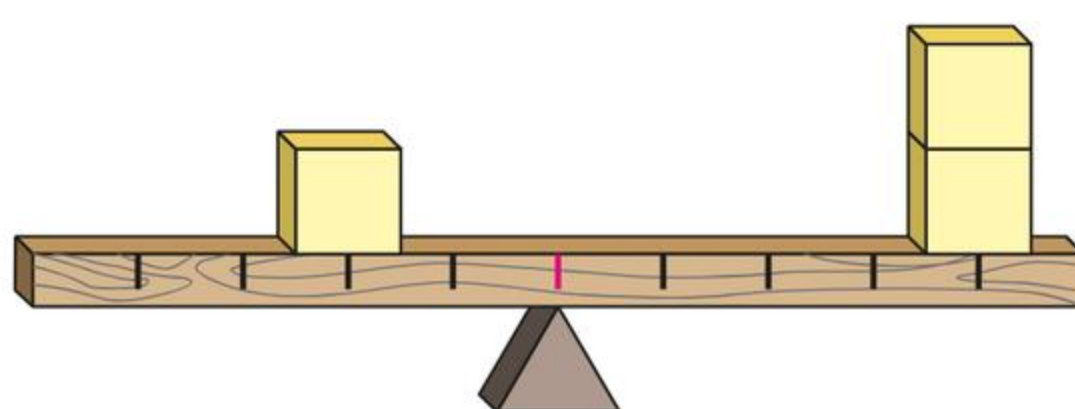
- A. długie ręczki i krótkie ostrze.
B. krótkie ręczki i długie ostrze.
C. długie ręczki i długie ostrze.
D. krótkie ręczki i krótkie ostrze.

8*. Wskaż rysunek, na którym waga pozostanie w równowadze.

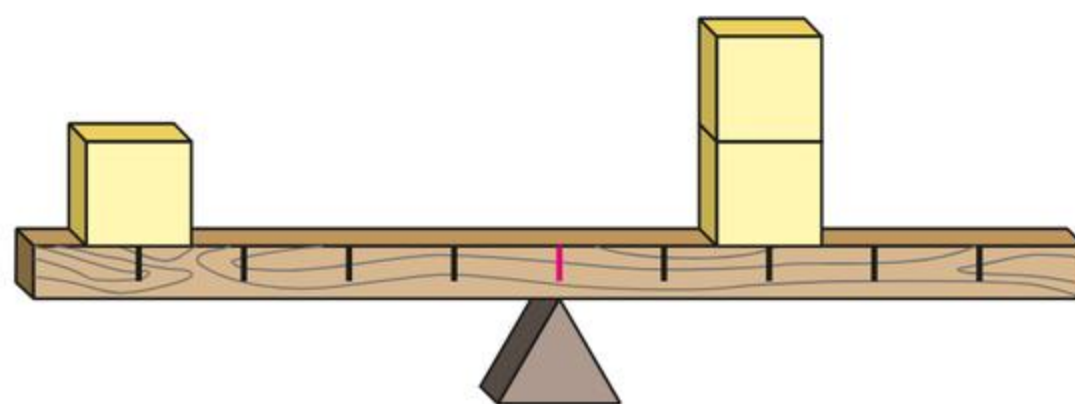
A.



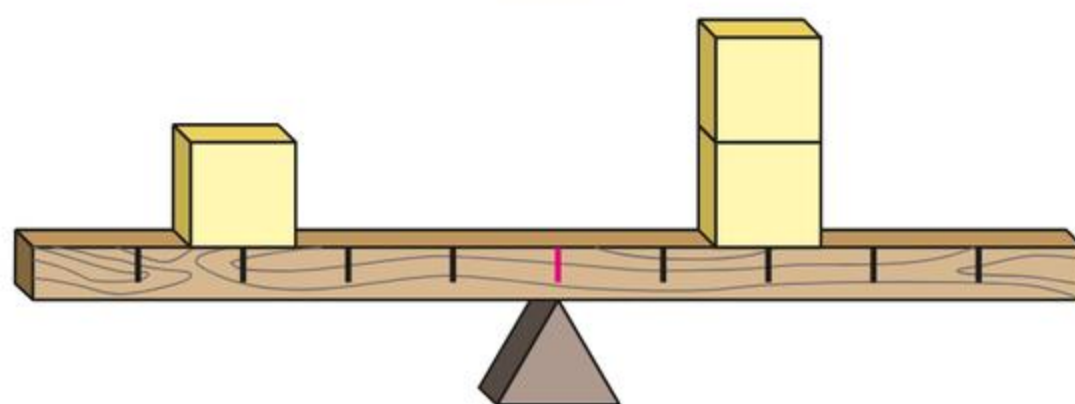
B.



C.



D.





Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Jeśli przesuwać ciało o 20 m (w tę samą stronę, w którą działała siła), Agata wykonała pracę 1000 J, to działała siła o wartości

- A. 20 N.
- B. 0,05 N.
- C. 50 N.
- D. 20 000 N.

2. Ciało o masie 2 kg spadło z szafy o wysokości 2 m. Oblicz energię kinetyczną, jaką miało tuż przed uderzeniem w podłogę. Pomiń opór powietrza.

- A. 4 J
- B. 40 J
- C. 100 J
- D. 400 J

3. Ciało, którego energia potencjalna na wysokości 150 cm wynosi 450 J, ma masę

- A. 0,3 kg.
- B. 3 kg.
- C. 30 kg.
- D. 300 kg.

4. Ciało o masie 100 kg, poruszające się z prędkością $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ma energię kinetyczną

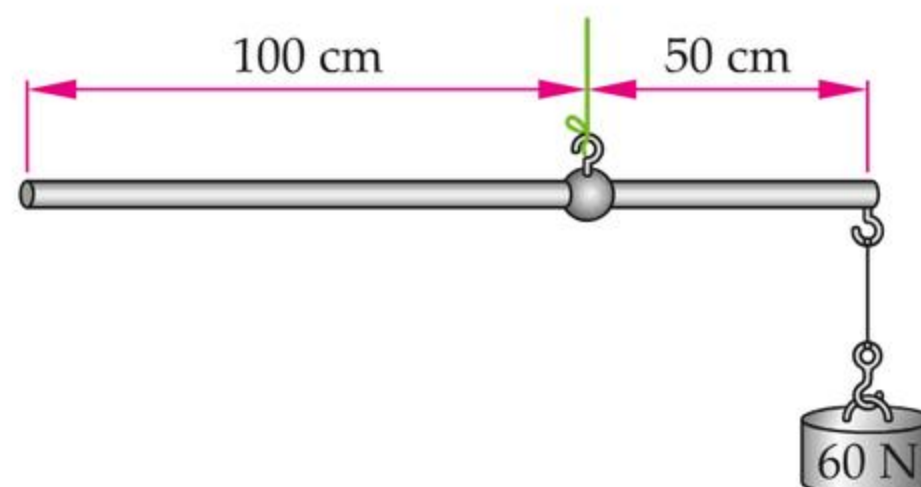
- A. 2000 J.
- B. 4000 J.
- C. 20 000 J.
- D. 40 000 J.

5. Oblicz czas, w jakim silnik o mocy 2 kW wykona pracę 5000 J.

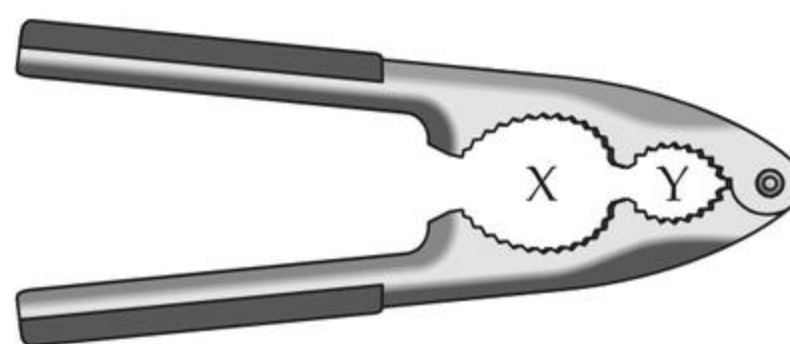
- A. 2,5 s
- B. 2,5 h
- C. 10 000 s
- D. 10 s

6*. Aby zrównoważyć ciężar zawieszonego ciała, na lewy koniec dźwigni musimy działać siłą

- A. 20 N. B. 30 N. C. 120 N. D. 180 N.



7*. W które z zaznaczonych miejsc lepiej włożyć bardzo twardy orzech?



- A. X
- B. Y
- C. X lub Y – to nie ma znaczenia
- D. nie ma wystarczających danych, aby odpowiedzieć na to pytanie

**Test 3.**

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To warto umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–5. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

- ✂ 1. Piłeczka o masie 50 g spadła z wysokości 1 m, odbiła się od podłogi i wzniosła się na wysokość 95 cm. Do obliczeń przyjmij $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Ilość energii wewnętrznej, która wydzielita się w czasie zderzenia piłeczki z podłogą, wynosiła
- A. 0,025 J.
B. 0,25 J.
C. 0,0475 J.
D. 0,475 J.
2. Wysokość, na jaką wzniesie się kamień o masie 1 kg podrzucony z prędkością $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, wynosi
- A. 1 m.
B. 2 m.
C. 5 m.
D. 10 m.

3. Wagon o masie 20 t, jadący z prędkością $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, ma energię kinetyczną

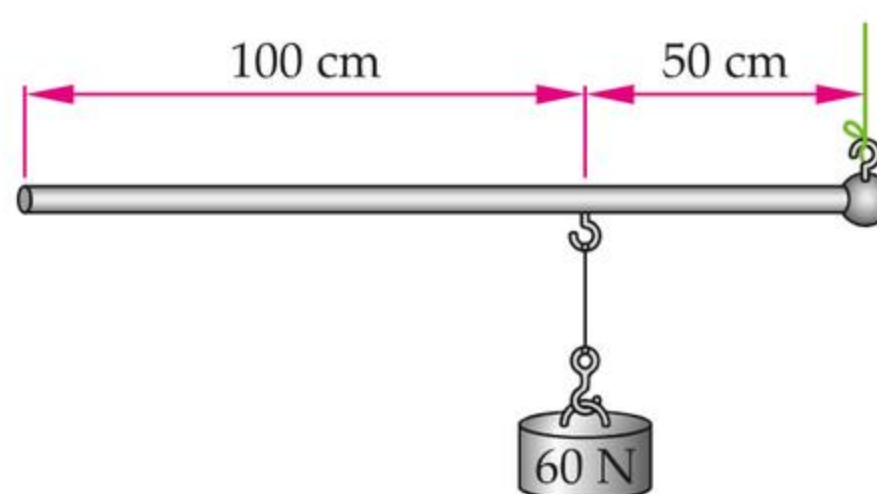
- A. 6,25 kJ.
B. 6,25 MJ.
C. 12,5 MJ.
D. 81 MJ.

4. Moc silnika, który podnosi ciało o masie 50 kg na wysokość 15 m w ciągu 30 s, wynosi

- A. 25 W.
B. 100 W.
C. 250 W.
D. 22 500 W.

5*. Aby zrównoważyć ciężar zawieszonego ciała, na lewy koniec dźwigni musimy działać siłą o wartości

- A. 20 N. B. 30 N. C. 120 N. D. 180 N.

**Test 4.**

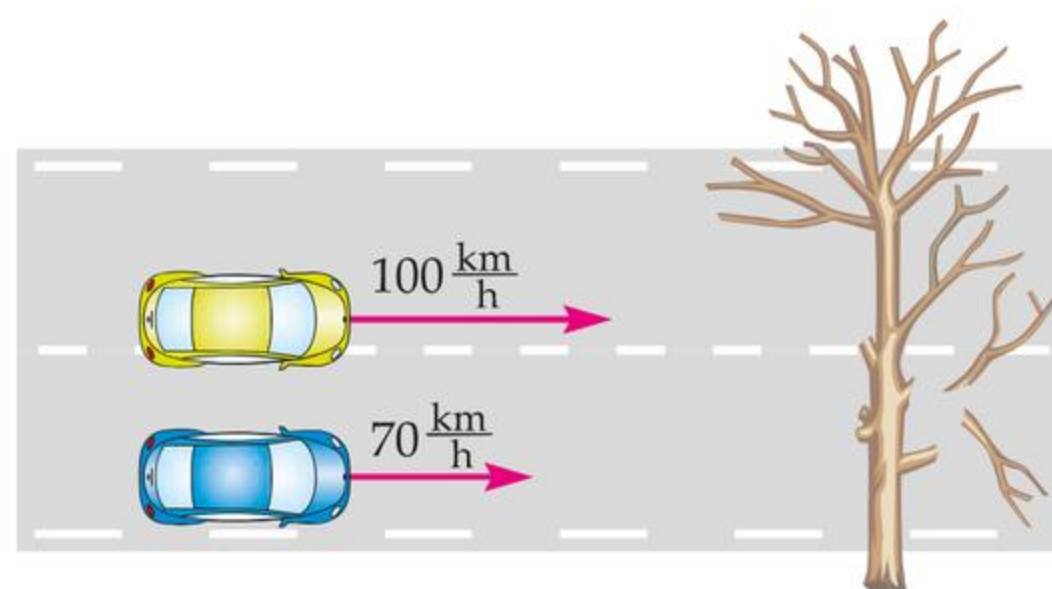
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**Świetnie, jeśli to umiesz**

1. Przeczytaj informacje w ramce. Przez turbiny pewnej elektrowni wodnej w ciągu sekundy przepływa 30 m^3 wody. Różnica poziomów między zbiornikiem, z którego woda wypływa, a rzeką, do której wpływa, wynosi 10 m. Elektrownia wytwarza energię elektryczną o mocy 1,5 MW. Oblicz sprawność elektrowni.

W większości urządzeń służących do przetwarzania energii tylko część energii zamienia się w pożądany jej rodzaj, część zaś „marnuje się” – zamienia w inne rodzaje. Na przykład silnik spalinowy zamienia tylko 30% energii chemicznej benzyny w energię kinetyczną, a żarówka – tylko 5% energii elektrycznej na energię światła. Pozostała część energii oczywiście nie znika, ale zamieniana jest na energię wewnętrzną. Mówimy, że sprawność silnika spalinowego wynosi 30%, a żarówki 5%.

2. Żółty samochód właśnie wyprzedzał samochód niebieski, gdy obaj kierowcy zauważyli przewrócone drzewo. Zaczęli równocześnie hamować z jednakowym ujemnym przyspieszeniem. Niebieski samochód zatrzymał się tuż przed drzewem. Żółty samochód, który jechał szybciej, nie wyhamował i uderzył w drzewo. Oblicz prędkość, z jaką wjechał w przeszkodę.



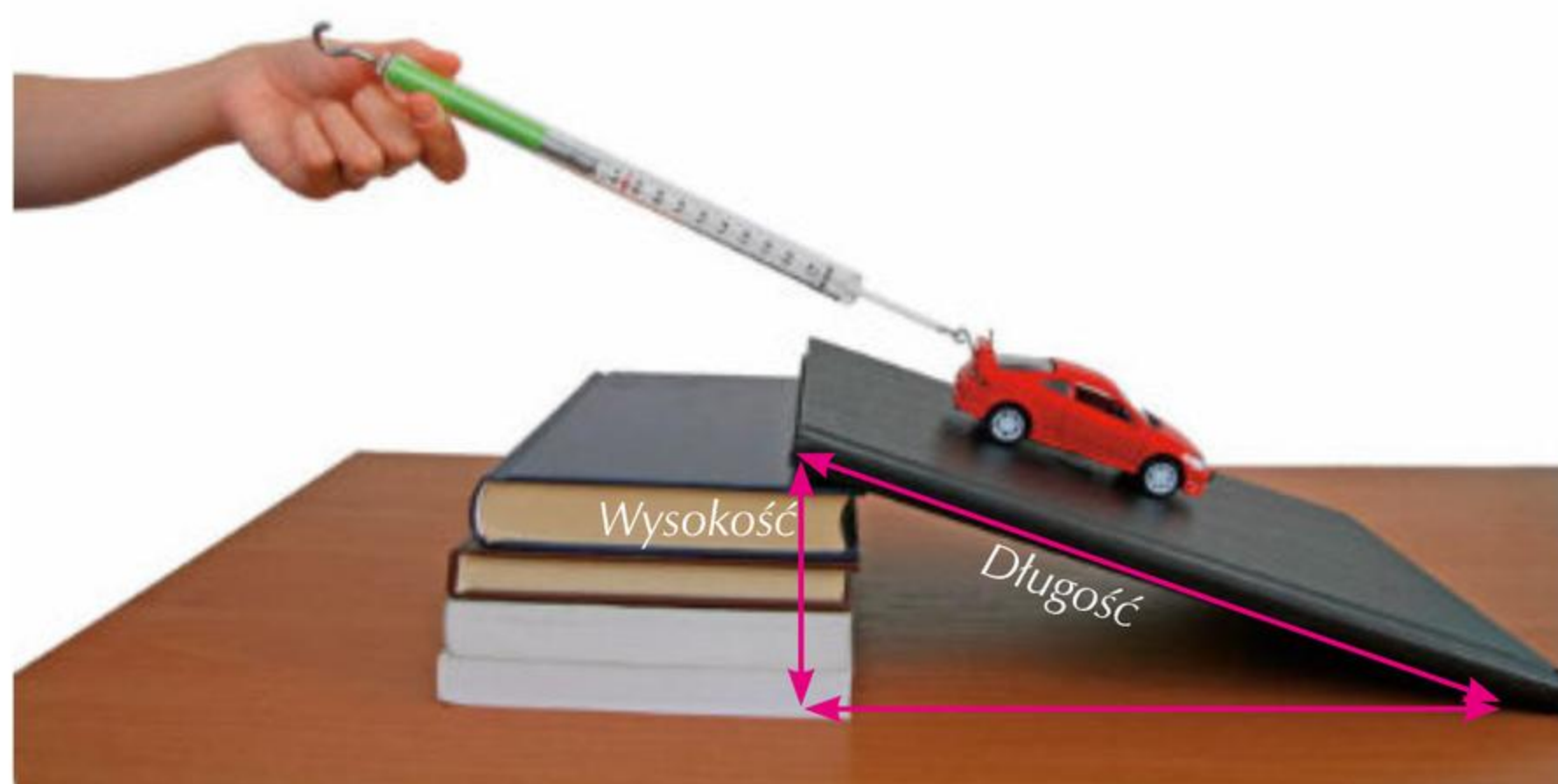


Równia pochyła

1. Oprzyj dużą książkę w sztywnej okładce na kilku innych książkach, tak aby wysokość pochylni stanowiła połowę jej długości.

W fizyce taką pochylnię nazywamy **równią pochyłą**.

2. Za pomocą siłomierza wciągnij na równię samochód zabawkę. Siła o jakiej wartości była do tego potrzebna? Porównaj ją z ciężarem samochodzika.



3. Sprawdź, jak zmienia się ta siła, gdy zmienia się nachylenie równi (nie zmieniaj wysokości równi). Wyniki pomiarów zapisz w tabeli.

Pomiar	Zmierzona siła	Długość równi

4. Dzięki zastosowaniu równi możemy działać mniejszą siłą niż przy podnoszeniu ciała w pionie.

Oceń, czy oznacza to, że podnosząc ciało, możemy wykonać mniejszą pracę.

Wyjaśnij, jak to pogodzić z zasadą zachowania energii. Wykorzystaj do tego wyniki swoich pomiarów.

5. Wyszukaj w różnych źródłach informacje, gdzie wykorzystuje się równie pochyłe. Wykonaj kilka zdjęć w swojej miejscowości. Kiedy stosuje się równie o mniejszym, a kiedy – o większym nachyleniu?



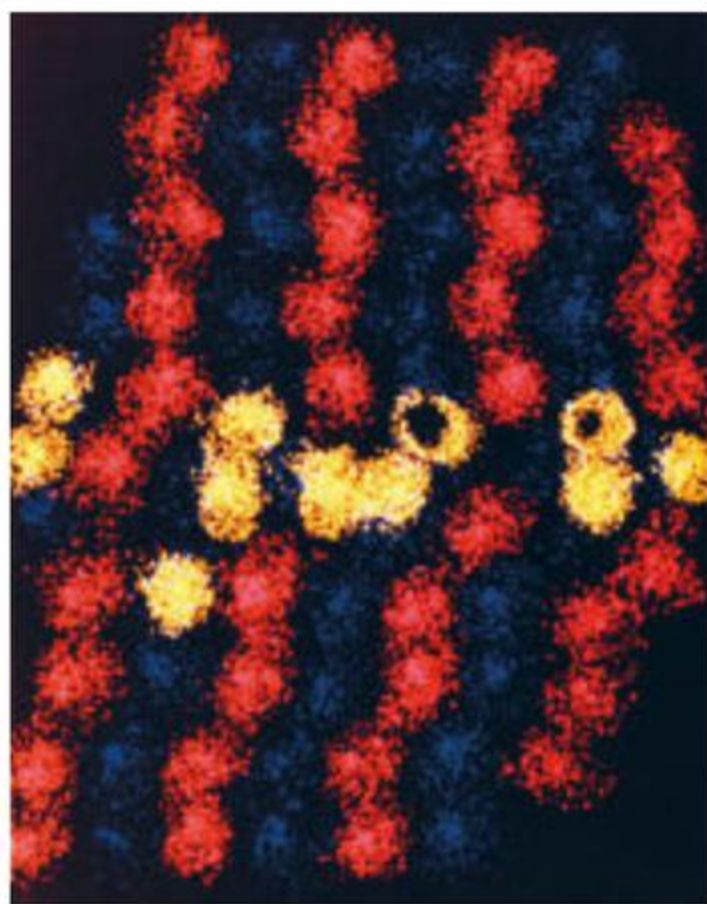
Chociaż iskry zimnych ogni mają temperaturę 2000°C ,
to nie parzą. Dlaczego?

Cząsteczki i ciepło

Z tego rozdziału dowiesz się, jak jest
zbudowana materia, i nauczysz się
wykorzystywać tę wiedzę do wyjaśniania
zjawisk cieplnych.

27 Cząsteczki

Ćwiczenie. Przypomnij sobie z lekcji chemii, co to są atomy i cząsteczki oraz z jakich atomów zbudowana jest cząsteczka wody.



Powierzchnia baterii słonecznej oglądana przez mikroskop tunelowy. Na zdjęciu widać poszczególne atomy.

Wszystkie ciała, z którymi mamy na co dzień do czynienia, zbudowane są z atomów. W niektórych z nich atomy połączone są w cząsteczki. Na przykład cząsteczka dwutlenku węgla (CO_2) składa się z dwóch atomów tlenu i jednego atomu węgla. Cząsteczka tlenu w powietrzu (O_2) składa się z dwóch jednakowych atomów tlenu. Kawałek czystego żelaza nie składa się z cząsteczek, lecz z pojedynczych atomów.

Atomy mają rozmiary rzędu 1 nm (1 nanometra), czyli jednej milionowej części milimetra. Trudno sobie wyobrazić, jak małe są atomy i cząsteczki i jak wiele jest ich wokół nas. Mogą w tym pomóc następujące porównania.

- Gdybyśmy powiększyli atom do wielkości mrówki, to powiększona proporcjonalnie mrówka miałaby 10 km długości.
- Liczba szklanek, które można by napełnić wodą ze wszystkich oceanów świata, jest tysiące razy mniejsza niż liczba cząsteczek wody w jednej szklance.

Jeszcze niedawno o istnieniu cząsteczek mogliśmy się przekonać tylko pośrednio, wykonując doświadczenia takie jak opisane na dole tej strony. Dziś dzięki specjalnemu urządzeniu zwanemu mikroskopem tunelowym możemy obejrzeć nie tylko cząsteczki, ale i pojedyncze atomy. Mikroskop tunelowy ma wielokrotnie większe powiększenie niż mikroskopy optyczne, które znasz z lekcji biologii.

Doświadczenie

Wrzuć do szklanki wody odrobinę nadmanganianu potasu. Co się z nim dzieje?



■ Cząsteczki się poruszają

Dzięki ruchom cząsteczek nadmanganian potasu stopniowo rozpuszcza się w wodzie, nawet jeśli jej nie mieszamy. Można powiedzieć, że woda „sama się miesza”.

Takie samorzutne rozpuszczanie nazywamy **dyfuzją**.

Jest ono wynikiem bezładnego ruchu cząsteczek wody. Cząsteczki zderzają się ze sobą i ze ściankami naczynia. Mimo że woda wydaje się nieruchoma, każda jej cząsteczka co chwilę zmienia prędkość i kierunek ruchu.

Cząsteczki stale się poruszają.

Dyfuzja zachodzi także w gazach. Właśnie dlatego np. cząsteczki perfum uderzane przez cząsteczki powietrza, mieszają się z powietrzem i w krótkim czasie zapach rozchodzi się po całym pomieszczeniu. Niestety, dotyczy to także zapachów nieprzyjemnych i substancji szkodliwych.

■ Siły działające między cząsteczkami

Na zdjęciu widzisz kroplę wody. Dlaczego woda nie odrywa się od kranu? Cząsteczki wody przyciągają się nawzajem. Te siły przyciągania, zwane **siłami spójności**, równoważą ciężar wody. Gdy próbujemy cząsteczki zanadto zbliżyć do siebie, zamiast się przyciągać, zaczynają się odpychać. Dlatego właśnie tak trudno jest sprężyć wodę.

Doświadczenie

Wlej wodę do miseczki i delikatnie połóż na wodzie kawałek folii aluminiowej. Powinien on unosić się na powierzchni. Sprawdź, czy folia zanurzona w wodzie wypływa na powierzchnię. Spróbuj położyć na wodzie ten sam kawałek folii, ale zwinięty ciasno w kulkę.



Widzieliśmy, że zanurzona w wodzie folia tonie, podobnie jak kulka zwiniętej folii położona na wodzie. Gdy jednak położymy folię na powierzchni wody delikatnie, to utrzymają ją siły przyciągania działające między cząsteczkami wody. Aby utonąć, folia musiałaby zrobić w powierzchni wody „dziurę”, rozsuwając jej cząsteczki.



Kropla wody na kranie.



Nartniki – małe owady, które umieją chodzić po wodzie.

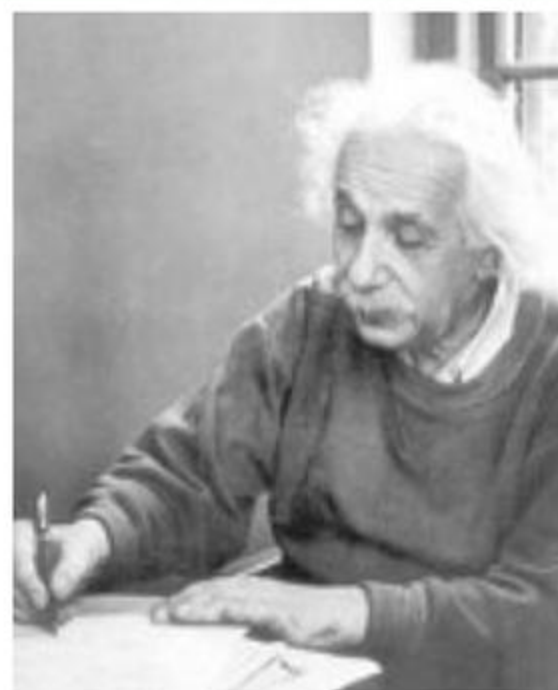
Ilustracja na marginesie przedstawia nartnika – małego owada, który umie chodzić po wodzie. Utrzymuje się on na powierzchni na tej samej zasadzie, dzięki której utrzymywała się na wodzie aluminiowa folia w doświadczeniu. Przyglądając się uważnie zdjęciu, zobaczysz, że wokół nóg nartnika powierzchnia wody jest nieco ugięta. To ugięcie wymaga pewnej siły, tak jakby powierzchnia wody była pokryta cienką, niewidoczną błoną gumową. Powierzchnia wody samorzutnie kurczy się, wypychając nartnika w górę.

Samorzutne kurczenie się powierzchni cieczy nazywamy napięciem powierzchniowym. Przyczyną tego zjawiska jest wzajemne przyciąganie się cząsteczek cieczy.

Z historii



Robert Brown



Albert Einstein



Marian Smoluchowski

W 1827 roku Robert Brown [czyt. braun], biolog, oglądał pod mikroskopem wodę zawierającą pyłki roślin i zauważył, że pyłki poruszają się bezładnie. Przez długi czas nikt nie umiał wyjaśnić tego zjawiska – tzw. ruchów Browna. Niektórzy podejrzewali, że chodzi o ruch cząsteczek, inni wskazywali na zjawiska elektryczne, jeszcze inni w ogóle nie wierzyli w istnienie cząsteczek i atomów. Dopiero w latach 1905–1906 dwóch uczonych wykazało, że ruchy Browna można wyjaśnić na podstawie ruchu cząsteczek. Byli to Albert Einstein [czyt. ajnsztajn] i Marian Smoluchowski. Pracowali niezależnie od siebie i różnymi metodami obliczyli, jak powinien odbywać się ruch pyłków. Okazało się, że wyliczenia doskonale zgadzają się z doświadczeniem. Był to jeden z ostatecznych argumentów przemawiających za istnieniem cząsteczek. Marian Smoluchowski (1872–1917) był jednym z najwybitniejszych fizyków, i to nie tylko polskich. Dopiero on poprawnie wyjaśnił, dlaczego niebo jest niebieskie.

Podsumowanie

- Każde ciało składa się z atomów, które w wielu substancjach są powiązane w cząsteczki.
- Cząsteczki są w nieustannym chaotycznym ruchu.
- Cząsteczki przyciągają się, ale gdy próbujemy je za bardzo do siebie zbliżyć, zaczynają się odpychać.
- Przyciąganie się cząsteczek jest przyczyną napięcia powierzchniowego.



Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Przypomnij sobie odpowiednie wiadomości z lekcji chemii, a następnie odpowiedz na pytania.

a) Czy w wodzie wodociągowej są tylko cząsteczki wody?

b) Jak można otrzymać substancję zawierającą tylko cząsteczki wody?

c) Z jakich cząsteczek składa się powietrze?

d) Czy istnieje coś takiego, jak „cząsteczka powietrza”?

2. Zjawisko zapachu polega na tym, że od pachnącego ciała oddzielają się cząsteczki, które rozprzestrzeniają się w powietrzu i trafiają do receptorów w nosie człowieka lub zwierzęcia. Odpowiedz na pytania.

a) Czy róża mogłaby pachnieć, gdyby nie odrywały się od niej cząsteczki?

b) Czy masa pachnącej intensywnie róży się zmniejsza?

3. Jak można by wysuszyć szklanę, gdyby cząsteczki wody i szkła się nie przyciągały?



4. Jaś usłyszał taką historyjkę:

Dwóch mężczyzn siedzi na brzegu basenu. Jeden z nich wrzuca do basenu kostkę cukru, a po chwili nabiera kroplę wody na palec i wkłada ją do ust. – Niestodka! – mówi.

– Bo nie pomieszałeś – wyjaśnia drugi.

Jaś zaczął się zastanawiać, czy gdyby wodę w basenie dokładnie wymieszać, to w kropli wody wziętej na palec znalazłyby się cząsteczki cukru. Czy biorąc taką wodę do ust, można by stwierdzić, że jest osłodzona?

Odpowiedz na pytania nurtujące Jasia.



5. W 1 g wody znajduje się około $3 \cdot 10^{22}$ (3 i 22 zera) cząsteczek. Wyobraź sobie, że do jakiegoś naczynia każdy z mieszkańców Ziemi co sekundę wrzuca po jednej cząsteczce wody. Oceń, czy po dziesięciu tysiącach lat nazbierałby się 1 g wody. Liczbę mieszkańców Ziemi wyszukaj w odpowiednich źródłach.

Doświadczenie

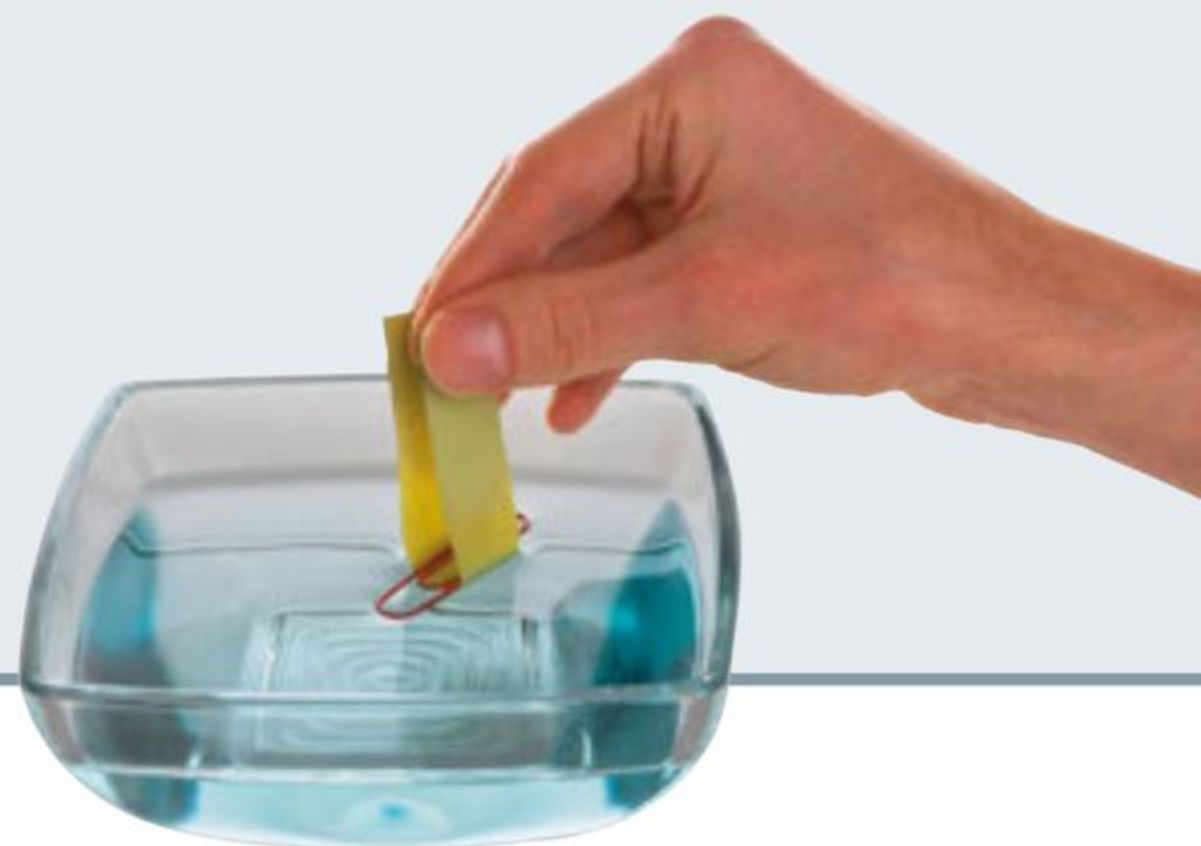
Napięcie powierzchniowe

1. Spróbuj położyć na wodzie mały spinacz biurowy. Jeśli wystarczy ci cierpliwości i precyzji, może uda ci się położyć na niej nawet monetę jednogroszową. Możesz wygiąć pasek papieru, położyć spinacz na jego dolnej części i delikatnie zanurzyć w wodzie papier wraz ze spinaczem. Jeśli się to uda, spinacz pozostanie na powierzchni, a papier zanurzy się w wodzie.

2. Do wody, na powierzchni której leży spinacz, dolej trochę wody z rozpuszczonym mydłem. Co się dzieje?

3. Sprawdź, czy dodanie mydła wpłynęło na przebieg doświadczenia. Co się dzieje ze spinaczem po ostrożnym dolaniu samej wody?

4. Mydło zmienia napięcie powierzchniowe wody. Jak je zmienia? Zmniejsza je czy zwiększa?



28 Stany skupienia materii

Doświadczenie



W strzykawce o pojemności 20 cm^3 przesunąć tłoczek do połowy. Zatkaj wylot palcem i spróbuj wcisnąć, a następnie wyciągnąć tłoczek. Następnie naciągnij do strzykawki 10 cm^3 wody lub mleka i zatkaj jej dzióbek tak, aby wewnątrz nie pozostało powietrze. Ponownie spróbuj wcisnąć i wyciągnąć tłoczek. W którym przypadku do przesuwania tłoczka potrzebna jest większa siła?

■ Cząsteczki a stan skupienia

Już wiesz, że każda substancja może występować w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.

W **ciele stałym** każda cząsteczka ma ustalone miejsce, wokół którego drga, czyli porusza się tam i z powrotem. Cząsteczki nie mogą się swobodnie przemieszczać, dlatego ciało stałe ma swój kształt, który trudno zmienić. Ma ono także określoną objętość.

W **cieczy** cząsteczki mogą poruszać się po całej objętości, dlatego ciecz nie ma swojego kształtu, ale dostosowuje się do kształtu naczynia. Jednak cząsteczki przyciągają się, a gdy znajdą się zbyt blisko siebie – zaczynają się odpychać. Ciecz praktycznie nie zmienia swojej objętości, nawet gdy próbujemy ją sprężyć dużą siłą.

W **gazie** odległości między cząsteczkami są znacznie większe niż w cieczy. Cząsteczki nie przyciągają się ani nie odpychają, z wyjątkiem momentów zderzeń. Dlatego gaz łatwo sprężyć i rozprężyć, np. w strzykawce.

W ciałach stałych cząsteczki są ze sobą silnie związane. W cieczach są one związane słabiej, a w gazach poruszają się swobodnie. Dlatego ciało stałe zachowuje kształt i objętość, ciecz zachowuje objętość, ale nie zachowuje kształtu, a gaz nie zachowuje ani kształtu, ani objętości.

■ Kryształy i ciała bezpostaciowe

W lodzie, żelazie czy soli kamiennej cząsteczki lub atomy ułożone są w określonym porządku. Tak zbudowane substancje nazywamy kryształami.

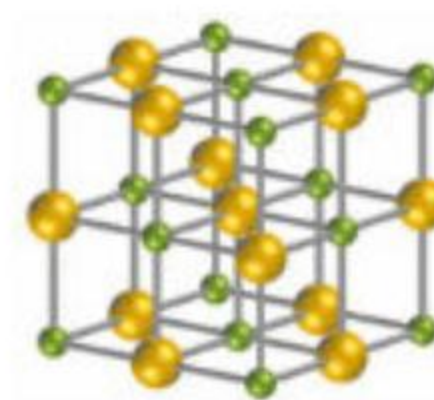
W kryształach cząsteczki lub atomy ułożone są w pewnym porządku geometrycznym.

Na przykład w soli kamiennej (chlorku sodu – NaCl) atomy chloru i sodu są ułożone na przemian w narożnikach sześciątów.

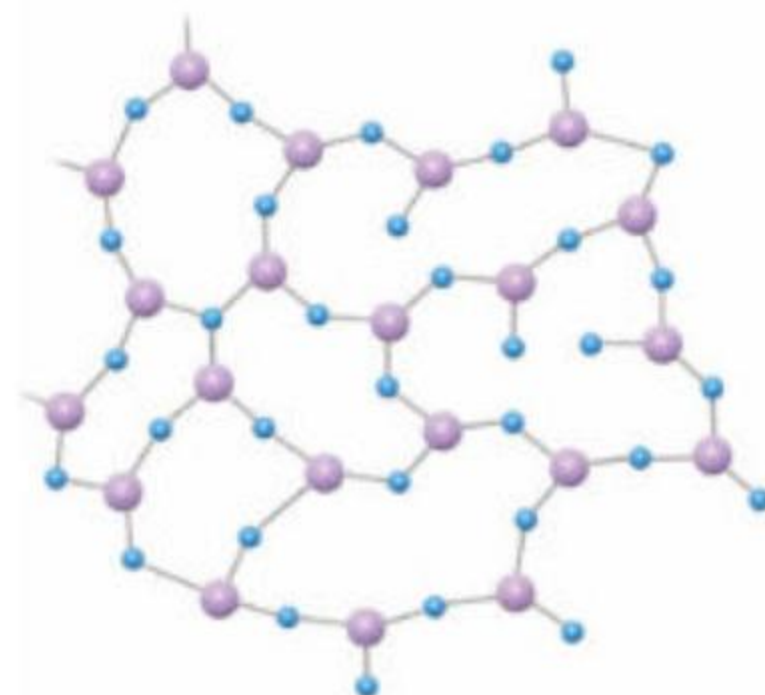
Tworzywa sztuczne, szkło, stearyna to ciała bezpostaciowe.

W ciałach bezpostaciowych cząsteczki lub atomy ułożone są bezładnie.

O różnicy między kryształami a ciałami bezpostaciowymi powiemy jeszcze w temacie 33.



Kryształ soli kuchennej.



Cząsteczki szkła.

■ Zmiany stanu skupienia

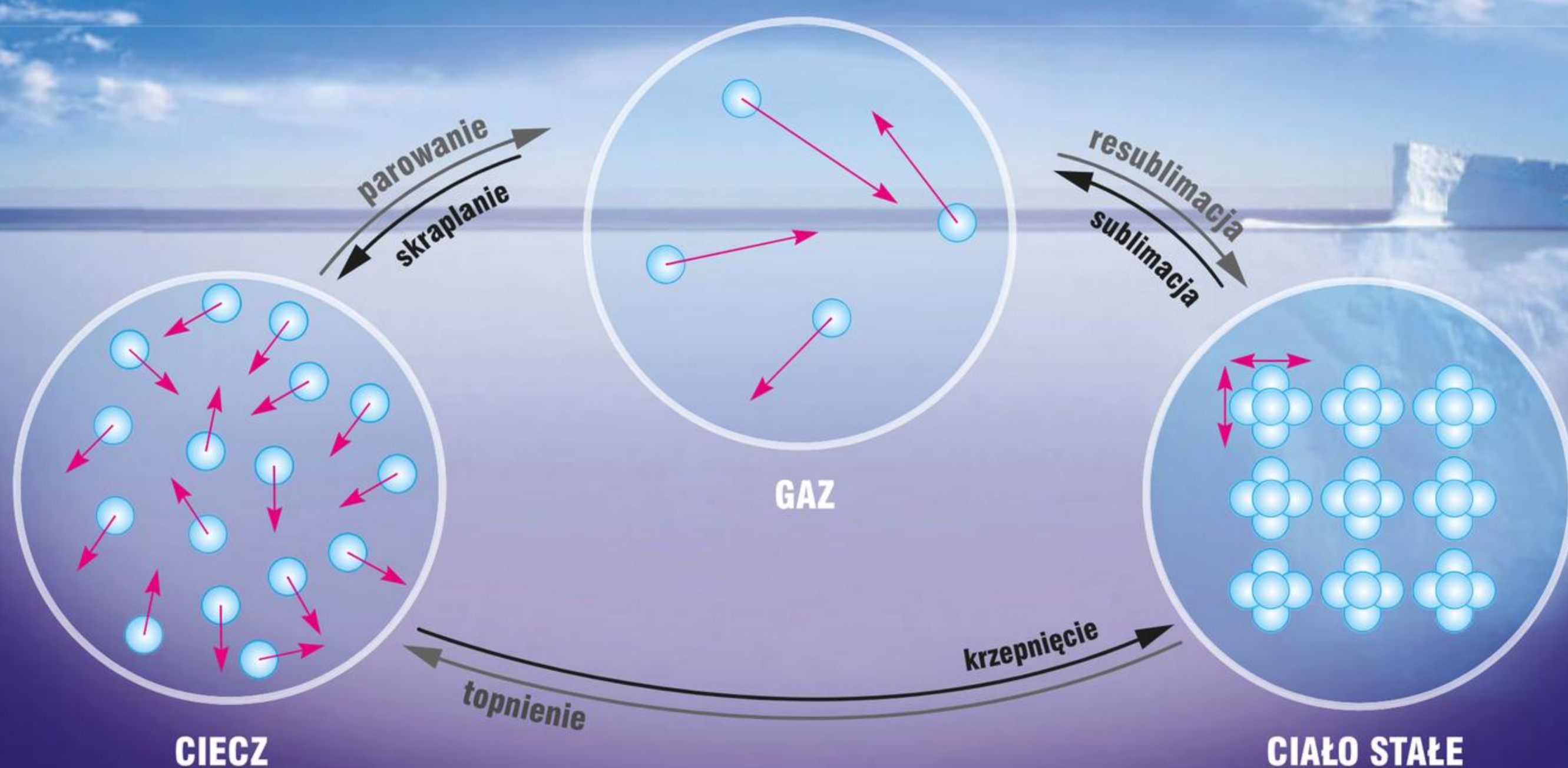
Już wiesz, że woda może występować w trzech stanach skupienia: jako ciało stałe (lód), ciecz (woda) i gaz (para wodna). Woda może zmieniać stan skupienia.

Czy wiesz, że lód może zmienić się w parę bezpośrednio, nie stając się ani na chwilę cieczą? Zjawisko to nazywamy **sublimacją**, a zjawisko odwrotne – **resublimacją**. Topnienie, krzepnięcie, parowanie i skraplanie to zjawiska dobrze znane z życia codziennego.

Doświadczenie !

Weź pustą szklanę i włóż ją na kilka minut do zamrażarki. Następnie wyjmij ją i obserwuj, jakie zjawisko zachodzi na powierzchni szkła.

Zmiany stanu skupienia



Ciekawostka

Przykładem resublimacji jest powstawanie szronu. Gdy gwałtownie spadnie temperatura, para wodna w powietrzu zmienia się w drobne kryształki lodu – szron.

Zmiany stanu skupienia wody przedstawia rysunek na poprzedniej stronie. Takim samym przemianom podlegają inne substancje.

■ Temperatura topnienia i wrzenia

W temperaturze pokojowej żelazo jest ciałem stałym, ale w temperaturze 1538°C topnieje i staje się cieczą. Rtęć topnieje już w temperaturze -39°C i w temperaturze pokojowej jest cieczą. W temperaturze -50°C i żelazo, i rtęć są ciałami stałymi.

Woda paruje nawet wtedy, gdy jest zimno, ale przy 100°C zaczyna wrzeć. Nie da się jej już bardziej podgrzać, bo zmienia się w parę wodną. Podobnie jest z innymi cieciami. Na przykład rtęć wrze w temperaturze 357°C , a żelazo 2800°C . W temperaturze 3000°C zarówno rtęć, jak i żelazo są gazami.

Każda substancja ma ściśle określoną temperaturę wrzenia i topnienia.

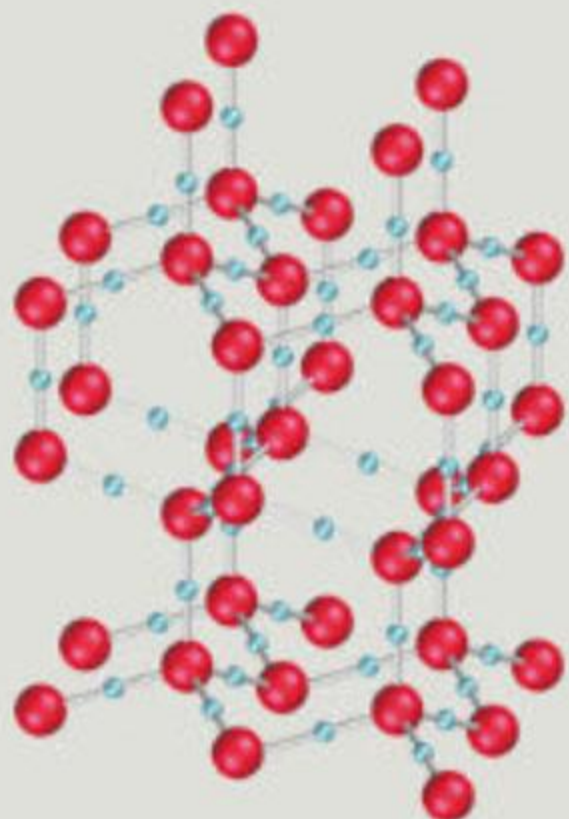
W tablicach na końcu podręcznika znajdziesz informacje o temperaturach topnienia i wrzenia kilku substancji.

O zmianach stanu skupienia powiemy dokładniej w tematach 33 i 34.

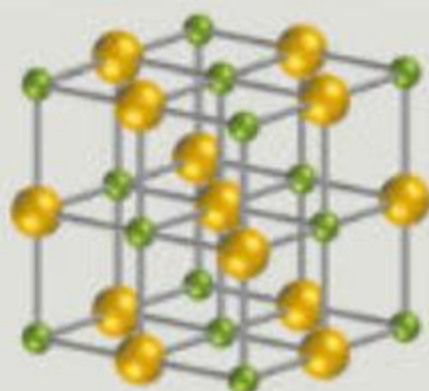
D Struktury kryształów

Kryształ pęka tylko wzdłuż niektórych kierunków, dzięki czemu przyjmuje kształt charakterystyczny dla danej substancji, wynikający z ułożenia atomów.

LÓD

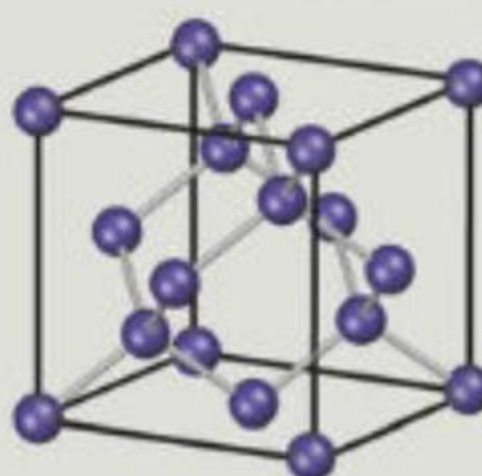


SÓL

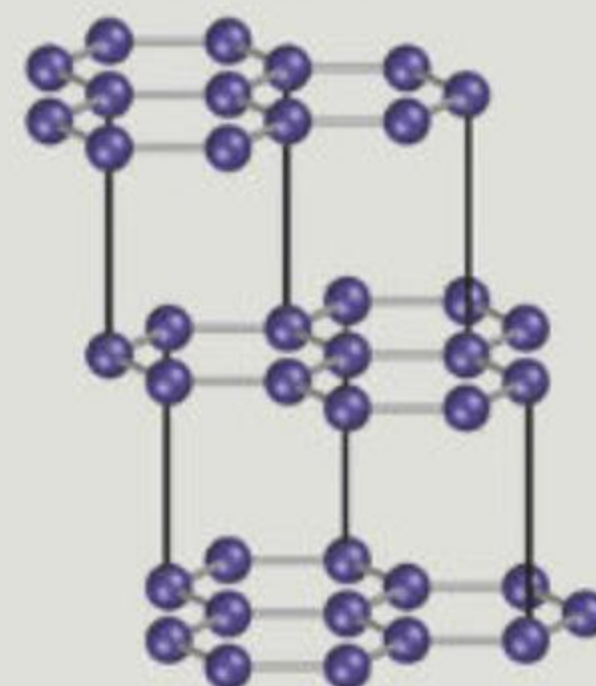


Kryształ soli kuchennej (chlorku sodu) składa się z atomów chloru i sodu ułożonych na przemian w rogach sześciątów.

DIAMENT



GRAFIT



Bryły lodu są zwykle nieforemne, ale oglądając płatek śniegu, wyraźnie widzimy sześciokątną strukturę zamrożonej wody.

Diament i grafit zbudowane są z takich samych atomów – atomów węgla. Różnice w wyglądzie, twardości (i cenie) wynikają z innego układu tych atomów.

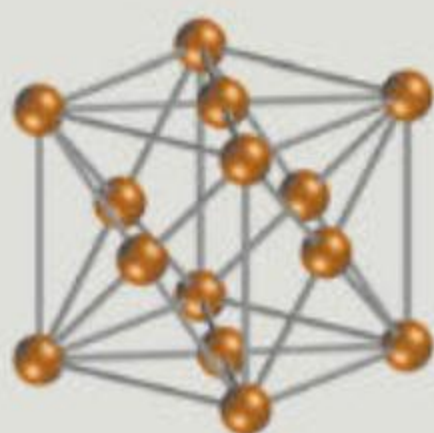
■ Zmiany stanu skupienia a objętość

Woda, zamarzając, powiększa swoją objętość. Dlatego właśnie zdarza się, że zamarzająca woda rozsadza rury wodociągowe. Większość cieczy innych niż woda przy krzepnięciu się kurczy. Zmiany objętości podczas topnienia i krzepnięcia są jednak niewielkie. Natomiast podczas parowania objętość substancji zwiększa się wielokrotnie. Z 1 litra wody, która wrze w otwartym naczyniu, można uzyskać aż 1700 litrów pary wodnej.

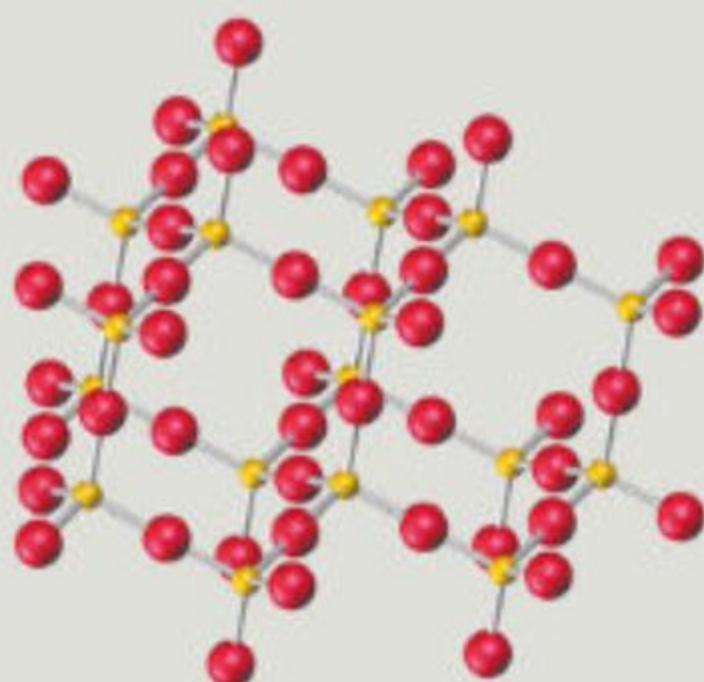
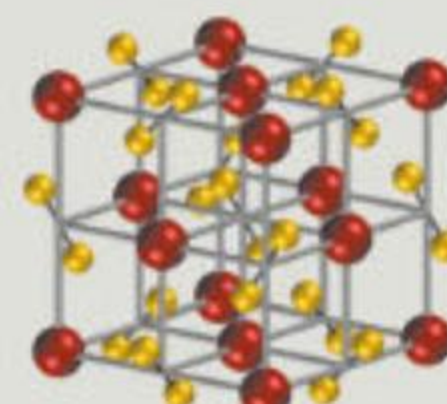
Gdyby woda parowała w zamkniętym naczyniu, para nie miałaby ujścia i naciskałaby na ścianki naczynia tak bardzo, że mogłaby je rozerwać. Wydostająca się z kotła para wodna może poruszać turbiny parowe. Wykorzystujemy to w elektrowniach węglowych. Powiększanie objętości przy parowaniu łatwo zrozumiemy, gdy przypomnimy sobie, że w gazach odległości między cząsteczkami są większe, a więc ta sama liczba cząsteczek zajmuje większą objętość.

Ciekawostka

Niektóre substancje, topniejąc, nie przechodzą od razu w stan ciekły, ale w pewnym zakresie temperatur są **ciekłymi kryształami**. Ciekły kryształ można przelewać jak zwykłą ciecz, jego cząsteczki są jednak w pewien sposób uporządkowane, np. mogą to być podłużne cząsteczki ustawione równolegle. Ciekłe kryształy w szczególny sposób przepuszczają światło, dzięki czemu wykorzystuje się je do budowy ekranów komputerów i telewizorów. Skrót LCD oznacza *liquid crystal display*, czyli ekran ciekłokrystaliczny.

**MIEDŹ**

W miedzi atomy ułożone są w rogach sześciątów i pośrodku ścian.

KWARC**KALCYT****PIRYT**

Podsumowanie

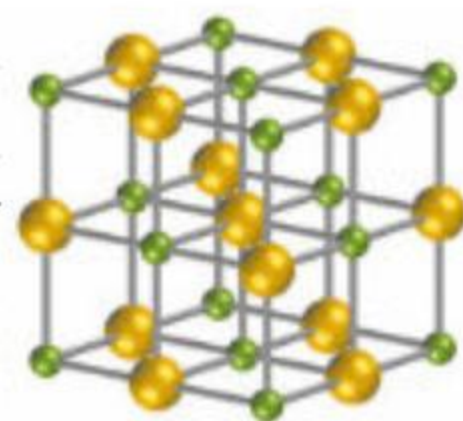
- Substancje występują w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.
- Siły działające między cząsteczkami są największe w ciałach stałych, słabsze – w cieczach, a najslabsze – w gazach. Dlatego ciało stałe zachowuje kształt i objętość, ciecz zachowuje objętość, a gaz nie zachowuje ani kształtu, ani objętości.
- W kryształach cząsteczki lub atomy ułożone są w pewnym porządku geometrycznym.
- W ciałach bezpostaciowych cząsteczki lub atomy ułożone są bezładnie.
- Zmiany stanu skupienia mają swoje nazwy: topnienie i krzepnięcie, parowanie i skraplanie, sublimacja i resublimacja.
- Różne substancje mają różne temperatury topnienia i wrzenia.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Rozwiązując zadania, skorzystaj z tablic zamieszczonych na końcu podręcznika.

1. Ustal, jaki stan skupienia ma:
 - a) żelazo w temperaturze 2000°C .
 - b) alkohol w temperaturze -200°C .
 - c) wolfram w temperaturze 4000°C .
2. Rozważ poniższe sytuacje.
 - a) Na Antarktydzie temperatura spada nawet do -80°C . Oceń, czy używanie termometru rtęciowego jest tam możliwe.
 - b) Włókno żarówki, które podczas świecenia rozgrzewa się do temperatury przekraczającej 2000°C , wykonuje się z wolframu. Wyjaśnij, dlaczego nie wykonuje się go z żelaza.
3. Podaj przykład temperatury, w której rtęć i ołów są jednocześnie:
 - a) ciałem stałym, b) cieczą, c) gazem.
4. Podaj rodzaj zakładu przemysłowego, w którym można się przekonać, że żelazo może być cieczą.
5. Ustal, jakie zjawisko występuje, gdy:
 - a) pojawia się rosa.
 - b) ubrania schną na sznurze w letni dzień.
 - c) ubrania schną na sznurze w mroźny dzień.
6. Do wody z lodem Agnieszka dołała nieco wrzątku. Po wymieszaniu okazało się, że część lodu się nie roztopiła. Określ, jaką temperaturę miała woda z lodem:
 - a) przed wlaniem wrzątku.
 - b) po wlaniu wrzątku i wymieszaniu.
7. Rysunek przedstawia ułożenie atomów w chlorku cezu CsCl. Oceń i uzasadnij, czy ta substancja jest kryształem, czy ciałem bezpostaciowym.
 
8. Kuba powiedział: W kryształach soli kuchennej cząsteczki NaCl ułożone są w narożnikach sześciątów. Oceń, czy Kuba miał rację. Odpowiedź uzasadnij.

Doświadczenie

Kubek i talerz

1. Za pomocą strzykawki odmierzyć 10 cm^3 wody i wleć ją do szklanki.
2. Taką samą porcję wody wleć do dużego głębokiego talerza.
3. Co kilka godzin sprawdzać, czy poziom wody w naczyniach się zmienił. Spróbuj przewidzieć, z którego naczynia woda wyparuje szybciej.



29 Temperatura a energia

Z lekcji przyrody i z życia codziennego znasz pojęcie temperatury. Pojawiało się ono już na poprzednich lekcjach. Teraz opowiemy, jak się mierzy temperaturę i jaki ma ona związek z ruchem cząsteczek.

■ Termometr

W termometrze wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieplnej. W miarę wzrostu temperatury większość substancji rozszerza się, tzn. zwiększa swoją objętość. Dzieje się tak np. z cieczą w termometrze. Obok rurki z cieczą znajduje się skala, na której odczytujemy temperaturę.

Jako ciecz w termometrze na ogół służy alkohol. Dawniej stosowano rtęć, ale zrezygnowano z niej, gdyż jest trucizną. Oprócz termometrów cieczowych używamy termometrów elektronicznych.

■ Skala Celsjusza

W Polsce na co dzień używamy skali Celsjusza. Została ona określona w następujący sposób:

- 0°C – temperatura topnienia lodu,
- 100°C – temperatura wrzenia wody.

Między tymi temperaturami, a także poniżej 0°C i powyżej 100°C , skala została podzielona na równe odcinki.

■ Temperatura a ruch cząsteczek

Pamiętasz, że nadmanganian potasu rozpuszcza się w wodzie dzięki ruchowi jej cząsteczek. W ciepłej wodzie następuje to szybciej, bo cząsteczki wody szybciej się w niej poruszają.

Im wyższa temperatura, tym szybciej poruszają się cząsteczki.



Termometr lekarski ma mały zakres mierzonych temperatur (od 35°C do 42°C), ale dużą dokładność (do $0,1^{\circ}\text{C}$).

Termometr zaokienny ma duży zakres (od -50°C do $+50^{\circ}\text{C}$), ale mniejszą dokładność (do 1°C).

Doświadczenie

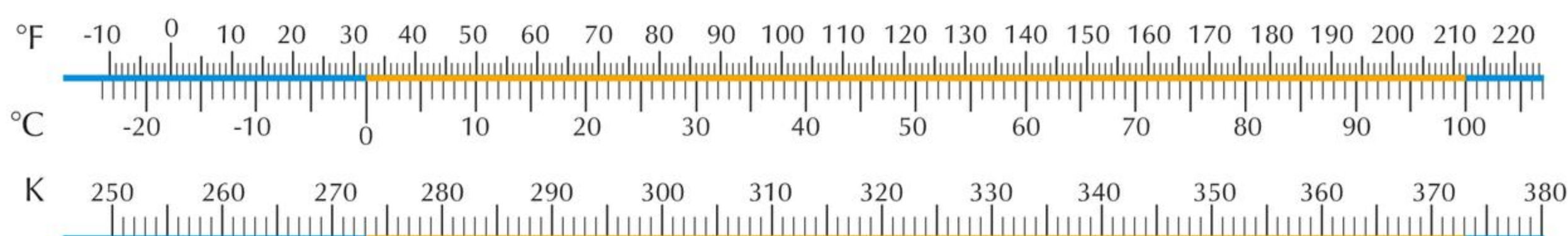
Do jednej szklanki nalej zimnej, a do drugiej – gorącej wody. Do każdej z nich wrzuć odrobinę nadmanganianu potasu. W której szklance substancja rozpuszcza się szybciej?



Szybciej poruszające się cząsteczki mają większą energię kinetyczną, można więc powiedzieć, że temperatura związana jest ze średnią energią kinetyczną cząsteczek ciała. Zupełny bezruch cząsteczek oznacza najniższą możliwą temperaturę. Jest to tzw. temperatura zera bezwzględnego. Wynosi ona -273°C .

✂ ■ Skale Kelvina i Fahrenheita

Pojęcie zera bezwzględnego pozwala wprowadzić skalę temperatury, używaną w badaniach naukowych: skalę Kelvina. Jej jednostką jest kelwin (K). Jeden kelwin odpowiada tej samej odległości na skali termometru co jeden stopień Celsjusza, ale 0 K jest równe zeru bezwzględnemu. Dzięki temu w skali Kelvina nie występują temperatury ujemne.



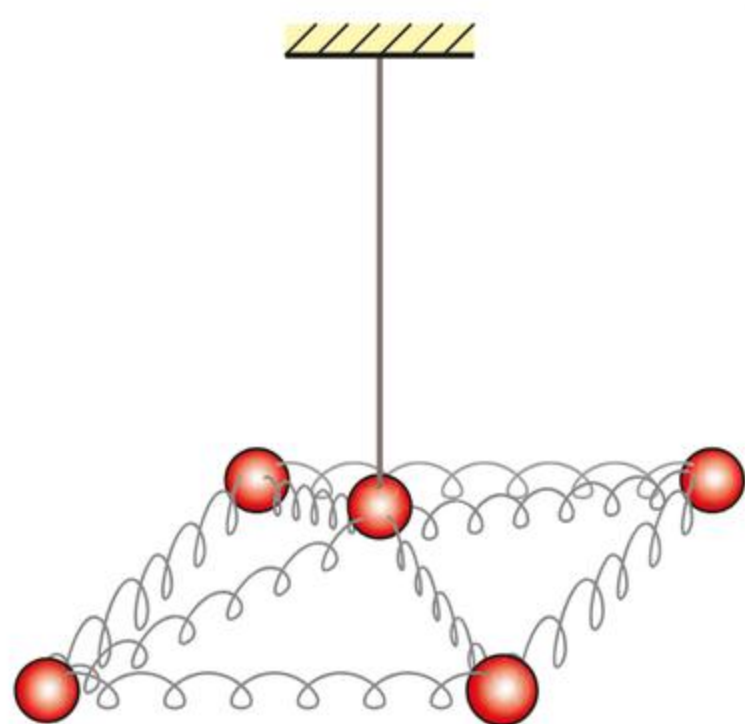
Porównanie skal temperatur.
Na pomarańczowo
zaznaczono zakres $0-100^{\circ}\text{C}$.

✂ W USA i niektórych innych państwach używana jest jeszcze jedna skala temperatury – stopnie Fahrenheita ($^{\circ}\text{F}$; czyt. farenhajta):

$$0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}, \quad 100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$$

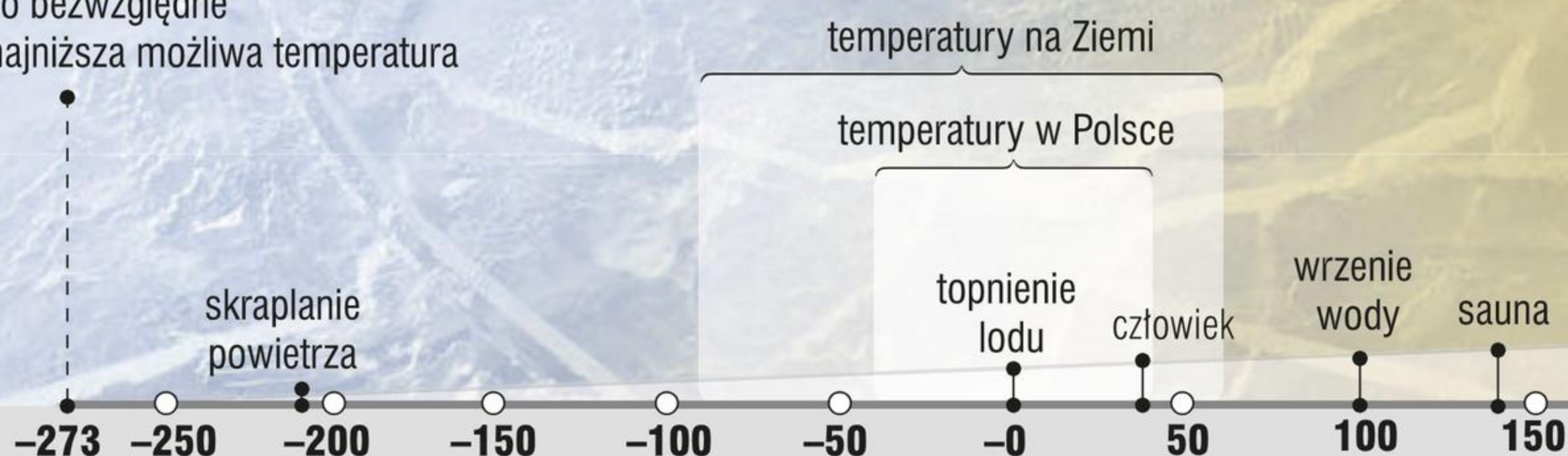
■ Energia wewnętrzna

Wyobraź sobie kilka metalowych kulek połączonych sprężynkami. Jeśli kulki się poruszają, to każda z nich ma pewną energię kinetyczną. Oprócz tego pewna energia (energia potencjalna sprężystości) zmagazynowana jest w sprężynach. Cząsteczki ciała można sobie wyobrazić jako takie kulki. Funkcję sprężyn pełnią oddziaływania przyciągania i odpychania cząsteczek. Poruszające się cząsteczki mają pewną energię kinetyczną, a z ich oddziaływaniami związana jest pewna energia potencjalna.



Temperatury niskie i wysokie

zero bezwzględne
– najniższa możliwa temperatura



Energia wewnętrzna ciała to łączna energia kinetyczna wszystkich jego cząsteczek oraz energia oddziaływań między nimi.

Jeśli ciało ma wyższą temperaturę, ma też większą energię wewnętrzną. Dotyczy to jednak tego samego ciała w dwóch różnych temperaturach. Kropla wody o temperaturze 90°C ma większą energię wewnętrzną niż taka sama kropla o temperaturze 10°C , ale mniejszą niż całe wiadro wody o temperaturze 10°C . Temperatura zależy od średniej energii kinetycznej cząsteczek (energii kinetycznej przypadającej na **jedną** cząsteczkę), a energia wewnętrzna to **łączna** energia wszystkich cząsteczek (energia kinetyczna i energia potencjalna ich oddziaływań). W wiadrze chłodnej wody pojedyncza cząsteczka ma mniejszą energię niż cząsteczka w kropli wrzątku, ale ponieważ w wiadrze cząsteczek jest znacznie więcej, ich łączna energia jest większa. Podobnie kilku bogatych ludzi może mieć w sumie mniejszy majątek niż tysiąc osób ubogich.

Energia wewnętrzna to łączna energia wszystkich cząsteczek ciała. Zależy ona od temperatury, ale także od liczby cząsteczek (a zatem także od masy ciała).

■ Zmiany energii wewnętrznej

Doświadczenie

Weź duży spinacz biurowy i kilkanaście razy zegnij go i rozegnij w tym samym miejscu. Dotknij zginanego miejsca palcem. Co zauważasz?

Metalowy spinacz można rozgrzać na różne sposoby:

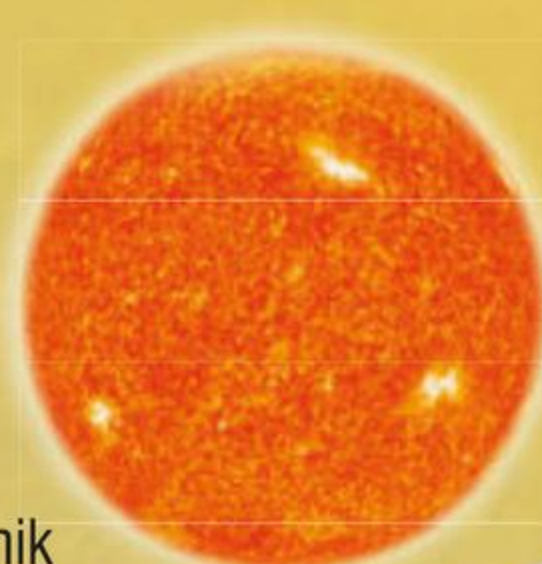
- wkładając do gorącej wody,
- zginając wielokrotnie – jak w doświadczeniu.

Ciekawostka

Iskry „zimnych ogní” mają temperaturę 2000°C , ale nie parzą, ponieważ są bardzo małe i mogą przekazać skórze bardzo niewielką ilość energii.



pieczenie kurczaka



powierzchnia Słońca

najgorętsze gwiazdy

piorun

silnik Diesla

plomień zapalniczki

topnienie ołowiu

200

500

1000

5000

10 000

50 000

100 000

$^{\circ}\text{C}$

W pierwszym wypadku energia jest przekazywana z ciała cieplejszego do chłodniejszego.

Proces przekazywania energii, w którym energia wewnętrzna jednego ciała zwiększa się kosztem energii wewnętrznej drugiego ciała, nazywamy przepływem ciepła.

Inna metoda zwiększania energii wewnętrznej ciała to wykonanie nad nim pracy. W ten sposób rozgrzewają się na przykład klocki hamulcowe w samochodzie. Zginając spinacz, wykonaliśmy pewną pracę, a więc przekazaliśmy spinaczowi energię. Jego energia wewnętrzna wzrosła, co odczuliśmy jako wzrost temperatury. Ten sam efekt – ogrzanie spinacza – moglibyśmy uzyskać, wkładając go do gorącej wody. Wówczas jego energia wewnętrzna wzrosłaby kosztem energii wewnętrznej wody.

Przyrost energii wewnętrznej ciała jest równy sumie pracy wykonanej nad ciałem i energii przekazanej mu w postaci ciepła.

Wynika to z zasady zachowania energii. Warto zapamiętać, że ten sam efekt – zmianę energii wewnętrznej ciała – można uzyskać na różne sposoby.

Mówiliśmy o energii dostarczanej ciału przez pracę lub ciepło. Gdy zaś ciało wykonuje pracę kosztem swojej energii wewnętrznej lub oddaje ciepło, to jego energia wewnętrzna się zmniejsza.

Zmniejszenie energii wewnętrznej ciała jest równe sumie pracy wykonanej przez ciało i energii oddanej przez nie w postaci ciepła.

Podsumowanie

- Większość substancji rozszerza się, gdy się je podgrzewa. Ta właściwość jest wykorzystywana w termometrze cieczowym.
- Temperatura ciała jest związana ze średnią energią kinetyczną jego cząsteczek: im wyższa temperatura, tym szybciej poruszają się cząsteczki.
- Energia wewnętrzna to łączna energia wszystkich cząsteczek ciała (energia kinetyczna i energia potencjalna wzajemnych oddziaływań). Zależy ona od temperatury, ale także od liczby cząsteczek (zatem także od masy ciała).
- Energię wewnętrzną ciała można zwiększyć dwoma sposobami: wykonując nad nim pracę lub pozwalając na przepływ ciepła z ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze poprzez dotyk lub/i promieniowanie.
- Energia wewnętrzna ciała zmniejsza się wtedy, gdy ciało wykonuje pracę lub oddaje ciepło poprzez dotyk lub/i promieniowanie.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Przyporządkuj temperatury opisom. Poprawne zestawienie par zapisz w zeszycie.

- | | |
|-----------------------------|---|
| I. -70°C | A. powietrze w mroźny dzień w Polsce |
| II. 1400°C | B. woda na dnie stawu zimą |
| III. 5700°C | C. powietrze w mroźny dzień na Antarktydzie |
| IV. -10°C | D. płomień zapalki |
| V. 4°C | E. powierzchnia Słońca |

2. Podaj kilka przykładów ciał bardzo zimnych i bardzo gorących. Czy umiesz choćby w przybliżeniu powiedzieć, jaką mają temperaturę?

3. Kiedy możesz zostać poważnie oparzony: gdy na twoją dłoń upadnie opilek żelaza o temperaturze 500°C czy gdy wyleje się na nią szklanka wody o temperaturze 90°C ? Wyjaśnij swoją opinię.

4. „Choć mrówka jest znacznie lżejsza od słonia, wszystkie mrówki w Afryce ważą więcej od wszystkich słoni”. Znajdź podobieństwo między tym zdaniem a tematem dzisiejszej lekcji.

5. Płomień zapalki ma temperaturę 1400°C . Woda wrze w temperaturze 100°C .

a) Oceń, czy płomieniem jednej zapalki można zagotować garnek wody. Odpowiedź uzasadnij.

b) Oceń, czy płomieniem jednej zapalki można zagotować mniejszą ilość wody niż zawarta w garnku. Odpowiedź uzasadnij.

6. Gdy człowiekowi jest bardzo zimno, ma on dreszcze. W taki sposób jego organizm broni się przed obniżeniem temperatury. Wyjaśnij, dlaczego drżenie mięśni pomaga utrzymać temperaturę ciała.

Doświadczenia

Chłodzenie dzięki rozpuszczaniu

1. Do szklanki nalej wody w temperaturze pokojowej (do połowy objętości).
2. Zmierz temperaturę wody.
3. Wsyp kilka łyżek soli, zamieszaj dokładnie i zmierz ponownie temperaturę.
Aby sól się rozpuściła, trzeba wykonać pewną pracę, dzięki której oddalą się od siebie przyciągające się atomy sodu i chloru. Pracę tę wykonują cząsteczki wody. Dlatego tracą one energię i woda staje się chłodniejsza.

Gumka i przemiany energii

1. Przygotuj czystą gumkę recepturkę. Rozciągnij ją mocno. Dotknij gumką warg. Poczujesz, że rozgrzała się na skutek wykonanej nad nią pracy.
2. Poczekaj 30 s, dopóki rozciągnięta gumka nie ostygnie. Wyjaśnij, co się wtedy dzieje z jej energią wewnętrzną.
3. Pozwól gumce swobodnie się skurczyć. Ponownie dotknij nią warg. Gumka się ochłodziła. Dlaczego? Wyjaśnij, co się stało z jej energią wewnętrzną.



30 Ciepło właściwe

Ciekawostka

Umiesz obliczać energię potrzebną do podgrzewania określonej porcji wody np. od 0°C do 100°C . Ale czy zdajesz sobie sprawę, jak wielka jest to energia? Wyobraź sobie, że zamiast zwiększać energię wewnętrzną kropli wody, zwiększamy o tę samą wartość jej energię kinetyczną. Do jakiej prędkości moglibyśmy rozpędzić kroplę wody? Okazuje się, że jest to ponad $900 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (około $3300 \frac{\text{km}}{\text{s}}$). To więcej niż maksymalna prędkość myśliwca F-16 (na zdjęciu), wynosząca „zaledwie” około $2500 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.



Wiesz już, że aby podwyższyć temperaturę ciała, trzeba mu dostarczyć energię. Okazuje się, że aby ogrzać kilogram wody o 1°C , trzeba dostarczyć 4200 J energii.

Tę wielkość nazywamy ciepłem właściwym wody: $c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Ciepło właściwe określa, ile energii trzeba dostarczyć, aby podnieść temperaturę 1 kg substancji o 1°C .

Przykład 1. Ile energii potrzeba, aby ogrzać 2 kg wody o 30°C ?

Aby ogrzać:

- 1 kg wody o 1°C , potrzeba 4200 J,
- 2 kg wody o 1°C , potrzeba $2 \cdot 4200 \text{ J} = 8400 \text{ J}$,
- 2 kg wody o 30°C , potrzeba $30 \cdot 8400 \text{ J} = 252\,000 \text{ J} = 252 \text{ kJ}$.

Odpowiedź: Aby ogrzać 2 kg wody o 30°C , potrzeba 252 kJ energii.

Obliczając ilość dostarczonej ciału energii, ciepło właściwe mnożyliśmy przez masę wody, a następnie przez różnicę temperatur. Można to opisać wzorem:

$$\text{energia} = \text{masa} \cdot \text{ciepło właściwe} \cdot \text{przyrost temperatury}$$
$$E = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Przykład 2. O ile ogrzeje się 0,4 kg wody, gdy dostarczymy jej 10 000 J energii?

Sposób I

Aby ogrzać 0,4 kg wody o 1°C , potrzeba $0,4 \cdot 4200 \text{ J} = 1680 \text{ J}$.



Jeśli dostarczymy energię około 6 razy większą ($10\,000 : 1680 \approx 6$), to przyrost temperatury wody będzie 6 razy większy niż o 1°C , wyniesie więc 6°C .

Sposób II

Ze wzoru: $E = m \cdot c \cdot \Delta t$

po przekształceniach otrzymujemy wzór: $\Delta t = \frac{E}{m \cdot c}$.

W opisywanym wypadku: $\Delta t = \frac{10\,000\text{ J}}{0,4\text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} \approx 6^\circ\text{C}$.

Odpowiedź: Woda ogrzeje się o 6°C .

Przykład 3. O ile ogrzeje się $0,4\text{ kg}$ piasku, gdy dostarczymy mu $10\,000\text{ J}$ energii? Porównaj wynik z poprzednim przykładem.

Odczytujemy z tablic ciepło właściwe piasku: $c = 800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Dalej zadanie rozwiązujemy tak, jak przykład 2:

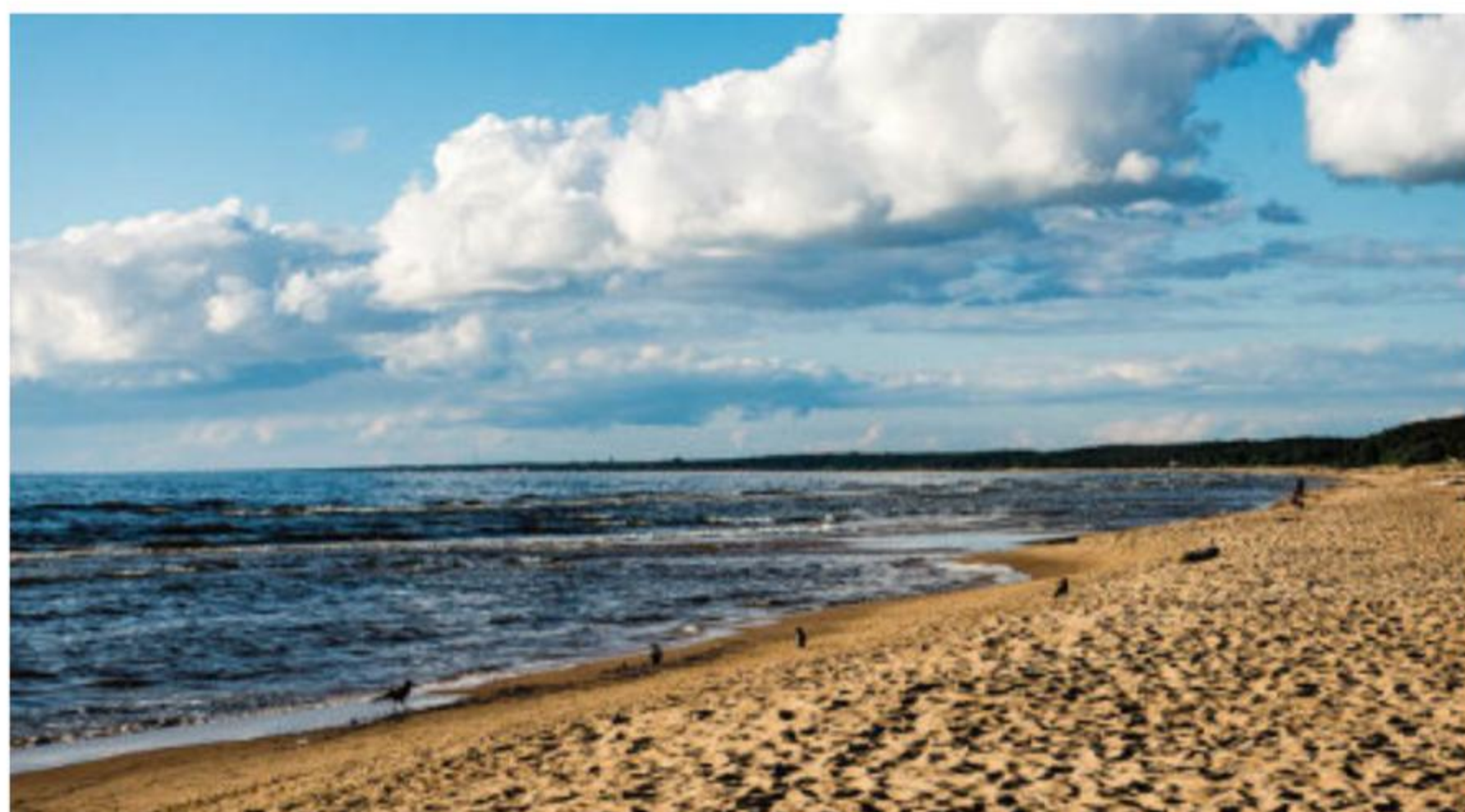
$$\Delta t = \frac{E}{m \cdot c} = \frac{10\,000\text{ J}}{0,4\text{ kg} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 31^\circ\text{C}$$
$$\frac{31^\circ\text{C}}{6^\circ\text{C}} \approx 5$$

Odpowiedź: Piasek ogrzeje się o 31°C . Przyrost temperatury piasku jest około 5 razy większy niż przyrost temperatury wody.

Ćwiczenie. Rozwiąż w zeszycie przykład 3 bez przekształcania wzorów.

■ Duże ciepło właściwe wody

Jak widzisz, z powodu małego ciepła właściwego piasek ogrzał się znacznie bardziej niż woda, chociaż masa obu substancji i dostarczona energia były jednakowe. Można to zaobserwować w czasie upalnego dnia, gdy piasek na plaży rozgrzewa się znacznie bardziej niż woda w jeziorze. Drugą przyczyną jest to, że woda w jeziorze pochłania promienie słoneczne w całej objętości, a na plaży promienie słoneczne pochłania tylko wierzchnia warstwa piasku.



Woda nagrzewa się wolniej niż piasek.



Na rysunku poniżej przedstawiono, ile gramów różnych substancji można ogrzać kosztem energii 1 J o 1°C. Obok zapisano ciepło właściwe danej substancji.

ołów 7,7 g		$c = 130 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
żelazo 2,2 g		$c = 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
cegła 1,2 g		$c = 850 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
benzyna 0,48 g		$c = 2090 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
woda 0,24 g		$c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Dzięki dużemu ciepłu właściwemu wody klimat morski jest łagodniejszy niż klimat kontynentalny. Woda nie rozgrzewa się w lecie ani nie ochładza w zimie tak szybko, jak ląd i powietrze, dlatego łagodzi wahania temperatury.

■ Wyznaczanie ciepła właściwego wody

Ciepło właściwe wody możesz wyznaczyć samodzielnie nawet w warunkach domowych.

Przykład 4. Daniel wyznaczał ciepło właściwe wody. Wykonał następujące czynności i zapisał wyniki pomiarów i obliczeń.

1. Odmierzył 0,5 kg (czyli 0,5 l) wody za pomocą kuchennej miarki do odmierzania objętości. Wlał wodę do szklanego naczynia.
2. Na obudowie grzałki elektrycznej odczytał jej moc: 500 W.
3. Włożył grzałkę do wody i włączył ją na chwilę, aby się rozgrzała, a następnie wyłączył.
4. Zmierzył temperaturę wody. Wynosiła 19°C.
5. Włączył grzałkę na 50 s. Czas odmierzył zegarkiem z sekundnikiem.
6. Wyłączył grzałkę i zamieszał nią wodę, aby jak najwięcej energii przepłynęło z grzałki do wody.
7. Zmierzył temperaturę wody. Wynosiła 31°C. Stwierdził, że w wyniku ogrzewania temperatura wody wzrosła o 12°C.
8. Obliczył, jaką energię grzałka dostarczyła wodzie. Moc grzałki wynosi 500 W, czyli w czasie 1 s grzałka dostarcza 500 J, a więc w czasie 50 s dostarczyła 50 razy więcej energii:

$$50 \cdot 500 \text{ J} = 25\,000 \text{ J}$$





9. Z doświadczenia wywnioskował, że aby podgrzać 0,5 kg wody o 12°C , potrzeba 25 000 J energii. Aby podgrzać 1 kg wody o 12°C , potrzeba zatem 50 000 J. Na każdy 1°C zmiany temperatury przypada 4167 J energii (bo $50\,000 : 12 = 4167$).

10. Stwierdził zatem, że ciepło właściwe wody wynosi $4167 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, a w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Podsumowanie

- Ciepło właściwe określa, ile energii musi uzyskać 1 kg substancji, aby ogrzać się o 1°C .
- Energię, którą trzeba przekazać ciału o masie m , aby uzyskać wzrost temperatury Δt , obliczamy ze wzoru:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta t.$$

- Woda ma bardzo duże ciepło właściwe, dzięki czemu jej temperatura nie zmienia się tak szybko, jak temperatura gleby i powietrza.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Rozwiązując zadania, skorzystaj z tablic zamieszczonych na końcu podręcznika.

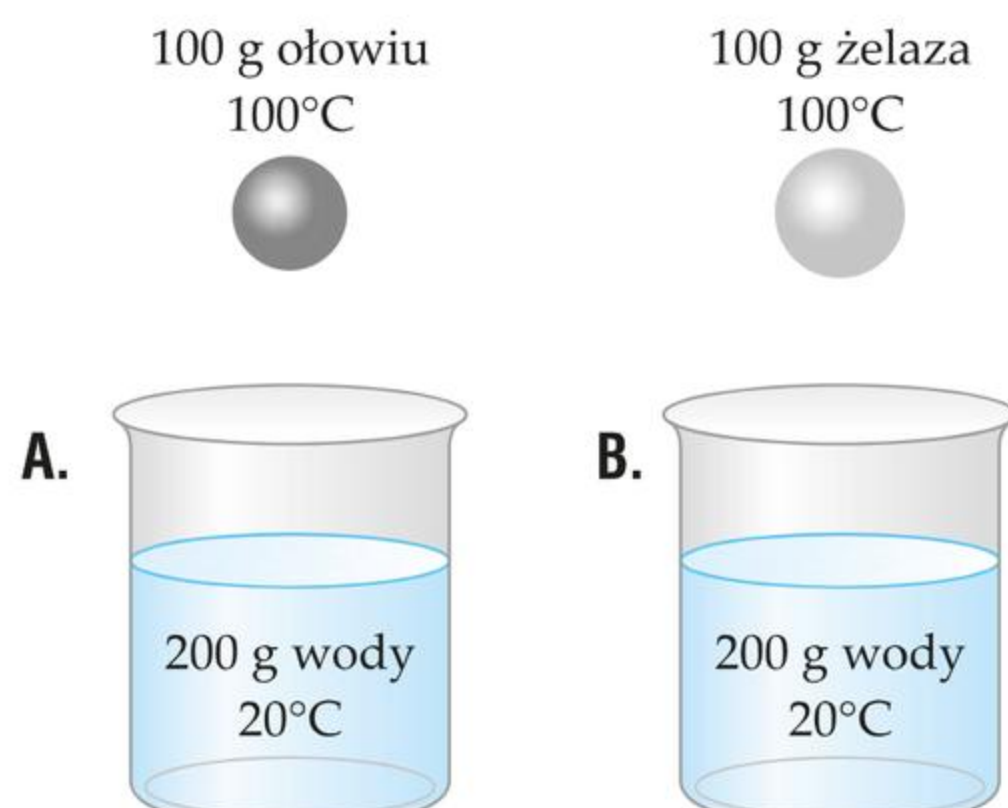
1. Oblicz, ile energii potrzeba, aby:

- a) podgrzać 0,25 kg wody o 10°C ,
- b) podgrzać 10 kg żelaza o 5°C ,
- c) podgrzać 20 kg alkoholu o 7°C .

2. Oblicz, ile wody można podgrzać, dostarczając 20 kJ energii, jeśli chcemy zmienić jej temperaturę:

- a) od 10°C do 50°C , b) od 20°C do 90°C .

3. Wskaż naczynie, w którym po wrzuceniu kulek i wyrównaniu temperatury woda będzie cieplejsza?



4. Oblicz ilość energii potrzebnej do podgrzania o 10°C wody w basenie o wymiarach $25\text{ m} \times 10\text{ m} \times 2\text{ m}$. Masa 1 m^3 wody to 1000 kg.

5. Czajnik elektryczny o mocy 2 kW podgrzewa wodę od 10°C do 100°C . Oblicz, jak długo trwa podgrzanie litra wody.

6. Spójrz na mapę świata i na tabelę poniżej. Szczecin i Chabarowsk leżą na podobnej szerokości geograficznej, Słońce w tych miastach dostarcza więc podobnych ilości energii. Wyjaśnij, co jest przyczyną tak znacznych różnic klimatu między tymi miastami.

	Szczecin	Chabarowsk
Średnia temperatura stycznia	0°C	-22°C
Średnia temperatura lipca	$+18^{\circ}\text{C}$	$+21^{\circ}\text{C}$



Doświadczenie

Za pomocą grzałki o znanej mocy wyznacz ciepło właściwe wody. Skorzystaj z opisu doświadczenia w przykładzie na stronie 170. Pamiętaj o jednostkach.

Do zapisywania wyników pomiarów i obliczeń przygotuj w zeszycie tabelę według wzoru.

Masa wody	
Moc grzałki	Wypełnij w zeszycie
Czas ogrzewania	
Energia dostarczona wodzie	
Dostarczona energia w przeliczeniu na 1 kg wody	Wypełnij w zeszycie
Temperatura początkowa wody	
Temperatura końcowa wody	Wypełnij w zeszycie
Przyrost temperatury wody	
Dostarczona energia w przeliczeniu na 1 kg wody i na 1°C przyrostu temperatury	Wypełnij w zeszycie
Ciepło właściwe wody	



8

D Ciepło właściwe – trudniejsze zagadnienia

Zajmiemy się rozwiązywaniem trudniejszych zadań związanych z ciepłem właściwym. Wykorzystamy wiadomości o energii i mocy z poprzedniego rozdziału.

Przykład 1. Aby zagotować litr (czyli 1 kg) wody o temperaturze 20°C, czajnik elektryczny o mocy 2300 W pracował przez 3 minuty. Jaki procent energii elektrycznej został wykorzystany do podgrzania wody? Co się stało z pozostałą energią?

Woda została podgrzana od 20°C do 100°C, a więc jej temperatura wzrosła o:

$$\Delta t = 100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C}$$

Do ogrzania 1 kg wody o 1°C potrzeba 4200 J, a więc do ogrzania jej o 80°C potrzeba 80 razy więcej energii:

$$E_w = 80 \cdot 4200 \text{ J} = 336\,000 \text{ J} = 336 \text{ kJ}$$

Czajnik zużywa w ciągu 1 s energię 2300 J, a więc w ciągu 3 min, czyli 180 s, zużyje energii elektrycznej:

$$E_e = 180 \cdot 2300 \text{ J} = 414\,000 \text{ J} = 414 \text{ kJ}$$

Jaką część tej energii stanowi energia wykorzystana do ogrzewania wody?

$$\frac{E_w}{E_e} = \frac{336 \text{ kJ}}{414 \text{ kJ}} \approx 0,8$$

Odpowiedź: Na ogrzanie wody zużyto około 80% energii elektrycznej. Reszta ogrzała czajnik i otoczenie, część została zużyta na zamianę wody w parę wodną i promieniowanie ciepłe.

Ćwiczenie. Jeśli umiesz, rozwiąż w zeszycie przykład 1 za pomocą przekształcania wzorów.

Z historii

Jednym z uczonych, którzy wyjaśnili, że ciepło jest sposobem przepływu energii, był James Joule [czyt. dżejms dżul] (1818–1889). Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki energii (1 J). Joule wyliczył, o ile stopni powinna ogrzewać się woda spadająca z dużej wysokości, i próbował sprawdzić doświadczalnie swoje obliczenia. Dlatego w podróż poślubną w Alpy zabrał dokładny termometr, którym mierzył temperaturę wody w górnej i dolnej części wodospadu. Niestety, doświadczenie się nie udało, gdyż w wodospadzie woda rozdziela się na małe kropelki, które łatwo oddają lub pobierają energię z powietrza.



James Joule.



Przykład 2. Młotek o masie 2 kg spada z wysokości 0,4 m na żelazny gwóźdź o masie 10 g i wbija go w deskę. Załóżmy, że połowa energii młotka zmienia się w energię wewnętrzną gwoździa (pozostała część – energię wewnętrzną młotka i deski). O ile stopni Celsjusza ogrzeje się gwóźdź?

Dane:

$m_m = 2 \text{ kg}$ – masa młotka

$h = 0,4 \text{ m}$ – wysokość,
z której spadł
młotek

$m_g = 0,01 \text{ kg}$ – masa gwoździa

$c = 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ – ciepło właściwe gwoździa

Szukane:

$\Delta t = ?$ – zmiana temperatury
gwoździa

Młotek ma energię potencjalną:

$$E_p = m_m \cdot g \cdot h = 2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,4 \text{ m} = 8 \text{ J}$$

Z tej energii w energię wewnętrzną gwoździa zmienia się połowa, czyli: $E_g = 4 \text{ J}$.

Dalej obliczamy podobnie, jak w przykładzie 2 ze strony 168:

$$\Delta t = \frac{E_g}{m_g \cdot c} = \frac{4 \text{ J}}{0,01 \text{ kg} \cdot 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} \approx 0,9^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Gwóźdź rozgrzeje się (po jednym uderzeniu!) o $0,9^\circ\text{C}$.

Przykład 3. Moc grzałki elektrycznej wynosi 700 W. Ile wody o temperaturze początkowej 10°C zagotujemy tą grzałką w ciągu 20 minut? Pomijamy straty energii.

Czas grzania: $t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$.

Moc grzałki: $P = 700 \text{ W}$.

Energia dostarczona przez grzałkę: $E = 700 \text{ W} \cdot 1200 \text{ s} = 840\,000 \text{ J}$.

Początkowa temperatura wody: $t_1 = 10^\circ\text{C}$.

Końcowa temperatura wody: $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

Przyrost temperatury: $\Delta t = t_2 - t_1 = 100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}$.

Ze wzoru
otrzymujemy: $E = m \cdot c \cdot \Delta t$

$$m = \frac{E}{c \cdot \Delta t} = \frac{840\,000 \text{ J}}{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 90^\circ\text{C}} \approx 2,2 \text{ kg}$$

Odpowiedź: Można zagotować 2,2 kg (czyli 2,2 l) wody.



Podsumowanie

- Łącząc wiadomości o cieple właściwym z wiadomościami o energii i mocy, możemy rozwiązywać trudniejsze zadania rachunkowe.

Pytania i zadania

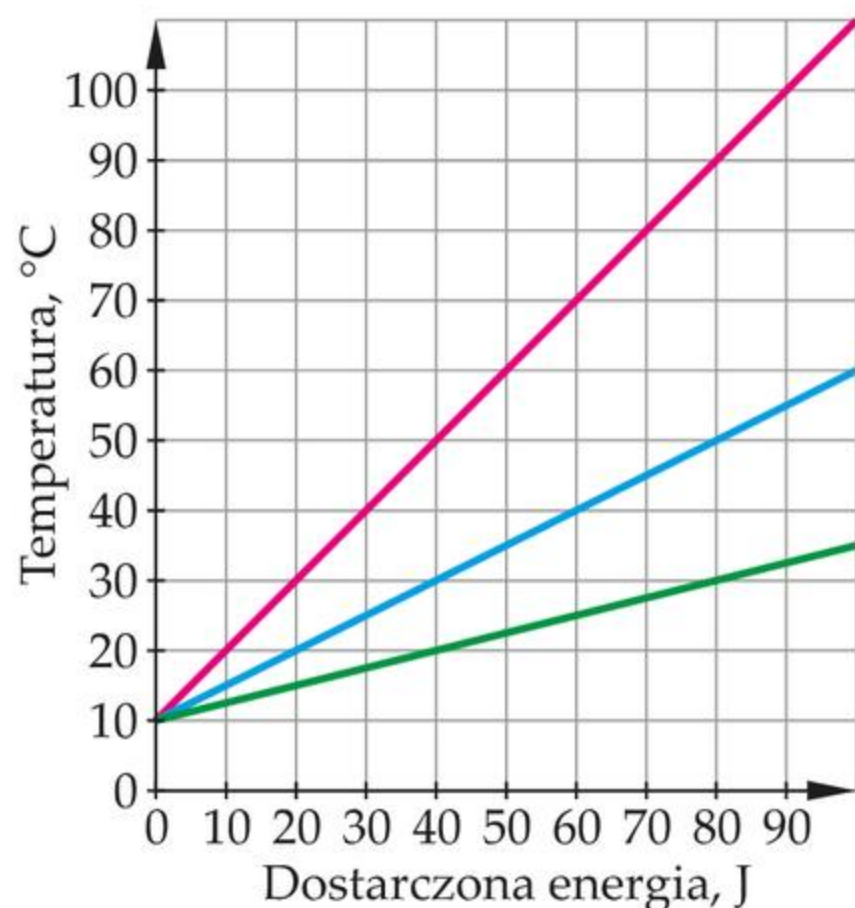
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Grzałka elektryczna o mocy 400 W podgrzewa szklaną (0,25 kg) wody. Oblicz, jak długo trwa podgrzewanie wody od 10°C do wrzenia. Przyjmij, że do podgrzewania wody wykorzystywane jest 60% energii elektrycznej. Wyjaśnij, dlaczego przyjmujemy tutaj większe straty energii niż w przypadku czajnika elektrycznego.

2. Uderzając młotkiem w 20-gramowy stalowy gwóźdź, podczas każdego uderzenia wykonano nad nim pracę 5 J. Oblicz, o ile stopni Celsjusza ogrzeje się gwóźdź po 20 uderzeniach.

3. Próbki trzech substancji (każda po 10 g) miały temperaturę 10°C. Gdy każdej z nich dostarczano ciepło, ogrzewały się w różny sposób, co przedstawia wykres poniżej. Na jego podstawie oblicz w zeszycie ciepło właściwe każdej z próbek. Pomiń straty energii.



4. Najwyższy na świecie wodospad, Salto del Angel w Wenezueli, ma wysokość 1054 m. Oblicz, o ile stopni Celsjusza ogrzałaby się woda spadająca z tej wysokości, gdyby nie oddawała energii do atmosfery.



31 Przewodnictwo ciepłe

Gdy garnek z zimną wodą postawimy na rozgrzanej płycie kuchennej elektrycznej, energia z płyty jest przekazywana do garnka, a następnie – do wody. Z podobnymi przykładami przekazywania energii spotykasz się na pewno wielokrotnie.

Jak pamiętasz, przekazywanie energii od ciała cieplejszego do chłodniejszego nazywamy także przepływem ciepła.

Im większa różnica temperatury, tym szybciej przepływa ciepło. Między ciałami o jednakowej temperaturze ciepło nie przepływa.

Dzięki przepływowi energii w postaci ciepła stopniowo wyrównuje się temperatura ciał: ciało cieplejsze stygnie, a zimniejsze się ogrzewa. Trwa to aż do chwili, gdy temperatura się wyrówna.

Gdy energia w postaci ciepła przepływa między stykającymi się ciałami, mówimy o zjawisku **przewodnictwa ciepłego**. Ten sposób przekazywania energii nie jest związany z przemieszczeniem cząsteczek obu ciał, np. żadna część płyty kuchennej nie przemieszcza się do garnka z wodą.

■ Dobre i złe przewodniki ciepła

Doświadczenie !

Do dwóch jednakowych garnków nalej po pół litra zimnej wody. W środku każdego garnka postaw kubek: w jednym – metalowy, w drugim – porcelanowy. Do kubków nalej taką samą ilość ciepłej wody i przykryj je talerzykami. Po kilku minutach sprawdź temperaturę wody we wszystkich naczyniach.



Jeśli ciała nie stykają się bezpośrednio, szybkość przekazywania energii w postaci ciepła zależy od materiału, którym są oddzielone. Mówimy, że metal jest **dobrym przewodnikiem ciepła**, ponieważ ciepło przepływa przez niego szybko, a porcelana jest **złym przewodnikiem ciepła** (czyli jest izolatorem cieplnym), bo ciepło przepływa przez nią powoli.

■ Wykorzystanie dobrych i złych przewodników ciepła

Kaloryfery produkuje się z metalu, aby ciepło łatwiej było przekazywane z gorącej wody do powietrza w pomieszczeniu. Gdyby były plastikowe, woda wracałaby do kotłowni gorąca, a w domu byłoby zimno. W innych sytuacjach staramy się ograniczyć straty ciepła. Izolujemy na przykład ściany domów, aby w zimie nie „uciekało” z nich zbyt wiele ciepła. Ta sama izolacja chroni dom przed nadmiarem ciepła w czasie upałów.

■ Odczuwanie ciepła i zimna

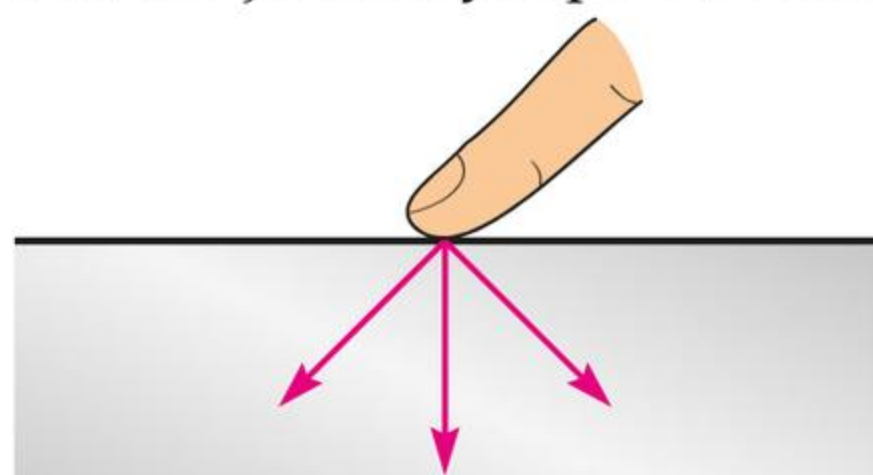
Doświadczenie

Przygotuj dwie łyżki – drewnianą i metalową. Każdą z nich weź w inną rękę. Odniesiesz wrażenie, że metal jest zimniejszy niż drewno. Jak sądzisz, czy naprawdę ma on niższą temperaturę?

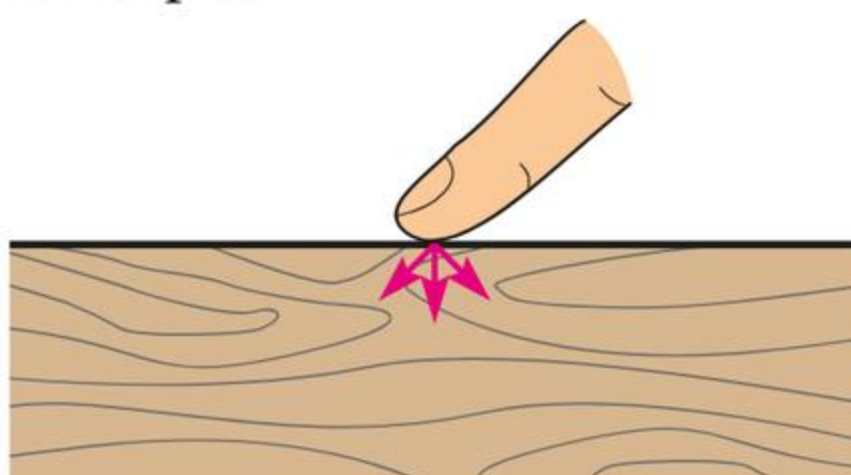
Odczuwanie ciepła i zimna w rzeczywistości nie pozwala oceniać temperatury, lecz szybkość przekazywania energii z ciała do otoczenia lub z otoczenia do ciała. Gdy energia jest przekazywana z otoczenia, odczuwamy ciepło. Jest nam tym cieplej, im szybciej energia jest przekazywana. Gdy zaś energia jest przekazywana do otoczenia, odczuwamy zimno.

Metalowa łyżka, która leżała przez dłuższy czas w szufladzie, ma dokładnie taką samą temperaturę, jaką ma leżąca w tej samej szufladzie łyżka drewniana. Jest ona równa temperaturze powietrza, a więc na ogół niższa od temperatury naszego ciała. Gdy dotykamy palcem metalu, energia z palca jest przekazywana szybko i jest natychmiast rozprawdzana po całej objętości metalu. Dlatego odczuwamy zimno.

Gdy dotykamy drewnianej łyżki, z palca jest przekazywane niewiele energii potrzebnej do ogrzania małej części łyżki tuż pod palcem. Dalej energia jest przekazywana bardzo powoli, bo drewno jest słabym przewodnikiem ciepła.



Oddawane jest dużo energii. Czujemy zimno.



Oddawane jest mało energii. Nie czujemy zimna.



Dodatkowa warstwa izolacji cieplnej na ścianach budynku pozwala oszczędzać energię. Dzięki temu mieszkańcy płacą niższe rachunki za ogrzewanie i pomagają chronić środowisko.

■ Ziębi czy grzeje?

Doświadczenie



Weź dwa kawałki lodu jednakowej wielkości. Jeden zawiń w skrawek materiału i połóż na talerzu, drugi połóż obok niego niezawinięty. Który kawałek szybciej się stopi? Jak to wyjaśnisz?



Bardzo dobra izolacja cieplna pozwala polarnikom przetrwać silny mróz.

Czy zastanawiasz się czasami, dlaczego ubranie „grzeje”? Skąd pochodzi potrzebna na to energia? Otóż ubranie wcale nie grzeje, ale „przeszkadza” chłodzić ciało. Organizm wytwarza dosyć energii, aby utrzymać stałą temperaturę ciała. Jednak gdy nie jest ono osłonięte i styka się bezpośrednio z zimnym powietrzem, szybko traci tę energię. Utratę energii odczuwamy jako „zimno”. Gdy jesteśmy ubrani, energia nie wypływa tak łatwo, więc jest nam ciepło.

Jeśli kawałek lodu zawiniemy w skrawek materiału, nie roztopi się on szybciej. Skrawek materiału nie dostarczy mu energii (bo i skąd miałby ją wziąć?). Wręcz przeciwnie, zabezpieczy lód przed energią napływającą z zewnątrz. Izolację cieplną stosujemy więc zarówno po to, aby ciała gorące się nie chłodziły, jak i po to, aby ciała zimne się nie ogrzewały.

Podsumowanie

- Gdy stykają się dwa ciała o różnej temperaturze, energia w postaci ciepła jest przekazywana z ciała o wyższej do ciała o niższej temperaturze. Im większa różnica temperatury, tym szybciej ciepło jest przekazywane.
- Substancje, przez które ciepło szybko przepływa (np. metale), nazywamy przewodnikami ciepła, a te, przez które ciepło przepływa wolno (np. szkło, drewno) – izolatorami cieplnymi.
- Ciała o takiej samej temperaturze mogą przy dotknięciu wywoływać różne odczucia, ciepła lub zimna, w zależności od tego, czy wykonane są z dobrych czy ze złych przewodników ciepła.
- Izolację cieplną stosujemy po to, aby ciepłe ciała się nie chłodziły (np. by nie chłodziło się zbyt szybko ciało człowieka), a ciała zimne się nie ogrzewały.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wyjaśnij, które z wymienionych przedmiotów wykonujemy z dobrych, a które ze złych przewodników ciepła.

- a) garnek
- b) kaloryfer
- c) uchwyt garnka
- d) ubranie

2. Paweł i Gawęł nalali gorącej herbaty do kubków jednakowej wielkości i postavili je na śniegu. Po chwili herbata Pawła była całkiem zimna, a Gawła – jeszcze ciepła. Który z nich miał kubek metalowy, a który – porcelanowy?



3. Zapaloną świeczkę można trzymać bezpośrednio w dłoni. Na podstawie podanej informacji oceń, czy stearyna jest dobrym czy złym przewodnikiem ciepła.

4. Gorącą herbatę mieszamy bez trudu stalową łyżeczką. Gdy jednak próbujemy mieszać ją łyżeczką aluminiową, natychmiast parzy nas ona w ręce. Na podstawie podanych informacji oceń, który z metali jest lepszym przewodnikiem ciepła: stal czy aluminium.

5. Termos może służyć zarówno do utrzymywania temperatury lodów, jak i gorącej herbaty. Wyjaśnij, dlaczego może on spełniać te dwie „przeciwnie” funkcje.

6. Odpowiedz na pytania.

a) Czy bardziej dotkliwe oparzenia może spowodować dotknięcie metalu rozgrzanego do 100°C czy drewna o tej samej temperaturze?

b) Metal o temperaturze np. 20°C sprawia wrażenie zimniejszego niż drewno o tej samej temperaturze. Ustal, czy takie samo odczucie sprawiają metal i drewno o temperaturze $36,6^{\circ}\text{C}$.

32 Konwekcja i promieniowanie

Doświadczenie



Potrzymaj przez chwilę dłoń na wysokości około 20 cm nad zapaloną świeczką. Zachowaj ostrożność. Potem zbliż ją do ognia na taką samą odległość, ale z boku. W której sytuacji wyraźniej czujesz ciepło?

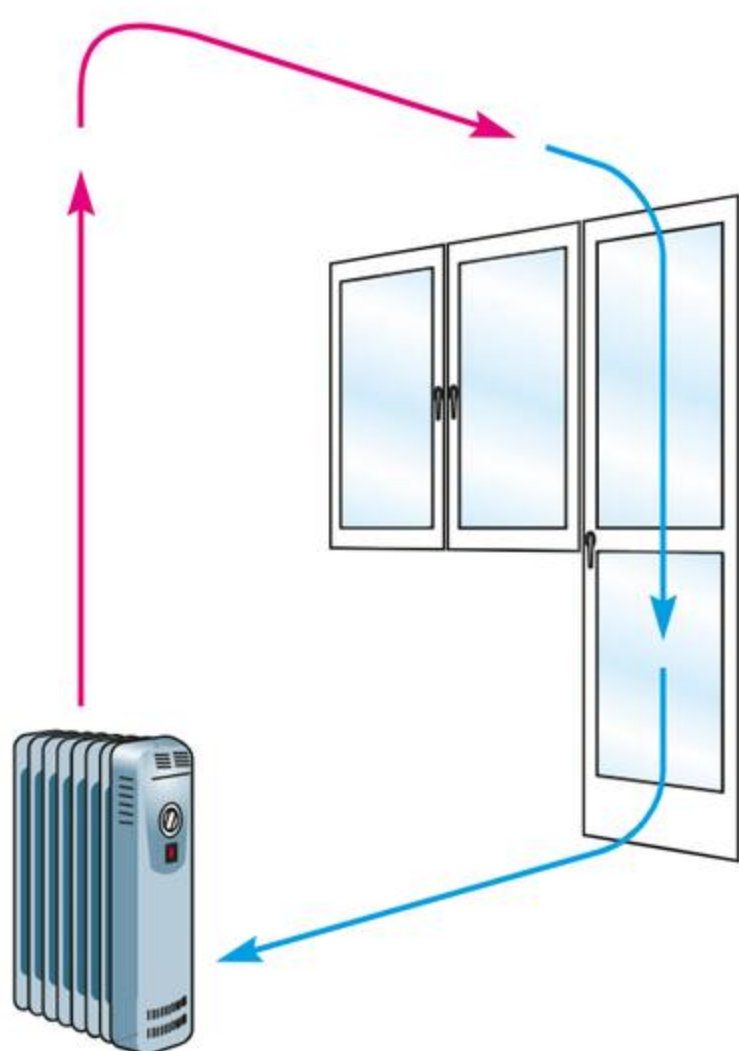


Ciepłe powietrze jest lżejsze od zimnego i unosi się (powiemy o tym dokładniej w następnym rozdziale). Dzięki temu ciepłe powietrze znad kaloryfera rozchodzi się szybko po całym pomieszczeniu i miesza się z powietrzem zimnym. Gdyby powietrze się nie poruszało, w pobliżu kaloryfera byłoby gorąco, a dalej od niego – zimno, bo powietrze słabo przewodzi ciepło. Możemy powiedzieć, że energia z kaloryfera dociera do całego pomieszczenia nie tyle przez powietrze, ile razem z powietrzem. To zjawisko nazywamy konwekcją.

Konwekcja to ruch powietrza (albo innych gazów lub cieczy) wywołany różnicą temperatury.

■ Jak i po co zatrzymuje się konwekcję

Powietrze wykorzystuje się do izolacji cieplnej, np. w oknach. Warstwa powietrza pomiędzy dwiema szybami jest słabym przewodnikiem ciepła i pozwala utrzymać wysoką temperaturę w pomieszczeniu nawet w czasie mrozu. Jednak powietrze, które



może swobodnie przepływać, przenosi energię w wyniku konwekcji. Dlatego lepszą izolację cieplną zapewnia materiał zawierający oddzielone od siebie porcje powietrza. Przykładem takiego materiału jest styropian, powszechnie stosowany w budownictwie do ocieplania mieszkań.

Wełniane ubrania, kożuchy, puchowe kurtki i kołdry są słabymi przewodnikami ciepła nie tylko ze względu na materiał, z którego są wykonane, ale przede wszystkim ze względu na powietrze uwiecznione między nitkami czy piórkami. Nie może się ono swobodnie przemieszczać, więc stanowi doskonałą izolację cieplną i nie pozwala na „ucieczkę” energii z organizmu.

■ Konwekcja w skali całej Ziemi

Konwekcja ma duże znaczenie dla klimatu naszej planety. Znad gorących obszarów Ziemi powietrze się unosi, a na jego miejsce napływa powietrze zimniejsze z innych rejonów. Powoduje to wyrównywanie się temperatury. Wiatry wiejące nad oceanami, a także konwekcja w wodzie, powodują powstawanie prądów morskich. Wiatry i prądy morskie wyrównują temperaturę na Ziemi, dzięki czemu panują na niej lepsze warunki do życia. Gdyby nie konwekcja, okolice równika byłyby jeszcze cieplejsze, a strefa polarna byłaby jeszcze zimniejsza.

■ Promieniowanie

W jaki sposób dociera do nas energia ze Słońca? Między Słońcem a Ziemią występuje próżnia, w której nie są możliwe przewodnictwo cieplne i konwekcja. Mamy do czynienia z trzecim sposobem przenoszenia energii: promieniowaniem.

Rodzajem takiego promieniowania jest światło. Promieniowanie wysyłane przez żelazko albo promieniowanie w kuchence mikrofalowej ma naturę podobną do natury światła, ale nie jest widoczne dla naszych oczu. Dowiesz się o tym więcej podczas dalszej nauki fizyki.

Stojąc w słońcu w letni dzień, odnosimy wrażenie, jakby było znacznie cieplej niż w cieniu. W rzeczywistości powietrze nie jest znacznie cieplejsze, ale gdy stoimy w słońcu, ogrzewa nas promieniowanie słoneczne.

■ Porównanie sposobów przekazywania ciepła

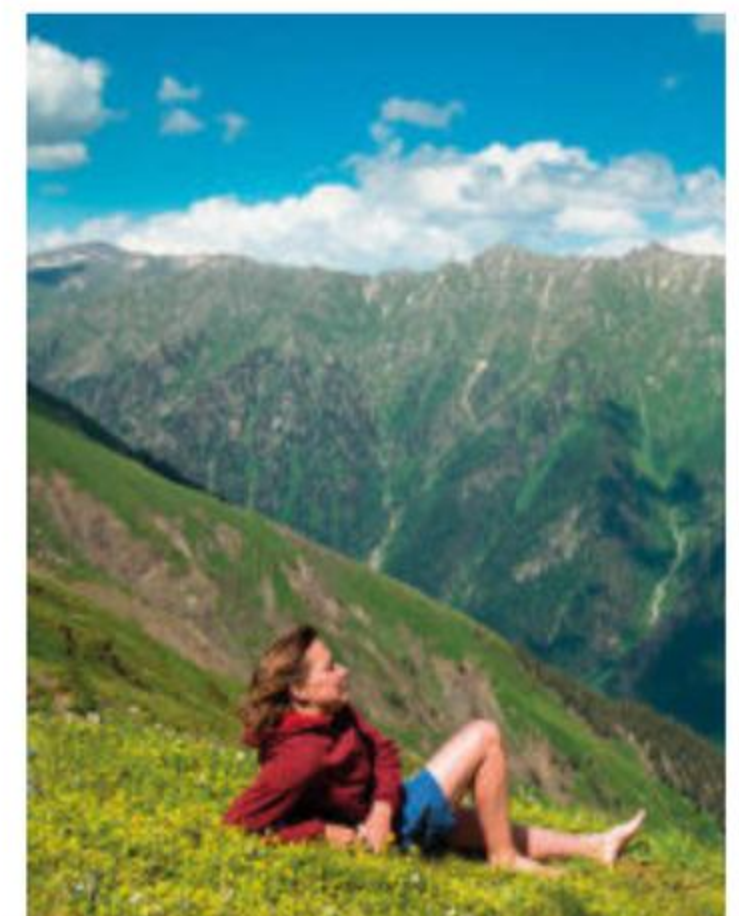
- Przewodnictwo cieplne: energia jest przekazywana, ale cząsteczki wykonują tylko ruch chaotyczny, bez ukierunkowanego przemieszczania się.
- Konwekcja: energia jest przenoszona dzięki ukierunkowanemu przemieszczeniu się cząsteczek gazu lub cieczy (przy jednoczesnym ruchu chaotycznym).
- Promieniowanie: energia jest przekazywana nawet wtedy, gdy między ciałami nie ma żadnej substancji.



Gdy jest zimno, ptaki tworzą ze swych piór grubą warstwę izolacji cieplnej.

Doświadczenie

Rozgrzej żelazko (zachowaj należyłą ostrożność), podnieś je i zbliż do niego rękę od spodu. Czy czujesz ciepło?





Podsumowanie

- Ciepłe powietrze się unosi. Dzięki temu miesza się z zimnym powietrzem. Podobne zjawisko zachodzi w innych gazach i cieczech. Nazywamy je konwekcją.
- Konwekcja powoduje wyrównywanie temperatury w pomieszczeniu ogrzewanym przez kaloryfer, a także na Ziemi, nierównomiernie ogrzewanej przez Słońce.
- Oprócz przewodnictwa cieplnego i konwekcji istnieje trzeci sposób przenoszenia ciepła: promieniowanie. W ten sposób jest przekazywana energia ze Słońca na Ziemię.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wyjaśnij, dlaczego osobie stojącej w zimnym pomieszczeniu najbardziej marzną stopy.

2. Włosy niedźwiedzia polarnego są wewnątrz puste. Czy może to być przystosowaniem do życia w zimnym klimacie? Odpowiedź uzasadnij.

3. Oceń, czy energia z kaloryfera dociera do nas głównie przez przewodzenie ciepła, czy przez konwekcję. Uzasadnij swój wybór.

4. Wystawiony na słońce termometr wskazuje 45°C .

a) Czy powietrze w jego otoczeniu ma temperaturę 45°C ?

b) Wyjaśnij, dlaczego temperaturę powietrza mierzymy w cieniu.

5. Dlaczego, gdy nocą siedzimy przy ognisku, marzną nam plecy, a w twarz jest gorąco?

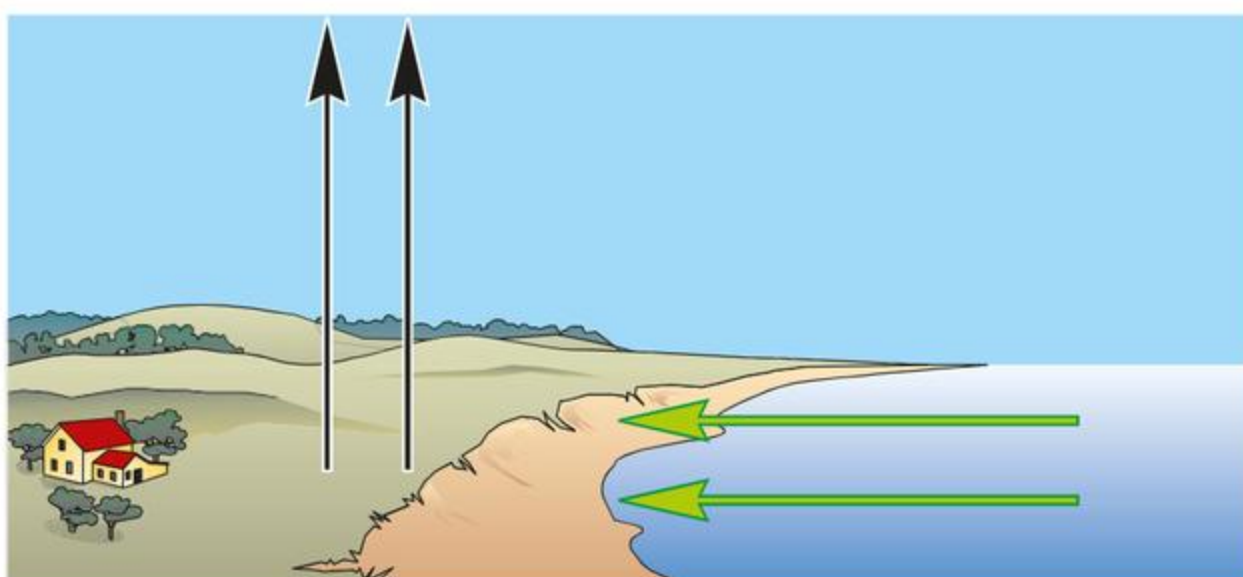
6. Wieczorem po ciepłym dniu ląd nad brzegiem jeziora jest rozgrzany znacznie bardziej niż woda. Wieje wtedy bryza – wiatr od wody w kierunku lądu. Zasadę powstawania bryzy przedstawia rysunek.

Przeanalizuj go, a następnie wykonaj polecenia.

a) Ustal, jakie powietrze (ciepłe czy zimne) oznaczają strzałki czarne, a jakie – zielone.

b) Wyjaśnij, dlaczego powietrze nad ziemią porusza się do góry.

c) Wcześniej rano woda jest cieplejsza niż ląd. Narysuj w zeszycie, jak o tej porze dnia powstaje bryza i w którą stronę wieje.



Doświadczenie

Konwekcja w wodzie

Postaw na gazie garnuszek z wodą. Wsyp do niego trochę mielonego pieprzu. Obserwuj, jak ziarenka pieprzu przemieszczają się wraz z wodą poruszającą się na skutek konwekcji.



33 Topnienie i krzepnięcie

■ Topnienie lodu

Doświadczenie ⚠

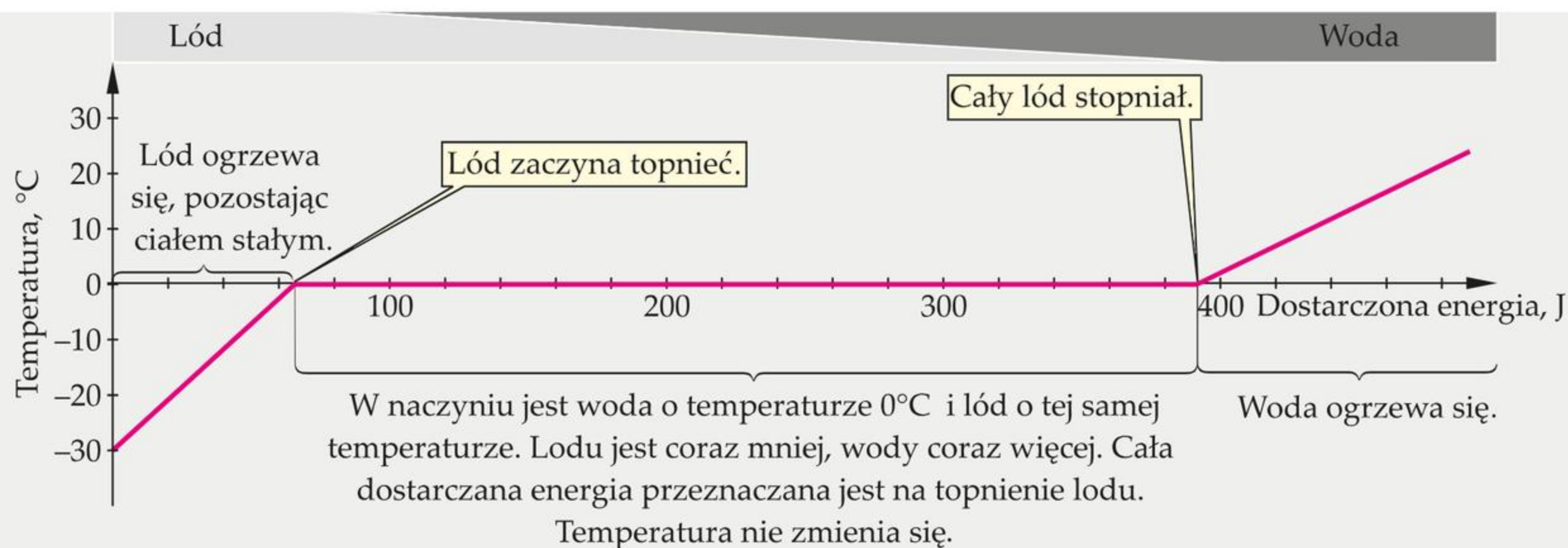
Do miski z zimną wodą wrzucić trochę pokruszonego lodu i wymieszać wszystko dokładnie, aż lód przestanie szybko topnieć. Zmierz temperaturę wody z lodem. Wykonaj pomiar kilkakrotnie, w miarę topnienia lodu. Wstaw naczynie do zamrażarki, po kilkunastu minutach wyjmij je i jeszcze raz zmierz temperaturę wody.



W temperaturze $+1^{\circ}\text{C}$ woda występuje tylko jako ciecz, w temperaturze -1°C – tylko jako ciało stałe. W temperaturze 0°C może występować w obu postaciach. Skąd woda „wie”, czy ma być cieczą czy ciałem stałym? Otóż woda nie musi nic „wiedzieć”. Jeśli jest izolowana od otoczenia, po prostu pozostaje w takim stanie, w jakim była: lód pozostaje lodem, a ciecz – cieczą. Jeśli jednak dostarczamy do lodu energię, topnieje on i zamienia się w wodę, a jeśli zabieramy energię z wody – zamarza ona i zamienia się w lód.

Temperaturę 0°C możemy nazywać zarówno temperaturą topnienia lodu, jak i temperaturą krzepnięcia wody.

Wykres przedstawia zmiany temperatury grama lodu w miarę dostarczania energii.



Doświadczenie

Położ na talerzyku kostkę lodu. Po pewnym czasie lód stopnieje. Zwróć uwagę na to, co się z nim dzieje, zanim to się stanie. Czy lód stale jest tak samo twardy? Następnie ogrzewaj ostrożnie kawałek stearyny w płomieniu świecy. Czym różni się topnienie stearyny od topnienia lodu?



Zwróć uwagę, że do stopienia lodu potrzeba znacznie więcej energii niż do ogrzania go od -30°C do 0°C .

■ Kryształy i ciała bezpostaciowe

W czasie topnienia lodu łatwo odróżnić część, która już się stopiła i jest wodą, od części jeszcze niestopionej. Podobnie jest w przypadku żelaza czy ołowiu. Natomiast ciała bezpostaciowe topnieją „łagodnie”, jak stearyna. Stają się one coraz bardziej miękkie, trudno znaleźć wyraźną granicę między ciałem stałym a cieczą. Jak wiesz z lekcji 28, lód, żelazo i ołów są kryształami. Od kryształu można oderwać niektóre cząsteczki – tak topnieje lód – ale nie można sprawić, aby stał się on miękki jak podgrzana stearyna.

Kryształy topnieją w stałej temperaturze. Ciała bezpostaciowe topnieją, stopniowo ogrzewając się i mięknięc.

Doświadczenie

1. Weź kilka (np. 8) kostek lodu, owiń je kilkakrotnie folią (np. woreczkiem foliowym) i potłucz młotkiem na proszek. W zimie możesz wziąć garść śniegu z za okna.
2. Wrzuć lód (śnieg) do kubka, zalej niewielką ilością zimnej wody i dokładnie wymieszaj.
3. Włóż do kubka termometr i odczytaj temperaturę.
4. Wrzuć do kubka kilka łyżek soli. Mieszaj sól z wodą i lodem i obserwuj, jak zmienia się temperatura.



Z historii

Dawno temu, kiedy elektryczne lodówki nie były jeszcze znane albo były zbyt drogie, zjawisko oziębiania wody z lodem wykorzystywano do przyrządzania lodów. Oczywiście nikt nie solił tego, co miał zjeść! Przygotowaną do zamrożenia mieszaninę mleka, cukru i owoców wlewano do metalowego naczynia i zanurzano w mieszaninie oziębiającej. Zamiast soli używano także innych substancji, pozwalających jeszcze bardziej ochłodzić wodę.

■ Mieszanina oziębiająca

Temperatura krzepnięcia wody wynosi 0°C . Dotyczy to jednak czystej wody. Natomiast słona woda krzepnie w niższej temperaturze i może być cieczą także w temperaturze niższej od 0°C . A czy wiesz, dlaczego temperatura wody w doświadczeniu malała, mimo że temperatura otoczenia była znacznie wyższa od 0°C ? Otóż pod wpływem soli lód zaczął topnieć (powoli, więc mogło to być trudne do zauważenia), a do tego potrzebna była energia. Mieszanina wody, lodu i soli zużywa na topnienie energię kinetyczną cząsteczek i dlatego obniża swoją temperaturę.

■ Ciepło topnienia

Z wykresu na s. 183 można odczytać, że stopienie lodu wymaga dużej energii: aż 330 J na 1 g, czyli 330 kJ na 1 kg. Mówimy, że ciepło topnienia lodu wynosi $330 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

Ciepłem topnienia substancji nazywamy energię potrzebną do stopienia 1 kg tej substancji.

Przykład. Ile lodu możemy stopić, dostarczając 500 kJ energii?

Dostarczona energia jest około 1,5 raza większa od energii potrzebnej do stopienia 1 kg lodu ($\frac{500}{330} \approx 1,5$), wystarczy więc do stopienia około 1,5 kg lodu.

Odpowiedź: Dostarczając 500 kJ energii, możemy stopić 1,5 kg lodu.

Zwróćmy uwagę, że obliczyliśmy energię potrzebną tylko do topnienia lodu. Jeśli lód ma wcześniej temperaturę niższą od 0°C , najpierw trzeba mu dostarczyć energii potrzebnej do ogrzania do 0°C .

Podsumowanie

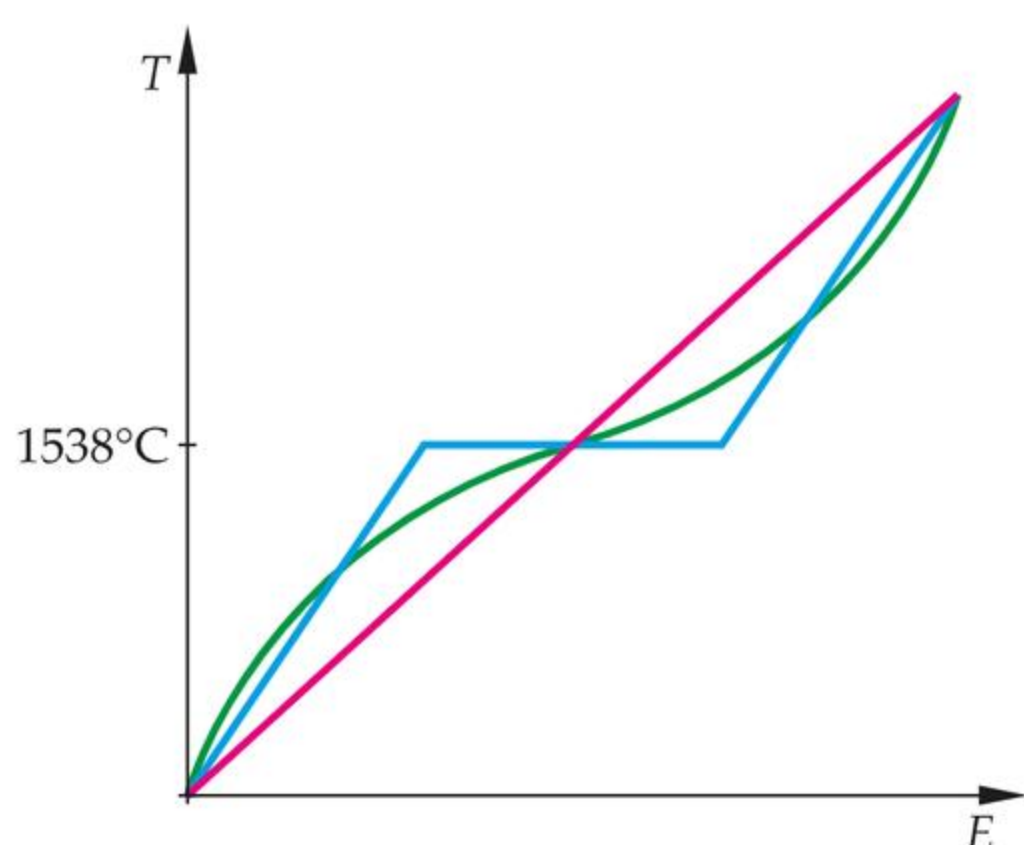
- Woda i lód w temperaturze 0°C nie zmieniają stanu skupienia, dopóki nie dostarczymy im ani nie odbierzemy energii.
- Gdy lód o temperaturze 0°C ogrzewamy, topnieje – coraz większa jego część zmienia się w wodę. Temperatura w tym czasie się nie zmienia, a lód, który jeszcze nie stopniał, pozostaje równie twardy, jak był w bardzo niskiej temperaturze.
- Gdy chłodzimy wodę o temperaturze 0°C , zaczyna ona krzepnąć. W czasie krzepnięcia jej temperatura się nie zmienia.
- Kryształy topnieją w stałej temperaturze. Ciała bezpostaciowe topnieją, stopniowo ogrzewając się i mięknąc.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

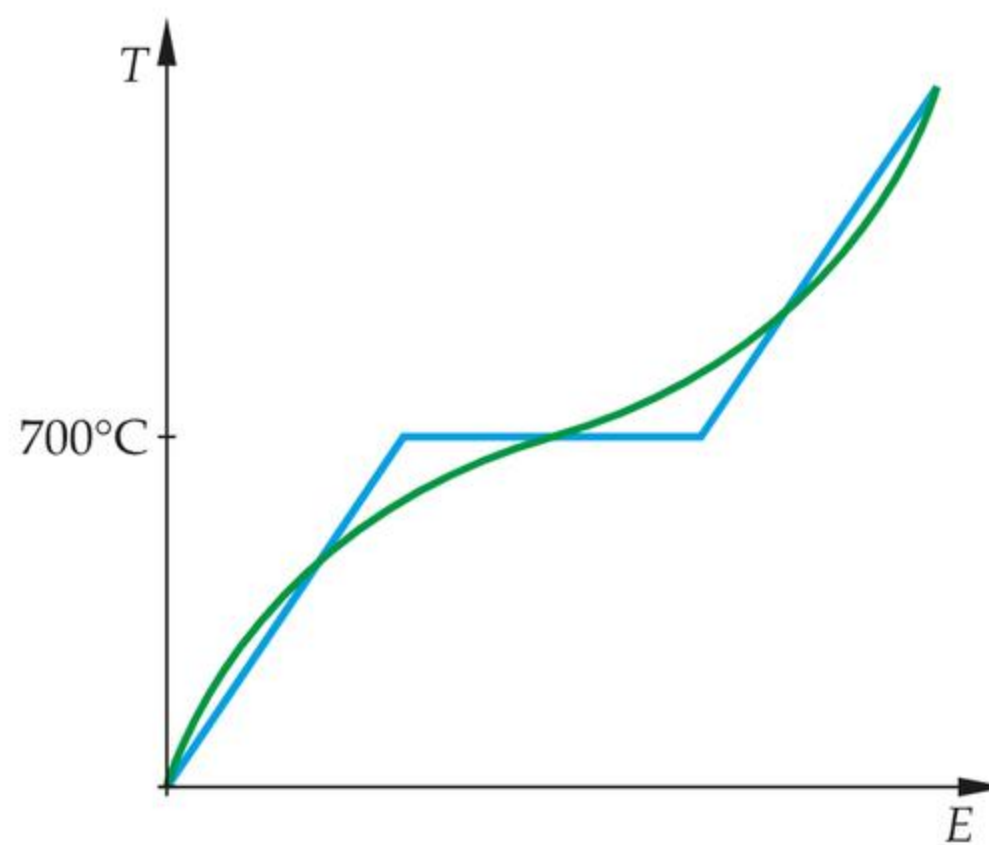


1. Wskaż wykres, który odzwierciedla temperaturę podgrzewanego żelaza w zależności od dostarczonej energii.



2. Wiosną, nawet gdy jest dość ciepło, śnieg utrzymuje się długo, zwłaszcza tam, gdzie było go dużo, bo np. od dawna nie był odgarniany. Dlaczego nie topi się od razu, skoro temperatura powietrza jest wyższa niż 0°C ?

3. Wskaż wykres, który odzwierciedla temperaturę podgrzewanego szkła w zależności od dostarczonej energii.



4. Ile energii potrzeba, aby stopić 2,5 kg lodu?

5. Dlaczego w zimie drogi posypuje się solą? Wypisz ujemne skutki takiego postępowania.

34 Parowanie i skraplanie

■ Czy zimna woda paruje

Woda paruje w każdej temperaturze. Jeśli nalejemy trochę wody na talerzyk, woda wyparuje. Podobnie schnięcie mokrych ubrań polega na wyparowaniu z nich wody.

Doświadczenie ⚠



Do dwóch jednakowych porcelanowych kubków nalej wrzątku. Jeden z nich przykryj talerzykiem, drugi pozostaw nieprzykryty. Po kilku minutach sprawdź temperaturę wody w obu kubkach.

Ciekawostka

Czy parę wodną można zobaczyć? Wydawałoby się, że każdy widział parę unoszącą się nad czajnikiem. W rzeczywistości pary wodnej nie widać – jest przezroczysta. To, co najczęściej nazywamy „parą”, jest w rzeczywistości mgłą – są to drobne kropelki wody (cieczy). Także chmury widzimy dzięki temu, że woda występuje w nich w postaci maleńkich kropli, a nie tylko pary.

Parowanie wymaga dostarczenia dużej energii.

Na odparowanie 1 kg wody o temperaturze 100°C potrzeba aż 2,3 MJ. To ponad 5 razy więcej niż potrzeba do podgrzania jej od 0°C do 100°C .

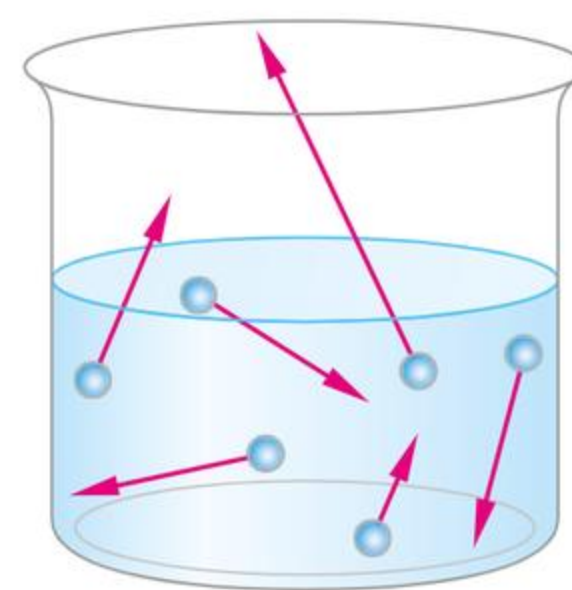
Dlatego doskonałym sposobem odprowadzania nadmiaru energii z organizmu jest pocenie się. Parujący pot odbiera nadmiar energii. Dlatego właśnie w ciepłe dni lub przy wysiłku, gdy mięśnie się rozgrzewają, mocniej się pocimy.

Z tego samego powodu marzniemy w mokrej odzieży. Chociaż zawarta w ubraniu woda szybko się nagrzewa znacznie powyżej temperatury powietrza, jej parowanie powoduje, że tracimy energię, co odczuwamy jako zimno.

Zgodnie z zasadą zachowania energii, skoro parowanie wymaga dostarczenia energii, to przy skraplaniu para oddaje taką samą energię: 2,3 MJ na każdy kilogram. Właśnie dlatego parą wodną można się tak dotkliwie poparzyć.

■ Parowanie i cząsteczki

Dlaczego woda paruje nawet gdy jest zimna? Otóż cząsteczki wody poruszają się z różnymi prędkościami. Mówiliśmy, że temperatura odpowiada energii ruchu cząsteczek. Chodzi tu jednak o średnią energię. Czasami trafi się jakaś wyjątkowo szybka cząsteczka, która ma wystarczającą energię, aby wyrwać się z wody. W ten sposób woda paruje. Zauważ, że gdy wodę opuszczają najszybsze cząsteczki, zostają w niej cząsteczki wolniejsze. Dlatego temperatura parującej wody się obniża.

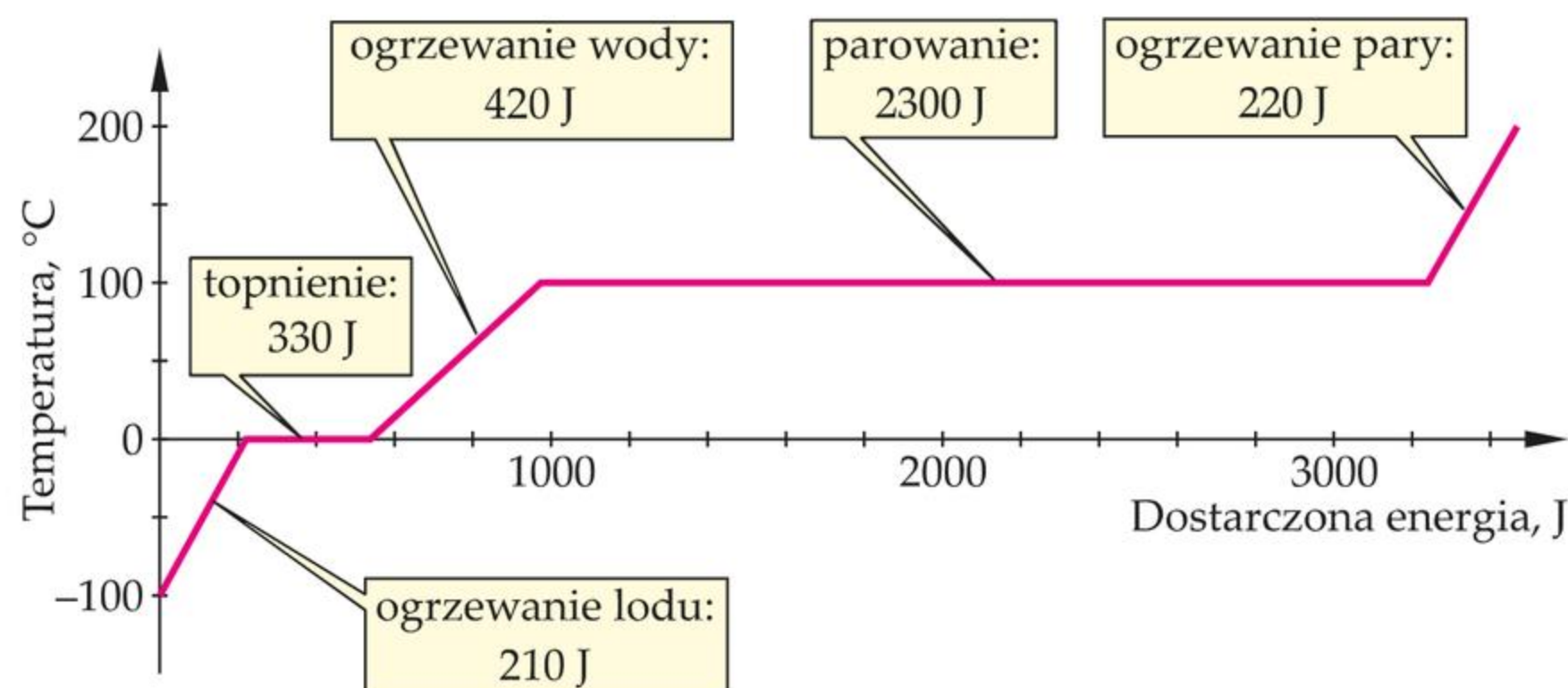


Woda paruje, czyli opuszczają ją najszybsze cząsteczki.

■ Wrzenie

Im wyższa temperatura, tym szybciej woda paruje. W temperaturze 100°C woda zaczyna parować w całej objętości – mówimy, że woda wrze. Gdy podgrzewamy wrzącą wodę, jej temperatura już nie wzrasta. Cała dostarczana energia zużywana jest na parowanie. Jeśli będziemy szybciej dostarczać energii (np. odkręcimy mocniej kurek z gazem), woda będzie wrzeć szybciej, ale jej temperatura nie przekroczy 100°C .

Wykres poniżej przedstawia zmiany temperatury 1 grama wody podgrzewanej od -100°C do $+200^{\circ}\text{C}$. Jak widzisz, największa część dostarczonej energii zużywana jest na parowanie. Zwróć uwagę na podobieństwo między wrzeniem a topnieniem: obydwa zjawiska zachodzą w stałej temperaturze.



Doświadczenie !

Zachowując zasady bezpieczeństwa, zagotuj wodę na kuchence gazowej lub elektrycznej. Obserwuj jej wrzenie. Jeśli masz do dyspozycji termometr o odpowiednim zakresie, zmierz temperaturę wrzącej wody. Sprawdź, czy zmienia się ona po zwiększeniu płomienia lub mocy kuchenki.



Z historii

Pierwszymi uczonymi, którzy skroplili tlen i azot – główne składniki powietrza, byli Zygmunt Wróblewski i Karol Olszewski. Dokonali tego w roku 1883. Dziś ciekły azot, wrzący w temperaturze ok. -200°C , wykorzystujemy m.in. do zamrażania próbek biologicznych i w krioterapii. Tlen przechowywany jest w stanie ciekłym, co wielokrotnie zmniejsza wielkość potrzebnych naczyń. Po odparowaniu tlen wykorzystywany jest w medycynie i technice, np. rakiety kosmiczne zabierają ze sobą ciekły tlen potrzebny do spalania paliwa – w kosmosie nie można do tego wykorzystywać powietrza.

■ Ciepło parowania

Ciepło parowania jest to ilość energii potrzebna do zamiany w parę 1 kg substancji w temperaturze wrzenia.

W przypadku wody jest to energia 2,3 MJ, a więc ciepło parowania wynosi $2,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

Zadania dotyczące ciepła parowania rozwiązujemy w taki sam sposób, jak dotyczące ciepła topnienia.

Przykład. Ile potrzeba energii, aby szklankę wrzącej wody (0,25 kg) zamienić w parę? Jak długo musi pracować trzystuwatowa grzałka, aby dostarczyć tyle energii?

Aby zamienić w parę 1 kg wrzącej wody, potrzeba 2,3 MJ energii.

Aby zamienić w parę 0,25 kg wody, potrzeba

$$0,25 \cdot 2,3 \text{ MJ} \approx 0,6 \text{ MJ} = 600\,000 \text{ J}$$

W ciągu 1 sekundy grzałka dostarcza 300 J energii. Potrzebna energia jest 2000 razy większa (bo $600\,000 : 300 = 2000$). Wobec tego grzałka musi pracować przez czas $t = 2000 \text{ s} \approx 33 \text{ min}$.

Odpowiedź: Trzystuwatowa grzałka potrzebuje 33 min, aby odparować szklankę wody.

Podsumowanie

- Ciecz paruje w każdej temperaturze, jednak w wyższej temperaturze paruje szybciej.
- Parowanie wymaga dostarczenia cieczy dużej energii. Taką samą energię ciecz oddaje, skraplając się.
- Ciecz wrze w całej swojej objętości. W czasie wrzenia temperatura cieczy się nie zmienia.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. W garnku wrze woda, a w niej gotuje się makaron. Czy jeśli mocniej odkręcimy gaz, makaron ugotuje się szybciej? Dlaczego?

2. Reklama pewnego dezodorantu przedstawiała człowieka, który po jego użyciu biegł wśród płomieni, zupełnie się nie pocąc, z wyjątkiem niewielkiego kawałka skóry, który nie został spryskany kosmetykiem. Wyobraźmy sobie, że tak skuteczny dezodorant naprawdę istnieje. Jaki byłby skutek jego użycia w opisanym wypadku?

3. Woda w basenie ma niższą temperaturę niż powietrze. Jednak Oli w wodzie było ciepło, a marznie po wyjściu z niej. Wyjaśnij dlaczego.

4. Aby spienić mleko, wdmuchujemy do niego parę wodną, np. z ekspresu do kawy. Wyjaśnij, dlaczego przy tej okazji mleko się podgrzewa.

5. Oblicz, ile energii potrzeba łącznie, aby najpierw podgrzać szklankę wody (0,25 kg) od temperatury 20°C do temperatury wrzenia, a następnie zamienić wodę w parę wodną.

6. Zapoznaj się z informacją w ramce i wykonaj polecenia.

Woda paruje nie tylko w temperaturze wrzenia. Ciepło parowania wody w temperaturze 30–40°C wynosi $2,4 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

a) Na pustyni człowiek odparowuje dziennie około 10 litrów wody w postaci potu i w wydychanym powietrzu. Oblicz, ile energii oddaje.

b) Oblicz, do jakiej temperatury rozgrzałoby się ciało człowieka o masie 90 kg, gdyby nie oddał tej energii. Przyjmij, że ciepło właściwe człowieka jest równe ciepłu właściwemu wody, z której człowiek głównie się składa.

c) Wielbłąd bez szkody dla zdrowia potrafi zmieniać temperaturę swojego ciała od 35°C rano do 40°C wieczorem. Zwierzę to ma masę około 500 kg i składa się (jak wszystkie organizmy) głównie z wody. Oblicz ilość energii, jaką zużywa wielbłąd na ogrzanie się.

d) Oblicz, ile wody musiałby stracić, aby pozbyć się tej energii przez parowanie.



Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Każde ciało składa się z atomów, które w wielu substancjach powiązane są w cząsteczki. Cząsteczki przyciągają się, ale gdy próbujemy zbyt mocno zbliżyć je do siebie – zaczynają się  odpychać. Przyciąganie się cząsteczek jest przyczyną zjawiska napięcia powierzchniowego.
2. Ta sama substancja (np. woda) może występować jako gaz, ciecz lub ciało stałe. Siły działające między cząsteczkami są największe w ciele stałym, słabsze w cieczy, a najslabsze w gazie. Dlatego ciało stałe zachowuje kształt i objętość, ciecz zachowuje objętość, a gaz nie zachowuje ani kształtu, ani objętości.
Zmiany stanu skupienia mają swoje nazwy: topnienie, krzepnięcie, parowanie, skraplanie, sublimacja, resublimacja.
3. Wśród ciał stałych można wyróżnić kryształy, w których cząsteczki lub atomy są ułożone w sposób uporządkowany. Ciała te topnieją w określonej temperaturze (np. lód w temperaturze 0°C). W ciałach bezpostaciowych cząsteczki ułożone są bezładnie.
4. Cząsteczki stale się poruszają, tym szybciej, im wyższa jest temperatura. Z ruchem cząsteczek i oddziaływaniami między nimi związana jest pewna energia – energia wewnętrzna ciała. Energia wewnętrzna ciała (wszystkich jego cząsteczek) zależy od temperatury, ale także od liczby cząsteczek (czyli od masy ciała).
5. Aby podgrzać ciało, musimy dostarczyć mu odpowiedniej energii. Energia potrzebna do ogrzania 1 kg substancji o 1°C nazywa się ciepłem właściwym tej substancji. Ciepło właściwe wody jest wyższe niż ciepło właściwe innych spotykanych na co dzień substancji.
6. Energia w postaci ciepła jest przekazywana między ciałami dzięki przewodnictwu cieplnemu, konwekcji lub promieniowaniu. Aby zmniejszyć straty energii związane z przewodnictwem cieplnym, stosujemy izolację cieplną (np. ciepłe ubrania, kołdry, grube ściany budynków).
7. Zarówno topnienie ciała stałego, jak i parowanie cieczy wymagają dostarczania energii.
- 8*. Ilość energii potrzebna do stopienia 1 kg danej substancji to jej ciepło topnienia, a ilość energii potrzebna do odparowania 1 kg danej cieczy to jej ciepło parowania. Ciepło parowania wody jest bardzo duże.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To musisz umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Wskaż zdanie prawdziwe.

- A. Cząsteczka wody z kranu różni się od cząsteczki wody destylowanej.
- B. Cząsteczka wody różni się od cząsteczki lodu.
- C. W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej.
- D. Cząsteczki pary wodnej mocno się przyciągają.

2. Która z wymienionych temperatur może być w domowej zamrażarce?

- A. -100°C B. -20°C C. 0°C D. 5°C

3. W wyższej temperaturze atomy żelaza

- A. poruszają się tak samo szybko jak w temperaturze niskiej.
- B. poruszają się szybciej niż w niskiej temperaturze.
- C. poruszają się wolniej niż w niskiej temperaturze.
- D. w ogóle się nie poruszają.

4. Cząsteczki ułożone są w sposób uporządkowany w

- A. lodzie, soli kuchennej, szkłe.
- B. lodzie, soli kuchennej, żelazie.
- C. złocie, żelazie, plastiku.
- D. każdym ciele stałym.

5. Wskaż zdanie prawdziwe.

- A. Żelazo zawsze jest ciałem stałym.
- B. Żelazo może być ciałem stałym albo cieczą, ale nie może być gazem.
- C. W bardzo wysokiej temperaturze żelazo jest gazem.
- D. Żelazo może być ciałem stałym albo gazem, ale nie może być cieczą.

6. Rozgrzany do czerwoności gwóźdź ma w stosunku do wiadra wrzątku

- A. wyższą temperaturę i większą energię wewnętrzną.
- B. niższą temperaturę i mniejszą energię wewnętrzną.
- C. wyższą temperaturę, ale mniejszą energię wewnętrzną.
- D. niższą temperaturę, ale większą energię wewnętrzną.

7. Woda wrze na kuchence gazowej. Jeśli zwiększymy płomień, to

- A. temperatura wody się podniesie.
- B. woda będzie szybciej zmieniać się w parę, ale jej temperatura się nie zmieni.
- C. wrzucony do wody ryż szybciej się ugotuje.
- D. woda przestanie wrzeć.



Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Kropla wody położona na stole zachowuje zaokrąglony kształt zamiast rozplnąć się po całej powierzchni stołu, ponieważ
- A. jest zbyt mała, aby działała na nią siła przyciągania ziemskiego.
 - B. cząsteczki powierzchni stołu odpychają cząsteczki wody.
 - C. jej cząsteczki przyciągają się nawzajem.
 - D. zawiera zbyt mało cząsteczek, aby mogły pokryć tak dużą powierzchnię, jaką ma stół.
2. Aby szybciej zagotować wodę, nakrywamy garnek metalową pokrywką, ponieważ
- A. metal słabo przewodzi ciepło.
 - B. metalowa pokrywka się nie rozgrzewa.
 - C. pokrywka nie pozwala wodzie szybko wyparować.
 - D. pokrywka ochroni nas przed poparzeniem, gdyby woda zaczęła kipieć.
3. Aluminium o temperaturze 20°C sprawia wrażenie zimniejszego w dotyku niż stal o tej samej temperaturze. W temperaturze 50°C
- A. jest tak samo.
 - B. jest na odwrót.
 - C. oba metale wydają się równie ciepłe.
 - D. aluminium topnieje.
4. Aby ogrzać 300 kg wody od 20°C do 40°C, należy dostarczyć jej energię
- A. 25,2 MJ.
 - B. 50,4 MJ.
 - C. 2,52 MJ.
 - D. 5,04 MJ.
5. Istnieje taka temperatura, w której cieczeniami są jednocześnie
- A. żelazo i rtęć.
 - B. żelazo i ołów.
 - C. rtęć i wolfram.
 - D. żelazo i wolfram.
- 6*. Dostarczając 1 MJ energii, można stopić około
- A. 0,34 kg lodu o temperaturze 0°C.
 - B. 2,9 kg lodu o temperaturze 0°C.
 - C. 3,4 kg lodu o temperaturze 0°C.
 - D. 20 kg lodu o temperaturze 0°C.
- 7*. Ciepło parowania wody to $2\,300\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Gdy do kilograma wody o temperaturze 100°C dostarczymy bez strat tylko 1 150 000 J, otrzymamy
- A. 1 kg wody, bo energii będzie zbyt mało, aby zmienić wodę w parę.
 - B. 1 kg substancji będącej czymś pośrednim między wodą a parą.
 - C. 0,5 kg wody i 0,5 kg pary.
 - D. 1 kg pary wodnej o temperaturze poniżej 100°C.
8. Pies nie ma gruczołów potowych. Gdy jest mu gorąco, wystawia język i ziewa. W ten sposób oddaje do otoczenia energię głównie dzięki
- A. odparowywaniu wody na języku.
 - B. przewodnictwu cieplnemu powietrza.
 - C. konwekcji.
 - D. promieniowaniu.



Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



To warto umieć

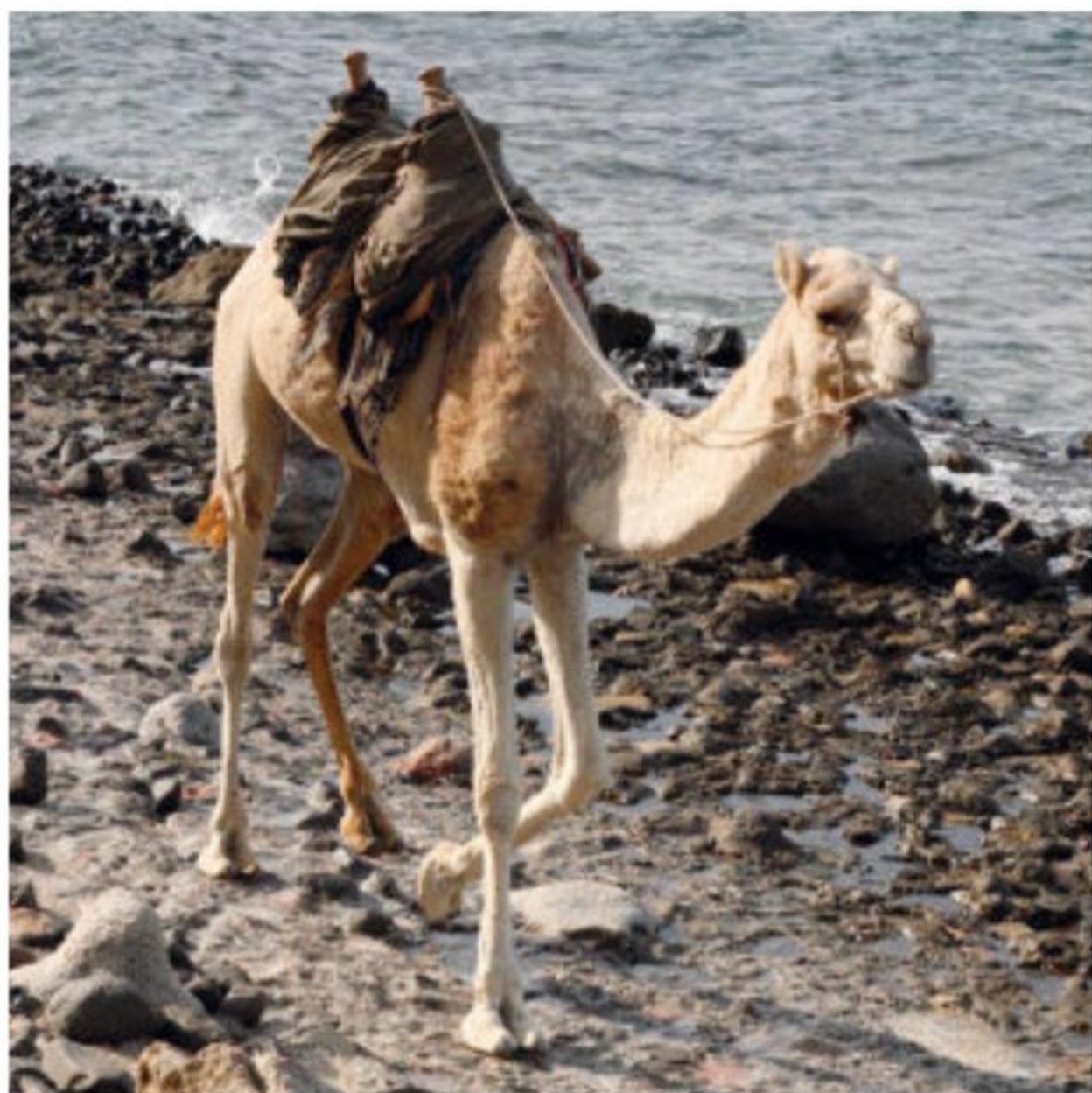
Uwaga. W zadaniach 1.–6. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1*. Długi pręt stalowy wisi poziomo, zawieszony na nitce w połowie długości. Czy pozostanie w równowadze, gdy podgrzejemy jeden jego koniec?

- A. Nie, zacznie się kołysać.
- B. Nie, przechyli się w stronę cieplejszego końca.
- C. Nie, przechyli się w stronę zimniejszego końca.
- D. Tak, pozostanie.

 **2.** Ostrzyżony wielbłąd po wyjściu na pustynię pije więcej wody niż nieostrzyżony przede wszystkim dlatego, że

- A. potrzebuje wody do budowy nowych włosów (ciało każdego zwierzęcia zbudowane jest głównie z wody).
- B. poci się ze wstydu przed innymi wielbłądami.
- C. futro nie izoluje go od upału, więc zwierzę musi pozbywać się ciepła, odparowując wodę.
- D. spodziewa się, że czeka go długa podróż, więc pije na zapas.



3. Basen ma wymiary 25 m x 10 m x 2 m. Gdyby woda nie była podgrzewana, stygłaby o 1°C w ciągu godziny. Jaką moc powinno mieć urządzenie podgrzewające wodę, aby utrzymać stałą temperaturę? Przyjmij, że 1 m³ wody ma masę 1000 kg.

- A. 2,1 MW
- B. 583 kW
- C. 583 W
- D. 2,1 kW

4. Gdy do 1 kg lodu o temperaturze 0°C dodamy 0,5 kg wrzątku, to po wymieszaniu otrzymamy

- A. 1,5 kg chłodnej wody.
- B. 1,5 kg ciepłej wody.
- C. wodę o temperaturze 0°C z lodem o tej samej temperaturze.
- D. 1,5 kg lodu.

5. Ile miedzi można ogrzać o 1°C kosztem energii 1 kJ?

- | | |
|----------|----------|
| A. 2,6 g | C. 380 g |
| B. 3,8 g | D. 260 g |

6. Gdy czajnik zdejmemy z gazu, woda przez chwilę jeszcze wrze, mimo że energia już do czajnika nie dopływa. Oznacza to, że

- A. woda może wrzeć nawet wtedy, gdy nie dopływa do niej energia.
- B. woda ma początkowo ponad 100°C i wrze tak długo, aż ostygnie do 100°C.
- C. pęcherzyki pary poruszają się ze względu na swoją bezwładność.
- D. czajnik ma początkowo temperaturę ponad 100°C i może oddawać energię wodzie, podtrzymując wrzenie.



Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Świetnie, jeśli to umiesz

1. Wojtek powiedział:

Kilogram węgla wniesiony na piętro ma energię potencjalną większą niż kilogram węgla na parterze. Gdy jeden i drugi kilogram spalimy, ta różnica energii nie może zniknąć, bo to byłoby sprzeczne z zasadą zachowania energii. Wobec tego węgiel spalany na piętrze daje więcej energii cieplnej niż spalany na parterze. Ponieważ jednak energia wyzwalamy przy spalaniu kilograma węgla jest milion razy większa niż energia potencjalna na wysokości kilku metrów, tej różnicy nie można zauważyć bez nadzwyczajnie czułych przyrządów.

Wyjaśnij, dlaczego Wojtek nie miał racji. O czym zapomniał?

2. Do kubka stojącego na mokrym stole nalano gorącej wody. Po chwili spod kubka zaczęły się wydostawać bąbelki. Ustal, czy rzeczywiście woda pod kubkiem zawrzała.

3. Ołowiany pocisk uderzył w przeszkodę z prędkością $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jego energia kinetyczna zmieniła się w połowie w energię wewnętrzną pocisku, a w połowie – w energię wewnętrzną przeszkody. Oblicz, o ile stopni ogrzał się pocisk.



Praca badawcza

Budowa termometru



1. Weź małą szklaną (koniecznie!) butelkę z zakrętką (zakrętka może pochodzić z butelki plastikowej, ale powinna pasować). W zakrętce wywierć otwór na końcówkę słomki do napojów.

2. Włóż do niej przezroczystą słomkę. Uszczelnij połączenia słomki z zakrętką i zakrętki z butelką, zalewając je stearyną z płonącej świeczki.

3. Weź dużą butelkę i włóż do niej małą szklaną butelkę do góry dnem (patrz zdjęcie).

4. Zobacz, do jakiego poziomu sięga słomka w dużej butelce. Nalej zabarwionej wody (np. soku porzeczkowego) powyżej tego poziomu.

5. Podgrzej lekko małą butelkę (np. w dłoniach lub w ciepłej wodzie) i wstaw ją do dużej butelki. Żeby się utrzymała w pionie, możesz ją okleić szeroką taśmą klejącą. Pamiętaj, że połączenie nie powinno być szczelne.

6. W miarę stygnięcia powietrza w butelce zabarwiona woda w rurce będzie się podnosiła. Dlaczego?

Uwaga! Jeśli poziom wody podnosi się zbyt szybko, wyciągnij małą butelkę oraz rurkę z naczynia i poczekaj, aż wystygnie.

7. Zbadaj, jak zmienia się poziom wody w rurce w zależności od temperatury (wystaw przyrząd za okno, ogrzej rękoma itp.).

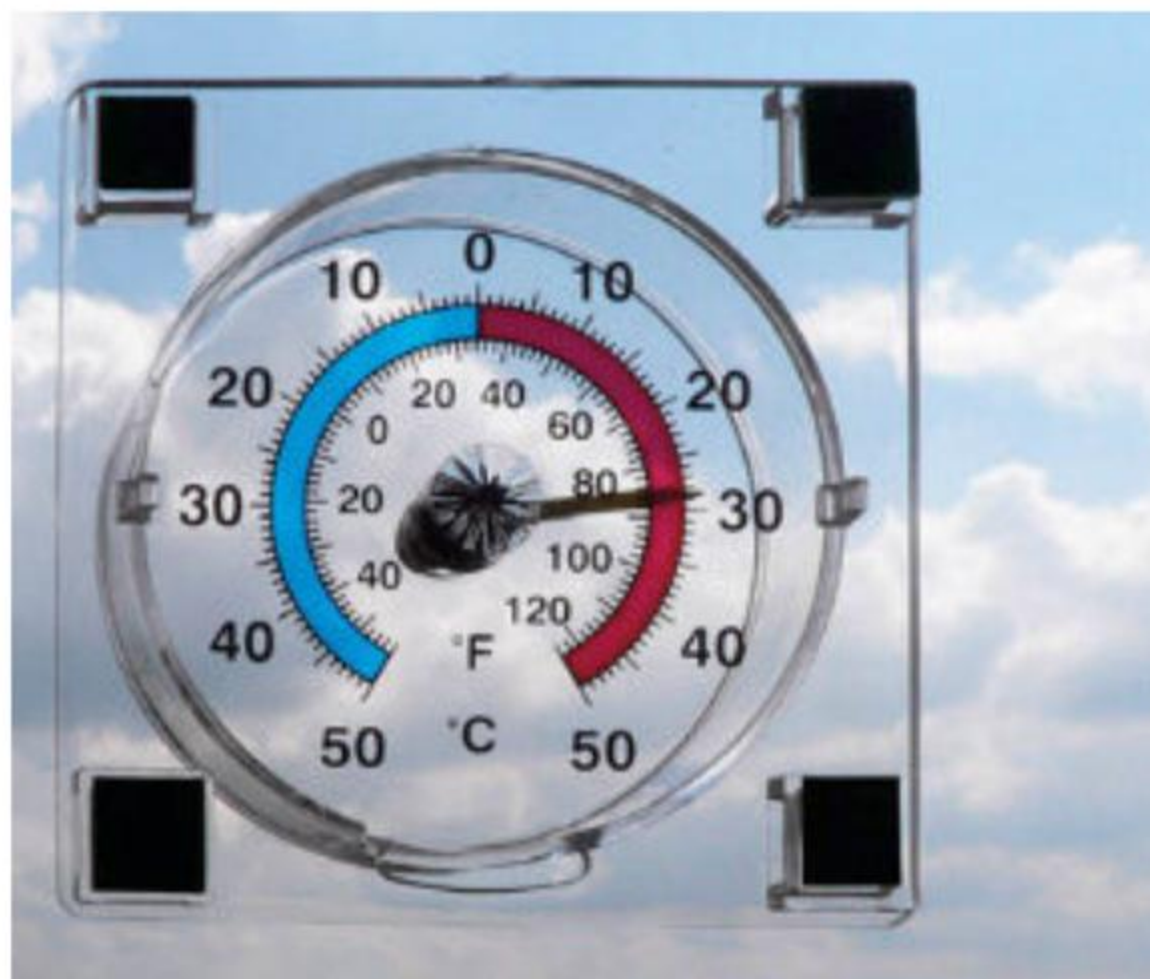
8. Twój przyrząd to termoskop; aby stał się prawdziwym termometrem, należy go zaopatrzyć w skalę. Jak go wyskalować?

9. Choć używaną w Polsce skalę temperatury nazywamy skalą Celsjusza, sam Celsjusz za 0° przyjął temperaturę wrzenia wody, a za 100° – temperaturę jej zamarzania. Spróbuj wyjaśnić, dlaczego tak postąpił.



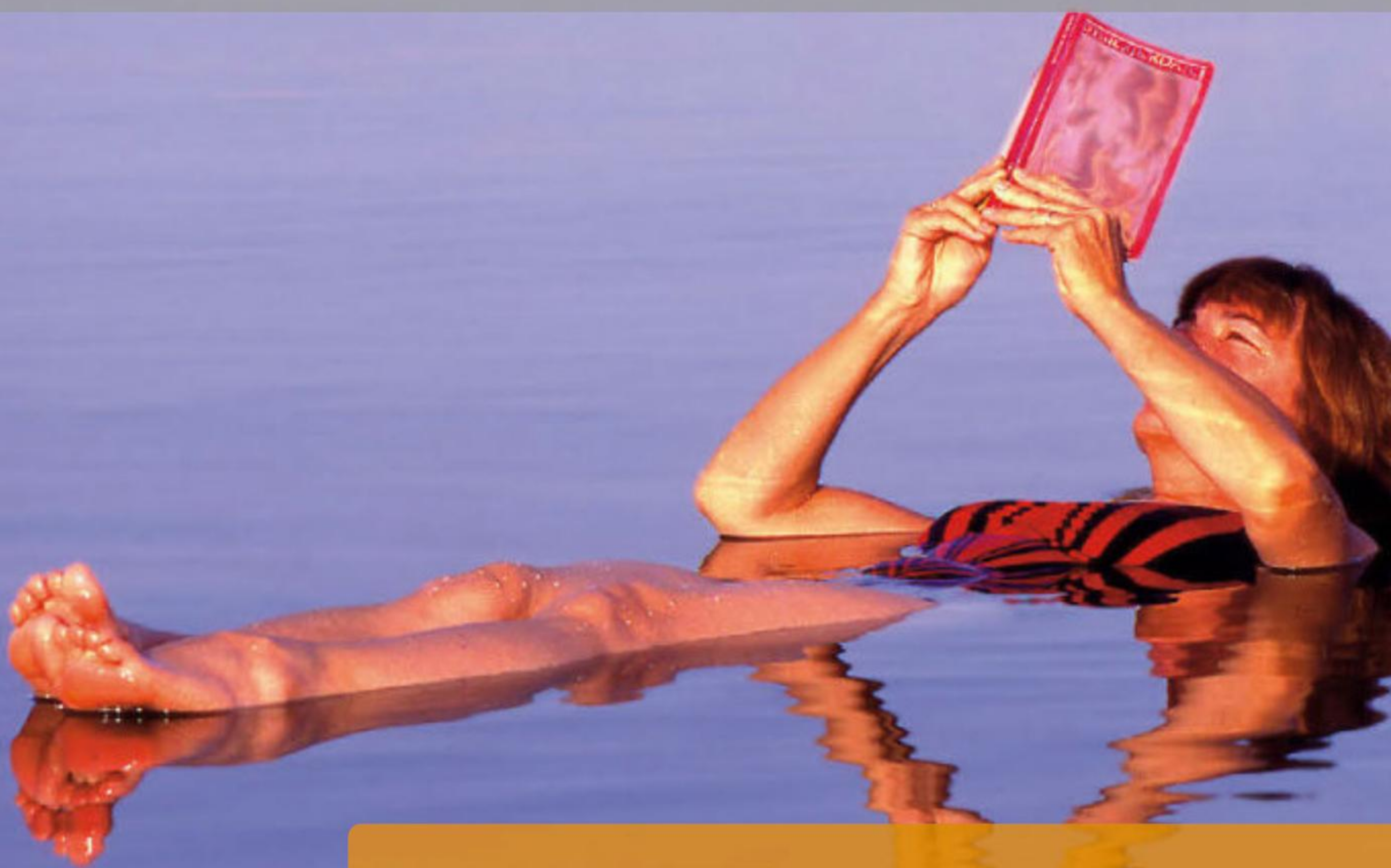
Z historii

Zbudowany przez Ciebie termometr jest bardzo podobny do wynalazku włoskiego uczonego Santoria Santorio żyjącego w XVII w. Od jego czasów termometr wielokrotnie udoskonalano. Przyczynił się do tego m.in. Daniel Gabriel Fahrenheit [czyt. daniel gabriel farenhajt], uczonek pochodzący z Polski. Na budynku, w którym mieszkał, przy ul. Ogarnej w Gdańsku, znajduje się tablica pamiątkowa w kształcie termometru. Jednak swoje badania Fahrenheit prowadził już po wyjeździe do Niderlandów (dzisiejszej Holandii). Ciekawe, że wymyślona przez niego skala temperatur stosowana jest do dziś w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych, ale nie w Polsce ani w Holandii.



Na wodzie Morza Martwego można się położyć i czytać książkę. Dlaczego w tym morzu (a właściwie jeziorze) człowiek nie tonie?

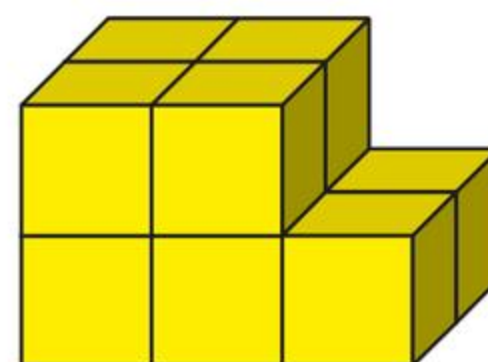
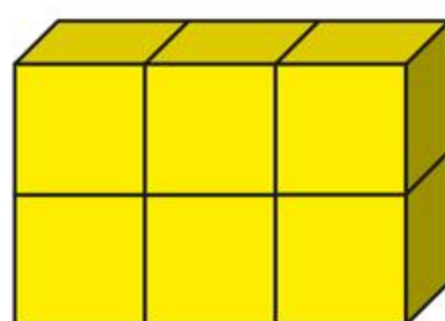
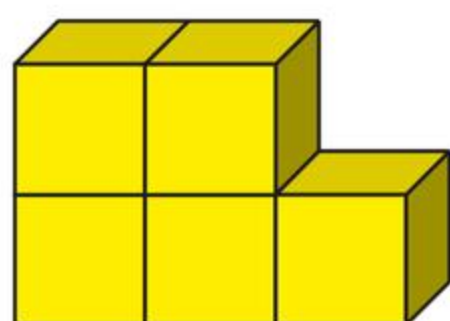
Ciśnienie i siła wyporu



Z tego rozdziału dowiesz się, dlaczego ciała pływają, i nauczysz się stosować pojęcie ciśnienia do wyjaśniania zjawisk.

35 Wyznaczanie objętości

Ćwiczenie A. Oblicz objętość narysowanych brył (w centymetrach sześciennych). Każda kostka ma wymiary 1 cm x 1 cm x 1 cm.



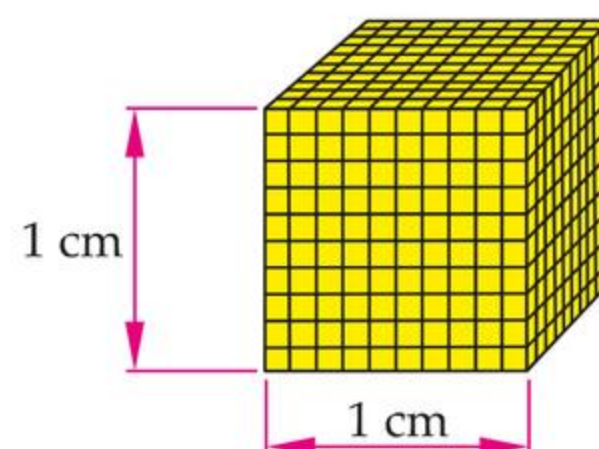
Objętość informuje o tym, ile miejsca w przestrzeni zajmuje ciało. Jednostkami objętości są: metr sześcienny (m^3), centymetr sześcienny (cm^3) itd.

Ćwiczenie B.

Rysunek przedstawia sześcian o boku 1 cm podzielony na sześciany o boku 1 mm.

Zapisz w zeszycie:

- a) ile mm ma 1 cm,
- b) ile mm^3 ma 1 cm^3 .



Aby przeliczać jednostki objętości, najłatwiej zawsze wyobrażać sobie sześcian podobny do tego z ostatniego ćwiczenia. Jeśli na przykład chcesz się dowiedzieć, ile centymetrów sześciennych ma metr sześcienny, wyobraź sobie sześcian o boku 1 m podzielony na $100 \times 100 \times 100$ sześcianników o boku 1 cm. Jest ich 1 000 000, więc $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$.

Ćwiczenie C. Oblicz, ile centymetrów sześciennych ma litr.

Decymetr sześcienny nazywamy także litrem, zwłaszcza gdy mówimy o objętości cieczy albo pojemności naczyń.

Przykład. Wanna ma pojemność $0,7 \text{ m}^3$. Ile to litrów?

Litr to inaczej decymetr sześcienny.

Sześcian o boku 1 m ma objętość 1 m^3 .

Ten sześcian ma wymiary $10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm} \times 10 \text{ dm}$.

$$1 \text{ m}^3 = 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} = 1000 \text{ dm}^3$$

Zatem $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$.

Wobec tego $0,7 \text{ m}^3 = 0,7 \cdot 1000 \text{ dm}^3 = 700 \text{ dm}^3 = 700 \text{ l}$.

Odpowiedź: Pojemność wanny to 700 litrów.

■ Menzurki

Na lekcjach matematyki uczysz się obliczać objętość różnych brył. Ale jak zmierzyć objętość cieczy, która przecież nie ma swojego kształtu?

Doświadczenie

Ze strzykawki o pojemności 20 cm^3 wyjmij tłoczek i zatkać jej dzióbek plasteliną. Ustaw ją pionowo, posługując się plasteliną. Nalej do strzykawki trochę wody i odczytaj objętość.



Zbudowany w doświadczeniu przyrząd to **menzurka**. Jego inna nazwa to cylinder miarowy. W szkolnej pracowni znajdziesz z pewnością wiele takich przyrządów różnej wielkości. Do pomiaru objętości niewielkiej ilości cieczy lepiej używać menzurek węższych, gdyż pozwalają one na dokładniejszy pomiar. Sprytnie użyta menzurka może także posłużyć do mierzenia objętości ciał stałych (patrz doświadczenie na następnej stronie).

Porównanie objętości

Litrowy kartonik mleka

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litr}$$



Główka szpilki



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \mu\text{l (mikrolitr)} = 0,000001 \text{ litra}$$

Kostka cukru



$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml (mililitr)} = 0,001 \text{ litra}$$

Duża beczka



$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litrów}$$



Gaz zawsze wypełnia cały pojemnik, w którym się znajduje. Dlatego rysunek z lewej strony został przekreślony.

Doświadczenie

Weź menzurkę wykonaną w poprzednim doświadczeniu. Nalej do niej 5 cm^3 wody i włóż śrubę albo inny mały i ciężki przedmiot. Jaki jest teraz poziom wody? Jaka jest objętość wody wraz ze śrubą? Jaka jest objętość śruby?

Objętość gazu

Umiesz już wyznaczać objętość ciał stałych i cieczy. A co z gazami? Gazy mogą łatwo zmieniać swoją objętość. W litrowej butelce znajduje się litr powietrza, ale gdyby tym samym powietrzem wypełnić butelkę dwulitrową, powietrze wypełniłoby całe dwa litry, tylko byłoby rozrzedzone.

Podsumowanie

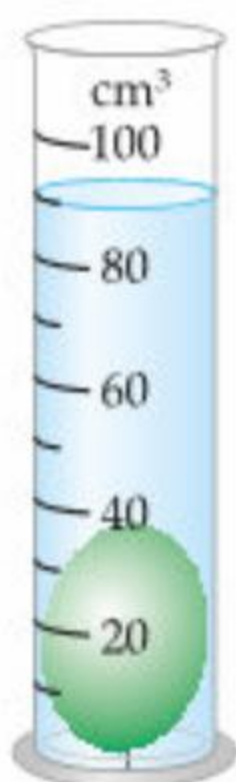
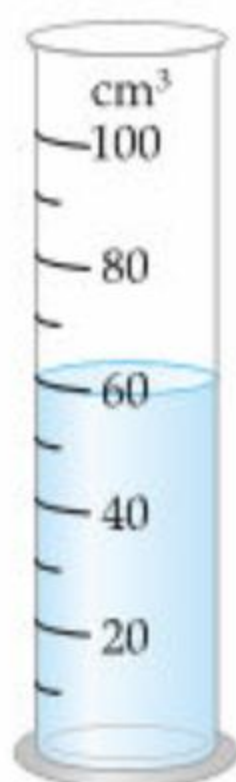
- Objętość informuje, ile miejsca w przestrzeni zajmuje dane ciało. Mierzymy ją w centymetrach sześciennych, metrach sześciennych itp. Trzeba uważać przy zamianie jednostek: $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$, ale $1 \text{ m}^3 = 100^3 \text{ cm}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$. Decymetr sześcienny nazywamy także litrem.
- Objętość cieczy można mierzyć za pomocą menzurki. Menzurki różnią się pojemnością i dokładnością.
- Zanurzając ciało stałe w cieczy nalanej do menzurki, można wyznaczyć jego objętość (obserwujemy, o ile podniósł się poziom cieczy).
- Gaz nie ma ustalonej objętości. Zawsze wypełnia całe naczynie.

Pytania i zadania

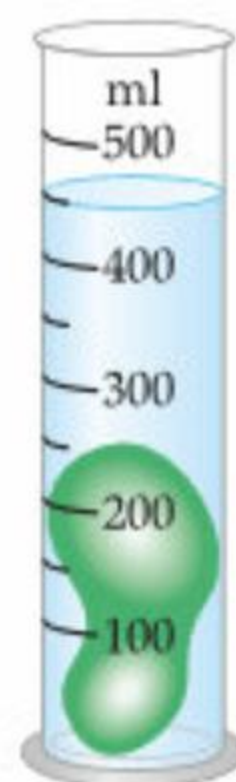
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Rysunek przedstawia menzurkę przed zanurzeniem ciała i po zanurzeniu. Oblicz objętość ciała.



2. Rysunek przedstawia menzurkę z wodą, do której wrzucono ciało o objętości 200 cm^3 . Oblicz objętość wody w menzurce.



3. W tabeli podano orientacyjne pojemności niektórych sztuców i naczyń.

Łyżeczka do kawy	3 ml
Łyżeczka do herbaty	5 ml
Łyżka	10 ml
Szklanka	0,25 l
Miska do zupy	0,5 l
Duży garnek	4 l

Odpowiedz na pytania.

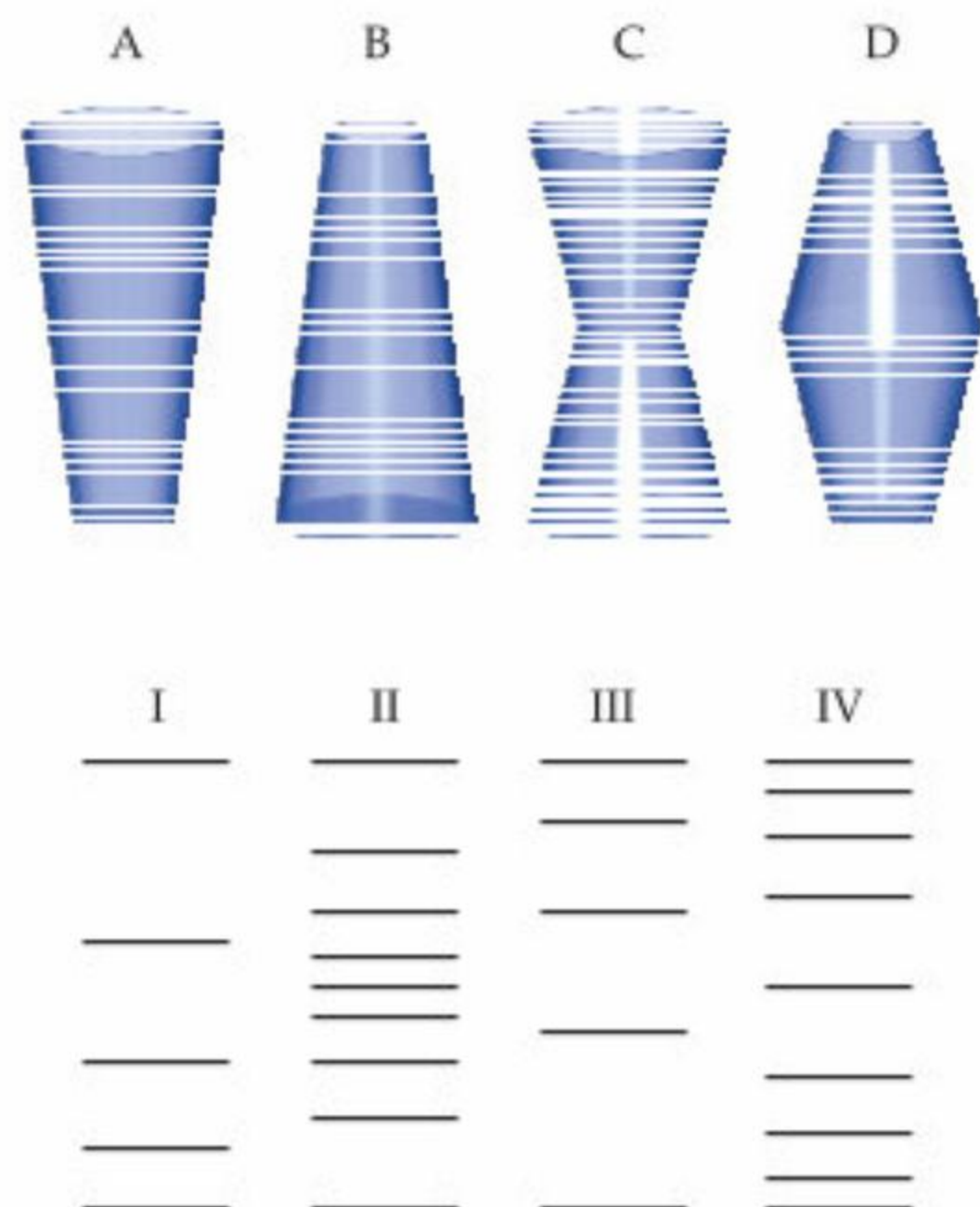
- Ile centymetrów sześciennych wody mieści się na łyżeczce do kawy?
- Ile łyżeczek herbaty mieści się w szklance?
- Szklanka wody – jaka to część litra?
- Ile łyżek zupy mieści się w misce?
- Ile misek zupy mieści się w garnku?

4. Zapisz w zeszycie:

- ile litrów to: 200 cm^3 , 7500 cm^3 , 80 cm^3 , $2,5 \text{ m}^3$, $0,08 \text{ m}^3$;
- ile metrów sześciennych to: 80 l , 2700 l , 720 dm^3 , 25000 cm^3 , 800000 cm^3 ;
- ile centymetrów sześciennych to: 250 mm^3 , 28 ml , 76 dm^3 , 8 l , $0,9 \text{ m}^3$.

5. Przy mierzeniu objętości możesz korzystać albo z miarek używanych w gospodarstwie domowym (np. do odmierzania mąki), albo ze strzykawek lub miarek, które producenci dołączają do lekarstw. Jak sądzisz, które przyrządy są dokładniejsze? Dlaczego?

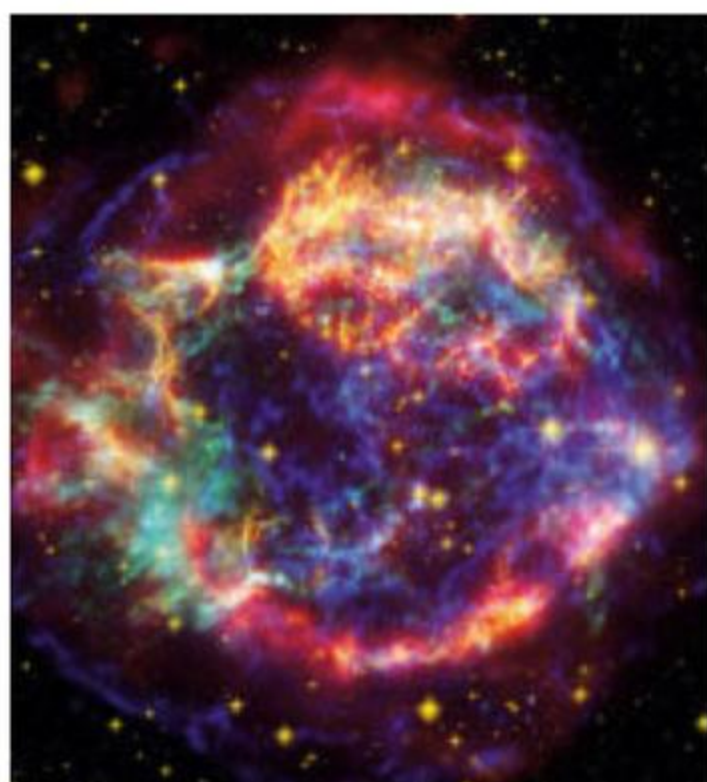
 6. Na rysunkach przedstawiono kilka naczyń szklanych o różnym kształcie. Dopasuj do nich skale I–IV, tak aby naczynia mogły służyć jako menzurki. Odpowiedzi zapisz w zeszycie.



36 Gęstość

Ciekawostka

Pod względem gęstości nawet najcięższe ziemskie substancje nie mogą się równać z niektórymi gwiazdami, zwanymi gwiazdami neutronowymi. Jeden centymetr sześcienny materii, z której zbudowana jest taka gwiazda, ma masę kilku miliardów ton. Taką gęstość ma np. obiekt pozostały po wybuchu supernowej Kasjopeja A widoczny w gwiazdozborze Kasjopei (patrz zdjęcie).



Wewnątrz obłoku odrzuconego gazu kryje się gwiazda neutronowa otulona cieniutką, zaledwie dziesięciocentymetrową węglową atmosferą.

■ Co to jest gęstość

Ćwiczenie A. Jak sądzisz, jaką masę ma powietrze w sali lekcyjnej? Zapisz swoje przypuszczenia w zeszycie. Po lekcji obliczysz, na ile dokładne były twoje przewidywania.

Potoczne stwierdzenie „ołów jest cięższy od żelaza” oznacza, że gdy weźmiemy tę samą objętość każdego z tych metali, ołów będzie cięższy. Na przykład 1 cm^3 ołowiu ma masę 11 g, a 1 cm^3 żelaza tylko 7,9 g. Mówimy, że **gęstość** ołowiu wynosi $11 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, a gęstość żelaza $7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Gęstość substancji informuje, jaka jest masa jednostki objętości tej substancji.

■ Obliczanie gęstości

Jeśli ciało ma objętość 6 cm^3 i masę 12 g, to na każdy centymetr sześcienny przypada masa 2 g (bo $12 : 6 = 2$). Z tego wynika, że gęstość można obliczać, dzieląc masę przez objętość ciała:

$$\text{gęstość} = \frac{\text{masa}}{\text{objętość}} \quad d = \frac{m}{V}$$

Uwaga. Gęstość oznacza się także symbolem ρ (mała grecka litera „ro”).

Skoro na każdy centymetr sześcienny opisanego wyżej ciała przypada masa 2 g, można powiedzieć, że jego gęstość wynosi 2 gramy na centymetr sześcienny ($2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

Gdybyśmy mierzyli masę lub objętość w innych jednostkach, otrzymalibyśmy inną jednostkę gęstości, ale zawsze miałaby ona postać: „jednostka masy na jednostkę objętości”. W układzie SI jednostką gęstości jest kilogram na metr sześcienny: $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Przykład 1. Gęstość złota wynosi $19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Jaką masę ma 5 cm^3 złota?

Sposób I

Skoro 1 cm^3 złota ma masę 19 g ,
to 5 cm^3 ma masę 5 razy większą: $5 \cdot 19 \text{ g} = 95 \text{ g}$.

Sposób II

Przekształcamy wzór $d = \frac{m}{V}$, wyznaczając z niego m :

$$m = d \cdot V$$

$$m = 19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 5 \text{ cm}^3 = 95 \text{ g}$$

Odpowiedź: 5 cm^3 złota ma masę 95 g .

Przykład 2. Ołów ma gęstość $11 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Jaką objętość ma ołowiana kula o masie 99 g ?

Sposób I

Kulę o masie 99 g można podzielić w myślach na części po 11 g , będzie ich $99 : 11 = 9$, każda o objętości 1 cm^3 .

Sposób II

Przekształcamy wzór $d = \frac{m}{V}$, wyznaczając z niego V :

$$V = \frac{m}{d} = \frac{99 \text{ g}}{11 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 9 \text{ cm}^3$$

Odpowiedź: Ołowiana kula o masie 99 g ma objętość równą 9 cm^3 .

■ Zamiana jednostek

Jeśli gęstość podana jest w innej jednostce niż ta, której potrzebujesz, możesz zamienić jednostkę.

Przykład 3. Gęstość kwasu siarkowego wynosi $1,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Ile to kilogramów na litr?

$$1 \text{ litr} = 1 \text{ dm}^3 = (10 \cdot 10 \cdot 10) \text{ cm}^3 = 1000 \text{ cm}^3,$$

1 litr kwasu ma więc masę 1000 razy większą niż 1 cm^3 , czyli 1900 g .

$$\text{Dlatego } 1,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1900 \frac{\text{g}}{1} = 1,9 \frac{\text{kg}}{1}.$$

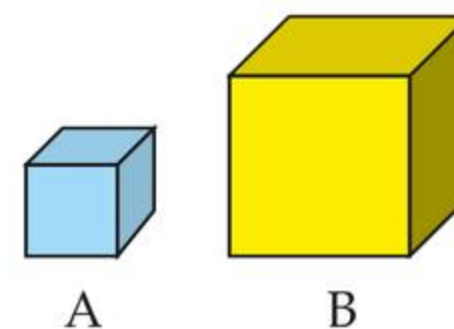
Odpowiedź: $1,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ to $1,9 \frac{\text{kg}}{1}$.

■ Przykłady gęstości

Woda ma gęstość $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, czyli $1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$. Większość cieczy, z którymi mamy do czynienia na co dzień, ma podobną gęstość. Benzyna,

Ćwiczenie B.

Przedstawione ciała mają taką samą masę. Które z nich ma większą gęstość?



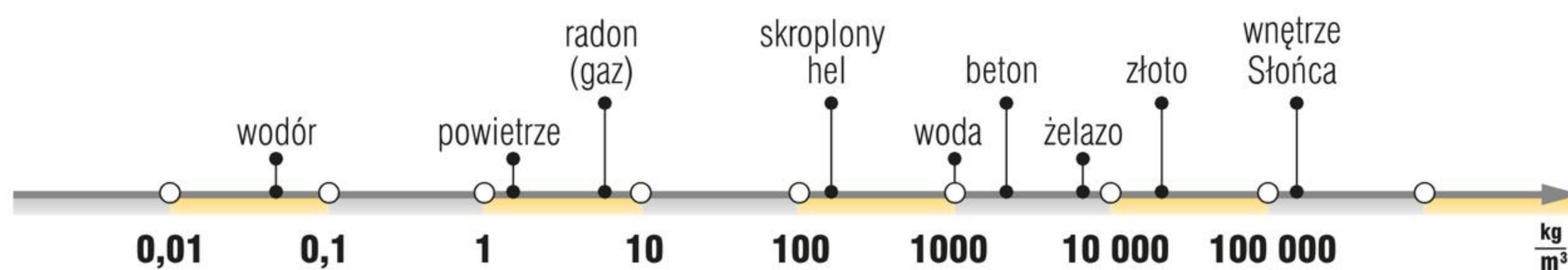
alkohol etylowy czy olej jadalny są nieco lżejsze, natomiast mleko jest trochę cięższe.

Metale mają gęstość od kilku do kilkunastu gramów na centymetr sześcienny. Natomiast większość gatunków drewna jest nieco lżejsza od wody.

Gazy mają gęstość setki lub nawet tysiące razy mniejszą niż ciecze i ciała stałe. Wynika to z ich budowy cząsteczkowej: w ciałach stałych i ciekach cząsteczki znajdują się blisko siebie, natomiast w gazach odległości między cząsteczkami są duże, przez co w jednostce objętości mieści się niewiele cząsteczek.

Na osi podaliśmy gęstości przykładowych substancji. Dokładniejsze dane znajdziesz w tablicach na końcu podręcznika.

Uwaga. Gęstość gazów określamy dla gazów ściśniętych tak jak powietrze, które nas otacza.



Podsumowanie

- Gęstość informuje, jaka jest masa jednostki objętości. Jej jednostką jest $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ itd.
- Gęstość można obliczyć ze wzoru: $d = \frac{m}{V}$.
- Gęstość gazów jest znacznie mniejsza niż cieczy i ciał stałych, ponieważ w gazach odległości między cząsteczkami są bardzo duże.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Uwaga. Przy rozwiązywaniu zadań możesz skorzystać z tablic zamieszczonych na końcu podręcznika.

1. Szklanka wody została napełniona po brzegi wodą. Kiedy wyleje się z niej więcej wody: wtedy gdy wrzucimy 20-gramową bryłkę żelaza czy wtedy, gdy wrzucimy 20-gramową bryłkę złota?

2. Oblicz:

- a) gęstość substancji, jeśli wykonane z niej ciało o masie 36 g ma objętość 12 cm^3 ;
 b) gęstość cieczy, jeśli 5 l tej cieczy ma masę 4,5 kg. Odpowiedź podaj w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

3. Oblicz masę stalowego klocka o wymiarach $5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$.

4. Złota obrączka ma masę 2,5 g. Jaka jest jej objętość?

5. Oblicz masę powietrza w sali lekcyjnej. Porównaj wynik ze swoimi przewidywaniami.

6. Piłka futbolowa ma średnicę 22 cm, objętość 5600 cm^3 i masę 430 g. Oblicz masę, jaką miałyby, gdyby była wypełniona:

- a) wodą, b) żelazem, c) złotem.

37 Wyznaczanie gęstości

Wiesz już, co to jest gęstość. Teraz powiemy, jak ją mierzyć.

Przykład 1. Robert wyznaczał gęstość oleju.

Najpierw zważył pustą menzurkę. Okazało się, że jej masa wynosi 123 g. Następnie nalał do menzurki 50 cm^3 oleju. Masa menzurki z olejem wyniosła 168 g. Mając obie masy, obliczył masę oleju:

$$168 \text{ g} - 123 \text{ g} = 45 \text{ g}$$

Stąd wyznaczył gęstość oleju:

$$d = \frac{45 \text{ g}}{50 \text{ cm}^3} = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Przykład 2. Andrzej wyznaczał gęstość metalu, z którego wykonano monetę 1-groszową. Wykonał następujące czynności i zapisał wyniki pomiarów i obliczeń.

1. Najpierw oszacował szukaną wielkość. Z tablic na końcu podręcznika dowiedział się, że większość spotykanych na co dzień metali ma gęstość od kilku do kilkunastu gramów na centymetr sześcienny. Interesujący go metal powinien więc mieć gęstość mieszczącą się w tych granicach.

2. Z tablic na końcu podręcznika odczytał, że masa monety 1-groszowej wynosi $m = 1,64 \text{ g}$.

3. Do pomiaru objętości monety użył menzurki wykonanej ze strzykawki. Nalał do niej 10 cm^3 wody i wrzucił 30 monet 1-groszowych. Woda podniosła się do poziomu oznaczonego 17 cm^3 .

4. Wyciągnął wniosek, że objętość 30 monet wynosi 7 cm^3 .

Objętość jednej monety wynosi zatem:

$$V = 7 \text{ cm}^3 : 30 = 0,23 \text{ cm}^3$$

5. Na podstawie tych informacji obliczył gęstość metalu. Wynik podał z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



$$d = \frac{m}{V} = \frac{1,64 \text{ g}}{0,23 \text{ cm}^3} = 7,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

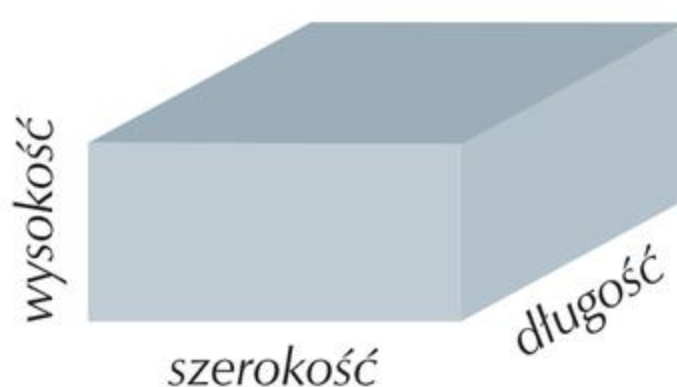
Wyznaczona przez niego gęstość mieściła się w oszacowanym na początku przedziale wartości.

Ćwiczenie A. Wyjaśnij, dlaczego Andrzej użył trzydziestu monet, a nie tylko jednej.

■ Wyznaczanie gęstości za pomocą wagi i linijki

Objętość niektórych ciał można obliczać ze wzorów znanych z geometrii. Tak obliczoną objętość można wykorzystać do wyznaczania gęstości substancji.

Przykład 3. Monika wyznaczała gęstość metalu, z którego wykonano prostopadłościenną sztabkę. Wykonała następujące czynności i zapisała wyniki pomiarów i obliczeń.



1. Rozważyła najpierw, jakiego wyniku może się spodziewać. Stwierdziła, że prostopadłościan wykonano z metalu cięższego od aluminium, ale lżejszego od ołowiu. Po sprawdzeniu w tablicach gęstości tych dwóch substancji wiedziała już, że powinna otrzymać wynik pomiędzy $2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ a $11 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

2. Zmierzyła linijką krawędzie sztabki. Każdy pomiar wykonała 3 razy i obliczyła ich średnią. Wyniki pomiarów i obliczeń zebrała w tabeli.

Wymiary sztabki	Pomiar 1.	Pomiar 2.	Pomiar 3.	Średni wynik pomiarów
Długość	3,7 cm	3,6 cm	3,7 cm	3,7 cm
Szerokość	2,5 cm	2,5 cm	2,3 cm	2,4 cm
Wysokość	1,2 cm	1,3 cm	1,1 cm	1,2 cm

3. Obliczyła objętość prostopadłościanu:

$$V = a \cdot b \cdot c = 3,7 \text{ cm} \cdot 2,4 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 10,7 \text{ cm}^3$$

4. Zważyła prostopadłościan na wadze laboratoryjnej i otrzymała wynik: $m = 95,6 \text{ g}$.

5. Obliczyła gęstość substancji i podała wynik z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{95,6 \text{ g}}{10,7 \text{ cm}^3} \approx 8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wyznaczona przez nią gęstość zgadzała się z jej wcześniejszym oszacowaniem.

Ćwiczenie B. Oblicz gęstość drewna, z którego wykonano sześcienny klocek o krawędzi 2 cm i masie 6 g.

Przykład 4. Kamil wyznaczał średnią gęstość piłeczki, posługując się wagą oraz linijką do mierzenia długości. Wykonywał następujące czynności, pomiary i obliczenia.

1. Najpierw oszacował, że gęstość piłeczki powinna być mniejsza od gęstości wody ($1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).
2. Ustawił dwa pudełka po zapalniczkach równolegle, brzegami do siebie, tak aby piłeczka znajdowała się między nimi (patrz zdjęcie). Zmierzył odległość między pudełkami z obu stron. Otrzymał wyniki 5,4 cm oraz 5,6 cm, z których obliczył, że średni wynik pomiaru to 5,5 cm.
3. Znając średnicę piłeczki (wyznaczoną we wcześniejszym pomiarze) obliczył jej promień

$$r = 5,5 \text{ cm} : 2 = 2,75 \text{ cm}$$

4. Sprawdził w tablicach, że wzór na objętość kuli o promieniu r ma postać $V = \frac{4}{3} \pi r^3$.

Korzystając ze wzoru z tablic, obliczył objętość piłeczki

$$V \approx \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (2,75 \text{ cm})^3 \approx 87 \text{ cm}^3$$

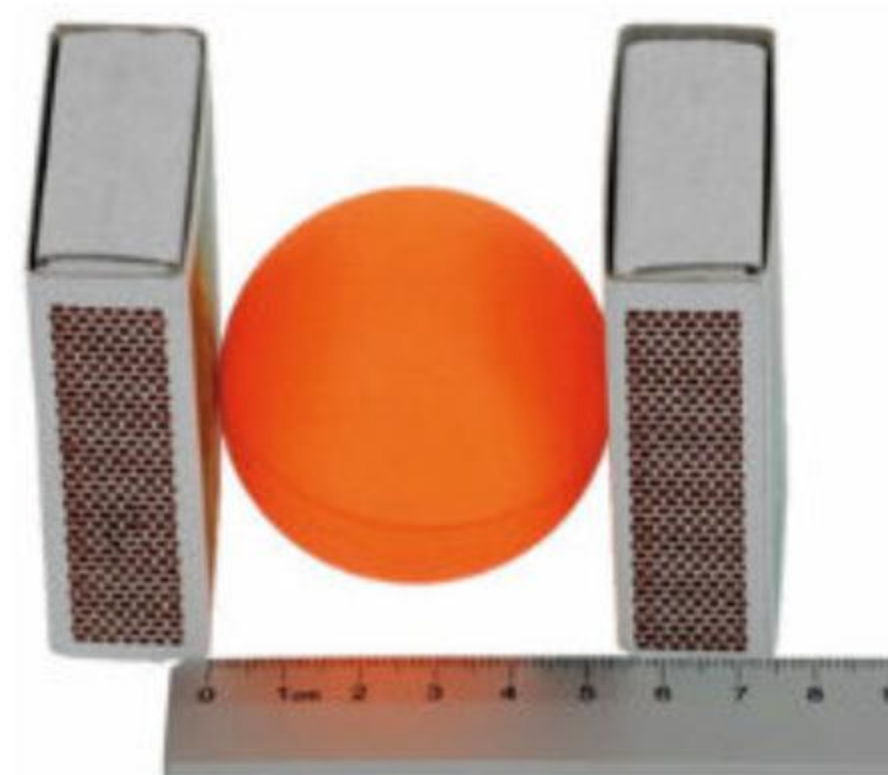
5. Zauważył, że zważenie piłeczki na wadze z linijki (waga patrz s. 140) jest kłopotliwe. Przylepił więc jednakowe ilości plasteliny w jednakowych odległościach od osi obrotu wagi (czyli od zapalniczki). Ponieważ po przyklejeniu plasteliny waga była w równowadze, wiedział, że ilości plasteliny są rzeczywiście jednakowe.
6. Przyczepił piłeczkę do jednej z porcji plasteliny i zważył piłeczkę, ustawiając monetę w odpowiedniej odległości.

Otrzymał wynik: $m = 48 \text{ g}$.

7. Obliczył gęstość substancji i podał wynik z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{48 \text{ g}}{87 \text{ cm}^3} \approx 0,55 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Wyznaczona przez niego gęstość zgadzała się z wcześniejszym oszacowaniem.



Podsumowanie

- Aby wyznaczyć gęstość substancji, z której zbudowane jest ciało, musimy zmierzyć jego masę i objętość.
- Masę mierzymy za pomocą wagi.
- Objętość możemy zmierzyć za pomocą menzurki.
- Wymiary ciał o kształcie prostych brył geometrycznych (prostopadłościan, kula, walec, stożek) można zmierzyć za pomocą linijki, a następnie obliczyć objętość z odpowiedniego wzoru.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Opisz, jak zmierzyć objętość kostki do gry. Podaj dwa sposoby, oceń, który z nich jest dokładniejszy, i wyjaśnij, dlaczego tak uważasz.

2. Wojtek wyznaczał gęstość prostopadłościennego klocka drewna. Zważył go trzykrotnie i jako średnią wyników pomiaru otrzymał masę $m = 82$ g. Następnie zmierzył linijką wymiary klocka. Otrzymał wyniki podane w tabeli. Oblicz gęstość klocka.

	Wymiary klocka, mm		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Pomiar 1.	34	52	72
Pomiar 2.	34	52	71
Pomiar 3.	35	54	72
Pomiar 4.	35	53	71

3. Czworo uczniów wyznaczało gęstość metalowych przedmiotów. Uzyskane przez nich wyniki podajemy poniżej. Kto na pewno się pomylił?

Adam: $d = 8,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Agata: $d = 11\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Antoni: $d = 0,18 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Aneta: $d = 250\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

4. Pręt metalowy ma przekrój w kształcie koła. Jego średnica wynosi 12 mm, a długość – 20 cm. Oblicz objętość tego pręta.

5. Średnicę walca lub kuli można mierzyć linijką, ale najlepiej posłużyć się przyrządem przedstawionym na zdjęciu. Przypomnij, jak się on nazywa i z jaką dokładnością można mierzyć za jego pomocą.



 6. Objętość monety 1-groszowej można obliczyć ze wzoru na objętość walca, na podstawie jej średnicy i grubości (czyli wysokości walca). Oceń, czy ta metoda jest dokładniejsza czy też mniej dokładna niż sposób opisany w przykładzie 2. Odpowiedź uzasadnij.

Doświadczenie

Wybierając odpowiednie przyrządy spośród: wagi, linijki i cylindra miarowego, wyznacz gęstość substancji, z jakiej wykonany jest:

- a) przedmiot w kształcie prostopadłościanu,
- b) przedmiot w kształcie kuli,
- c) przedmiot w kształcie walca,
- d) spinacz.

Opisz przyrządy użyte w doświadczeniu oraz jego przebieg. Zanotuj wyniki pomiarów, wykonaj w zeszycie potrzebne obliczenia – podobnie jak w przykładach.

38 Ciśnienie

■ Co to jest ciśnienie

W wielu sytuacjach interesuje nas siła nacisku ciała na powierzchnię, na której to ciało się znajduje. Siła ta jest zawsze prostopadła do powierzchni. Często interesuje nas także powierzchnia, na którą rozkłada się ten nacisk. Na przykład człowiek stojący na śniegu w butach zapada się, a gdy przypnie narty – może stać swobodnie. W obu przypadkach człowiek naciska na śnieg taką samą siłą (gdy narty ustawione są poziomo, siła ta jest równa ciężarowi narciarza). Jednak w przypadku narciarza ta siła rozkłada się na większą powierzchnię. Dlatego wprowadzono pojęcie ciśnienia.

Ciśnienie opisuje, jaka jest wartość siły nacisku działającej na jednostkę powierzchni.

■ Obliczanie ciśnienia

Aby obliczyć ciśnienie, czyli siłę działającą na 1 m² powierzchni, dzielimy wartość siły nacisku przez pole powierzchni.

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

Symbol ciśnienia p pochodzi od angielskiego słowa *pressure* lub łacińskiego *pressio*.

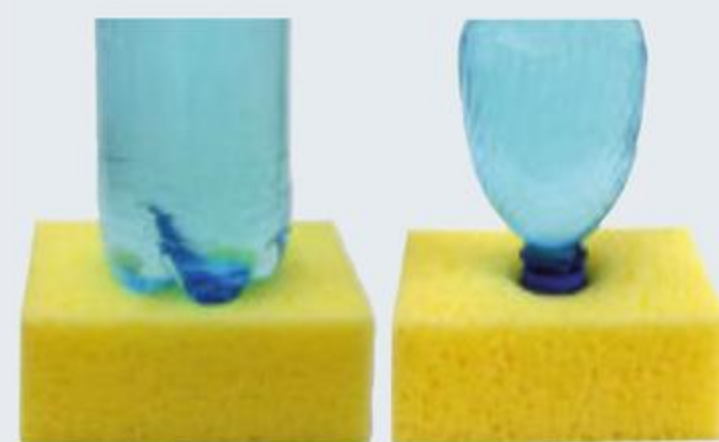
■ Jednostka ciśnienia

Jednostką ciśnienia jest „jednostka siły przez jednostkę powierzchni”. W układzie SI jest to 1 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. Na cześć B. Pascala tę jednostkę nazwano paskalem.

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

Doświadczenie

Weź półtoralitrową butelkę po wodzie mineralnej, napełnij ją do połowy wodą i zakręć. Postaw ją na gąbce do mycia, najpierw zwyczajnie, później – do góry dnem. W którym wypadku gąbka ugina się bardziej? Czy butelka naciska na gąbkę różną siłą w zależności od położenia? Czym się różnią te dwie sytuacje?



Ćwiczenie. Na podłodze o powierzchni 10 m² rozłożono równomiernie worki z piaskiem o łącznym ciężarze 5000 N. Jaka jest wartość siły działającej na 1 m² podłogi?

Z historii

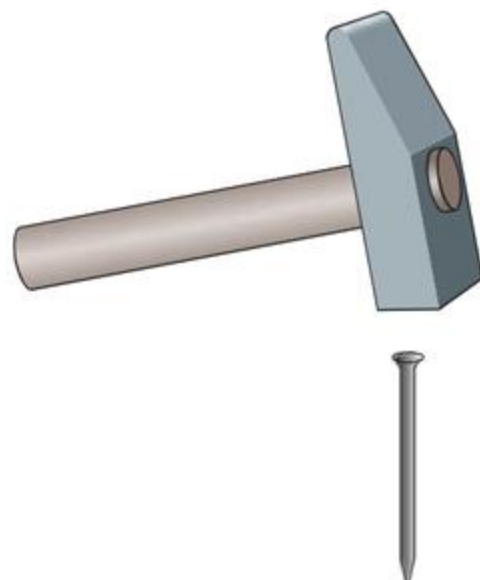
Blaise Pascal [czyt. blez paskal] (1623–1662), uczony francuski, był człowiekiem niezwykle wszechstronnym: filozofem, fizykiem, matematykiem i wynalazcą. Pierwszy zbudował maszynę liczącą i opracował projekt organizacji komunikacji miejskiej.



Blaise Pascal.

■ Zwiększanie i zmniejszanie ciśnienia

W niektórych sytuacjach chcemy zmniejszyć ciśnienie, a w niektórych – zwiększyć. Zwykle zamiast zmieniać siłę, zmieniamy powierzchnię. Zauważ, że podczas zwykłego przybijania gwoździ mamy do czynienia z celowym zmienianiem ciśnienia, i to dwukrotnym!



Łebek gwoźdźdź jest duży między innymi po to, aby zmniejszyć ciśnienie. Dzięki temu w młotku nie powstają wgłębienia. Czubek gwoźdźdź jest mały, aby zwiększyć ciśnienie i ułatwić wbijanie.

Przykład 1. Jakie ciśnienie wywiera na podłoże sześcienna kostka o krawędzi 3 cm, wykonana z żelaza?

Objętość kostki: $V = 3 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} = 27 \text{ cm}^3$.

Gęstość żelaza: $d = 7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Masa kostki: $m = d \cdot V = 7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 27 \text{ cm}^3 \approx 210 \text{ g} = 0,21 \text{ kg}$.

Siła nacisku równa jest ciężarowi:

$$F = Q = m \cdot g = 0,21 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 2,1 \text{ N}$$

Powierzchnia podstawy kostki:

$$S = 3 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ m} = 0,0009 \text{ m}^2$$

Ciśnienie: $p = \frac{F}{S} = \frac{2,1 \text{ N}}{0,0009 \text{ m}^2} \approx 2300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2300 \text{ Pa}$.

Odpowiedź: Kostka wywiera na podłoże ciśnienie 2300 Pa (czyli 2,3 kPa).

Przykład 2. Oblicz powierzchnię rakiet śnieżnych, które powinien włożyć człowiek o masie 70 kg, aby mógł wędrować po śniegu wytrzymującym ciśnienie 1200 Pa.

Sposób I

Siła nacisku równa jest ciężarowi:

$$F = Q = m \cdot g = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 700 \text{ N}$$

1 m² wytrzymuje nacisk 1200 N, więc do utrzymania ciężaru 700 N wystarczy powierzchnia:

$$\frac{700}{1200} \text{ m}^2 \approx 0,6 \text{ m}^2$$

Sposób II

Siła nacisku równa jest ciężarowi:

$$F = Q = m \cdot g = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 700 \text{ N}$$

Ciekawostka

Miękki fotel dostosowuje się do kształtu osoby siedzącej, dzięki czemu jej ciężar rozkłada się na większej powierzchni. Dlatego mniejsze jest ciśnienie wywierane przez fotel na ciało człowieka.

Ze wzoru $p = \frac{F}{S}$ otrzymujemy $S = \frac{F}{p}$, więc:

$$S = \frac{700 \text{ N}}{1200 \text{ Pa}} \approx 0,6 \frac{\text{N}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,6 \text{ m}^2$$

Zauważ, że gdy idziemy (a nie tylko stoimy), przez pewien czas cały ciężar ciała opieramy na jednej nodze. Dlatego obliczoną powierzchnię musi mieć każda z rakiel, a nie obie w sumie.

Odpowiedź: Każda z rakiel powinna mieć powierzchnię co najmniej $0,6 \text{ m}^2$.

Podsumowanie

- Ciśnienie opisuje, jaka siła nacisku działa na jednostkę powierzchni. Obliczamy je, dzieląc wartość siły nacisku przez powierzchnię: $p = \frac{F}{S}$.
- Jednostką ciśnienia jest paskal: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. W której pozycji pudełko wywiera na stół największe ciśnienie, a w której – najmniejsze?

a) b) c)



2. Oblicz:

- a) jakie ciśnienie wywiera na podłogę kilogramowy odważnik o powierzchni podstawy 20 cm^2 ,
- b) jaka siła, działając na powierzchnię 2 m^2 , wywołuje ciśnienie 500 Pa ,
- c) jaką masę ma kamień, który przylega do podłoża powierzchnią 10 cm^2 i wywiera na nią ciśnienie 1 kPa .

3. Wyjaśnij za pomocą pojęcia ciśnienia:

- a) dlaczego duże ciężarówki mają wiele kół,
- b) dlaczego czołgi jeżdżą na gąsienicach,
- c) czy lokomotywa mogłaby jeździć bezpośrednio po ziemi,
- d) dlaczego ostrzy się noże,

e) dlaczego stosuje się napastrki,

f) dlaczego do chodzenia po lodzie używa się raków – kolczastych nakładek na buty,

g) dlaczego osoby ratujące tonącego, pod którym załamał się lód, nie stają na lodzie, lecz układają na nim deski lub drabiny i kładą się na nich.

4. Łoś ma masę 600 kg , a dzik 200 kg . Ślady łosia (wszystkich czterech kończyn łącznie) mają powierzchnię 700 cm^2 , a ślady dzika 100 cm^2 . Wykonaj odpowiednie obliczenia i odpowiedz, które ze zwierząt:

- a) naciska na podłogę większą siłą.
- b) wywiera większe ciśnienie na podłogę.
- c) jest lepiej przystosowane do życia na terenach podmokłych.



5. Akwarium ma długość 40 cm , szerokość 25 cm i wysokość 40 cm (wymiary zmierzone na zewnątrz). Jego ścianki są wykonane ze szkła o grubości 5 mm .

Oblicz wysokość, do jakiej należy nalać wody, aby akwarium z wodą wywierało na podłogę ciśnienie 2 kPa .

39 Ciśnienie hydrostatyczne

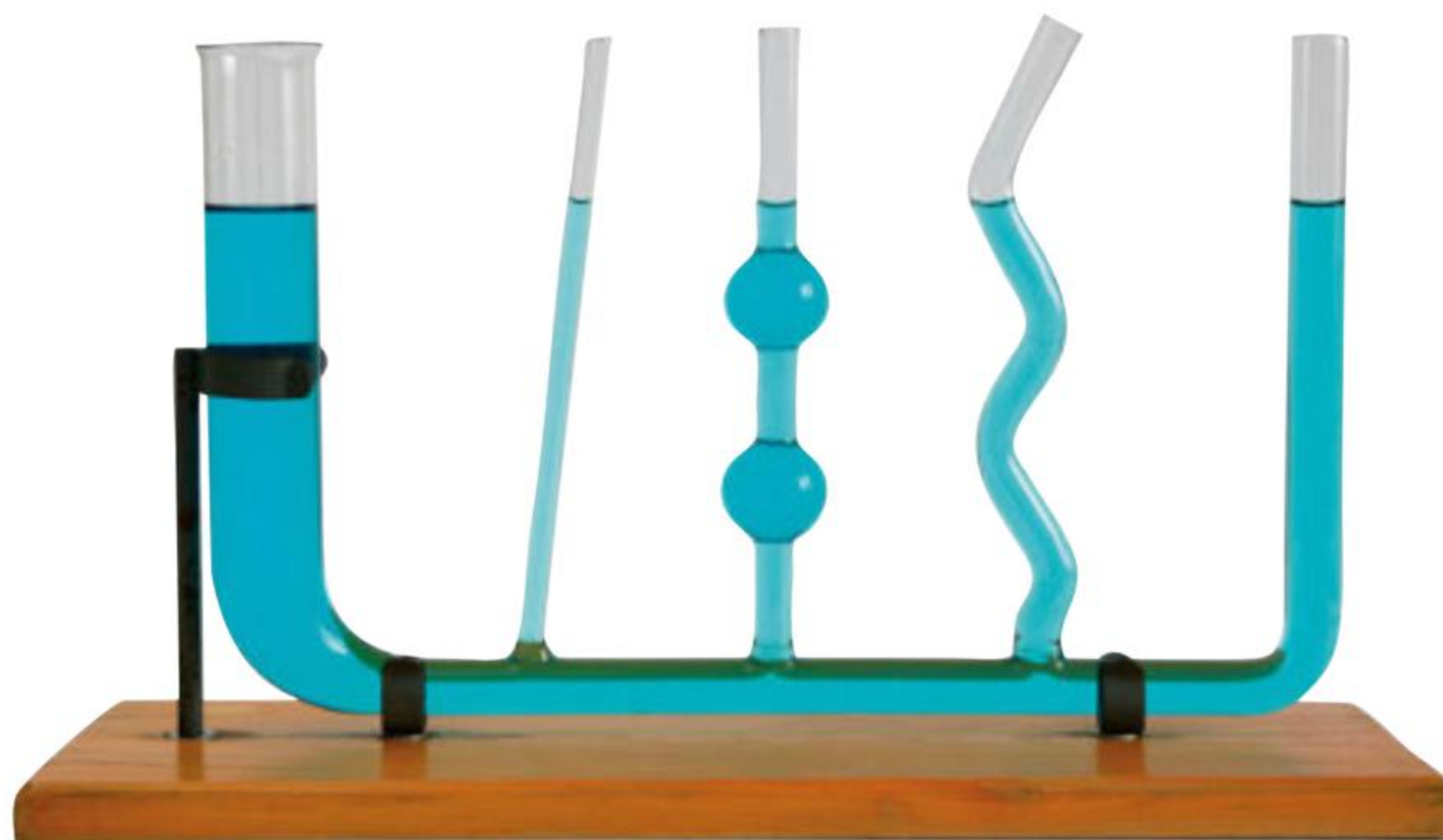
Doświadczenie

Ustaw naczynia zgodnie z rysunkiem. „Przegubową” słomkę do napojów napełnij wodą i (zatykając ją palcem, żeby woda się nie wylała) ustaw w pozycji przedstawionej na rysunku. Woda zacznie spływać z talerza do szklanki. Zauważ, że początkowy odcinek drogi woda pokonuje pod górę!



Naczynia połączone

Zdjęcie przedstawia naczynia o różnych kształtach i wymiarach, połączone u dołu poziomą rurką. We wszystkich naczyniach ciecz osiągnęła ten sam poziom. Gdybyśmy do jednego z naczyń dolali cieczy, przepłynęłaby ona do pozostałych naczyń i poziom ponownie by się wyrównał.



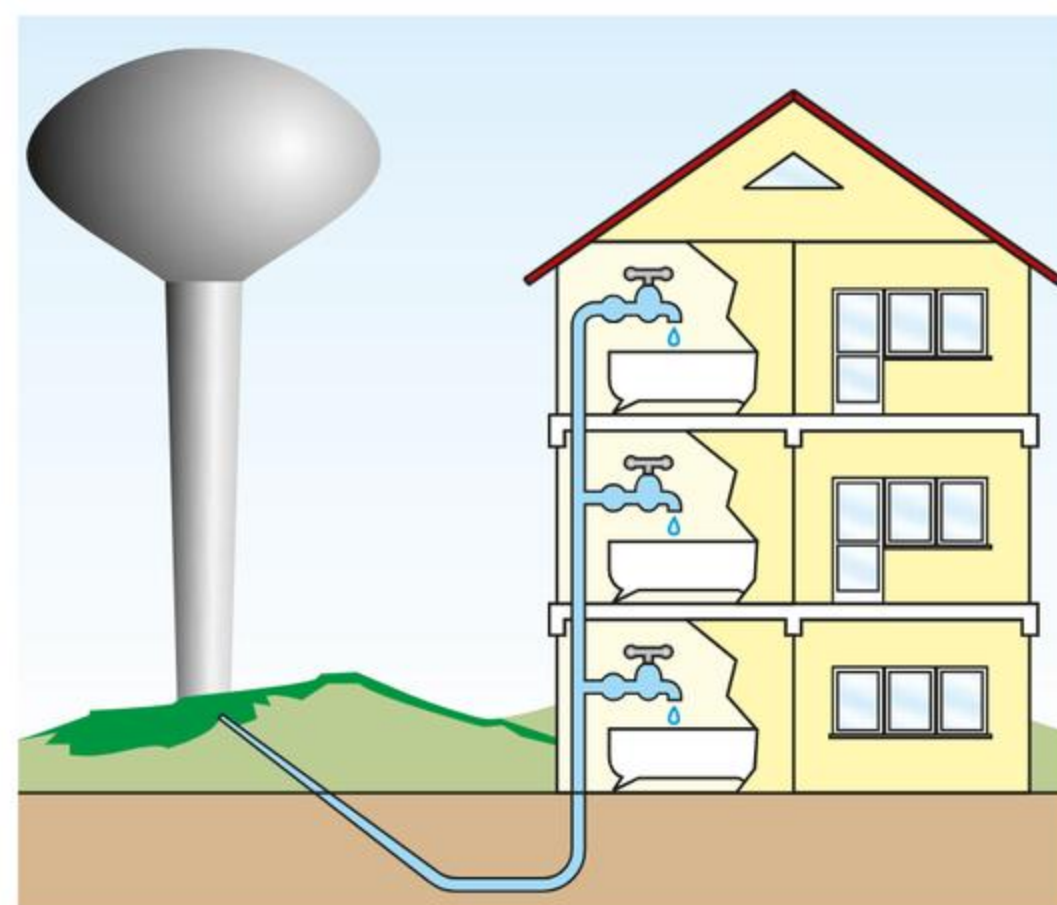
W naczyniach połączonych ciecz dąży do wyrównania poziomu.

Wieża ciśnień

Na zasadzie naczyń połączonych działa wieża ciśnień. Woda w rurach wodociagowych może przebywać pewien odcinek pod górę z piwnicy do mieszkań, które znajdują się niżej niż zbiornik wody w wieży.



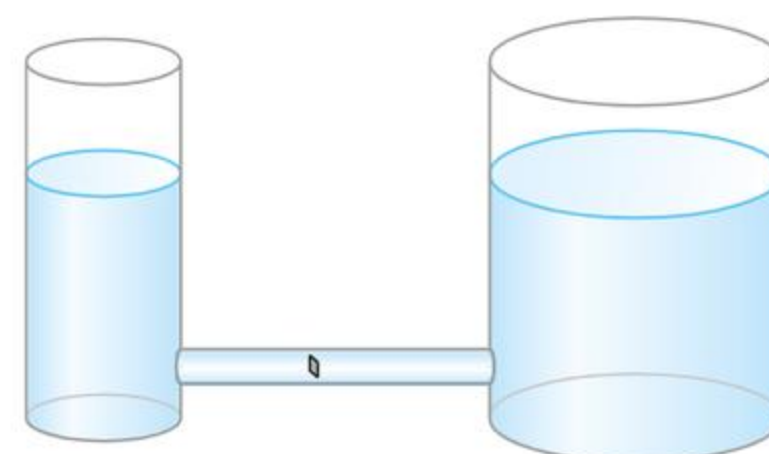
Zabytkowa wieża ciśnień.



Schemat działania wieży ciśnień.

■ Od czego zależy ciśnienie wywierane przez ciecz

Ćwiczenie. Rysunek przedstawia naczynia połączone. W poziomej rurce ustawiono w poprzek kawałek papieru. Z każdej strony woda działa na ten papierek pewną siłą. Co można powiedzieć o tych dwóch siłach?



Skoro papierek nie porusza się, siły muszą się równoważyć. Ponieważ jednak powierzchnia papierka jest z każdej strony taka sama, oznacza to, że z każdej strony na papierek działa takie samo ciśnienie.

Czy to oczywiste? Może tak, ale zauważ, że ciężar cieczy w rurkach jest różny, a mimo to ciśnienie jest jednakowe. Widzimy więc, że:

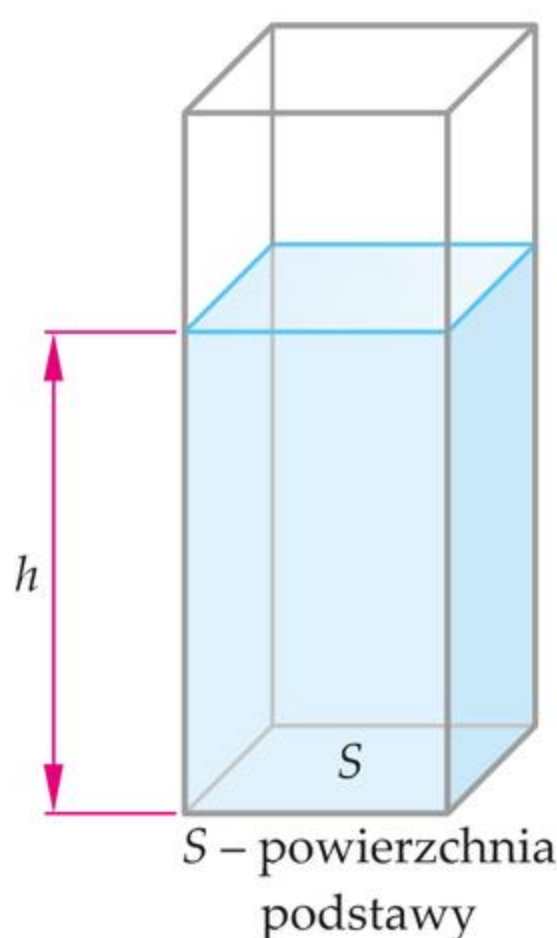
Ciśnienie wywierane przez ciecz, zwane ciśnieniem hydrostatycznym, nie zależy od kształtu naczynia ani od powierzchni jego dna.

Zbadamy teraz, czy ciśnienie hydrostatyczne zależy od wysokości słupa cieczy i od rodzaju cieczy.

Doświadczenie ⚠

1. Dwie jednakowe rurki szklane umocuj pionowo w statywie. Od dołu zamknij je cienką gumową błoną (np. z rękawiczek jednorazowych), umocowaną np. za pomocą gumki recepturki.
2. Do jednej rurki nalej wody, a do drugiej – denaturatu. Zadbaj o to, aby ilość cieczy w obu rurkach była jednakowa.
3. Która z gumowych błon jest bardziej wybrzuszona? Która z cieczy wywiera większe ciśnienie na błonę? Jak sądzisz, z jaką właściwością cieczy związana jest ta różnica?
4. W drugiej części doświadczenia użyj w obu rurkach tej samej cieczy, ale w innej ilości. Która z gumowych błon jest tym razem bardziej wybrzuszona?





Z pierwszej części doświadczenia wynika, że ciecz o większej gęstości przy tej samej wysokości słupa cieczy wywiera na dno naczynia większe ciśnienie. To nic dziwnego – ciecz o większej gęstości ma dla danej objętości większy ciężar.

■ Obliczanie ciśnienia cieczy

Wiemy już, że ciśnienie wywierane przez ciecz nie zależy od kształtu ani od powierzchni dna naczynia. Aby obliczyć to ciśnienie, możemy wyobrazić sobie naczynie np. w kształcie prostopadłościanu. Ciecz w takim naczyniu przyjmuje kształt prostopadłościanu, więc łatwo obliczyć jej objętość.

Objętość cieczy: $V = S \cdot h$.

Masa cieczy: $m = d \cdot V = d \cdot S \cdot h$.

Ciecz naciska na dno siłą równą swojemu ciężarowi:

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

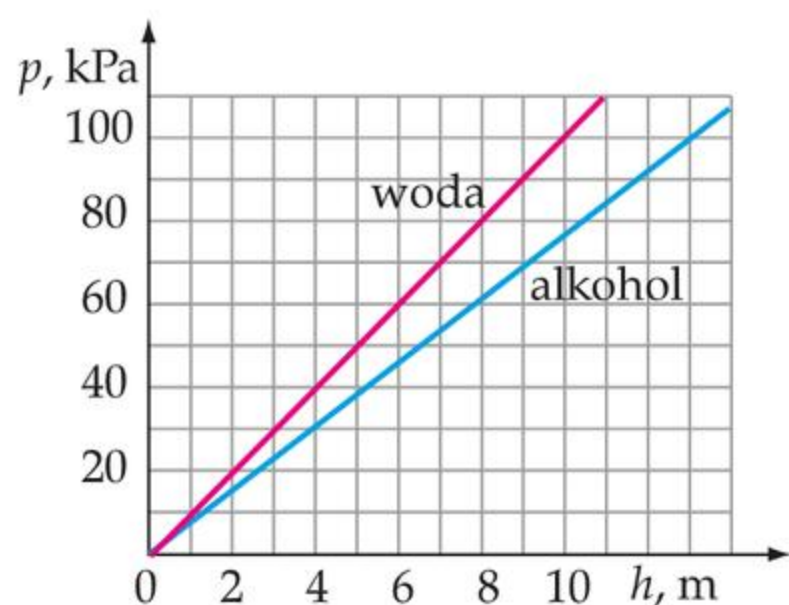
Ciśnienie cieczy:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{d \cdot \cancel{S} \cdot h \cdot g}{\cancel{S}} = d \cdot h \cdot g = d \cdot g \cdot h$$

Otrzymaliśmy więc wzór:

$$\begin{array}{l} \text{ciśnienie} \\ \text{hydrostatyczne} \end{array} = \begin{array}{l} \text{gęstość} \\ \text{cieczy} \end{array} \cdot \begin{array}{l} \text{przyspieszenie} \\ \text{ziemskie} \end{array} \cdot \begin{array}{l} \text{wysokość} \\ \text{słupa cieczy} \end{array}$$

$$p = d \cdot g \cdot h$$



Ciśnienie wywierane przez ciecz jest proporcjonalne do wysokości słupa tej cieczy.

Jeśli wysokość słupa danej cieczy zwiększy się np. 2 razy, to ciśnienie hydrostatyczne także zwiększy się 2 razy. Ciśnienie hydrostatyczne jest zatem proporcjonalne do wysokości słupa cieczy. Zgadza się to z wynikiem drugiej części doświadczenia. Wykresy przedstawiają tę zależność dla dwóch cieczy: wody i alkoholu. Ciśnienie to zależy więc również od rodzaju cieczy.

Przykład 1. Jakie ciśnienie wywiera na dno zbiornika benzyna, jeśli sięga do wysokości 2,5 m powyżej dna?

$$p = d \cdot g \cdot h = 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,5 \text{ m} = 18\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 18\,000 \text{ Pa} = 18 \text{ kPa}$$

Odpowiedź: Benzyna wywiera ciśnienie 18 kPa.

Przykład 2. Słup cieczy o wysokości 20 cm wywiera na dno naczynia ciśnienie 1440 Pa. Co to za ciecz: benzyna, woda czy gliceryna?

Ze wzoru $p = d \cdot g \cdot h$ otrzymujemy: $d = \frac{p}{g \cdot h}$, stąd

$$d = \frac{1440 \text{ Pa}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,2 \text{ m}} = 720 \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Wśród wymienionych cieczy taką gęstość ma benzyna (możemy to sprawdzić w tablicach na końcu podręcznika).

Odpowiedź: Tą cieczą jest benzyna.

■ Ciśnienie w jeziorach i morzach

Posługując się wzorem na ciśnienie hydrostatyczne, możesz obliczyć ciśnienie na dnie jezior i mórz. Im głębiej, tym większe ciśnienie, dlatego że wywiera je wyższy słup cieczy. Na przykład na dnie najgłębszego w Polsce jeziora Hańcza (108 m głębokości) woda wywiera ciśnienie:

$$p = d \cdot g \cdot h$$
$$p = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 108 \text{ m} = 1\,080\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 1\,000\,000 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}$$

Powierzchnia ciała człowieka wynosi około 2 m^2 , a więc na dnie tego jeziora woda zgniata człowieka siłą około 2 MN ($2\,000\,000 \text{ N}$), równą ciężarowi ciała o masie 200 ton !

Dlaczego więc nurkowie, którzy schodzą na duże głębokości, nie są zgniatani przez wodę? Otóż wdychają oni do płuc powietrze z butli pod coraz większym ciśnieniem. W ten sposób przystosowują ciśnienie wewnątrz organizmu do ciśnienia panującego na zewnątrz.

Podsumowanie

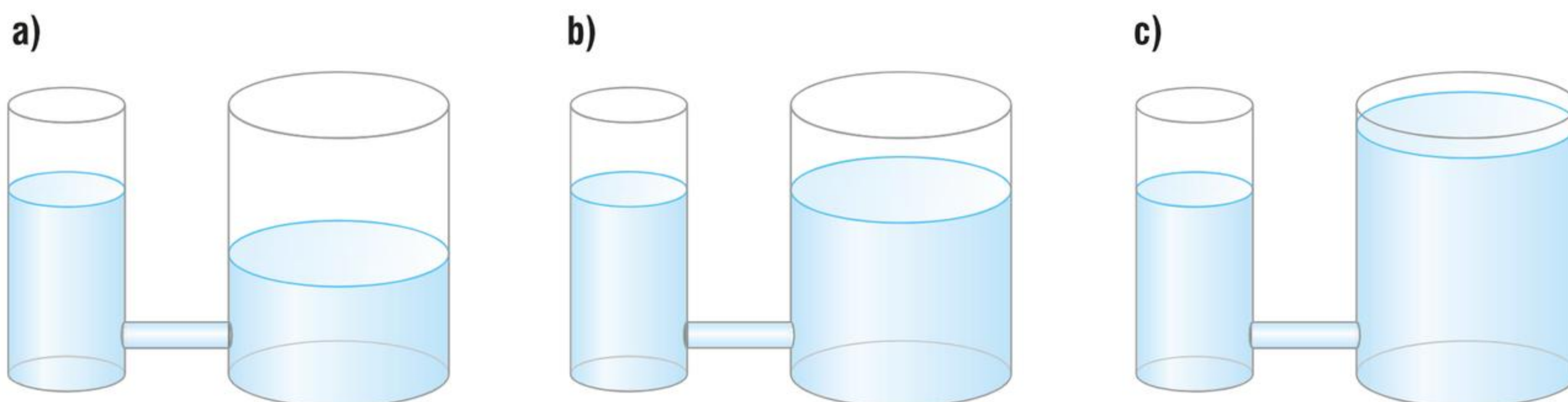
- Woda (lub inna ciecz) w naczyniach połączonych dąży do wyrównania poziomów.
- Ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez ciecz na dno naczynia zależy tylko od wysokości słupa cieczy, a nie od kształtu ani od powierzchni dna naczynia. Zależy też od rodzaju cieczy.
- Ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez ciecz na dno naczynia można obliczyć ze wzoru:
$$p = d \cdot g \cdot h$$
- Im głębiej w jeziorze lub morzu, tym wyższy słup wody i tym większe ciśnienie wywiera woda. Na dużych głębokościach ciśnienie wody jest olbrzymie.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wskaż rysunek, który poprawnie przedstawia poziomą ciecz w dwóch naczyniach o różnej szerokości.

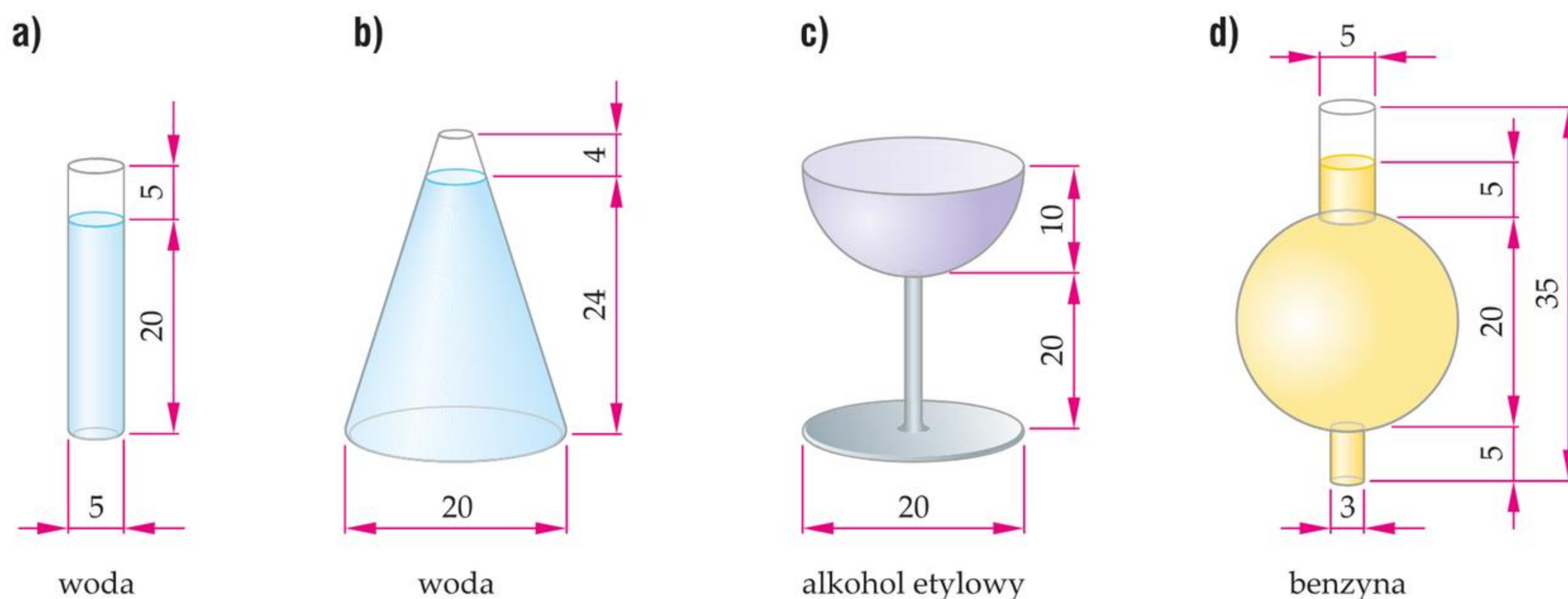


2. Odpowiedz na pytania.

a) Jak działa wskaźnik poziomu wody w czajniku elektrycznym? Jeśli nie wiesz, spróbuj to zaobserwować.

b) Jak działa studnia artezyjska? Jeśli nie wiesz, co to jest, poszukaj informacji w odpowiednich źródłach, np. w encyklopedii lub słowniku geograficznym.

3. Oblicz w zeszycie, jakie ciśnienie wywiera ciecz na dno naczynia w każdym z przedstawionych przypadków. Wymiary podano w centymetrach.



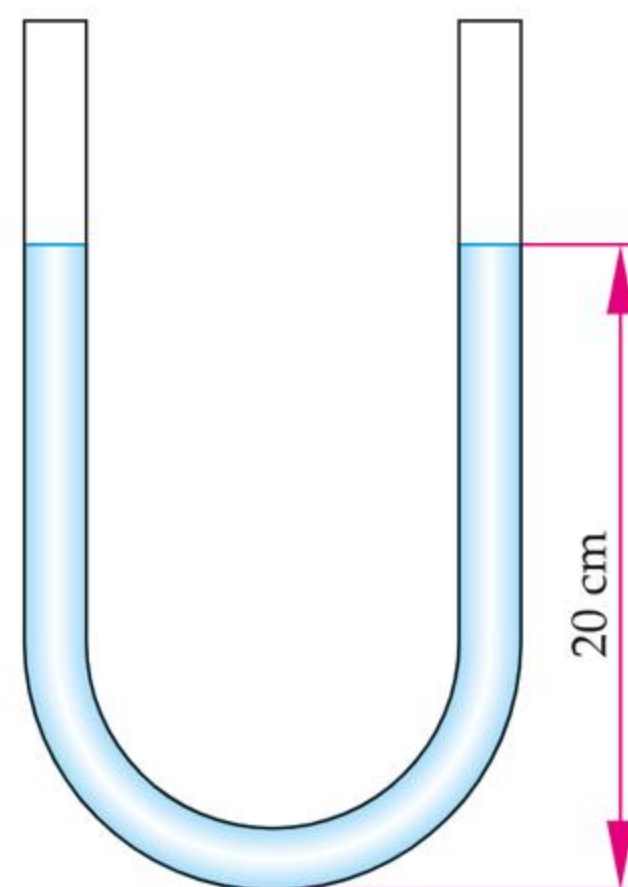
4. Do każdego z garnków przedstawionych na zdjęciu należy wlać po litrze wody. W którym garnku ciśnienie wody na dno będzie największe, a w którym – najmniejsze?



5. Oblicz w zeszycie:

- wysokość słupa alkoholu, który wywiera na dno naczynia ciśnienie 150 kPa;
- wysokość słupa wody, który wywiera na dno naczynia takie samo ciśnienie, jakie wywiera słup benzyny o wysokości 2 m;
- gęstość cieczy, która na dno zbiornika o głębokości 1,5 m wywiera ciśnienie 18 kPa.

6. W naczyniu pokazanym na rysunku znajduje się woda sięgająca do poziomu 20 cm. Do lewej rurki wlało tyle oleju, że słup oleju osiągnął wysokość 5 cm. Narysuj w zeszycie sytuację w naczyniu po dolaniu oleju. Jaką wysokość będzie miał słup wody w lewej rurce, a jaką – w prawej?



40 Prawo Pascala

Doświadczenie

1. Nakłuj szpilką w kilku miejscach plastikową butelkę po wodzie mineralnej. Postaraj się, aby otworki miały jednakową wielkość.
2. Umieść butelkę w zlewku lub miednicy, napełnij ją wodą. Sprawdź, z których otworków woda wypływa szybciej, a z których – wolniej.
3. Jak sądzisz, w którym miejscu butelki ciśnienie jest większe?



Ciecz wywiera ciśnienie nie tylko na dno naczynia, ale także na jego ściany boczne. Ciśnienie jest tym większe, im większa głębokość. Wysokość słupa cieczy liczy się bowiem nie od dna naczynia, ale od danego punktu do poziomu cieczy. Podobnie, nurkując w wodzie coraz głębiej, musimy wytrzymywać stale rosnące ciśnienie. Nacisk cieczy wywołany jej ciśnieniem może działać nawet do góry (patrz rysunek).

■ Prawo Pascala

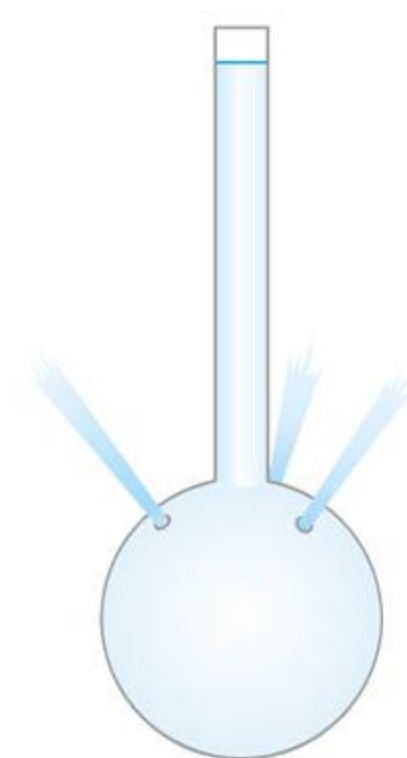
Oprócz ciśnienia spowodowanego ciężarem samej cieczy, możemy wywierać na ciecz ciśnienie z zewnątrz, na przykład za pomocą tłoczka (jak w strzykawce) lub dmuchania z zewnątrz (jak w doświadczeniu obok). Podobnie jest w przypadku gazów.

Prawo Pascala:

Zwiększenie ciśnienia zewnętrznego powoduje jednaki przyrost ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu.

W doświadczeniu opisanym obok ciśnienie wody na ściany naczynia jest sumą dwóch składników:

- ciśnienia wynikającego z ciężaru wody,
- przenieszonego przez wodę ciśnienia, z którym dmuchasz do wylotu butelki.



Doświadczenie !

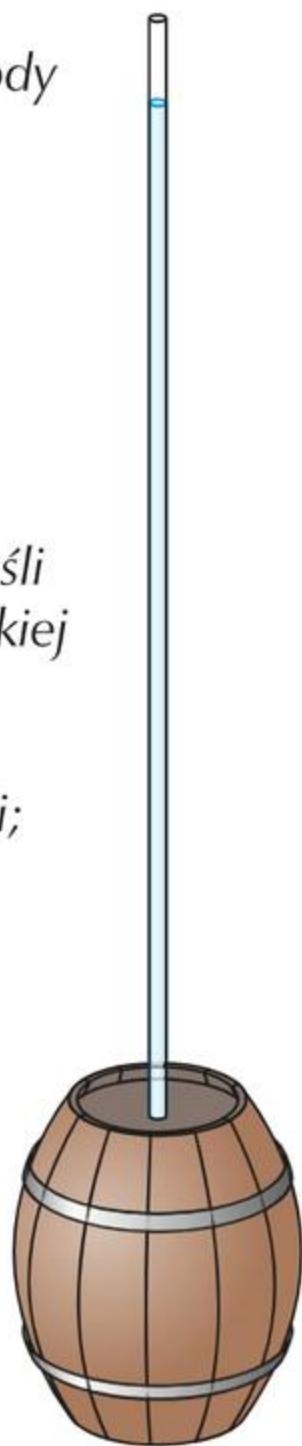
Powtórz poprzednie doświadczenie, ale tym razem dmuchaj silnie do wylotu butelki. Jak zmieniło się ciśnienie wypływającej wody?

Z historii

Blaise Pascal przeprowadził ciekawy eksperyment. Do beczki napełnionej wodą przymocował długą, cienką rurkę. Gdy wodę wlało także do rurki, pod jej ciśnieniem klepki beczki rozsunęły się i beczka zaczęła przeciekać, choć wody w rurce mieściło się niewiele.

Doświadczenie pokazało, że:

- nawet niewielka ilość wody może wywierać bardzo wysokie ciśnienie, jeśli umieścimy ją w wąskiej rurce, w której słup wody będzie odpowiednio wysoki;
- woda w beczce przenosi na ścianki beczki ciśnienie z zewnątrz (wywierane przez wodę w rurce).



Pierwszy składnik, jak już wiesz, zależy od wysokości słupa cieczy. Drugi, zgodnie z prawem Pascala, nie zależy od wysokości – ma taką samą wartość blisko dna naczynia, jak i na górze.

Dlaczego ciecz wywiera ciśnienie na ściany boczne naczynia? Jak wiesz, ciecz składa się z szybko poruszających się cząsteczek. Uderzają one o ściany boczne naczynia tak szybko, że nie sposób zauważyć pojedynczych uderzeń. Dlatego wydaje się, że nacisk cieczy jest stały.

Przykład. W połowie wysokości słupa cieczy ciecz wywiera na ścianę naczynia ciśnienie 200 Pa. Za pomocą tłoka wywieramy na powierzchnię cieczy dodatkowe ciśnienie 800 Pa. Jakie ciśnienie wywiera teraz ciecz na ścianę naczynia w połowie wysokości, a jakie na dno naczynia?

Bez działania tłoka woda wywierała na ścianę naczynia ciśnienie 200 Pa. Na dwa razy większej głębokości ciśnienie jest 2 razy wyższe, wynosi więc 400 Pa.

Ciśnienie wywierane przez tłok – 800 Pa – jest przenoszone przez wodę bez zmian, całkowite ciśnienie wywierane przez wodę wynosi zatem:

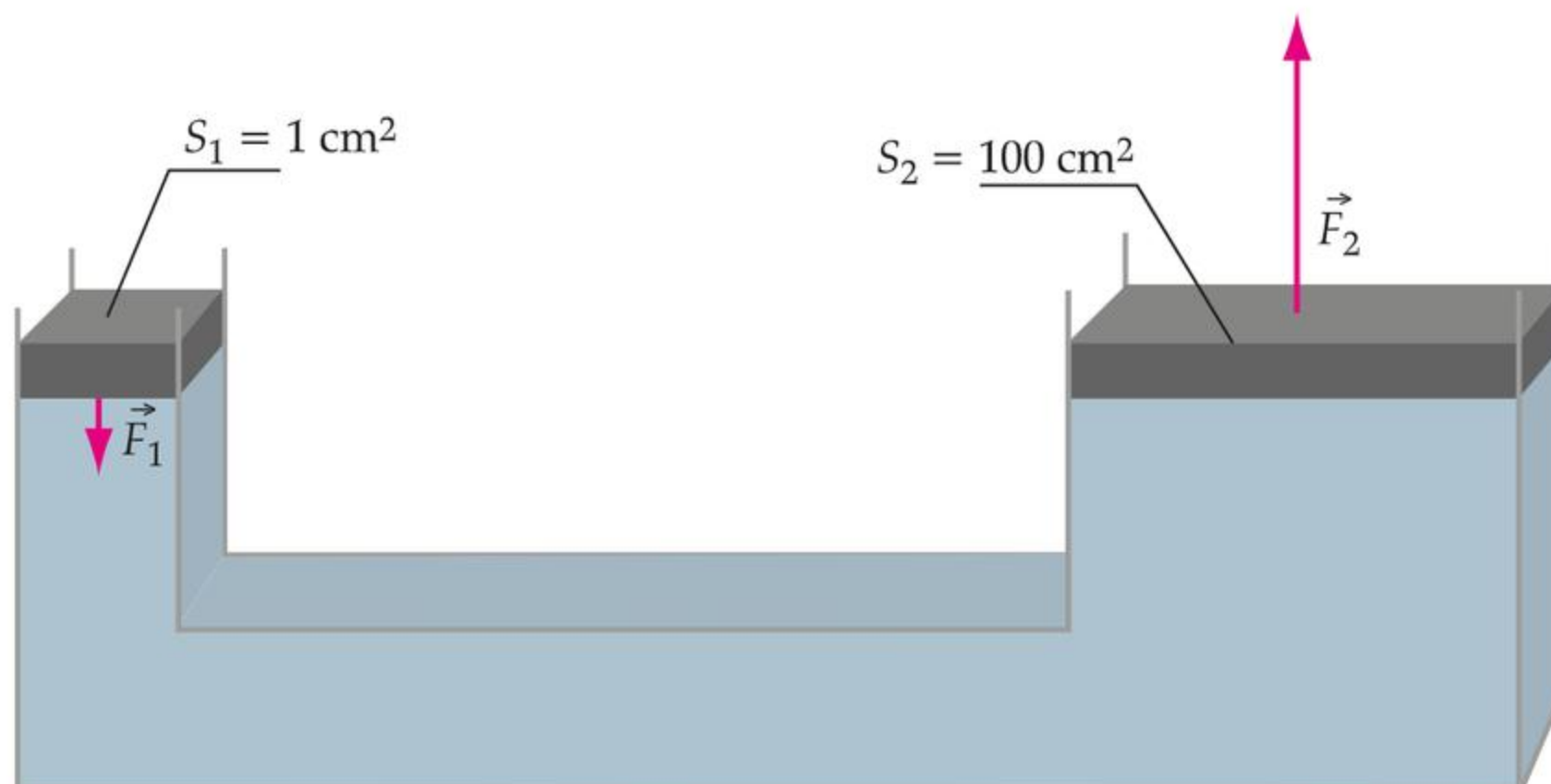
- w połowie wysokości: $p_1 = 200 \text{ Pa} + 800 \text{ Pa} = 1000 \text{ Pa}$,
- na dno naczynia: $p_2 = 400 \text{ Pa} + 800 \text{ Pa} = 1200 \text{ Pa}$.

Odpowiedź: Ciśnienie cieczy na ścianę naczynia w połowie wysokości wynosi 1000 Pa, a na dno naczynia – 1200 Pa.

■ Zastosowania prawa Pascala

Znając prawo Pascala, możemy budować urządzenia hydrauliczne, takie jak prasy hydrauliczne i hamulce w samochodach.

Przyjrzyj się ilustracji. Gdy tłok w lewym naczyniu wciśniemy głębiej, ciecz przeniesie ciśnienie na tłok w prawym naczyniu. Ciśnienie przenosi się bez zmian, ale ponieważ prawy tłok ma 100 razy większą powierzchnię, może działać 100 razy większą siłą. Dzięki temu można jedną ręką podnieść samochód – wciskamy tłok w lewym naczyniu siłą 100 N, a tłok w prawym naczyniu podnosi samochód o ciężarze 10 000 N.



Ciśnienie jest z obu stron takie samo. Siła F_2 jest tyle razy większa od siły F_1 , ile razy powierzchnia dużego tłoka S_2 jest większa od powierzchni małego tłoka S_1 .

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

Podobnie, lekko wciskając pedał hamulca, można spowodować, że klocki hamulcowe zostaną z bardzo dużą siłą przyciśnięte do tarcz. Jak to możliwe? Zwróć uwagę, że aby prawy tłok podniósł się np. o 1 cm, lewy musimy przesunąć o 100 cm, czyli o 1 m. Zamiast działać dużą siłą na krótkiej drodze, działamy małą siłą na długiej drodze. Praca pozostaje bez zmian – podobnie jak to było w wypadku dźwigni i innych maszyn prostych.

Przekładnia hydrauliczna jest jednak często wygodniejsza w użyciu niż dźwignia. Ciecz przenosząca ciśnienie może płynąć długą, giętą, powyginaną rurką.

Podsumowanie

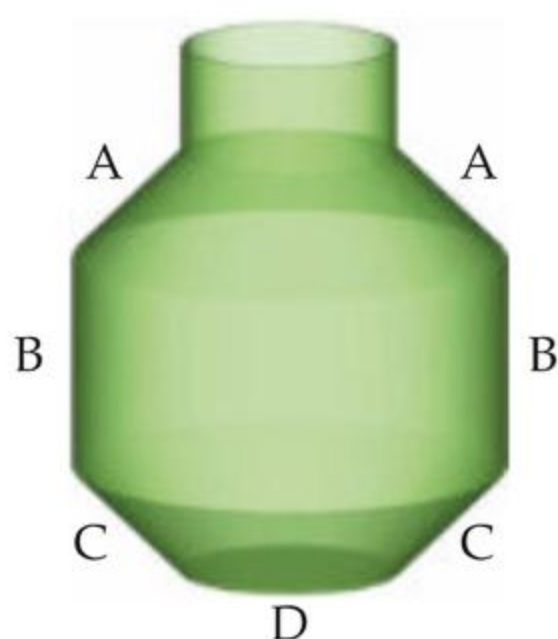
- Ciecz lub gaz wywiera ciśnienie nie tylko na dno naczynia, ale także na jego ściany.
- Prawo Pascala: ciśnienie wywierane z zewnątrz na ciecz lub gaz jest przekazywane równomiernie we wszystkich kierunkach.
- Ciśnienie wywierane przez ciecz lub gaz jest wynikiem uderzania cząsteczek cieczy lub gazu o ściany naczynia.
- Znając prawo Pascala możemy budować urządzenia hydrauliczne, np. prasy hydrauliczne i hamulce samochodowe.

Pytania i zadania

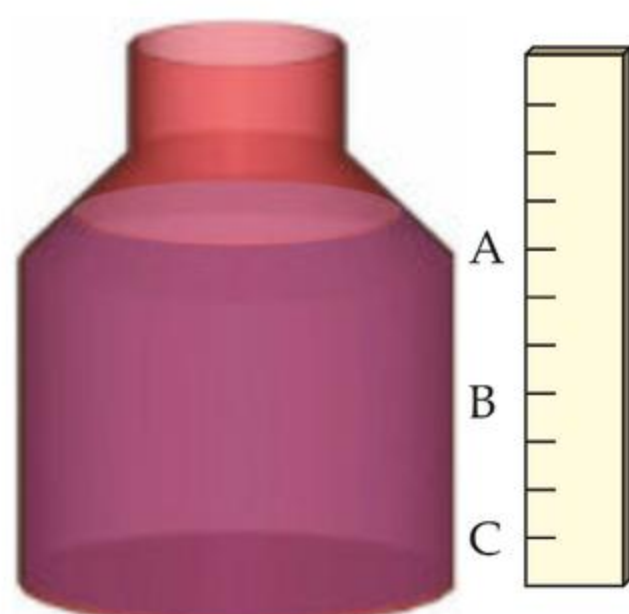
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



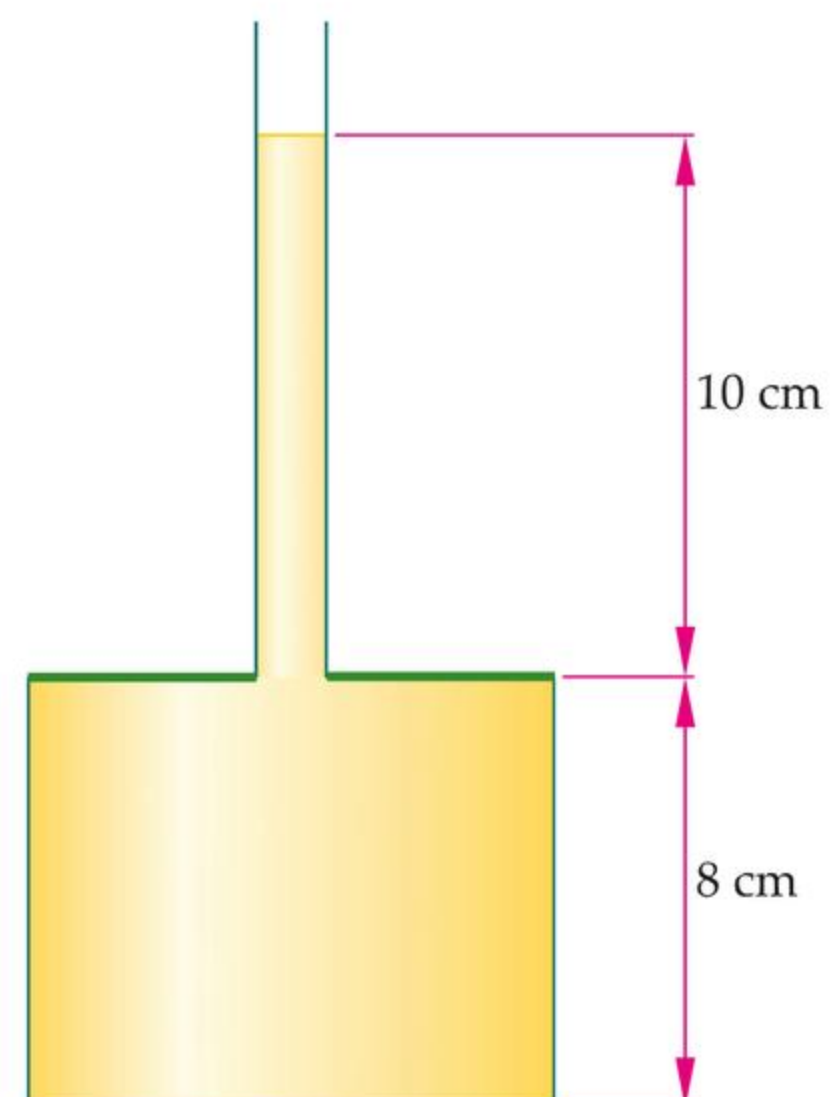
1. Zapisz, na które ściany naczynia przedstawionego na rysunku naciska zawarta w nim woda.



2. Oblicz ciśnienie wywierane przez ciecz na ściany naczynia w punktach A, B i C, jeśli na dno naczynia wywiera ciśnienie 800 Pa.



3. Oblicz ciśnienie wywierane przez benzynę na zaznaczoną na zielono powierzchnię naczynia.



4. Oblicz, jaką siłą woda naciskała na klepki beczki w doświadczeniu Pascala (patrz *Z historii* na s. 216). Przyjmij, że rurka miała wysokość 5 m, a każda z klepek beczki miała powierzchnię $0,3 \text{ m}^2$.

5. Duża część terytorium Holandii leży poniżej poziomu morza. Według legendy mały chłopiec, Hans Brinker, widząc, że przez mały otwór w tamie przelewa się woda, zatkał go palcem i wytrzymał wiele godzin, dopóki nie nadeszła pomoc. Na pamiątkę tego wydarzenia postawiono pomnik, który możesz obejrzeć na zdjęciu. Czy to możliwe, aby zatrzymać palcem wodę wdzierającą się pod wielkim ciśnieniem?

Wyobraź sobie, że dziura w tamie znajdowała się 3 m pod poziomem morza, a palec chłopca miał powierzchnię $0,5 \text{ cm}^2$. Jaką siłą musiał działać chłopiec? Obliczenia zapisz w zeszycie.



Pomnik Hansa Brinkera.

Doświadczenie

Ciśnienie w górę

1. Wytnij otwór w denku plastikowego kubeczka.
2. Ustaw kubeczek do góry dnem, a od dołu przyłóż zakrętkę od słoika. Zanurz całość w misce z wodą. Zobaczysz, że nacisk wody utrzymuje zakrętkę tuż przy kubku, choć przecież nic nie zagraadza jej drogi w dół.
3. Gdy przez wycięty otwór zaczniesz nalewać wodę, zakrętka w końcu zatoni. Dlaczego?



41 Prawo Archimedesesa

Doświadczenie

1. Nalej wody do szklanki (do połowy) i spróbuj zatopić w niej piłeczkę pingpongową. Musisz w tym celu działać siłą. W którą stronę skierowana jest ta siła? Jak zmienia się poziom wody, gdy piłeczka się zanurza?
2. Zanurz w wodzie jajko na twardo. Jajko utonie. Schwyć je w dwa palce i sprawdź, czy w wodzie wydaje się lżejsze, czy cięższe niż wyjęte z wody. Sprawdź także za pomocą siłomierza, czy twoje odczucia były uzasadnione. Jajko możesz przymocować do siłomierza za pomocą taśmy klejącej.



Siłomierz wskazuje siłę wypadkową ciężaru i siły wyporu. W przykładzie przedstawionym na zdjęciu ta wypadkowa wynosi $0,02\text{ N} \pm 0,01\text{ N}$.

■ Siła wyporu

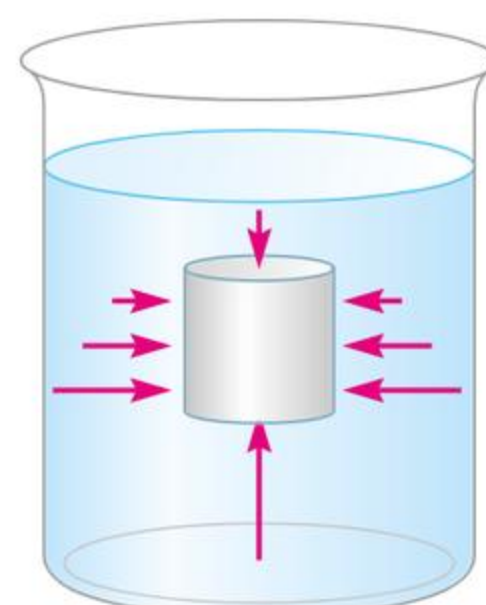
Wpychając piłeczkę do wody, czujesz wyraźnie, że musisz pokonać jakąś siłę, która wypycha piłeczkę z wody. Podnosząc jajko zanurzone w wodzie, czujesz, że jakaś siła w tym pomaga. Wypycha ona jajko z wody, dzięki czemu możesz działać mniejszą siłą, niż jest potrzebna do podniesienia jajka w powietrzu.

W obu przypadkach obserwujesz więc, że na zanurzone w wodzie ciało działa pewna siła skierowana w górę.

Nazywamy ją **siłą wyporu**.

■ Prawo Archimedesesa

Skąd bierze się siła wyporu? Na ciało zanurzone w cieczy działają ze wszystkich stron siły nacisku wywołane ciśnieniem cieczy. Siły działające z boków równoważą się (patrz rysunek). Jednak z góry działa siła mniejsza niż z dołu, bo głębiej ciśnienie jest większe. Wypadkowa tych dwóch sił, skierowana do góry, to właśnie siła wyporu. Można obliczyć, że wartość siły wyporu równa jest ciężarowi cieczy wypartej przez ciało.

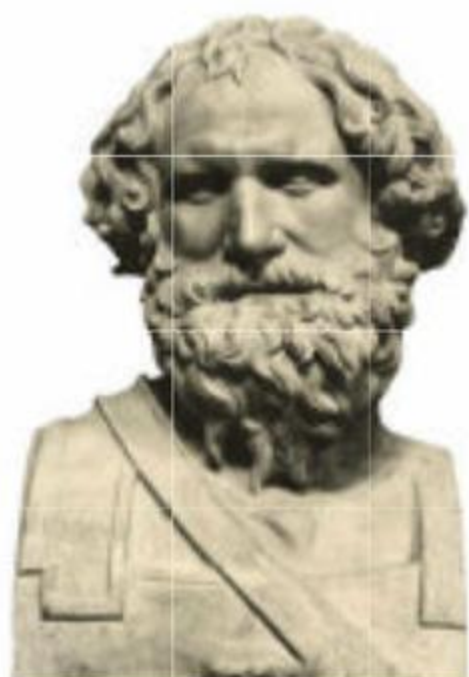


Z historii

Legenda mówi, że Archimedes, wielki grecki uczony żyjący w III w. p.n.e., dokonał swojego odkrycia, kąpiąc się w wannie. Z okrzykiem „Heureka!” („Odkryłem!”) pobiegł nago przez miasto.

Archimedes zasłynął również badaniem dźwigni, o której mówiliśmy w rozdziale czwartym. Skomentował je słynnymi dziś słowami:

„Dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię!”. Swoje odkrycia wykorzystywał praktycznie. Gdy Rzymianie zaatakowali jego ojczyste miasto Syrakuzy, skonstruował maszyny wojenne służące do jego obrony. Nie wiadomo, czy najeźdźcy nie daliby za wygraną, gdyby nie udało im się znaleźć zdrajcy, który w nocy otworzył bramy.



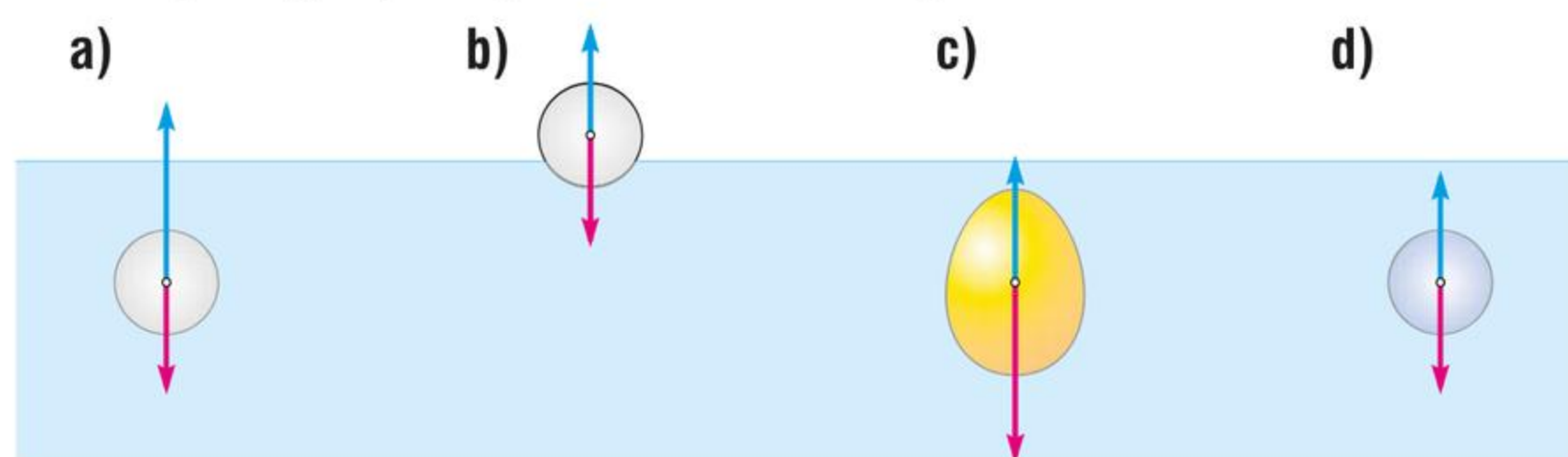
Prawo Archimedesesa:

Na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu. Jest ona skierowana do góry i ma taką wartość, jak ciężar cieczy wypartej przez to ciało.

Kiedy ciało pływa

Siła wyporu działa zarówno na piłeczkę, jak i na jajko. Dlaczego więc piłeczka pływa, a jajko tonie?

Woda wyparta przez piłeczkę ma tę samą objętość, co piłeczka, ale większą gęstość. Ma więc większą masę i większy ciężar. Siła wyporu działająca na piłeczkę jest większa niż ciężar piłeczki. Wypadkowa tych sił skierowana jest w górę (rys. a). Piłeczka pływa więc w górę, ku powierzchni wody.



Niebieskie strzałki oznaczają siłę wyporu, a czerwone – ciężar.

Gdy piłeczka pływa już po powierzchni wody, zanurzona jest tylko część jej objętości. Wypiera więc mniej wody niż wtedy, gdy była całkowicie zanurzona. Siła wyporu jest więc mniejsza. Piłeczka pływa zanurzona w takim stopniu, że siła wyporu równoważy jej ciężar (rys. b).

Inaczej jest w wypadku jajka. Ma ono większą gęstość niż woda, a więc i większy ciężar niż wyparta przez nie woda. Wypadkowa ciężaru jajka i działającej na nie siły wyporu skierowana jest w dół i jajko tonie (rys. c).

Gdy ciało ma taką samą gęstość jak woda, nie wynurza się ani nie tonie, lecz unosi się swobodnie w wodzie (rys. d).

Podobnie jest w przypadku innych cieczy.

Ciała o gęstości mniejszej od gęstości cieczy pływają po tej cieczy, ciała o większej gęstości toną.

Ćwiczenie A. Czy żelazo, ołów, platyna pływają w rtęci? Gęstość tych substancji znajdziesz w tabeli na końcu podręcznika.

Obliczanie siły wyporu

Prawo Archimedesesa pozwala obliczać siłę wyporu. Metodę obliczania przedstawiamy na przykładach.

Przykład 1. Hipopotam o objętości 4 m^3 stoi na dnie jeziora. Nad wodę wystają mu tylko nozdrza. Oblicz działającą na niego siłę wyporu.

Objętość wypartej wody jest równa objętości hipopotama: $V = 4 \text{ m}^3$.

Gęstość wody: $d = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Masa wypartej wody:

$$m = d \cdot V = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4 \text{ m}^3 = 4000 \text{ kg}$$

Ciężar wypartej wody:

$$Q = m \cdot g = 4000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 40\,000 \text{ N} = 40 \text{ kN}$$

Siła wyporu ma taką samą wartość jak ciężar wypartej wody.

Odpowiedź: Siła wyporu ma wartość 40 kN.

Przykład 2. Wieloryb o masie 150 t unosi się na wodzie. Jaką masę ma wyparta przez niego woda?

Skoro wieloryb ani nie tonie, ani się nie wznosi, siła wyporu musi równoważyć jego ciężar. Wyparta woda ma taki sam ciężar, a więc i taką samą masę jak wieloryb.

Odpowiedź: Wyparta woda ma masę 150 t.

Podkreślmy, że siła wyporu działająca na wieloryba byłaby większa od jego ciężaru, gdyby wieloryb całkowicie się zanurzył. Gdy pływa po wodzie, zanurzona jest tylko część jego ciała – akurat taka, aby ciężar wypartej wody był równy jego ciężarowi.

■ Siła wyporu w gazach

Jak wiesz, także gazy mają swój ciężar. Dlatego prawo Archimedesesa stosuje się również do ciał zanurzonych w gazie, na przykład w powietrzu. Ponieważ jednak gęstość powietrza jest bardzo mała, mała jest też siła wyporu.

Ćwiczenie B. Jakim gazem: wodorem, helem czy tlenem, można napełniać balon, aby wzniósł się w powietrze? Gęstości gazów znajdziesz w tabeli na końcu podręcznika.

Ciekawostka

Siłę wyporu w powietrzu wykorzystuje się w budowie balonów. Balony napełnia się gazem lżejszym od powietrza albo rozgrzanym powietrzem (które ma mniejszą gęstość od powietrza zimnego).



Podsumowanie

- Prawo Archimedesesa: na ciało zanurzone w cieczy (albo gazie) działa siła wyporu skierowana do góry, równa ciężarowi wypartej cieczy (gazu).
- Gdy gęstość ciała jest mniejsza niż gęstość cieczy, siła wyporu jest większa od ciężaru ciała i ciało wypływa na powierzchnię.
- Gdy gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy, ciało tonie.
- Gdy ciało zanurzone w cieczy wisi na siłomierzu, przyrząd wskazuje siłę wypadkową siły wyporu i ciężaru. Odejmując ją od ciężaru ciała, możemy wyznaczyć siłę wyporu.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Odpowiedz na pytania, korzystając z tablic zamieszczonych na końcu podręcznika:

- a) czy w czystym spirytusie lód może pływać?
- b) czy balon napełniony metanem może się unosić?
- c) czy jakikolwiek metal pływa w wodzie?

2. Wyjaśnij, dlaczego statki mogą pływać, skoro wykonane są ze stali, której gęstość jest znacznie większa od gęstości wody.

3. Podaj wielkość, jaką wskaże siłomierz:

- a) jeżeli zawieszono na nim ołowiany ciężarek o objętości 10 cm^3 zanurzony w wodzie,
- b) jeżeli zawieszono na nim stalową śrubę o masie 10 g zanurzoną w wodzie.

4. Kawałek metalu leży na dnie naczynia z wodą. Identycznej wielkości kawałek drewna pływa po wodzie. Na które z tych ciał działa większa siła wyporu?

5. Woda słona ma większą gęstość niż woda słodka. Jak zmieni się zanurzenie statku, który przepłynął z morza do rzeki?

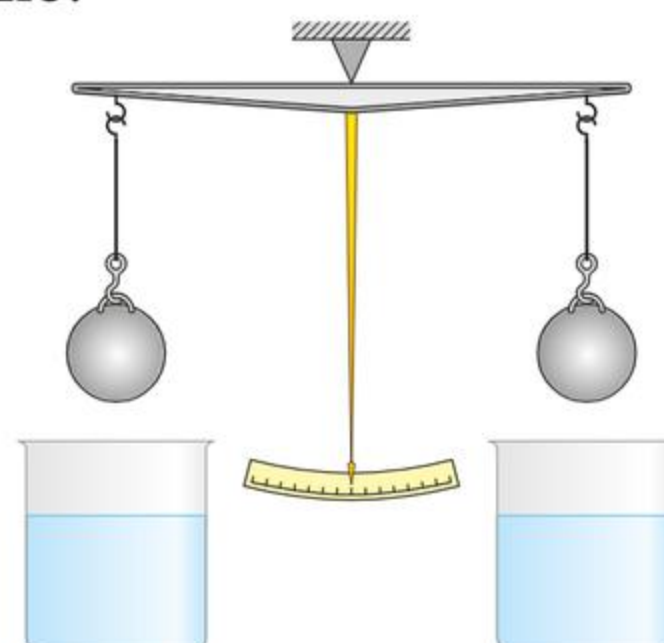
6. Śrubę żelazną o objętości 5 cm^3 zatopiono w wodzie. Oblicz:

- a) jaką masę ma woda wyparta przez tę śrubę,
- b) jaka siła wyporu działa na śrubę.

Zastanów się, czy gdyby śruba była wykonana z ołowiu, ale miała taką samą objętość, odpowiedzi byłyby takie same. Uzasadnij odpowiedź.

7. Dwie identyczne kulki stalowe powieszono na dwóch ramionach wagi (patrz rysunek). Waga jest w równowadze. Jak się zachowa waga:

- a) gdy obie kulki zanurzymy w wodzie?
- b) gdy tylko lewą kulkę zanurzymy w wodzie?
- c) gdy lewą kulkę zanurzymy w oleju, a prawą – w wodzie?



Doświadczenia



Pomiar siły wyporu

1. Ciało o gęstości większej od gęstości wody (czyli takie, które tonie w wodzie) powieś na nitce przyczepionej do siłomierza.
2. Odczytaj wskazanie siłomierza – jest to ciężar ciała.
3. Nie odczepiaj ciała od nitki i siłomierza, ale zanurz je w wodzie. Jeszcze raz odczytaj wskazanie siłomierza – jest ono równe wypadkowej ciężaru i siły wyporu.
4. Oblicz w zeszycie różnicę wskazań siłomierza. Jest ona równa sile wyporu.



Pływa czy tonie

1. Na płaskie dno miski nakap stearyny ze świeczki. Po kilku minutach, gdy stearyna całkowicie zastygnie, odklej ją uważnie od dna, tak aby nie zmienić kształtu stearynowego „placka”.
2. Nalej wody do miseczki i włóż stearynę do naczynia tak, aby ściśle przywierała do dna. Sprawdź, czy stearyna wypływa na powierzchnię czy nie.
3. Umieść stearynę w wodzie w pewnej odległości od dna. Sprawdź, czy wypływa.
4. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko. Jak sądzisz, czy stearyna ma gęstość większą czy mniejszą niż woda?



D Prawo Archimiedesa – trudniejsze zagadnienia

Objętość wypartej wody jest równa objętości zanurzonego ciała. Gdy ciało jest zanurzone częściowo, objętość wypartej wody równa jest objętości zanurzonej części ciała. Pamiętając o tym, możemy wykonywać obliczenia związane z siłą wyporu.

Przykład 1. Jakiej siły potrzeba, aby podnieść aluminiowy odważnik o masie 1 kg, całkowicie zanurzony w wodzie?

Masa odważnika: $m_{Al} = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$.

Ciężar odważnika: $Q_{Al} = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10 \text{ N}$.

Gęstość aluminium: $d_{Al} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Objętość odważnika: $V_{Al} = \frac{m_{Al}}{d_{Al}}$
$$V_{Al} = \frac{1000 \text{ g}}{2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 370 \text{ cm}^3$$

Objętość wypartej wody równa jest objętości odważnika:

$$V_w = V_{Al} = 370 \text{ cm}^3$$

Masa wypartej wody:

$$m_w = d_w \cdot V_w = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 370 \text{ cm}^3 = 370 \text{ g} = 0,37 \text{ kg}$$

Ciężar wypartej wody: $Q_w = m_w \cdot g$,

$$Q_w = 0,37 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,7 \text{ N}$$

Siła wyporu równa jest ciężarowi wypartej wody: $F = 3,7 \text{ N}$.

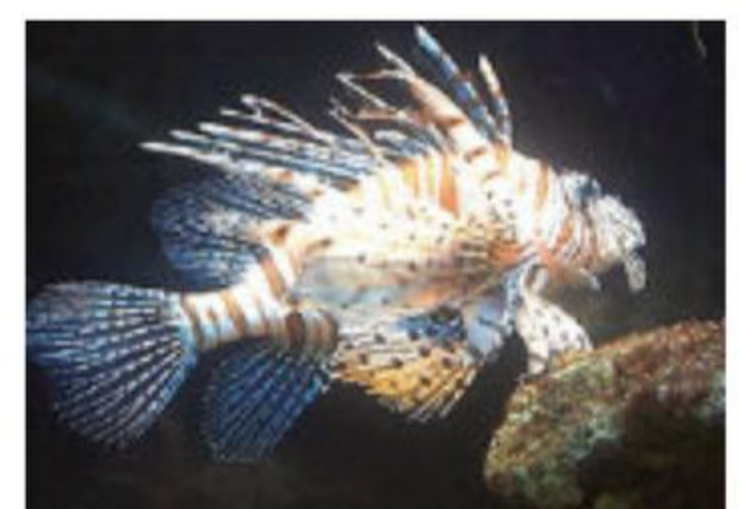
Różnica między ciężarem a siłą wyporu:

$$Q_{Al} - F = 10 \text{ N} - 3,7 \text{ N} = 6,3 \text{ N}$$

Odpowiedź: Potrzeba siły 6,3 N.

Ciekawostka

Dzięki pęcherzowi pławnemu wypełnionemu gazem średnia gęstość ciała ryby jest równa gęstości wody. Ryba nie musi działać żadną siłą, aby pozostawać w wodzie w miejscu, nie tonąc i nie wypływając na powierzchnię.





Przykład 2. Jaka część góry lodowej wystaje ponad wodę?

Sposób I

Weźmy bryłę lodu o objętości 1 m^3 . Ma ona masę 920 kg . Wyparta woda musi mieć taki sam ciężar, a więc i taką samą masę, aby lód pływał. Obliczmy objętość wody o masie 920 kg .

Pamiętajmy, że ma to być woda słona (góry lodowe pływają po oceanach, nie po jeziorach), więc jej gęstość wynosi $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Jeśli metr sześcienny tej wody waży 1030 kg , to 920 kg stanowi $\frac{920}{1030}$ metra sześciennego, czyli około $0,9 \text{ m}^3$. Oznacza to, że zanurzone jest 90% lodu, a ponad wodę wystaje pozostałe 10% . Gdy objętość góry jest inna niż 1 m^3 (a rzeczywiste góry lodowe mają objętość znacznie większą), proporcja jest taka sama.

Sposób II

Przyjmijmy oznaczenia:

V – objętość góry

$d = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ – gęstość lodu

$d' = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ – gęstość wody (słonej)

x – ułamek oznaczający część góry lodowej, która jest zanurzona

Masa góry lodowej wynosi: $m = d \cdot V$.

Jej ciężar to: $Q = d \cdot V \cdot g$.

Zanurzona część góry lodowej ma objętość: $V' = x \cdot V$.

Taką objętość ma też wyparta woda.

Masa wypartej wody wynosi: $m' = d' \cdot x \cdot V$.

Ciężar wypartej wody wynosi: $Q' = d' \cdot x \cdot V \cdot g$.

Siła wyporu jest równa ciężarowi wypartej wody i równoważy ciężar góry, więc:

$$Q = Q', \\ V \cdot d \cdot g = d' \cdot x \cdot V \cdot g$$

Dzielimy to równanie stronami przez g i V : $d = d' \cdot x$,

więc $x = \frac{d}{d'}$.

Możemy już podstawić dane: $x = \frac{920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 0,9$.

Odpowiedź: Zanurzone jest 90% lodu, a ponad wodę wystaje pozostałe 10% .

Rozwiązanie za pomocą wzorów początkowo może być trudniejsze, ale zauważ jego zalety. Należało wykonać tylko jedno działanie na liczbach. Widzimy, że wynik na pewno nie zależy od objętości góry lodowej. Nie zależy on także od g , więc np. dla lodu pływającego w basenie stacji kosmicznej na Księżycu odpowiedź byłaby taka sama. A co najważniejsze, otrzymujemy ogólny prosty wzór, który pozwoli nam błyskawicznie odpowiedzieć na inne podobne pytania, np. jaka część ołowianego odważnika pływającego w rtęci jest zanurzona.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Kostkę żelaza zawieszono na wadze sprężynowej. Wskazała ona masę 0,5 kg. Jaką masę wskaże waga, gdy kostkę zanurzymy w wodzie? Ustal, czy masa żelaza zmienia się po zanurzeniu w wodzie.

2. Pływające ciało nie tylko samo unosi się na powierzchni cieczy, ale może także utrzymać inne ciało.

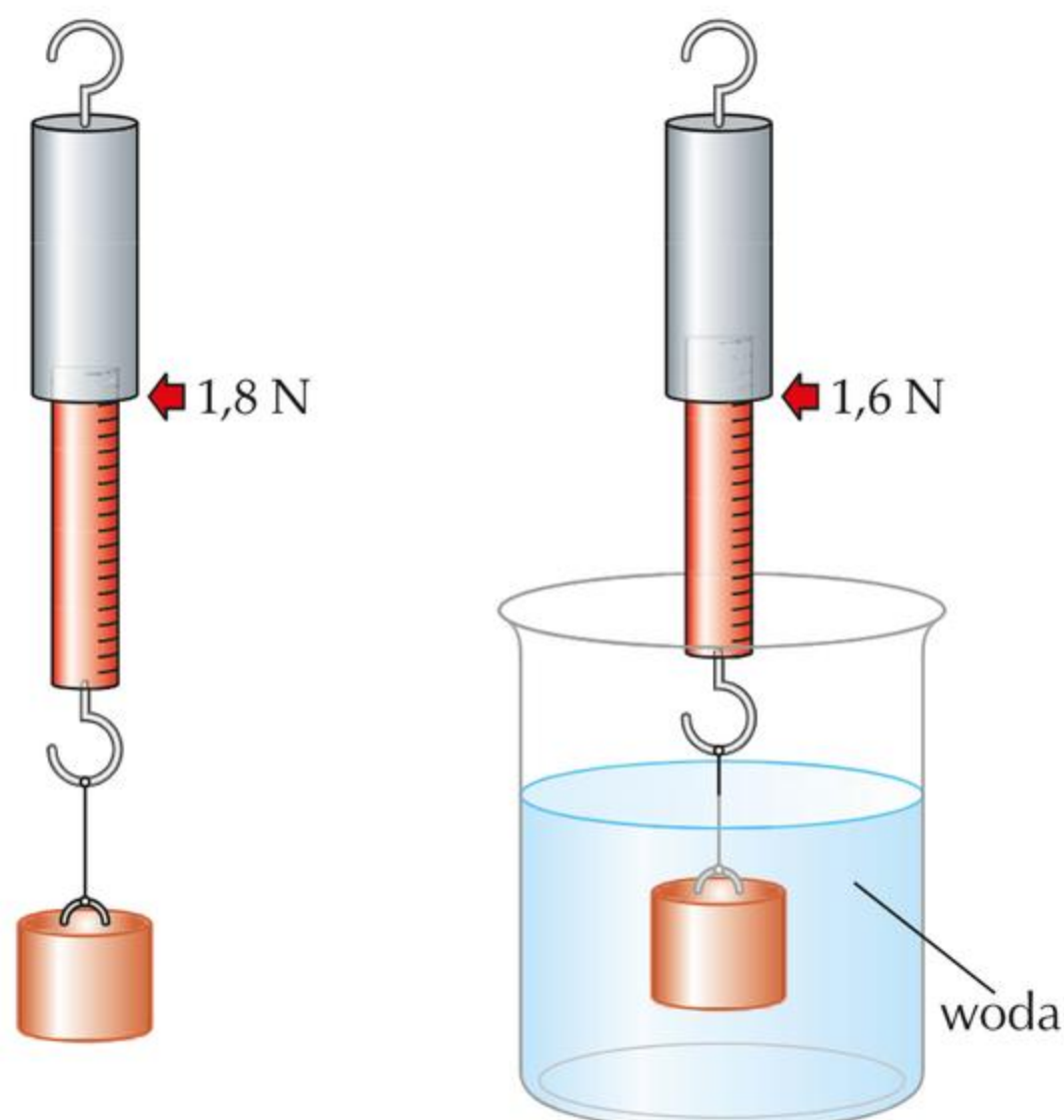
a) Deska windsurfingowa ma objętość $0,12 \text{ m}^3$ i masę 7 kg. Oblicz masę, jaką utrzyma na powierzchni wody, zanim całkowicie się zanurzy.

b) Kra lodowa ma objętość 1 m^3 . Oblicz ciężar, jaki utrzyma na powierzchni wody, zanim całkowicie się zanurzy.

3. W balonie, który wraz z koszem ma masę 200 kg, mieści się 300 m^3 wodoru. Oblicz ciężar, jaki może unieść ten balon.

4. Drewniany klocek pływa w wodzie. Zanurzone jest $\frac{3}{4}$ jego objętości. Oblicz gęstość drewna, z którego wykonano klocek.

5. Przypatrz się ilustracji. Wykonaj w zeszycie obliczenia i napisz, z jakiego metalu wykonano ciężarek.



6. Na siłomierzu zawieszono aluminiowy ciężarek. Gdy był on zanurzony w wodzie, siłomierz wskazywał 0,3 N. Oblicz masę tego ciężarka.

Doświadczenia

Jaki poziom?

1. Postaw szklankę na talerzu i wrzuć do niej kilka kostek lodu. Nalej wody do pełna, ale tak, aby woda się nie wylewała (jeśli się jednak wyleje, wytrzyj szklankę i talerz).

2. Jak sądzisz, czy gdy lód stopnieje, poziom wody się podniesie (i wtedy woda się wyleje) czy opadnie, a może pozostanie bez zmian?

3. Spróbuj to przewidzieć, a potem poczekaj, aż lód stopnieje. Czy twoje przypuszczenia się potwierdziły?



Kamień w łódce

1. Do dna małego słoika przymocuj (od zewnątrz) jakiś mały ciężki przedmiot. Do mocowania użyj plasteliny.

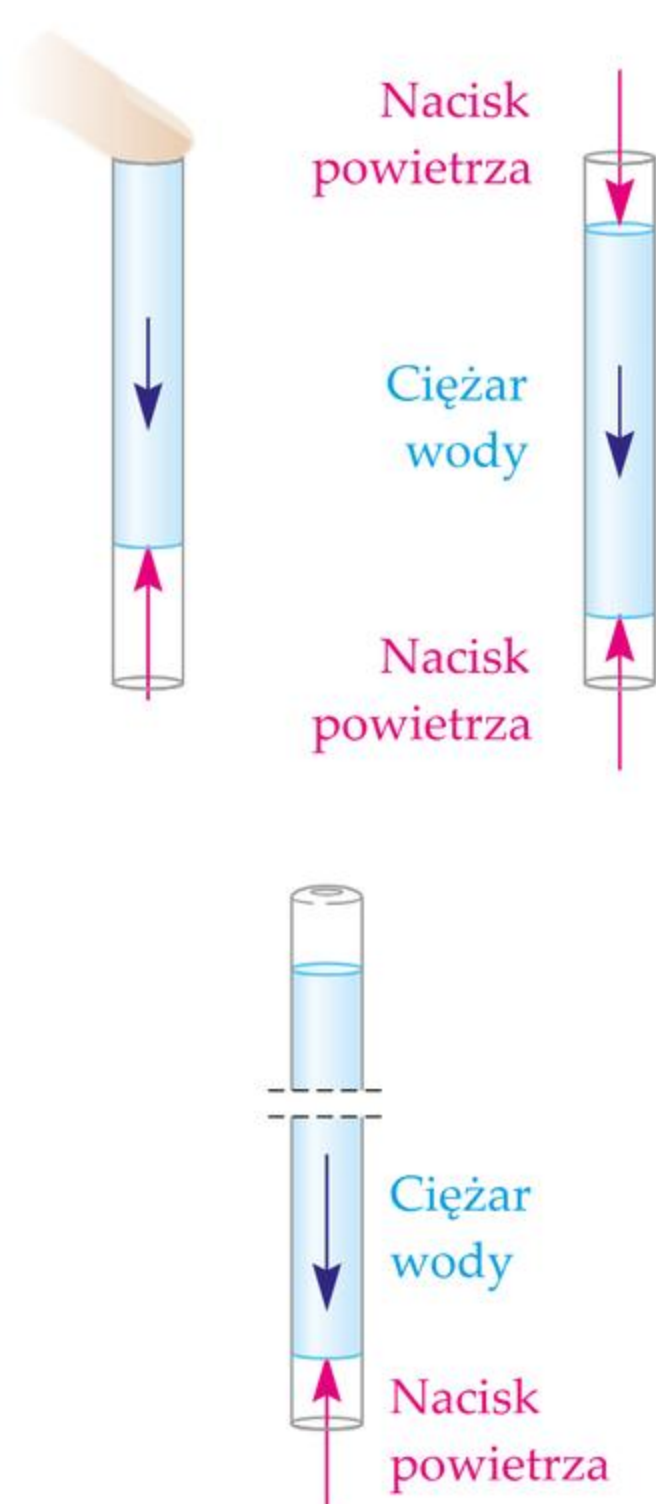
2. Połóż słoik na wodzie, aby pływał. Zaznacz jego poziom zanurzenia.

3. Jak myślisz, czy jeśli przyklejony ciężarek oderwiesz od dna i wrzucisz do słoika, będzie on pływał bardziej, mniej, czy tak samo zanurzony?

4. Sprawdź swoje przypuszczenia doświadczalnie.



42 Ciśnienie atmosferyczne



Z historii

Doświadczenie z 10-metrową rurą wykonał po raz pierwszy włoski fizyk Evangelista Torricelli [czyt. ewandżelista toricelli] w roku 1643. On też wpadł na pomysł, aby zastąpić wodę rtęcią i dzięki temu zmniejszyć wymiary barometru.

Doświadczenie

Nalej wody do cienkiej słomki do napojów. Zatkaj ją palcem od góry. Czy woda wypływa ze słomki? Czy coś stoi na jej drodze?

Powietrze, które jest nad nami, wywiera ciśnienie na wszystko, co znajduje się na ziemi. Choć jego gęstość jest niewielka, sięga ono wysoko w górę, dlatego wywiera duże ciśnienie.

Skutki nacisku powietrza możemy zauważyć na co dzień, choćby w opisanym wyżej doświadczeniu. To powietrze naciskające na wodę w słomce nie pozwala jej wypłynąć. Jeśli „otworzymy” słomkę od góry, powietrze będzie mogło naciskać również z góry i nacisk z dwóch stron się zrównoważy. Woda będzie mogła popłynąć w dół pod własnym ciężarem.

■ Mierzmy ciśnienie powietrza

Można sobie jednak wyobrazić rurę tak wysoką, że nacisk powietrza nie wystarczy do zrównoważenia ciężaru zawartej w niej wody. Wtedy woda spłynie do pewnego poziomu, przy którym te siły będą się równoważyć.

Takie doświadczenie rzeczywiście przeprowadzono. Okazało się, że w rurze pozostał słup wody wysokości około 10 m. Zatem ciśnienie powietrza równe jest ciśnieniu słupa wody o wysokości 10 m, a to już umiemy obliczyć:

$$p = d \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = 100\,000 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}.$$

Ciśnienie powietrza, zwane także ciśnieniem atmosferycznym, wynosi około 1000 hPa.

Okazuje się, że ciśnienie powietrza można zmierzyć w sali lekcyjnej bez używania tak długiej rury.

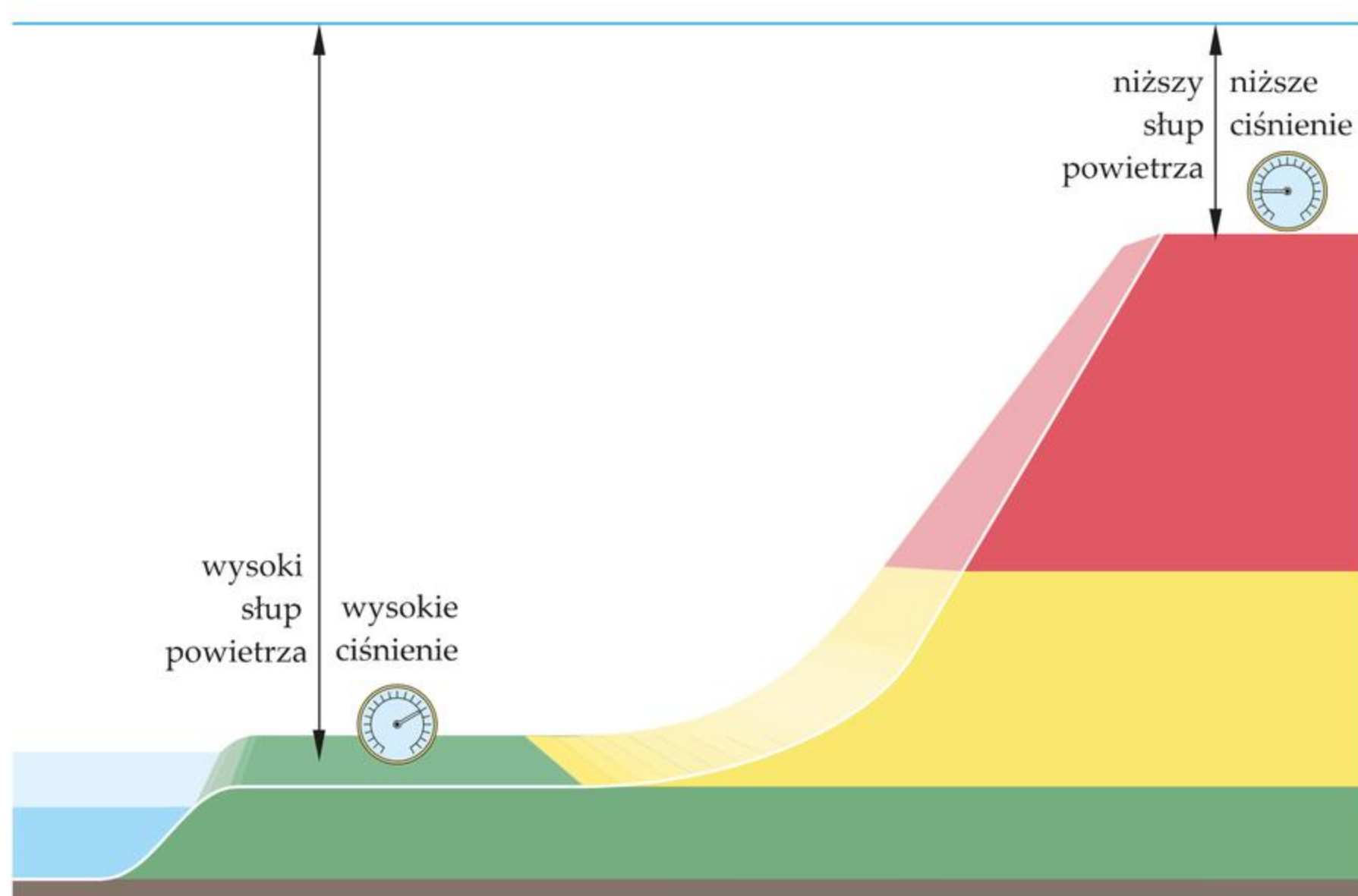
Doświadczenie

1. Ustaw strzykawkę o pojemności 20 cm³ tłoczkiem do dołu i przywiąż do niej uchwyt pięciolitrowej butli na wodę mineralną.
2. Podnieś butlę, trzymając za strzykawkę. Ile wody trzeba wlać do butli, aby woda swoim ciężarem wyciągnęła tłoczek ze strzykawki? Sprawdź to w dwóch wypadkach: gdy wylot strzykawki jest otwarty i gdy jest zamknięty (wystarczy mocno zatkać go palcem).
3. Różnica ciężarów wody w obu przypadkach to siła potrzebna do przewyciężenia nacisku powietrza.
4. Wyznacz powierzchnię tłoczka. Jakie jest ciśnienie powietrza?



■ Od czego zależy ciśnienie powietrza

W jeziorze im głębiej, tym większe ciśnienie wody. Podobnie w atmosferze: im „głębiej”, czyli niżej, tym wyższe ciśnienie powietrza. Są to zauważalne różnice. W Gdańsku średnie ciśnienie atmosferyczne wynosi 1013 hPa, na Kasprowym Wierchu – mniej niż 800 hPa, a na szczycie Mount Everestu – tylko około 300 hPa. W górach ciśnienie jest niższe, bo niższy jest słup powietrza. Trzeba jednak pamiętać, że górna granica tego słupa zaznaczona została umownie – w rzeczywistości atmosfera kończy się stopniowo – im wyżej, tym powietrze jest bardziej rozrzedzone.



Ciśnienie zmienia się także w zależności od zjawisk meteorologicznych. Na ogół wyższe ciśnienie zapowiada lepszą pogodę.

Ciekawostka

Oprócz paskali używa się kilku jednostek ciśnienia, takich jak atmosfera fizyczna, atmosfera techniczna lub bar. Są między nimi niewielkie różnice, wszystkie jednak w przybliżeniu odpowiadają ciśnieniu atmosferycznemu. W atmosferach tradycyjnie mierzy się np. ciśnienie powietrza w kołach samochodowych. Jednak wielkość podawana przez producentów samochodów i opon to tylko nadwyżka nad ciśnieniem atmosferycznym. Gdy mówimy, że ciśnienie powietrza w oponach wynosi 3 atmosfery, w rzeczywistości jest ono 4 razy większe niż na zewnątrz.

Ciekawostka

Dawniej ciśnienie mierzono za pomocą barometrów rtęciowych. Dlatego właśnie używano jednostki ciśnienia „milimetr słupa rtęci” (mmHg). Dziś ta jednostka jest używana do określania ciśnienia tętniczego krwi. Jeśli ciśnienie to wynosi 120/60, to znaczy, że w czasie skurczu serca ciśnienie krwi w tętnicach jest wyższe niż ciśnienie powietrza na zewnątrz o 120 mmHg, a w czasie rozkurczu serca – o 60 mmHg.

Barometr

Do pomiaru ciśnienia atmosferycznego może posłużyć długa rura z wodą. W zależności od ciśnienia poziom wody będzie w niej opadał lub się podnosił. Taki przyrząd do mierzenia ciśnienia byłby bardzo niewygodny. Jeśli jednak wodę zastąpimy rtęcią, której gęstość jest 14 razy większa, wystarczy rurka 14 razy krótsza. Tak właśnie działa barometr rtęciowy.

Na ogół jednak używamy wygodniejszego barometru mechanicznego. Zawiera on puszkę z denkiem z cienkiej blachy. W puszcze zamknięte jest powietrze. Gdy ciśnienie powietrza na zewnątrz zmienia się (i różni się od tego w puszcze), denko się wygina, co powoduje ruch wskazówki barometru.

Dlaczego powietrze nas nie zgniata

Przeciętne ciśnienie atmosferyczne wynosi około 100 000 Pa, a powierzchnia ciała człowieka – około 2 m². Wynika z tego, że na ciało człowieka działa siła około 200 000 N, równa ciężarowi ciała o masie 20 ton! Dlaczego zatem powietrze nas nie zgniata, skoro obciążenia dwudziestotonowym odważnikiem nikt by nie przeżył? Otóż ciśnienie atmosferyczne równoważone jest przez ciśnienie wewnątrz organizmu.

Doświadczenie



Do strzykawki o pojemności 20 cm³ nabierz 5 cm³ wody. Zatkaj palcem wylot strzykawki i ciągnij tłoczek najsilniej jak możesz. Co się dzieje z wodą? Co się stanie, gdy odetkasz wylot?

Czy wrzątek może być zimny

Gdy woda paruje, jej cząsteczki przewyżają nie tylko siłę przyciągania innych cząsteczek, ale także ciśnienie powietrza. Gdy ciśnienie powietrza jest mniejsze, cząsteczka może się wolniej poruszać, a i tak uda jej się wyrwać z wody. Woda może wrzeć w niższej temperaturze.

Dlatego w wysokich górach mogą być trudności z ugotowaniem obiadu albo zaparzeniem herbaty. Gdy woda ma temperaturę 80°C, trudno w niej cokolwiek ugotować albo zaparzyć, nawet jeśli jest to „wrzątek”. Możesz powtórzyć doświadczenie, wrzucając do strzykawki odrobinę herbaty – zobaczysz, że się nie zaparzy.



Podsumowanie

- Powietrze, które znajduje się nad nami, wywiera na nas ciśnienie około 1000 hPa (100 000 Pa), co odpowiada naciskowi ciała o masie 10 t na 1 m² powierzchni.
- Jeśli zasysamy wodę do pionowej rury, to właśnie ciśnienie powietrza powoduje ruch wody.
- Do mierzenia ciśnienia powietrza służy barometr. Zwykle wyższe ciśnienie powietrza zapowiada dobrą pogodę.
- Im wyżej się znajdujemy, tym niższy słup powietrza znajduje się nad nami, tym niższe jest więc ciśnienie atmosferyczne.

Pytania i zadania

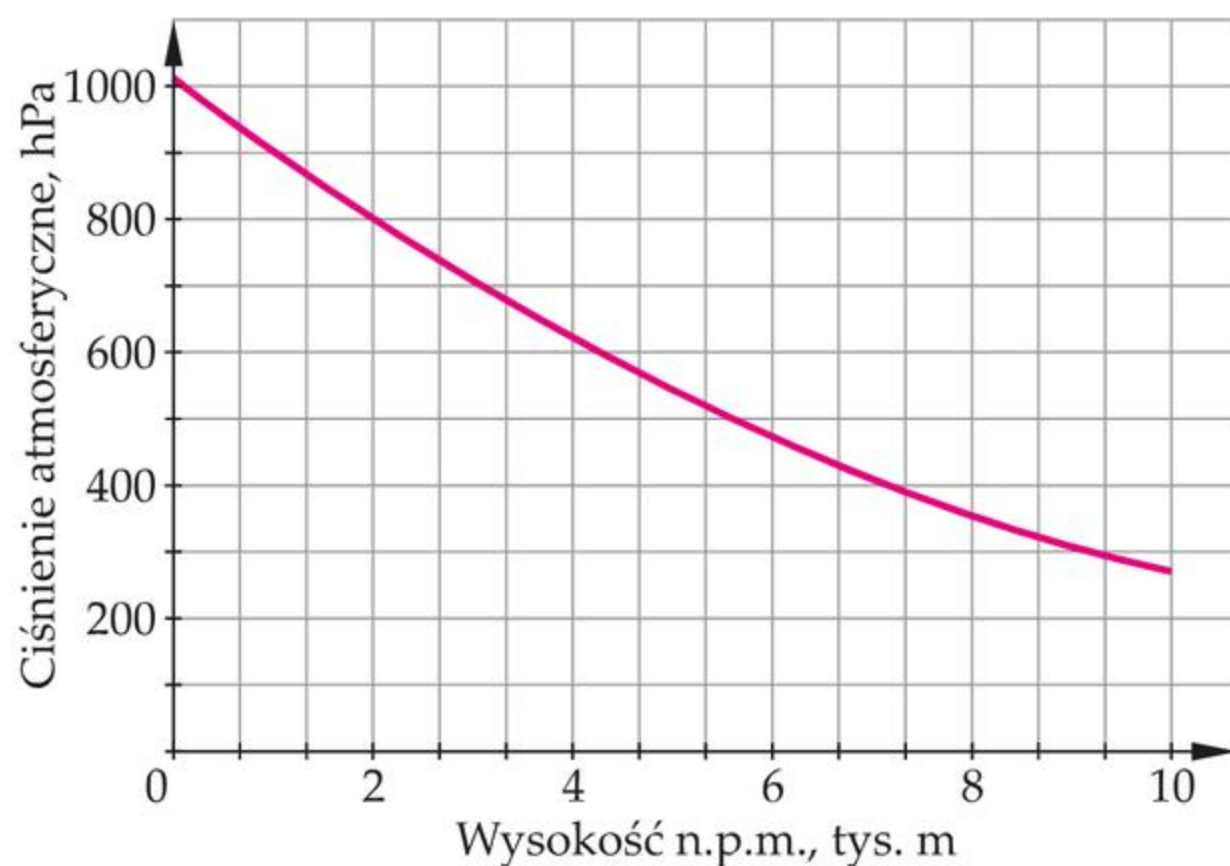
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



1. Wykres przedstawia zależność średniego ciśnienia powietrza od wysokości nad poziomem morza.

Korzystając w razie potrzeby z map lub podręczników geografii, podaj średnie ciśnienie:

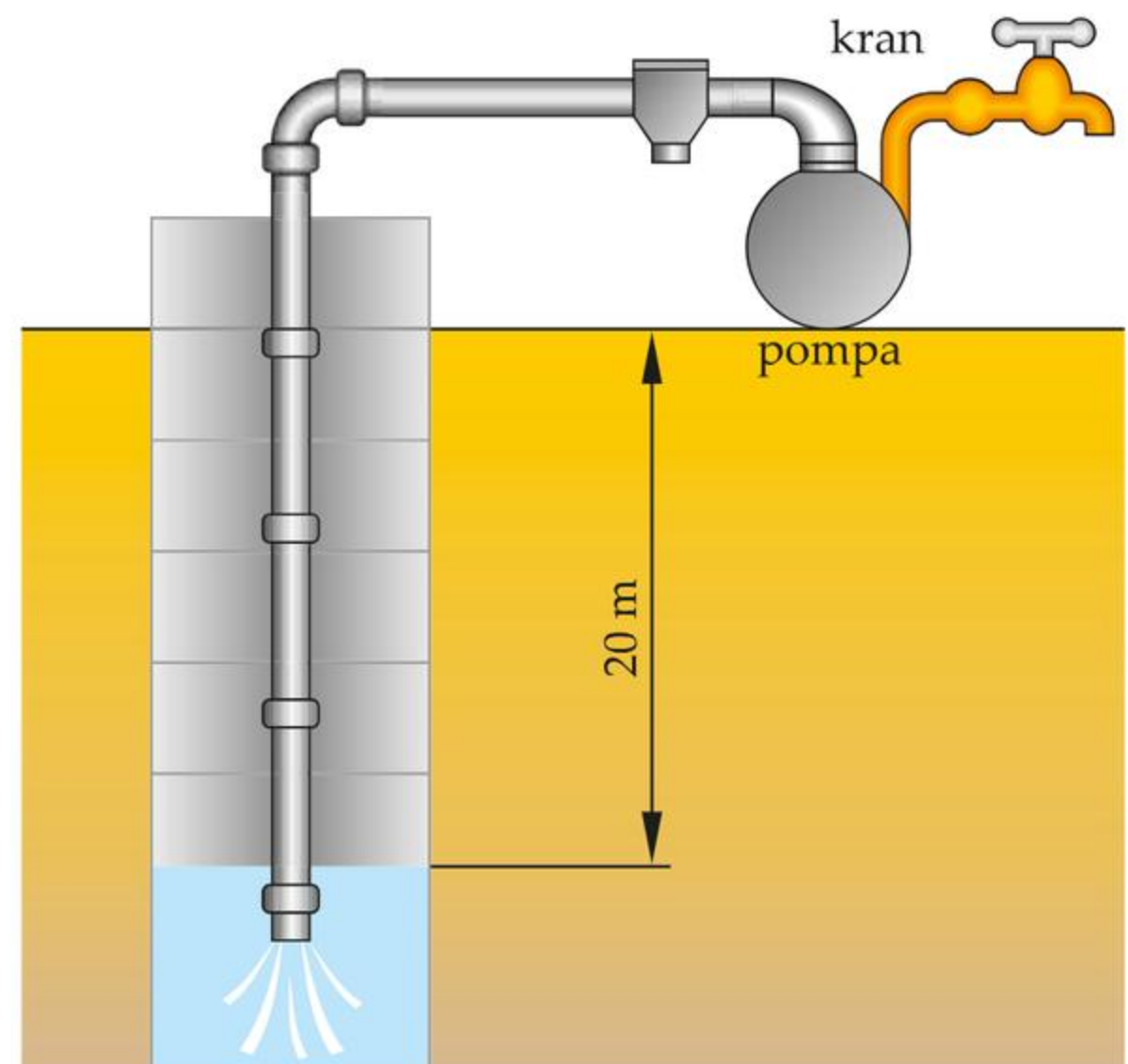
- | | |
|---------------------|-------------------|
| a) w Warszawie, | d) na Giewoncie, |
| b) w Zakopanem, | e) na Mont Blanc, |
| c) na Babiej Górze, | f) na K2. |



2. Pewnego dnia ciśnienie powietrza wynosiło 990 hPa. Oblicz siłę, jaką powietrze naciskało na górną powierzchnię stołu o wymiarach 100 cm x 150 cm. Wyjaśnij, dlaczego stół nie załamuje się pod takim obciążeniem.

3. W prognozie pogody zapowiedziano – dla Warszawy ciśnienie 987 hPa, a dla Poznania 1008 hPa. Oceń, w którym z tych miast można się spodziewać lepszej pogody.

4. Wyjaśnij, dlaczego urządzenie przedstawione na rysunku poniżej nie może działać. Zastanów się, gdzie należałoby umieścić pompę, aby mogła pracować.



5. Wyjaśnij, na jakiej zasadzie działa przyssawka. Oblicz największą siłę odrywającą, jaką może wytrzymać przyssawka o powierzchni 2 cm².

6. Szybkwiar to zamykane szczelnie naczynie, w którym woda wrze pod podwyższonym ciśnieniem. Oceń, czy temperatura wody w takim naczyniu może być wyższa od 100°C. Dlaczego gotowanie w szybkwiarze trwa krócej niż w zwykłym garnku?



7. W 1657 r. fizyk i jednocześnie burmistrz Magdeburga Otto von Guericke [czyt. otto fon gerike] przeprowadził publicznie bardzo ciekawy eksperyment. Z dwu metalowych półkul złożył pustą w środku kulę. Półkule miały zawór, przez który burmistrz wypompował spomiędzy nich powietrze, oraz uchwyty, do których zaprzężono po osiem koni z każdej strony. Konie z wielkim trudem rozdzieliły półkule, choć przecież nie były one w żaden sposób przymocowane do siebie. Wyjaśnij, dlaczego rozdzielenie półkul było tak trudne. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

Doświadczenia

Co się stanie z wodą?

Co się stanie, gdy do rurki przyrządu przedstawionego na zdjęciu nadmuchamy powietrza, a potem odsuniemy głowę od butelki? Spróbuj to przewidzieć, a potem sprawdź doświadczalnie. Szczelinę między słomką a nakrętką uszczelnij plasteliną.

Dziurawy karton

Zrób mały otwór w denku kartonu soku. Czy sok wypływa przez niego z kartonu? Co zrobić (nie powiększając otworu), aby sok zaczął płynąć?





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma związku ze stopniem trudności.

1. Gęstość to masa jednostki objętości substancji. Obliczamy ją, dzieląc masę przez objętość:

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

2. Ciśnienie określa, jaka siła działa na jednostkę powierzchni. Obliczamy je, dzieląc wartość siły przez powierzchnię: $p = \frac{F}{S}$. Jednostką ciśnienia jest paskal ($1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$).

3. W naczyniach połączonych ciecz zawsze dąży do wyrównania poziomów, nawet jeśli naczynia mają różny kształt i różną szerokość. Dzieje się tak dlatego, że ciśnienie hydrostatyczne zależy tylko od gęstości i wysokości słupa cieczy. Obliczamy je ze wzoru:

$$p = d \cdot g \cdot h$$

4. Prawo Pascala: ciśnienie wywierane z zewnątrz na ciecz lub gaz jest przekazywane równomiernie we wszystkich kierunkach. Znając prawo Pascala, możemy budować urządzenia hydrauliczne, np. prasy hydrauliczne i hamulce samochodowe.

5. Prawo Archimedesesa: na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu. Jest ona skierowana ku górze i ma taką samą wartość, jak ciężar cieczy wypartej przez to ciało. Siła wyporu działa także na ciało zanurzone w gazie.

6. Gdy gęstość ciała jest większa niż gęstość cieczy, w której ciało zanurzono, siła wyporu nie równoważy siły ciężkości działającej na ciało i ciało tonie. Gdy gęstości są równe, siły te się równoważą i ciało może pływać zanurzone w cieczy, nie wynurzając się i nie tonąc. Gdy ciało ma mniejszą gęstość niż ciecz, siła wyporu przeważa i ciało wypływa na powierzchnię. Gdy unosi się na powierzchni, zanurzona jest tylko jego część i dlatego siła wyporu jest mniejsza.

7. Powietrze wywiera na powierzchnię Ziemi i wszystko, co się na niej znajduje, ciśnienie około 1000 hPa. Nazywamy je ciśnieniem atmosferycznym. W górach ciśnienie jest mniejsze, gdyż niższy jest słup powietrza. Ciśnienie powietrza zmienia się codziennie. Zwykle wysokie ciśnienie zapowiada ładną pogodę.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To musisz umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–10. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Co ma większą masę: 1 kg żelaza czy 1 kg pierza?

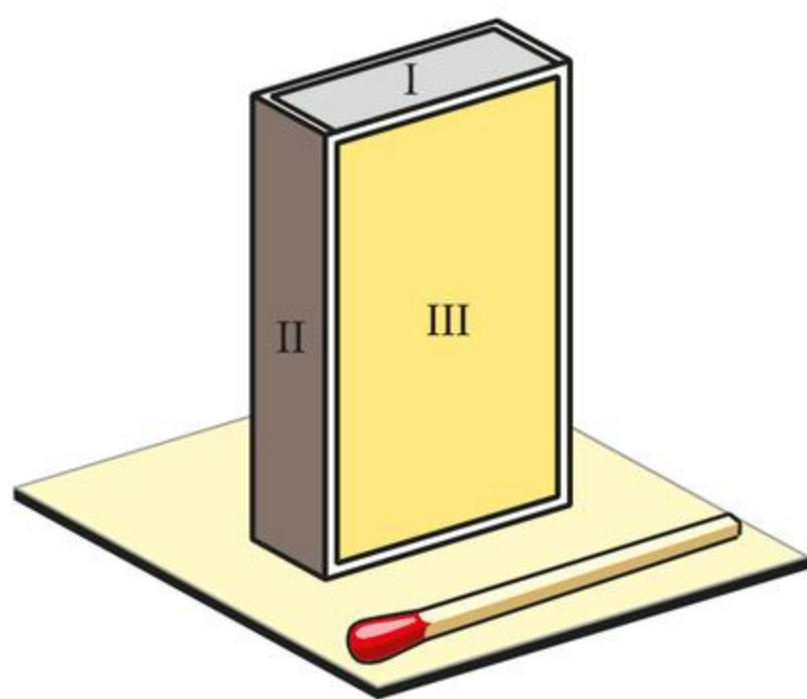
- A. 1 kg żelaza.
- B. 1 kg pierza.
- C. Mają tę samą masę.
- D. To zależy od gatunku pierza.

2. Co ma większą objętość: 1 kg żelaza czy 1 kg pierza?

- A. 1 kg żelaza.
- B. 1 kg pierza.
- C. Mają tę samą objętość.
- D. To zależy od gatunku pierza.

3. Na której ścianie należy położyć pudełko od zapalek, aby wywierało największe ciśnienie na podłoże, a na której, aby ciśnienie było najmniejsze?

- A. Najmniejsze na I, największe na III.
- B. Najmniejsze na I, największe na II.
- C. Największe na I, najmniejsze na II.
- D. Największe na I, najmniejsze na III.



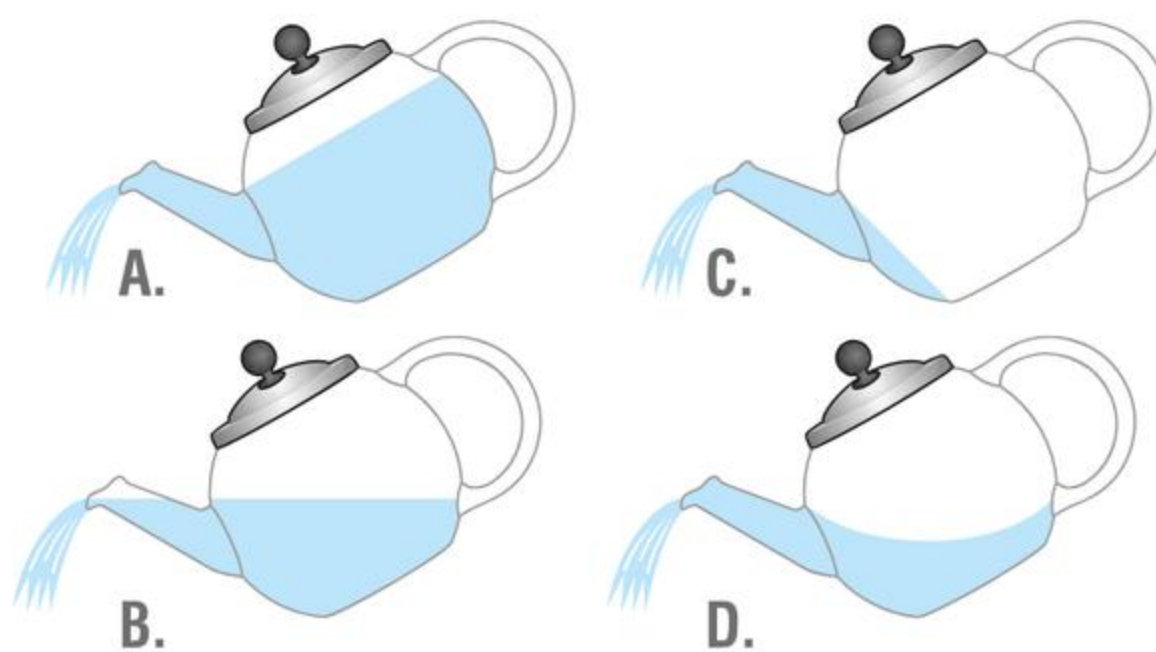
4. Narciarz ma masę 80 kg. Powierzchnia obu jego nart wynosi $0,8 \text{ m}^2$. Ciśnienie, jakie ten narciarz wywiera na śnieg, jest równe w przybliżeniu

- A. 100 Pa.
- B. 1000 Pa.
- C. 0,001 Pa.
- D. 6,4 Pa.

5. Czy istnieje metal, który pływa po wodzie?

- A. Tak, jest to lit.
- B. Tak, jest to rtęć.
- C. Tak, jest to cyna.
- D. Nie istnieje.

6. Który z rysunków poprawnie przedstawia poziom wody wewnątrz czajnika?



7. Jacht razem z załogą i ładunkiem ma masę 300 kg. Jaką masę ma woda wyparta przez ten jacht?

- A. Więcej niż 300 kg.
- B. 300 kg.
- C. Mniej niż 300 kg.
- D. Nie wiadomo.

8. Kostka aluminium i identycznej objętości kostka żelaza leżą na dnie szklanki z wodą. Na którą z nich działa większa siła wyporu?

- A. Na aluminium.
- B. Na żelazną.
- C. Siły wyporu są równe.
- D. To zależy od objętości kostek.

9. Średnie ciśnienie atmosferyczne wynosi około

- A. 100 Pa.
- B. 10 000 Pa.
- C. 1000 Pa.
- D. 100 000 Pa.

10. W wysokich górach

- A. woda wrze w temperaturze niższej niż 100°C .
- B. woda wrze w temperaturze równej 100°C .
- C. woda wrze w temperaturze wyższej niż 100°C .
- D. woda w ogóle nie wrze.

Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**Dobrze, jeśli to umiesz**

Uwaga. W zadaniach 1.–9. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Masa lodu o objętości 50 cm^3 wynosi

- A. 46 g.
- B. 50 g.
- C. 54 g.
- D. 184 g.

2. Masa 5 litrów spirytusu wynosi

- A. 3,95 kg.
- B. 39,5 kg.
- C. 6,33 kg.
- D. 63,3 kg.

3. Oceń, który zestaw przyrządów pozwoli ci wyznaczyć gęstość plastikowej piłeczki.

- A. linijka, stoper, suwmiarka
- B. linijka, waga laboratoryjna
- C. suwmiarka, linijka
- D. stoper, waga laboratoryjna

4. Tona benzyny ma objętość około

- A. 1400 l.
- B. 140 l.
- C. 720 l.
- D. 7200 l.

5. Rower, który (nieobciążony) wywiera na drogę ciśnienie 200 kPa, a styka się z nią powierzchnią 6 cm^2 , ma masę około

- A. 3 kg.
- B. 1,2 kg.
- C. 30 kg.
- D. 12 kg.

6. Zbiornik o głębokości 5 cm jest wypełniony rtęcią. Ciśnienie rtęci na dno wynosi

- A. 7 Pa.
- B. 70 Pa.
- C. 700 Pa.
- D. 7000 Pa.

7. Na które z ciał działa większa siła wyporu: na zatopiony okręt czy na szalupę pływającą po morzu?

- A. Na okręt, bo ma większą objętość.
- B. Na szalupę, bo ma mniejszą objętość.
- C. Na szalupę, bo pływa po wodzie.
- D. Na okręt, bo zatonął.

8. Dużą metalową nakrętkę zaczepiliśmy o haczyk siłomierza. Przyrząd wskazał 0,8 N. Następnie zanurzyliśmy nakrętkę w wodzie, nie zdejmując jej z haczyka. Siłomierz wskazał 0,7 N. Siła wyporu działająca na zanurzoną nakrętkę wynosi

- A. 0,8 N.
- B. 0,1 N.
- C. 0,7 N.
- D. 1,5 N.

9. Płaski dach budynku ma powierzchnię 200 m^2 . Jeśli ciśnienie atmosferyczne wynosi 1000 hPa, nacisk powietrza na ten dach jest równy ciężarowi ciała o masie około

- A. 2 kg.
- B. 2000 t.
- C. 2000 kg.
- D. 2 000 000 t.

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

**To warto umieć**

Uwaga. W zadaniach 1.–9. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Ołowiany prostopadłościan o wymiarach 10 cm x 10 cm x 20 cm postawiony na najmniejszej ścianie wywiera na podłożu ciśnienie

- A. 2000 Pa.
- B. 2,2 Pa.
- C. 22 kPa.
- D. 20 Pa.

2. Metr sześcienny ziemniaków ma masę około 750 kg. Ziemniaki toną w wodzie. Jak to wyjaśnić?

- A. Woda ma gęstość mniejszą niż $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- B. Prawo Archimedes'a nie sprawdza się w wypadku ziemniaków.
- C. Gęstość pojedynczego ziemniaka jest większa niż gęstość wody, ale w metrze sześciennym ziemniaków część objętości zajmuje powietrze.
- D. Sama nazwa ziemniaków wskazuje, że powinny tonąć, w przeciwnym razie nazywałyby się „wodniakami”.

3*. Jak zmieniłoby się zanurzenie statku pływającego po wodzie, gdyby siła przyciągania ziemskiego zmniejszyła się dwukrotnie?

- A. Statek byłby bardziej zanurzony.
- B. Statek byłby mniej zanurzony.
- C. Zanurzenie by się nie zmieniło.
- D. To zależy od typu statku.

4. Kawałek drewna o ciężarze 2 N pływa po wodzie zanurzony do 60% objętości. Jaka siła wyporu działa na ten kawałek drewna?

- A. 0,8 N
- B. 1,4 N
- C. 2 N
- D. 3,33 N

5. Przy ładnej pogodzie

- A. woda na herbatę nieco krócej podgrzewa się do zagotowania, ale za to ziemniaki gotują się dłużej niż przy brzydkiej pogodzie.
- B. woda na herbatę nieco dłużej podgrzewa się do zagotowania, ale za to ziemniaki gotują się krócej niż przy brzydkiej pogodzie.
- C. gotowanie ziemniaków i herbaty trwa nieco krócej.
- D. gotowanie ziemniaków i herbaty trwa nieco dłużej.

6. Stalową kostkę powieszoną na siłomierzu zanurzano po kolei w kilku cieczach. Przy której z nich siłomierz wskaże najmniejszą wartość siły?

- A. W alkoholu.
- B. W benzynie.
- C. W wodzie.
- D. W glicerynie.

7. Aluminiowy odważnik o masie 2 kg zatopiono w wodzie. Jaką masę ma woda wyparta przez ten odważnik?

- A. Dokładnie 2 kg.
- B. Mniej niż 2 kg.
- C. Więcej niż 2 kg.
- D. To zależy od głębokości, na jakiej znajduje się odważnik.

8. W menzurce było 50 cm^3 wody. Po wrzuceniu do niej metalowej śruby poziom wody podniósł się do kreski oznaczającej 70 cm^3 . Jakich jeszcze informacji potrzeba, aby wyznaczyć siłę wyporu działającą na tę śrubę?

- A. Potrzebna jest znajomość masy śruby.
- B. Potrzebna jest znajomość gęstości metalu, z którego wykonano śrubę.
- C. Potrzebna jest znajomość długości śruby.
- D. Nic więcej nie potrzeba – podane wyżej informacje wystarczą.

9. Metalową śrubę powiesiliśmy na siłomierzu, przymocowując ją do haczyka za pomocą plasteliny. Następnie odczytaliśmy wskazanie siłomierza, gdy śruba wisiała swobodnie na siłomierzu i gdy wisiała na nim zanurzona w wodzie. Ustal, czy na tej podstawie można wyznaczyć siłę wyporu.

- A. Tak, jest ona równa pierwszemu z wymienionych wskazań siłomierza.
- B. Tak, jest ona równa drugiemu z wymienionych wskazań siłomierza.
- C. Tak, jest ona równa różnicy wskazań siłomierza.
- D. Nie, trzeba najpierw zmierzyć ciężar użytej plasteliny.

Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie



Świetnie, jeśli to umiesz

1. Jak wysoki jest słup wody, który wywiera na dno ciśnienie 200 kPa?
2. W jednej z dwóch identycznych menzurek po wodzie pływa kawałek drewna, w drugiej znajduje się sama woda. W obu poziom wody jest taki sam. Która z menzurek wraz z zawartością ma większą masę?
3. Oblicz wysokość słupa cieczy w doświadczeniu Torricellego, gdyby zamiast wody lub rtęci użyto oleju słonecznikowego.

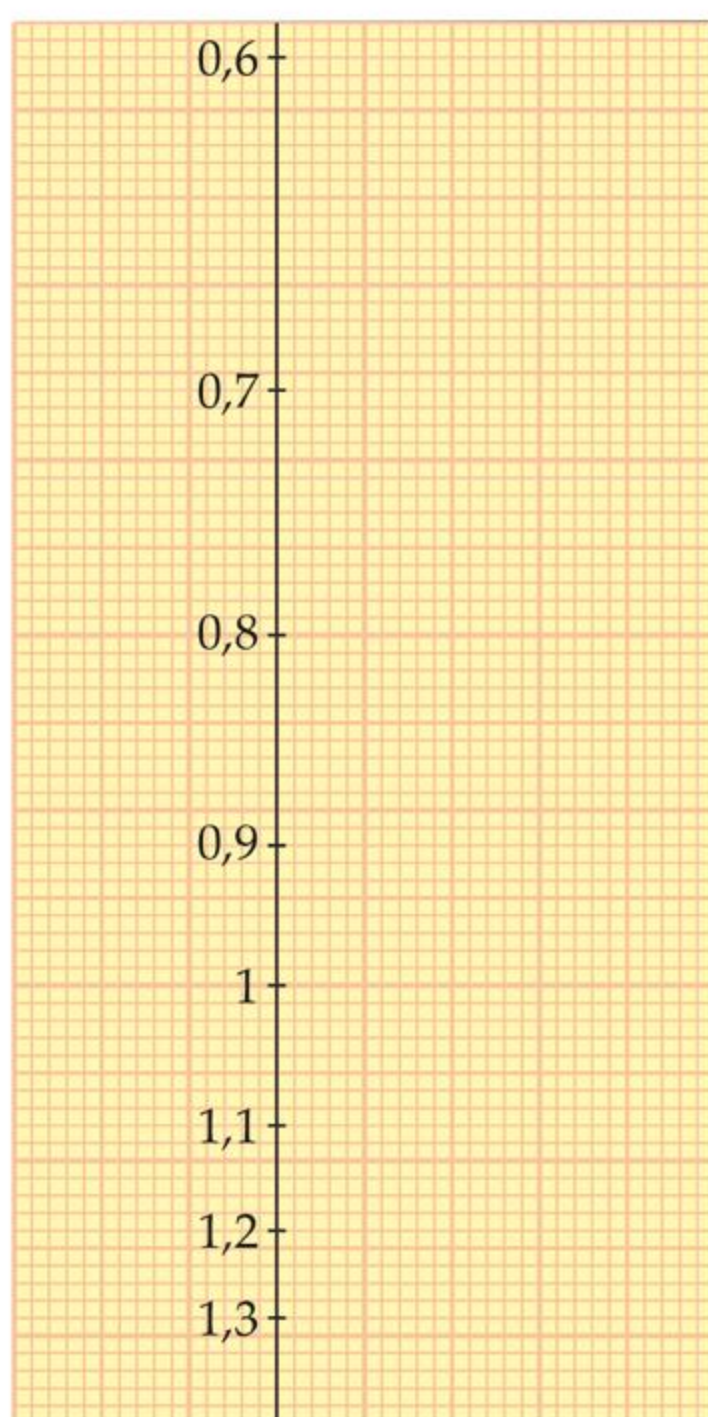
4. W stojącej na wadze filiżance z wodą zanurzamy woreczek herbaty ekspresowej. Oceń, czy wskazanie wagi się zmieni, gdy woreczek jest zanurzony, ale ciągle trzymamy go za sznurek. Odpowiedź uzasadnij.

5. Odpowiedz na pytania.

- a) Do jakiej wysokości sięgałaby atmosfera, gdyby powietrze miało wszędzie taką samą gęstość, jak przy powierzchni Ziemi?
- b) Im wyżej, tym powietrze ma mniejszą gęstość. Czy wobec tego wynik otrzymany w punkcie a) jest niższy czy wyższy od rzeczywistej grubości atmosfery?



Praca badawcza



Areometr

Gęstość cieczy można wyznaczyć, mierząc masę i objętość jej próbki. Można jednak także zbudować przyrząd do bezpośredniego pomiaru gęstości cieczy. Nazywa się on areometrem. Wystarczy do tego słomka do napojów (niewyginana), świeczka i trochę plasteliny.

1. Włóż końcówkę słomki do roztopionej stearyny, wyjmij i poczekaj, aż stearyna zastygnie. Dmuchając do przeciwnego końca słomki, sprawdź, czy słomka jest dokładnie zamknięta.
2. Obciąż zamkniętą końcówkę plasteliną, tak aby słomka pływała w wodzie pionowo.
3. Zanurz słomkę w denaturacie i zaznacz zanurzenie (np. niebieską kreską). Pamiętaj, że denaturat jest silną trucizną!
4. Zanurz słomkę w wodzie i znowu zaznacz zanurzenie (np. czerwoną kreską).
5. Czerwona kreska odpowiada gęstości $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Niebieska kreska odpowiada gęstości około $0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ (taka jest gęstość denaturatu).
6. Pora na zaznaczenie pozostałych kresek. Ale uwaga: odstęp między nimi nie są równe. Na ilustracji obok widzisz skalę przygotowaną dla areometru, w którym kreski „0,8” i „1,0” są oddalone o 2 cm. Zmierz odległość na swoim przyrządzie i proporcjonalnie zmień odległości między pozostałymi kreskami.
7. Przyrząd jest gotowy. Zmierz za jego pomocą gęstość mleka (czy potrafisz zgadnąć, ile mniej więcej wynosi?), oleju, nafty i innych cieczy. Sprawdź, jak zmienia się gęstość wody w miarę rozpuszczania w niej soli lub cukru.

TABLICA 1. Wielkości fizyczne występujące w podręczniku i ich jednostki

Wielkość	Symbol	Definicja lub opis	Wzór	Jednostka	Symbol jednostki
Długość	l	Wielkość podstawowa.		metr	m
Droga	s	Długość trasy, którą przebyło ciało.		metr	m
Masa	m	Wielkość podstawowa.		kilogram	kg
Czas	t	Wielkość podstawowa.		sekunda	s
Siła	F	Jak silnie ciała na siebie oddziałują.		niuton	N
Siła ciężkości	Q	Siła, którą Ziemia przyciąga ciało.	$Q = m \cdot g$		
Prędkość	v	Jaką drogę przebędzie ciało w ciągu sekundy.	$v = \frac{s}{t}$	metr na sekundę	$\frac{m}{s}$
Przyspieszenie	a	Jak szybko zmienia się prędkość ciała; o ile zmieni się prędkość ciała w ciągu sekundy.	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	metr na sekundę kwadrat*	$\frac{m}{s^2}$
Praca	W		$W = F \cdot s$	dżul	$J = N \cdot m$
Energia	E	Miara zdolności do wykonania pracy.		dżul	$J = N \cdot m$
Moc	P	Praca wykonana w jednostce czasu.	$P = \frac{W}{t}$	wat	$W = \frac{J}{s}$
Temperatura	t			kelwin	K
				stopień Celsjusza	°C
				stopień Fahrenheita	°F
Ciepło właściwe	c	Energia potrzebna do podgrzania 1 kg danej substancji o 1°C.	$c = \frac{E}{m \cdot \Delta t}$	dżul na kilogram i na stopień Celsjusza	$\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$
Ciepło topnienia	c_t	Energia potrzebna do stopienia 1 kg danej substancji.	$c_t = \frac{E}{m}$	dżul na kilogram	$\frac{J}{kg}$
Ciepło parowania	c_p	Energia potrzebna do zmiany 1 kg cieczy w parę.	$c_p = \frac{E}{m}$	dżul na kilogram	$\frac{J}{kg}$
Gęstość	d	Masa jednostki objętości (np. 1 m ³) danej substancji.	$d = \frac{m}{V}$	kilogram na metr sześcienny	$\frac{kg}{m^3}$
Ciśnienie	p	Siła nacisku na jednostkę powierzchni.	$p = \frac{F}{S}$	paskal	$Pa = \frac{N}{m^2}$

* $\frac{m}{s^2}$ to skrót zapisu $\frac{\frac{m}{s}}{s}$ (metr na sekundę na sekundę).



TABLICA 2. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Znaczenie	Przykłady
G	<i>giga</i>	1 000 000 000	1 GW (gigawat) = 1 000 000 000 W
M	<i>mega</i>	1 000 000	1 MHz (megaherc) = 1 000 000 Hz
k	<i>kilo</i>	1000	1 kN (kiloniuton) = 1000 N
h	<i>hekto</i>	100	1 hl (hektolitr) = 100 l
da	<i>deka</i>	10	1 dag (dekagram) = 10 g
d	<i>decy</i>	$\frac{1}{10}$	1 dm (decymetr) = $\frac{1}{10}$ m
c	<i>centy</i>	$\frac{1}{100}$	1 cm (centymetr) = $\frac{1}{100}$ m
m	<i>mili</i>	$\frac{1}{1000}$	1 mg (miligram) = $\frac{1}{1000}$ g
μ	<i>mikro</i>	$\frac{1}{1\,000\,000}$	1 μ m (mikrometr) = $\frac{1}{1\,000\,000}$ m
n	<i>nano</i>	$\frac{1}{1\,000\,000\,000}$	1 nm (nanometr) = $\frac{1}{1\,000\,000\,000}$ m

TABLICA 3. Ciepło właściwe substancji

Substancja	Ciepło właściwe, $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Ciała stałe	
Cegła	850
Lód	2100
Ołów	130
Miedź	380
Piasek	800
Szkło	670
Złoto	130
Żelazo	450
Ciecze	
Alkohol etylowy	2400
Kwas siarkowy	1400
Rtęć	140
Woda	4200

TABLICA 4. Masy polskich monet

Nominał	Masa
1 gr	1,64 g
2 gr	2,13 g
5 gr	2,59 g
10 gr	2,51 g
20 gr	3,22 g
50 gr	3,94 g
1 zł	5,00 g
2 zł	5,21 g
5 zł	6,54 g

Uwaga. Moneta ma podaną masę w chwili wyjścia z mennicy. Po dłuższym użyciu może się nieco zetrzeć, co powoduje zmniejszenie jej masy. Jako odważników trzeba więc użyć nowych monet. Źródło: Narodowy Bank Polski (www.nbp.gov.pl).

TABLICA 5. Gęstość substancji*

Substancja	Gęstość	
	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{litr}}$)	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Gazy		
Dwutlenek węgla	0,0018	1,8
Hel	0,00016	0,16
Metan	0,00072	0,72
Powietrze	0,0012	1,2
Tlen	0,0013	1,3
Wodór	0,00008	0,08
Ciecze		
Aceton	0,79	790
Alkohol etylowy (spiryтус)	0,79	790
Benzyna (średnio)	0,72	720
Gliceryna	1,3	1 300
Olej słonecznikowy	0,92	920
Rtęć	14	14 000
Woda	1	1 000
Woda słona (z oceanu – zasolenie 3,5%)	1,03	1030
Ciała stałe		
Aluminium (glin)	2,7	2 700
Cyna	7,3	7 300
Lit (najlżejszy metal)	0,53	530
Lód	0,92	920
Miedź	9	9 000
Ołów	11	11 000
Srebro	11	11 000
Stal (średnio)	7,8	7 800
Szkło (średnio)	2,4	2 400
Platyna	21	21 000
Złoto	19	19 000
Żelazo	7,9	7900

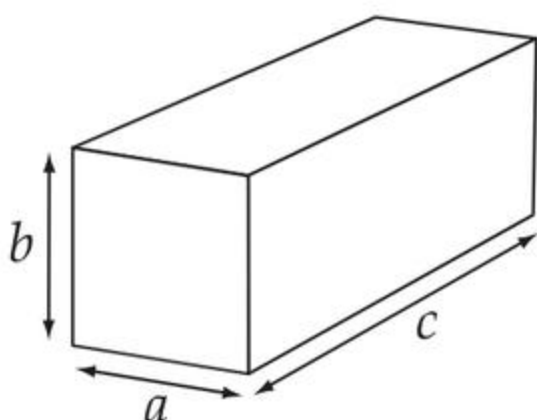
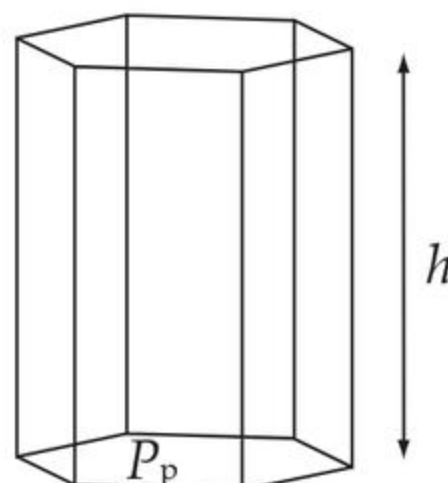
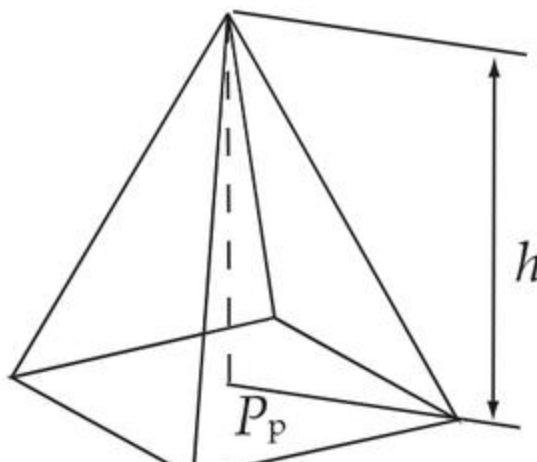
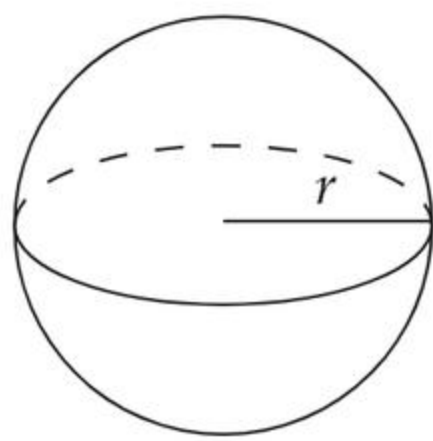
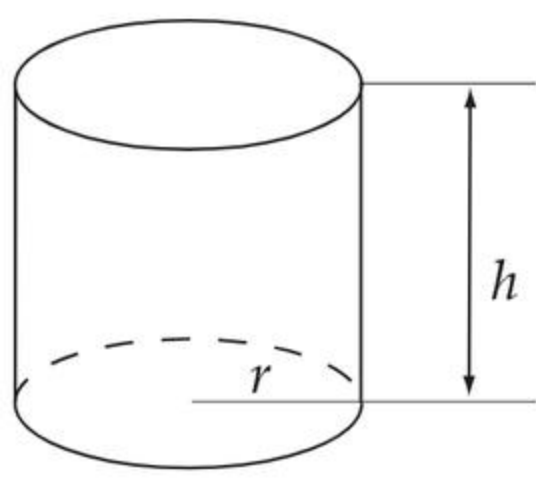
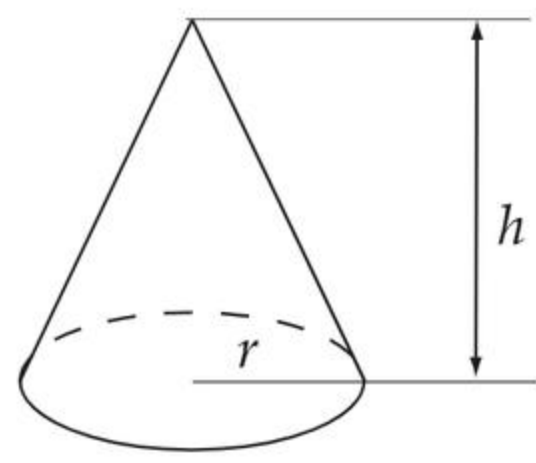
Źródło: Tablice fizyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995. Dane zaokrąglono do dwóch cyfr znaczących.

* Gęstości substancji podano w temperaturze pokojowej i pod ciśnieniem 1013 hPa.

TABLICA 6. Temperatura topnienia i temperatura wrzenia oraz ciepło topnienia i ciepło parowania

Substancja	Temperatura topnienia, °C	Ciepło topnienia, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Temperatura wrzenia, °C	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
<i>Alkohol etylowy</i>	−115	110	78	960
<i>Rtęć</i>	−39	12	357	290
<i>Woda</i>	0	330	100	2300
<i>Gliceryna</i>	18	200	290	670
<i>Ołów</i>	328	25	1756	860
<i>Miedź</i>	1085	206	2570	4700
<i>Żelazo</i>	1538	270	2800	6300
<i>Wolfram</i>	3420	180	5700	5000

TABLICA 7. Wzory na obliczanie objętości niektórych brył

Prostopadłościan	Graniastosłup	Ostrosłup
 $V = a \cdot b \cdot c$	 $V = P_p \cdot h$	 $V = \frac{1}{3} P_p \cdot h$
Kula	Walec	Stożek
 $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$	 $V = \pi r^2 \cdot h$	 $V = \frac{1}{3} \pi r^2 \cdot h$

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych

s. 15

Zadanie 1.

- a) 2000 m; 3200 m; 270 m; 5020 m;
b) 500 cm; 30 cm; 2007 cm; 1,5 cm;
c) 708 mm; 670 mm; 140 mm; 0,65 mm.

Zadanie 3.

- a) w milimetrach, z dokładnością do 1 mm;
c) w metrach, z dokładnością do 1 m.

s. 19

Zadanie 2. 12 t; 870 cm; 1,5 t; 700 kg.

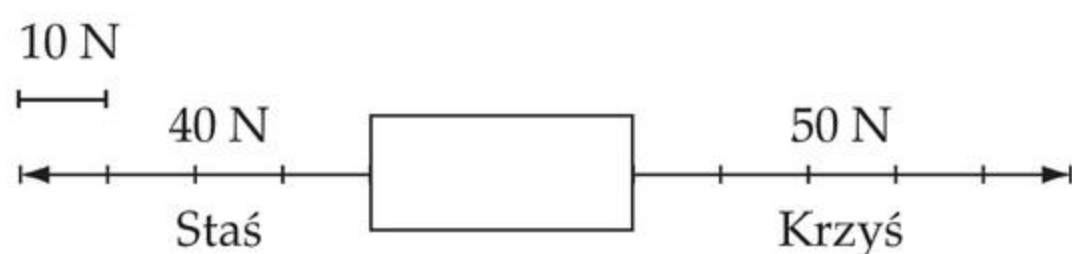
Zadanie 4. 3,2 s.

s. 22

Zadanie 4.

$F_2 = 5 \text{ N}$, $F_3 = 15 \text{ N}$, $F_4 = 20 \text{ N}$, $F_5 = 20 \text{ N}$,
 $F_6 = 25 \text{ N}$, $F_7 = 5 \text{ N}$, $F_8 = 30 \text{ N}$.

Zadanie 5.



s. 24

Zadanie 1. a) 210 N; b) 50 N do tyłu.

Zadanie 2. 1300 N.

Zadanie 3. 450 N.

Zadanie 5.

a) dla sił w lewo: $F_1 = 100 \text{ N}$
 $F_3 = 50 \text{ N}$

dla siły w prawo: $F_2 = 50 \text{ N}$

siła wypadkowa: $F_w = 100 \text{ N}$

b) dla sił w lewo: $F_1 = 150 \text{ N}$
 $F_4 = 100 \text{ N}$

dla sił w prawo: $F_2 = 50 \text{ N}$

$F_3 = 50 \text{ N}$

siła wypadkowa: $F_w = 150 \text{ N}$

s. 27

Zadanie 2.

a) $F_w = 40 \text{ N}$; b) $F_w = 60 \text{ N}$; c) $F_w = 20 \text{ N}$.

Zadanie 4.

a) $F_w \approx 2,2 \text{ N}$; $\alpha \approx 27^\circ$;

b) $F_w \approx 3,6 \text{ N}$; $\alpha \approx 34^\circ$;

c) $F_w \approx 11,2 \text{ N}$; $\alpha \approx 27^\circ$.

Zadanie 5. 60 N.

s. 39

Zadanie 1.

a) droga przebyta w pierwszych dwóch sekundach ruchu to 1 m; droga przebyta w ostatnich dwóch sekundach ruchu to 1 m;

b) droga przebyta w pierwszych dwóch sekundach to 2 m; droga przebyta w ostatnich 2 sekundach to 3 m.

Zadanie 2.

a) wycieczka trwała od 11⁰⁰ do 15⁰⁰, czyli 4 godziny;

b) do godziny 14⁰⁰ rowerzysta przejechał 20 km;

c) między godziną 14⁰⁰ a 15⁰⁰ przejechał 5 km;

d) odpoczynek trwał pół godziny;

e) po odpoczynku rowerzysta jechał wolniej.

s. 42

Zadanie 1.

- a) $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; b) $2 \frac{\text{km}}{\text{min}}$;
c) $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; d) $500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadanie 2. 6 km.

Zadanie 3.

- a) 60 km; b) 12 km;
c) 1,5 m; d) 1,6 m.

Zadanie 5. 500 m.

s. 46

Zadanie 1. a) 2 h; b) 18 s; c) 2 min; d) 14,4 s.

Zadanie 2. a) 20 lat; b) 1,1 h; c) 3,3 s.

Zadanie 3.

- a) $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; b) ok. $58 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;
c) $1,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; d) ok. $0,05 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Zadanie 4. ok. 0,01 s.

Zadanie 5.

- a) ok. $8300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; b) ok. $240 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;
c) ok. $5,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; d) ok. $1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadanie 6. $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

s. 48–49**Zadanie 1.** $11 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$.**Zadanie 4.** ok. $14 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 5.** ok. $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**s. 53****Zadanie 1.** $52 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 3.**Thompson $9,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; Oleksiak $1,90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;Kipchoge $5,46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; Weertman $1,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 4.****a)** niebieskim; **b)** $75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;**c)** Średnia prędkość pociągów była taka sama i równa $75 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 5.**16 h; do Wetliny dojedziemy tego samego dnia o 21¹⁵.**Zadanie 6.** $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 7.** $73,3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**s. 56****Zadanie 1.**

Gdy podróżny w wagonie porusza się w stronę lokomotywy, wtedy względem ziemi porusza się z prędkością $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; gdy idzie w stronę końca pociągu, wtedy względem ziemi porusza się z prędkością $92 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Zadanie 3. 5 s.**Zadanie 4.** 2 h.**Zadanie 5.** $13 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 6.**Względem koparki: $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;względem ziemi: dolne $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, górne $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**s. 60****Zadanie 1.** $a_1 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $a_2 = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $a_3 = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**Zadanie 2.** **a)** $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **b)** $80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**Zadanie 4.** $2500 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**Zadanie 5.** **a)** $1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **b)** $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **c)** $3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**s. 64****Zadanie 1.** **a)** $-18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **b)** $-4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ **Zadanie 2.** **a)** $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; **b)** $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 3.** **a)** $250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; **b)** $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 4.** **a)** 17,4 s; **b)** 12,1 s.**Zadanie 5.** **a)** 20 s; **b)** 30 s.**s. 67****Zadanie 1.** **a)** $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; **b)** 25 m.**Zadanie 2.** ok. 0,7 mm.**Zadanie 3.** 30 m.**Zadanie 4.** **a)** 278 m; **b)** 222 m; **c)** 111 m.**Zadanie 5.** **a)** 10 m; **b)** 160 m.**Zadanie 6.** 3,6 km.**Zadanie 7.** 3 l.

Uwaga: W ciągu pierwszych 20 sekund przebędzie drogę 4 l. Czyli $4 \text{ l} - \text{l} = 3 \text{ l}$.

s. 70–71**Zadanie 1.****c)** Prędkość w pierwszej sekundzie wynosiła $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a w ostatniej $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;**d)** $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 3.** **c)** $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; **d)** $v_A = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i $v_C = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 5.** **b)** $a = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**Zadanie 6.** **b)** $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**s. 81****Zadanie 3.** **a)** $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **b)** $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; **c)** $16,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**Zadanie 4.** **a)** 16 N; **b)** 15 N; **c)** 0,03 N.**Zadanie 5.** **a)** $a = 10 \frac{\text{t}}{\text{z}^2}$; **b)** siła 5 F.**s. 84****Zadanie 1.** **b)** $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; **c)** 40 s.**Zadanie 2.**

dla masy 5 kg $F = 5 \text{ N}$; dla masy 8 kg $F = 6 \text{ N}$; dla masy 10 kg $F = 2,5 \text{ N}$.

Zadanie 3. $53,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.**Zadanie 4.** ok. 2,2 km.**s. 88****Zadanie 1.** **c)** 0,07 N; **d)** 30 kN.**Zadanie 2.** **a)** 3 dag; **d)** 2,5 t.

s. 91**Zadanie 3.** $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**Zadanie 4.** a) $0,3 \text{ s}$; b) 8 s ; c) $2,5 \text{ s}$; d) $8,3 \text{ s}$.**s. 95****Zadanie 4.** 600 N .**s. 113****Zadanie 1.** a) 150 J ; b) 3500 GJ .**Zadanie 3.** a) 3 m ; b) 10 m ; c) 5 cm .**Zadanie 4.** 50 kJ .**s. 122****Zadanie 1.**a) zwiększyła się o 30 J ;b) zmniejszyła się o 175 J ;c) zwiększyła się o $0,02 \text{ mJ}$;d) zwiększyła się o 400 kJ .**Zadanie 2.** a) 1 m ; b) 30 cm ; c) 1 cm .**Zadanie 3.**a) $Q = 4 \text{ N}$, $m = 0,4 \text{ kg}$;b) $Q = 25 \text{ N}$, $m = 2,5 \text{ kg}$.**Zadanie 5.** 35 J .**Zadanie 6.** 40 kJ .**s. 126****Zadanie 2.** a) 900 kJ ; b) 25 kJ .**Zadanie 3.**a) $562,5 \text{ J}$; b) $14,58 \text{ kJ}$; c) $13,5 \text{ kJ}$; d) $7,5 \text{ MJ}$.**Zadanie 4.** 180 m .**Zadanie 5.** a) 6250 N ; b) $-6,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.**s. 129****Zadanie 2.** 7 J .**Zadanie 3.** około 2 m .**s. 132–133****Zadanie 1.**a) $50\,000$ piorunów;b) 33 litry;c) ok. $2,9$ mln litrów.**Zadanie 4.**a) $240 \text{ kJ} - 1 \text{ km}$, $480 \text{ kJ} - 2 \text{ km}$; b) $10,5 \text{ km}$.**Zadanie 5.** a) $0,01 \text{ l}$; b) 0 l .**s. 137****Zadanie 1.** a) 20 W ; b) 250 W ; c) 500 W .**Zadanie 2.** a) 120 kJ ; b) $6 \text{ min } 40 \text{ s}$.**Zadanie 3.** $115,2 \text{ MJ}$.**Zadanie 4.** $0,43 \text{ kWh} = 1,5 \text{ MJ}$, 22 grosze.**Zadanie 5.** a) $0,52 \text{ mW}$; b) 2 W .**s. 141–142****Zadanie 1.**a) 12 N w dół; b) 2 N w górę; c) 16 N w dół;d) 6 N w górę.**Zadanie 3.** $1,5 \text{ N}$.**s. 147****Zadanie 3.** 300 N .**Zadanie 4.** 50 N .**s. 162****Zadanie 3.**a) np. -50°C ; b) np. 345°C ; c) np. 2000°C .**s. 170–171****Zadanie 1.** a) $10\,500 \text{ J}$; b) $22\,500 \text{ J}$; c) $336\,000 \text{ J}$.**Zadanie 2.** a) $0,12 \text{ kg}$; b) $0,07 \text{ kg}$.**Zadanie 4.** 21 GJ .**Zadanie 5.** $3 \text{ min } 9 \text{ s}$.**s. 175****Zadanie 1.** $6 \text{ min } 34 \text{ s}$.**Zadanie 2.** $11,1^\circ\text{C}$.**Zadanie 3.**różowy wykres odpowiada $100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$;niebieski wykres odpowiada $200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$;zielony wykres odpowiada $400 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.**Zadanie 4.** $2,5^\circ\text{C}$.**s. 185****Zadanie 4.** 825 kJ .**s. 188****Zadanie 2.** Tragiczny. Wyjaśnij dlaczego!**Zadanie 5.** 659 kJ .**Zadanie 6.**a) 24 MJ ; b) 100°C ; c) $10,5 \text{ MJ}$; d) ok. 4 kg .

s. 198–199

Zadanie 3. a) 3 cm^3 ; b) 50; c) $\frac{1}{4}$; d) 50; e) 8.

Zadanie 4.

a) np. $200 \text{ cm}^3 = 0,2 \text{ l}$;

b) np. $80 \text{ l} = 0,08 \text{ m}^3$;

c) np. $250 \text{ mm}^3 = 0,25 \text{ cm}^3$.

s. 202

Zadanie 2. a) $3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; b) $0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Zadanie 3. 351 g.

Zadanie 4. $0,13 \text{ cm}^3$.

Zadanie 6. a) 6 kg; b) 44 kg; c) 107 kg.

s. 206

Zadanie 2. $0,63 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Zadanie 4. $22,6 \text{ cm}^3$.

s. 209

Zadanie 2.

a) 5000 Pa; b) 1000 N; c) 0,1 kg.

Zadanie 5. ok. 13 cm.

s. 213–214

Zadanie 3. a) 2000 Pa; b) 2400 Pa; c) 790 Pa; d) 2160 Pa.

Zadanie 5. a) 19 m; b) 1,44 m; c) $1200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$.

Zadanie 6. $h_l = 17,7 \text{ cm}$; $h_p = 22,3 \text{ cm}$.

s. 217–218

Zadanie 3. 720 Pa.

Zadanie 4. 15 kN na jedną klepkę.

Zadanie 5. 1,5 N.

s. 222

Zadanie 3. a) 1 N; b) 87 mN.

Zadanie 6. a) 5 g; b) 0,05 N.

s. 225

Zadanie 1. 0,44 kg.

Zadanie 2. a) 113 kg; b) 800 N.

Zadanie 3. 1360 N.

Zadanie 4. $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Zadanie 5. $d = 9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, a więc prawdopodobnie tym metalem jest miedź.

Zadanie 6. ok. 48 g.

s. 229–230

Zadanie 2. 148,5 kN.

Zadanie 5. 20 N.

Indeks

A

analiza wykresów 38, 68
Archimedes 220
areometr 236
atomy 154

B

balon 221
barometr 228
bezwładność 28, 101
blok nieruchomy 146
Brown, Robert 156
bryza 182
budowa termometru 194

C

ciało 8
— bezpostaciowe 159, 184
— stałe 158
ciecz 158
ciekły kryształ 161
ciepło 166
— parowania 187, 240
— topnienia 184, 240
— właściwe 168, 238
ciężar 119
ciśnienie 207
— atmosferyczne 226
— hydrostatyczne 210
cyfry znaczące 17
cylinder miarowy 197
cząsteczka 154

D

dobry przewodnik ciepła 177
dokładność przyrządu 14
doświadczenie w fizyce 8
droga 36, 42, 65
druga zasada dynamiki 78, 82
dyfuzja 155
działania na jednostkach 44
dźwignia 138

— dwustronna 143
— jednostronna 143
dżul 111, 120

E

Einstein, Albert 156
elektrownie 131
energia 114
— chemiczna 115
— elektryczna 115
— jądrowa 115
— kinetyczna 114, 115, 123
— mechaniczna 127
— potencjalna grawitacji 114, 115, 118
— — sprężystości 115
— promieniowania 114, 115
— wewnętrzna 115, 164

F

Fahrenheit, Daniel 194
fizyka 9

G

Galileusz 15, 28, 90
gaz 158
gęstość 200, 203, 239
góra lodowa 224
Guericke, Otto von 230

H

hamulce samochodowe 216

I

izolacja cieplna 178, 180
izolator cieplny 177

J

jednostka 11, 237
— długości 12

— ciśnienia 207
— czasu 13
— energii 118, 124
— gęstości 200
— mocy 135, 136
— objętości 196
— pracy 111
— prędkości 41
— przyspieszenia 58
— siły 21, 80
— temperatury 164
Joule, James 111, 173

K

kaloria 130
kelwin 164
kierunek wektora 21
kilokaloria 130
kilowatogodzina 136
klocki hamulcowe 97
koło 97
kołowrót 145
konwekcja 180
koń mechaniczny 135
kryształ 159, 160, 184
krzepnięcie 159, 183

Ł

łożyska 97

M

masa 29, 85
maszyna parowa 135
maszyny proste 143
menzurka 197
meteor 117
metr 12
mieszanina oziębiająca 184
moc 134

N

naczynia połączone 210
 napięcie powierzchniowe 156
 nartnik 156
 Newton, Izaak 28
 niedokładność przyrządu 14
 niepewność pomiaru 14
 niuton 21, 80
 nożyczki 144

O

objętość 196, 240
 odczuwanie ciepła i zimna 177
 odrzut 94
 Olszewski, Karol 187
 opory ruchu 28, 29, 96
 opór powietrza 90

P

parowanie 159, 186
 Pascal, Blaise 208, 216
 paskal 207
 perpetuum mobile 117
 pierwsza zasada dynamiki 28, 78
 pływanie ciał 220
 pomiary 11
 — długości 16
 poziom 121
 praca 110
 prasa hydrauliczna 216
 prawa fizyki 9
 prawo Archimedesesa 219, 220
 — dźwigni 139
 — Pascala 215
 prędkość 40, 44
 — chwilowa 51
 — końcowa, obliczanie 62
 — średnia 51
 — względna 54
 prędkościomierz 47, 49, 51
 promieniowanie cieplne 181
 przedrostki 12, 238
 przekształcanie wzorów 43
 przemiany energii 116, 127
 przerzutka roweru 146

przewodnictwo cieplne 176
 przewodnik ciepła 177
 przyspieszenie 57, 61, 63
 — grawitacyjne 89
 — ziemskie 89
 punkt przyłożenia wektora 21

R

rakieta wodna 34
 ramię dźwigni 138
 reguła równoległoboku 25
 resublimacja 159
 rozmiary 12
 równia pochyła 152
 ruch 36
 — jednostajny prostoliniowy 40
 — po okręgu 101
 — prostoliniowy jednostajnie opóźniony 61, 62
 — — — przyspieszony 57, 61
 ruchy Browna 156

S

sekunda 13
 siła 20
 — akcji 92
 — ciężkości 85
 — odśrodkowa 101
 — pozorną 101
 — reakcji 92, 94
 — wypadkowa 23, 25
 — wyporu 219
 siłomierz 20, 21
 siły równoważące się 23, 29
 — składowe 26
 — spójności 155
 skala Celsjusza 163
 — Fahrenheita 164
 — Kelvina 164
 skraplanie 159, 186
 skrzynia biegów 146
 Smoluchowski, Marian 156
 spadające gwiazdy 117
 spadek swobodny 89
 stan skupienia 158

stopień Celsjusza 163, 164
 stopień Kelvina 164
 sublimacja 159
 suwmiarka 14
 szacowanie wyniku obliczeń 52
 — — pomiaru 17
 szybkowar 229

Ś

środek ciężkości 108

T

taczka 144
 tarcie 96
 — kinetyczne 96, 97
 — statyczne 96
 temperatura 163, 164
 — krzepnięcia 183
 — topnienia 160, 240
 — wrzenia 160, 228, 240
 termometr 163
 tor 36
 topnienie 159, 183
 Torricelli, Evangelista 226
 trzecia zasada dynamiki 92

U

układ SI (Międzynarodowy Układ Jednostek Miar) 14
 urządzenia hydrauliczne 216

W

waga 87, 88, 140
 wartość energetyczna pożywienia 130
 — wektora 21
 wat 135
 Watt, James 135
 wektor 21
 wielkość fizyczna 11
 — wektorowa 21, 40, 58, 61
 wielokrotności jednostek 238
 wieża ciśnień 210
 Wróblewski, Zygmunt 187

wrzenie 187, 228
wykres 38, 68
wykres zależności ciśnienia od
wysokości słupa cieczy 212
— — drogi od czasu 38, 66, 68
— — prędkości od czasu 68
— — zmiany temperatury od
dostarczonej energii 183, 187
wyznaczanie prędkości 47
względność prędkości 54
— ruchu 36, 54
wzory na objętość 240
wzór na ciśnienie 207
— — hydrostatyczne 212
— czas 43
— drogę 42, 65
— energię 168
— energię kinetyczną 124
— gęstość 200
— moc 135
— pracę 110
— prędkość 41
— — średnią 51
— przyrost energii potencjalnej
grawitacji 120
— przyspieszenie 59, 79
— siłę 80
— siłę ciężkości 85

Z

zaokrąglenie wyniku 17
zasada dynamiki, druga 79
— — pierwsza 28
— — trzecia 92
— zachowania energii 116
zero bezwzględne 164
zły przewodnik ciepła 177
zwrot wektora 21

Fotografia na okładce: Getty Images/DigitalVision/Thomas Barwick

Rysunki: Rafał Buczkowski – s. 159b, 164g; Antoni Frontczak – s. 86, 147; Ewelina Baran, Marta Tarkowska, Wioleta Przybylska, Elżbieta Buczkowska, Przemysław Kłosin, Marcin Oleksak – s. 71 (zad. 6), 110–112, 119, 121, 129d, 140g, 144ld; Marcin Koziello, Arkadiusz Ignaciuk, Jan Horydowicz – s. 23, 24g, 26d, 27p, 78, 89, 92p, 96; Ewa Pawińska – s. 36, 43, 159c, 202; Adam Pocziwek – s. 24d, 26g, 27l, 54, 63, 85, 88, 92l, 113, 116, 127, 133, 183, 187, 240; Andrzej Dukata – pozostałe rysunki.

Fotografie: BE&W: Alamy Stock Photo/colaimages s. 220, ALAMY PHOTO STOCK – INSADCO Photography s. 8/b, 9, BE&W/Alamy Stock Photo/Realimage s. 228 (barometr), Visual&Written SL s. 117, Charles Bowman s. 211/a, David Robertson s. 218/a; AISA/IBERFOTO, ARCHIVO DE LA IMAGEN, SL s. 28/b; GERARD LACZ IMAGES/Gerard Lacz s. 35; Nature Picture Library/Kim Taylor s. 156/a; AKG IMAGES Gmbh s. 208; IAM Ltd/WORLD HISTORY ARCHIVE s. 230; DIOMEDIA: Science Photo Library RM/Martin Dohrn s. 115/d; EAST NEWS: AGE FOTOSTOCK – Creativ Studio Heinem/Westend61 s. 18, U.S. Air Force s. 37, spacephotos.com/Spacephotos s. 61/a, Javier Larrea s. 114/b; Wojciech Traczyk s. 145, 177; De Agostini/C. Bevilacqua s. 160/d; Universal History Archive/Universal Images Group s. 200/b; FORUM: Universal Images Group s. 135/b, 173/b, Forum/Wojciech Traczyk s. 83; TopFoto s. 156/b, c; GETTY IMAGES: Photographer's Choice/Marcus Lyon s. 16/a, Getty Images News/Jeff J. Mitchell s. 20/c, Getty Images/Getty Images News/John Moore s. 68, Getty Images Sport/Dan Istitene s. 57, Stone/Ryan McVay s. 138/a; Indigo/Science Photo Library s. 154 (obraz STM); NARODOWE ARCHIWUM CYFROWE: Koncern Ilustrowany Kurier Codzienny – Archiwum Ilustracji s. 156/d; NASA: GSFC/MODIS Rapid Response Team/Jeff Schmaltz s. 13/e; POLSKA AGENCJA PRASOWA PAP: Tomasz Gzell s. 135/a; SHUTTERSTOCK: s. 7, s. 8/a, s. 9, s. 11/a, s. 12/a, b, s. 12/c, d, e, 13/a, b, c, d, 13/f, 14/a, b, 16/b, 17, 20/a, b, 20/d, 21/a, 23, 25/a, b, 28/a, 29, 31, 36/a, 38, 40/a, b, 43, 44/a, b, 45, 47/a, 50/a, b, 51/a, b, 52, 54, 55/a, b, 59, 61, 62, 63/a, b, 65, 72, 77, 78, 80, 82, 85, 86/a, b, c, d, e, f, g, 87/a, c, d, e, f, g, 88/a, b, c, d, e, f, 89/a, b, 90/a, 94/a, b, c, d, 95/a, b, c, 96, 97/a, b, 98/a, b, 100/a, 101, 102/a, b, 103, 109, 110, 114/a, 115/a, b, c, e, f, g, h, i, 118/a, 123/a, 124/a, b, 127/a, 129/a, b, 131/b, 134, 136, 143/a, 144/c, 146, 154/a, 155/a, 158/a, 159, 160/a, b, c, 161, 163/a, 165/b, c, 168, 169, 173/a, 175, 176/a, 178/b, 180/a, 181/a, c, 183/a, 186/a, 189, 195, 196, 200/a, 203/a, 207/a, 210/a, 215/a, 219/a, 221, 223/b, 224, 226, 231; THINKSTOCK: Getty Images/iStockphoto/mathieukor s. 144/b oraz Agnieszka Żak s. 8/c, 11/b, 15, 19, 21/b, 27, 30, 34, 36/b, 46, 47/b, 49/b, c, 56, 90/b, 91, 92/b, 95/d, 99, 100/b, 102/c, 118/b, 123/b, 127/b, 138/b, 142, 143/b, c, 144/a, 147, 152, 153, 154/c, 155/b, 158/b, 162, 163/b, 165/a, 170, 176/b, 178/a, 179, 180/b, 181/b, 182, 183/b, 184, 186/b, 187, 194, 197/a, c, d, 203/b, 205, 207/b, 209, 210/c, 211/b, 214, 215/b, 218/b, 219/b, 222, 225, 227, 228/a, 230, 236, Anna Szczucińska s. 49/a, Jacek Pietruski s. 223/a, Miłosz Budzyński s. 79, 131/a, c, 157, 192, 197/b, 210/b, Piotr Węgrzynowicz s. 67, Tomasz Ryszewski s. 87/b, Volvo Car Corporation s. 92/a.

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania, mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępuje zgodnie z art. 27¹ ust. 1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

Imię i nazwisko	Klasa	Rok szkolny	Podpis
1.			
2.			
3.			

To jest fizyka



Ciała w ruchu

prędkość w ruchu jednostajnym prostoliniowym

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

s – droga, t – czas ruchu

przyspieszenie

$$a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

v_k – prędkość końcowa,
 v_p – prędkość początkowa,
 t – czas zmiany prędkości,
 Δv – zmiana prędkości

Siła wpływa na ruch

druga zasada dynamiki

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

a – przyspieszenie, F – siła,
 m – masa ciała

siła ciężkości

$$Q = m \cdot g$$

m – masa, g – przyspieszenie grawitacyjne

Praca i energia

praca

$$W = F \cdot s$$

F – siła, s – droga

przyrost energii potencjalnej grawitacji

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

Q – ciężar ciała, h – wysokość,
 m – masa ciała, g – przyspieszenie grawitacyjne

energia kinetyczna

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

m – masa ciała, v – prędkość, z jaką porusza się ciało

moc

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

W – praca, t – czas, w którym praca została wykonana

Cząsteczki i ciepło

energia

$$E = m \cdot c \cdot \Delta t$$

m – masa, c – ciepło właściwe,
 Δt – przyrost temperatury

Ciśnienie i siła wyporu

gęstość

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

m – masa, V – objętość

ciśnienie

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

F – wartość siły nacisku,
 S – pole powierzchni

ciśnienie hydrostatyczne

$$p = d \cdot g \cdot h$$

d – gęstość cieczy,
 g – przyspieszenie ziemskie,
 h – wysokość słupa cieczy

siła wyporu

$$F_w = d_c \cdot g \cdot V_c$$

d_c – gęstość wypartej cieczy (gazu),
 g – przyspieszenie ziemskie,
 V_c – objętość wypartej cieczy (gazu)

